

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA SECUENCIA OLIGO- MIOCENA EN UN ÁREA DEL CAMPO EL TOCO DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Para Optar al Título de Ingeniero Geólogo  
Por el Br. Martín Argotte Ángel Nicolás

Caracas, Abril de 2010

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA SECUENCIA OLIGO- MIOCENA EN UN ÁREA DEL CAMPO EL TOCO DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI**

Tutor académico: Prof. Lenin González  
Tutor industrial: Ing. Rosa Aquino

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Para Optar al Título de Ingeniero Geólogo  
Por el Br. Martin Argotte Angel Nicolás

Caracas, Abril de 2010

Caracas, Abril de 2010

### CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller, titulado:

**“ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA SECUENCIA OLIGO-MIOCENA EN UN ÁREA DEL CAMPO EL TOCO DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. (nombre y apellido)  
Jurado

Prof. (nombre y apellido)  
Jurado

Prof. Lenin González  
Tutor Académico

Ing., Rosa Aquino  
Tutor Industrial

## AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Universidad Central de Venezuela por brindarme la oportunidad de formarme como profesional en sus aulas, siempre estaré orgulloso de ser ucevista.

A mi tutor académico Profesor Lenin González por guiarme en la realización de este trabajo de grado. A mi Tutora Industrial Ing. Rosa Aquino por siempre haber creído en mí, por su preocupación, ayuda y colaboración en la realización de este trabajo.

A mis padres y mi hermana, por haber sido un apoyo incondicional en todo momento, por su cariño y comprensión.

A mi novia Yanelvy, por estar a mi lado, por apoyarme en todo momento, por formar parte de mi vida y soportarme. Te adoro.

A PDVSA Exploración Oriente por permitirme desarrollar este trabajo especial de grado en tan prestigiosa empresa.

A Edgar González, por ser un excelente amigo y por sus ayuda con el manejo de la aplicación utilizada para elaborar este trabajo.

A la Profesora Ángela Rojas, quien siempre estuvo a la orden para aclarar dudas y quien prestó su colaboración en la realización de este trabajo de grado.

A la Sra. Morella de la biblioteca de la escuela de Geología, por su valiosa colaboración

A todos los compañeros y amigos de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, con quienes compartí durante la carrera.

Finalmente agradezco a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en el desarrollo de este trabajo.

**Martin A. Angel N.**

**“ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA SECUENCIA OLIGO-MIOCENA EN UN ÁREA DEL CAMPO EL TOCO DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI”**

**Tutor Académico: Prof. Lenin González. Tutor Industrial: Rosa Aquino.  
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geológica,  
Minas y Geofísica. 2010. Pág. 149.**

**Palabras Claves:** Sedimentología y Estratigrafía - Formación Oficina, Campo El Toco, Cuenca Oriental de Venezuela.

**RESUMEN**

Este estudio forma parte de un proyecto de re-exploración de campos petroleros realizado por Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA), el cual se centra en la búsqueda de posibles acumulaciones de gas. Por lo tanto es un aporte a los estudios realizando en el área, como parte de dicho proyecto.

Este trabajo propone un modelo sedimentológico y estratigráfico de las arenas pertenecientes a la Formación Oficina del Campo El Toco al centro-oeste de la Cuenca Oriental de Venezuela, secuencia Miocena.

El estudio se centra en la parte basal de la Formación Oficina. Se determinaron la arquitectura de las arenas por medio de la correlación entre registros de pozos y de la representación espacial de las facies para cada secuencia. Así como el análisis sedimentológico de los núcleos disponibles en el área.

Se describieron aproximadamente ciento ochenta y siete pies de núcleos, en los que fueron identificadas siete facies sedimentarias descriptivas, entre ellas se tiene: S1 (Areniscas), S1B (Areniscas Bioturbadas), ST (Limolítica), H (Heterolítica), HB (Heterolítica Bioturbada), L (Lutita), C (Carbón). Se analizaron nueve petrografías, la que indicaron que el constituyente detrítico principal de las mismas es el cuarzo, por lo que las sublitarenitas y los fragmentos de rocas son las litologías más abundante para todas las facies sedimentarias arenosas.

Se establecieron ocho secuencias estratigráficas de cuarto orden, y se correlacionaron entre treinta y cinco pozos del campo, evaluándose de cada registro los datos disponibles de potencial espontáneo (curva “SP”) y rayos gamma (curva “GR”) y

resistividad (curva “RD”). La correlación indica las facies presentes en cada secuencia y la distribución de éstas en el subsuelo.

Esta información es representada mediante la construcción de mapas estratigráficos de distribución de facies, que indican cómo son las relaciones espaciales entre ellas. Junto con los mapas de arena neta y de relaciones “net to gross y arena/lutita se determinan los ambientes sedimentarios de las secuencias estudiadas. El ambiente sedimentario corresponde con un sistema deltaico dominado por la acción de mareas, en el que se reconocieron depósitos de canales distributarios, barras longitudinales, bahías interdistributarias, abanico de rotura, cales abandonados y diques naturales, correspondiendo a depósitos de la llanura deltaica y frente deltaico distal/prodelta proximal.

Las secuencias uno, dos, tres, cuatro y cinco, fueron depositadas en la planicie deltaica de un delta influenciado por las mareas, para las dos secuencias siguientes (6 y 7) se observan depósitos generados en el frente deltaico distal/prodelta proximal, lo que indica un aumento en el nivel del mar, este cambio marca el límite entre el Miembro Colorado y Amarillo que coincide con el tope de la secuencia cinco. Por último la secuencia ocho fue depositada luego de un descenso relativo del nivel del mar, por lo que se observan cuerpos sedimentarios correspondientes a la llanura deltaica, donde se observan canales distributarios, bahías interdistributarias y barras longitudinales.

<b>ÍNDICE GENERAL</b>	<b>Pág.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Objetivos y alcance del trabajo.....	2
1.3 Alcance .....	3
1.4 Ubicación del área de estudio .....	4
1.4.1 Situación Geográfica .....	4
1.5 Metodología .....	5
1.5.1 Revisión bibliográfica .....	6
1.5.2 Descripción sedimentológica de núcleos y definición de facies descriptivas.....	6
1.5.3 Elaboración de hojas sedimentológicas .....	7
1.5.4 Evaluación Petrográfica .....	7
1.5.5 Definición de superficies estratigráficas.....	7
1.5.6 Realización del mallado de las secciones .....	8
1.5.7 Definición areal de secuencias depositacionales .....	8
1.5.8 Construcción de Mapas Estratigráficos .....	9
1.5.9 Definición de de la geometría de los cuerpos sedimentarios.....	10
<b>2. GEOLOGÍA REGIONAL .....</b>	<b>16</b>
2.1 Generalidades.....	16
2.1.1 Subcuenca de Guárico.....	18
2.1.2 Subcuenca de Maturín.....	18
2.2 Marco geológico estructural.....	19

2.2.1	Provincias Tectónicas.....	22
2.3	Estratigrafía regional.....	24
2.3.1	Megasecuencia “pre-rift”.....	25
2.3.2	Megasecuencia “Rift”: (Jr).....	25
2.3.3	Megasecuencia de Margen Pasivo: (K).....	25
2.3.4	Megasecuencia de Colisión oblicua: (T).....	26
2.4	Estratigrafía de la zona de estudio.....	27
2.4.1	Cretácico.....	27
2.4.2	Terciario.....	28
<b>3.</b>	<b>MARCO TEORICO.....</b>	<b>32</b>
3.1	Facies Sedimentarias.....	32
3.1.1	Asociación de Facies.....	32
3.1.2	Sucesiones de Facies:.....	34
3.2	Ambientes Deposicionales.....	34
3.2.1	Clasificación de los ambientes depositacionales.....	35
3.2.2	Medio Continental.....	36
3.2.3	Medios de Transición.....	43
a.	Sistema Deltaíco.....	43
<b>4.</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL.....</b>	<b>52</b>
4.1	Descripción de los Núcleos.....	53
4.2	Descripción de litofacies.....	64
4.3	Caracterización Petrográfica de Rocas Clásticas.....	67
4.3.1	Análisis Petrográfico.....	67
4.3.2	Descripción por grupo litológico.....	68

---

4.4	Diagénesis: .....	75
4.4.1	Efectos diagenéticos .....	76
4.4.2	Evolución Diagenética .....	82
<b>5.</b>	<b>ESTRATIGRAFÍA LOCAL .....</b>	<b>88</b>
5.1	Descripción de las secuencias .....	95
5.1.1	Secuencia 1 .....	95
5.1.2	Secuencia 2 .....	98
5.1.3	Secuencia 3 .....	100
5.1.4	Secuencia 4 .....	103
5.1.5	Secuencia 5 .....	106
5.1.6	Secuencia 6 .....	108
5.1.7	Secuencia 7 .....	109
5.1.8	Secuencia 8 .....	111
5.2	Análisis Ambiental Integrado .....	114
<b>6.</b>	<b>SUMARIO Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>118</b>
6.1	SUMARIO.....	118
6.2	CONCLUSIONES.....	119
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>122</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>123</b>
<b>9.</b>	<b>APÉNDICE .....</b>	<b>132</b>
9.1	Conceptos básicos de estratigrafía secuencial: .....	132
9.1.1	Estratigrafía Secuencial.....	132
9.1.2	Espacio de acomodo de sedimentos .....	132
9.1.3	Aporte de sedimentos .....	132

---

9.1.4	Parasecuencia .....	133
9.1.5	Superficie de Inundación marina .....	134
9.1.6	Conjunto de parasecuencias .....	134
9.1.7	Tipos de conjuntos de parasecuencias .....	135
9.1.8	Secuencias.....	136
9.1.9	Tipos y límites de secuencias .....	136
9.1.10	Sistemas encadenados .....	138
9.1.11	Sistema encadenado de bajo nivel .....	139
9.1.12	Sistema encadenado transgresivo .....	139
9.1.13	Sistema encadenado de alto nivel .....	139
9.1.14	Orden jerárquico de las secuencias.....	141
9.2	Registros de pozo y criterios de Correlación .....	144
9.2.1	Generalidades .....	144
9.2.2	Criterios de Correlación .....	146
	<i>Ajuste por Patrones</i> .....	146
<b>10.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	¡Error! Marcador no definido.

<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1 Localización del área de estudio a) Mapa Físico de Venezuela .....	4
Figura 2 Flujograma explicativo de la metodología empleada para llegar a la generación del modelo. ....	5
Figura 3: Secciones estratigráficas en dirección pseuperpendicular a la sedimentación. ....	9
Figura 4 Cuencas petrolíferas de Venezuela, basadas en la distribución de sus Provincias Sedimentarias (Modificado de Pérez de Mejía et. al., 1980). L.E.B. = Lineamiento de El Baúl, límite entre las cuencas de Oriente y Barinas-Apure. Tomado del WEC, 1997.....	16
Figura 5 Marco geológico regional para la sedimentación en Venezuela durante el Mioceno-Plioceno. Tomado del WEC, 1997.....	17
Figura 6 Sección estructural mostrando las unidades tectono-estratigráficas en el flanco norte de la Subcuenca de Maturín. (Yoris y Ostos, 1997) .....	19
Figura 7 Los cuatro estados del desarrollo de los límites Norte y Sur de la Placa del Caribe desde el Paleoceno tardío al Reciente asociado con la migración hacia el Este de la Placa Caribe. Abreviaturas: AC = América Central; AM = Antillas Menores; CA = Cordillera de los Andes; CC = Cuenca Colombia; CCC = Cordillera Central de Colombia; CG = Cuenca de Granada; COC = Cordillera Occidental de Colombia; CM = Cuenca de Maracaibo; CV = Cuenca de Venezuela; CU = Cuba; CY = Cuenca de Yucatán; DC = Depresión Caimán; IE = Isla Española; PC = Placa del Caribe; PR = Puerto Rico; RB = “Ridge” de Barbados; RB = “Ridge” de Beata. (Stephan et al, 1990). ....	20
Figura 8 Evolución de cuencas tipo antepais o “foreland” Perfiles Geológicos con dirección NO-SE que muestran la evolución tectónica y estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela desde el Mesozóico hasta el presente (Tomado y modificado de Summa et al., 2003). ....	21
Figura 9 Corte Geológico conceptual de la Cuenca Oriental de Venezuela, que muestra la Provincia Autóctona y parte de la Provincia Alóctona (Modificado de PARNAUD et al. 1995).....	23

Figura 10 Cuadro Correlativo de la Cuenca Oriental de Venezuela. Modificado de Parnaud (1995).....	24
Figura 11 Modelo de depositación generalizado, donde se muestra la variación del tamaño de grano y respuesta del registro eléctrico (S.P.) en dos puntos de un canal ramificado. Modificado de GALLOWAY & HOBBA Y (1983). .....	38
Figura 12 Corte de un canal meandriforme en la zona de la Barra de meandro. Obsérvese la disposición de los demás cuerpos sedimentarios. La erosión del lado donde incide la corriente y simultáneamente la formación de las barras, producen una migración lateral del meandro y acreción lateral de las barras, que puede ser de varios kilómetros o decenas de kilómetros. ....	39
Figura 13 Modelo depositacional generalizado, secuencia vertical y respuesta del registro eléctrico (S.P.) de un cuerpo de arena de una franja de meandros producido por una alta sinuosidad del canal. Modificado de GALLOWAY & HOBBA Y (1983). ....	40
Figura 14 Modelo depositacional generalizado producido por un sistema fluvial anastomosado (Modificado de Galloway y Hobday, 1983). ....	42
Figura 15 Principales componentes morfológicos y sedimentarios comunes a los deltas, Modificado de ALLEN & CHAMBERS (1998). ....	43
Figura 16 Clasificación genética de los deltas en función del proceso sedimentario dominante (según GALLOWAY, 1975) .....	44
Figura 17 Secuencia depositacional típica de un delta con dominio fluvial. Tomado y modificado de Coleman, J M & Prior, DB (1980).....	47
Figura 18 Secuencia depositacional típica de un delta de mareas. Tomado y modificado de Coleman, J M & Prior, DB (1980).....	49
Figura 19 Secuencia depositacional típica de un delta dominado por oleaje. Tomado y modificado de Coleman, J M & Prior, DB (1980).....	51
Figura 20: Mapa de ubicación de los pozos del campo El Toco, resaltando en color verde los pozos que tienen Núcleos. Ver Anexo D.1 .....	54
Figura 21 : Fotografías de detalle de los núcleos del pozo TM-2, a.) Trazas de Palaeophycus y Planolites, prof. 6488'; b.) Intercalaciones de areniscas y lutitas con capa de carbón y trazas de raíces, prof. 6462'6" .....	55

Figura 22: Fotografías de detalle de los núcleos del pozo TM-3, a.) Trazas de Planolites y Huellas de carga, prof. 7213’; b.) Grietas de sinéresis, prof. 7212’5’’; c.) Trazas de Planolites y Palaeophycus, prof. 7205’6’’; d.) Trazas de Planolites y “Mud drapes”, prof. 7208’6’’ .....	56
Figura 23: Fotografías de detalle de los núcleos del pozo TM-3, a.) Lag transgresivo, prof. 6581’; b.) Deformación sin sedimentaria, prof. 6563’; c.) Estructura flaser, prof. 6563’6’’; d.) Intercalación de areniscas y lutitas, Grietas de sinéresis sinéresis, prof. 6548’ .....	58
Figura 24: Fotografías de detalle de los núcleos del pozo TM-11, a.) Intercalación de areniscas y lutitas, Planolites, prof. 7430’; b.) Grietas de sinéresis, prof. 7430’6’’; c.) Teichichnus, prof. 7452’; d.) Planolites, prof. 7454’ .....	60
Figura 25: Fotografías de detalle de los núcleos del pozo TM-11, a.) Tallassinoides, prof. 5658’; b.) Tallassinoides, prof. 5657’; c.) “Mud drapes”, prof. 5658’8’’61	
Figura 26: Fotografías de detalle de los núcleos del pozo TZ-1, a.) Clastos sideritizados orientados, prof. 6808’3’’; b.) Areniscas intercaladas con laminas de lutitas, prof. 6809’6’’; c.) Risolithos y materia orgánica oxidada, prof. 6757’; d.)Trazas de Planolites, Teichichnus, prof. 6795’ .....	63
Figura 27: Clasificación para areniscas terrígenas de Pettijohn, Potter y Siever, 1972 .....	67
Figura 28: Grafico de distribución de los tipos de areniscas en las muestras estudiadas .....	68
Figura 29: Fotomicrografía de Grauvaca lítica. NX. TM-11 7442.....	69
Figura 30: Fotomicrografía de sublitarenita. NX. TZ-1 6881. ....	71
Figura 31: Fotomicrografía de arenisca lítica. NX. TZ-1 6772.....	72
Figura 32: Fotomicrografía de subarcosa (subarenita feldespática). NX. TM-3 6582. ....	73
Figura 33: Fotomicrografía de Grauvaca feldespática. NX. TM-3 6562. ....	74
Figura 34: Fotomicrografía de Lutita. NX .....	75
Figura 35: Microfotografía correspondiente a sección fina tomada del pozo TM-11 a una profundidad de 7442 pies, se observa como la mica muscovita se	

encuentra deformada y fracturada por efecto de la compactación, (a) nicoles paralelos y (b) nicoles cruzados. ....	77
Figura 36: Microfotografía correspondiente a sección fina tomada del pozo TM-3 a una profundidad de 6562 pies, se observa la precipitación de cemento siderítico, (a) nicoles paralelos y (b) nicoles cruzados.....	78
Figura 37: Microfotografía correspondiente a sección fina tomada del pozo TM-3 a una profundidad de 6588 pies, se observa la disolución de matriz y cemento generando porosidad secundaria, (a) nicoles paralelos y (b) nicoles cruzados. ....	79
Figura 38: Microfotografía correspondiente a sección fina tomada del pozo TM-3 a una profundidad de 6582 pies, se observa el reemplazo de granos de cuarzo por calcita, (a) nicoles paralelos y (b) nicoles cruzados.....	80
Figura 39: Microfotografía correspondiente a sección fina tomada del pozo TM-3 a una profundidad de 6588 pies, se observa la alteración de Feldespatos, (a) nicoles paralelos y (b) nicoles cruzados. ....	81
Figura 40: Microfotografía correspondiente a sección fina tomada del pozo TM-3 a una profundidad de 6562 pies, se observa una estilolita producto de presión-solución, (a) nicoles paralelos y (b) nicoles cruzados. ....	82
Figura 41: Columna generaliza de las formaciones de Anaco, Cuenca Oriental de Venezuela. Tomado de Informe Interno de PDVSA, Proyecto Anaco. En el recuadro las unidades generalizadas en este estudio. ....	89
Figura 42: Curva Paleobatimétrica en el pozo RG-195S, se observan las biofacies para cada una de las unidades litológicas de la Formación Oficina. Tomado y modificado de Campo et al, 1985.....	91
Figura 43: Carta eustática de HAQ et al 1987, donde se resalta el intervalo de estudio.....	92
Figura 44: Mapa de correlaciones en el campo El Toco. En el mapa (A) se puede observar 4 secciones realizadas en dirección perpendicular a la dirección de la sedimentación; así como en el mapa (B) donde se observan 3 secciones paralelas a la dirección de la sedimentación. ....	93
Figura 45: El registro (A) corresponde a uno registro tipo de la Formación Oficina en el área del Toco, pudiéndose observar en el recuadro verde la unidad	

---

correspondiente al intervalo de interés. En el registro (B) se muestra un registro con las secuencias establecidas para los miembros Colorado y Amarillo, de la Formación Oficina. ....	94
Figura 46: ANEXO C. 2, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.....	95
Figura 47: ANEXO C. 33, Mapa de electrofacies de la secuencia 1 .....	97
Figura 48: ANEXO C. 6, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.....	98
Figura 49: ANEXO C. 34, Mapa de electrofacies de la secuencia 2. ....	100
Figura 50: ANEXO C. 10, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.....	101
Figura 51: ANEXO C. 35, Mapa de electrofacies de la secuencia 3 .....	103
Figura 52: ANEXO C. 14, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.....	104
Figura 53: ANEXO C. 36, Mapa de electrofacies de la secuencia 4. ....	105
Figura 54: ANEXO C. 18, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.....	106
Figura 55: ANEXO C. 37, Mapa de electrofacies de la secuencia 5. ....	107
Figura 56: ANEXO C. 22, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.....	108
Figura 57: ANEXO C.38, Mapa de electrofacies de la secuencia 6. ....	109
Figura 58: ANEXO C. 26, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.....	110
Figura 59: ANEXO C. 39, Mapa de electrofacies de la secuencia 7. ....	111
Figura 60: ANEXO C. 30, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.....	112
Figura 61: ANEXO C.40, Mapa de electrofacies de la secuencia 8. ....	113

Figura 62: Principales ambientes sedimentarios en un sistema deltaico mixto, resaltando el área donde se desarrollan los principales ambientes en este estudio. Tomado de Allen (1989)..... 114

---

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Clasificación de las facies detríticas fluviales según Miall (1978).....	33
Tabla 2 Clasificación de los ambientes depositacionales .....	35
Tabla 3 Características sedimentarias y geomorfológicas correspondientes a canales fluviales (Modificado de Galloway, 1977).....	37
Tabla 4 Características estratigráficas de los sistemas de depositación deltáicos. (Tomado de Galloway, 1975; Galloway y Hobday, 1983).....	45
Tabla 5: Pozos donde se extrajeron núcleos, señalando el intervalo y la unidad a la que pertenece .....	54
Tabla 6: Efectos diagenéticos y los factores actuantes que los producen .....	76

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A. 1: Hoja Sedimentológica del pozo TM-3
- ANEXO A. 2: Hoja Sedimentológica del pozo TM-11
- ANEXO A. 3: Hoja Sedimentológica del pozo TZ-1
- ANEXO B. 1: Sección estratigráfica A-A'
- ANEXO B. 2: Sección estratigráfica B-B'
- ANEXO B. 3: Sección estratigráfica C-C'
- ANEXO B. 4: Sección estratigráfica D-D'
- ANEXO B. 5: Sección estratigráfica E-E'
- 
- ANEXO C. 1: Mapa de Arena Lutita Secuencia 1
- ANEXO C. 2: Mapa de Espesor de Arena Secuencia 1
- ANEXO C. 3: Mapa Isopaco Ssecuencia 1
- ANEXO C. 4: Mapa Net to Gross Secuencia 1
- ANEXO C. 5: Mapa de Relación de Arena Lutita Secuencia 2
- ANEXO C. 6: Mapa de Espesor de Arena Secuencia 2
- ANEXO C. 7: Mapa Isopaco Secuencia 2
- ANEXO C. 8: Mapa Net to Gross Secuencia 2
- ANEXO C. 9: Mapa de Relación de Arena Lutita Secuencia 3
- ANEXO C. 10: Mapa de Espesor de Arena Secuencia 3
- ANEXO C. 11: Mapa Isopaco Secuencia 3
- ANEXO C. 12: Mapa Net to Gross Secuencia 3

ANEXO C. 13: Mapa de Relación de Arena Lutita Secuencia 4

ANEXO C. 14: Mapa de Relación de Arena – Lutita Secuencia 4

ANEXO C. 15: Mapa Isopaco Secuencia 4

ANEXO C. 16: Mapa Net to Gross Secuencia 4

ANEXO C. 17: Mapa de Relación de Arena Lutita Secuencia 5

ANEXO C. 18: Mapa de Relación de Arena – Lutita Secuencia 5

ANEXO C. 19: Mapa Isopaco Secuencia 5

ANEXO C. 20: Mapa Net to Gross Secuencia 5

ANEXO C. 21: Mapa de Relación de Arena Lutita Secuencia 6

ANEXO C. 22: Mapa de Relación Arena – Lutita Secuencia 6

ANEXO C. 23: Mapa Isopaco Secuencia 6

ANEXO C. 24: Mapa Net to Gross Secuencia 6

ANEXO C. 25: Mapa de Relación de Arena Lutita Secuencia 7

ANEXO C. 26: Mapa de Relación de Arena – Lutita Secuencia 7

ANEXO C. 27: Mapa Isopaco Secuencia 7

ANEXO C. 28: Mapa Net to Gross Secuencia 7

ANEXO C. 29: Mapa de Relación de Arena Lutita Secuencia 8

ANEXO C. 30: Mapa de Relación de Arena – Lutita Secuencia 8

ANEXO C. 31: Mapa Isopaco Secuencia 8

ANEXO C. 32: Mapa Net to Gross Secuencia 8

ANEXO C. 33: Mapa de Electrofacies Secuencia 1

ANEXO C. 34: Mapa de Electrofacies Secuencia 2

ANEXO C. 35: Mapa de Electrofacies Secuencia 3

ANEXO C. 36: Mapa de Electrofacies Secuencia 4

ANEXO C. 37: Mapa de Electrofacies Secuencia 5

ANEXO C. 38: Mapa de Electrofacies Secuencia 6

ANEXO C. 39: Mapa de Electrofacies Secuencia 7

ANEXO C. 40: Mapa de Electrofacies Secuencia 8

ANEXO D. 1: Mapa con ubicación de pozos

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Generalidades

En la exploración y producción de hidrocarburos, es importante conocer los elementos que componen el subsuelo, así como, su distribución, disposición, comportamiento y características generales. Una de las herramientas esenciales para tal fin es la Sedimentología, dado que su escala de análisis es bastante variable, abarca desde análisis petrográfico hasta análisis de cuencas sedimentarias. La realización de un modelo sedimentológico permite inferir la disposición de los depósitos sedimentarios que dieron origen a las rocas y posibles reservorios, por lo tanto el conocimiento de los depósitos sedimentarios ayuda a disminuir los riesgos e incertidumbres en las campañas exploratorias en la búsqueda de nuevos yacimientos, y en la delimitación de los ya existentes.

El presente proyecto consiste en la elaboración de un modelo sedimentológico para el Campo El Toco, específicamente para el intervalo basal de la Formación Oficina en la Cuenca Oriental de Venezuela, con el objeto de determinar las implicaciones de la sedimentación de esta unidad en la distribución y dimensiones de los cuerpos sedimentarios prospectivos. Está enmarcado además, dentro del desarrollo de un Proyecto Generador de Prospectos, llevado a cabo por PDVSA Exploración División Oriente.

El campo petrolero El Toco se encuentra en la parte central oeste del Estado Anzoátegui a 50 Km en dirección sur-oeste de la ciudad de Anaco. Las primeras compañías concesionarias del Campo El Toco fueron las empresas petroleras: Mene Grande, Creole y Texas.

El descubrimiento de este campo se basó en un proyecto sismográfico que mostró la presencia de un domo simétrico, luego siguieron muchos proyectos de sondeos

estructurales que definieron al campo El Toco como una estructura dómica de rumbo este-oeste, asimétrica, alargada y con muy poco buzamiento.

La estratigrafía está representada por el Grupo Temblador, de edad cretácica, el Grupo Merecure, de edad Oligoceno, Formación Oficina del Mioceno Inferior, ésta se divide en siete miembros operacionales, los cuales son de base a tope: Colorado, Amarillo, Verde, Naranja, Moreno, Azul y Blanco, y por último la Formación Freites (Mioceno Inferior).

## **1.2 Objetivos y alcance del trabajo**

El objetivo general de este consiste en elaborar un modelo sedimentológico en un área del Campo El Toco, ubicado en la cuenca Oriental de Venezuela en el estado Anzoátegui, haciendo énfasis en el intervalo correspondiente al Mioceno (Formación Oficina – miembro Colorado y Amarillo); para lo cual se distinguen los siguientes objetivos específicos:

- Descripción sedimentológica detalla de núcleos de interés, con el fin de definir facies sedimentarias.
- Realizar interpretación de electrofacies a partir de los registros de pozo disponibles.
- Calibrar las electrofacies interpretadas con las facies sedimentarias obtenidas a partir de los núcleos, con el fin de extrapolar la información a los demás pozos del área.
- Construcción de secciones estratigráficas, con integración de registros de pozo de Potencial Espontaneo, Resistividad y Rayos Gama (GR, SP, RD) y descripción litológica de los núcleos.
- Identificar las unidades sedimentarias, definir su geometría e interpretar sus correspondientes ambientes depositacionales a partir de las descripciones macroscópicas de los núcleos e información de registros de pozos.

- Generar mapas de paleoambientes, mapas isópacos, mapas de electrofacies y secciones estratigráficas para el intervalo de interés.
- Construcción de mapas de Arena Neta, con el cual se podrá observar la distribución de los cuerpos arenosos del campo estudiado.
- Elaboración de mapas de relación Arena-Lutita, los cuales se utilizaran para definir los niveles de energía de las unidades.

### **1.3 Alcance**

El alcance de este estudio se basa principalmente en la descripción macroscópica de los núcleos, así como el análisis de la respuesta geofísica observada en los registros Potencial Espontaneo, Resistividad y Rayos Gama (SP, RD y GR). Con esto básicamente, se pretende establecer las condiciones de sedimentación que dominaron durante el intervalo Mioceno Temprano y que dieron origen a la Formación Oficina (Miembros Colorado y Amarillo), y también inferir la geometría de los cuerpos de arena asociados a los ambientes de depositación en el área de estudio, correspondiente a un sector del campo El Toco. Esto como aporte a los estudios que se vienen realizando en el Proyecto Generador de Prospectos Roblote (PGP Roblote) en Petróleos de Venezuela Oriente.

En el área del Campo El Toco que limita con el área del Proyecto Roblote, del cual forma parte este estudio, se cuenta con solo 5 pozos con núcleos (de poca longitud y discontinuos) por lo que la densidad de información representa un factor desfavorable para este trabajo. Sin embargo, para atenuar los efectos negativos de la falta de información de núcleos para el desarrollo del modelo depositacional, se integro la data de registro de pozos (SP, RD, y en algunos casos GR) para establecer electrofacies que permitieron extrapolar la información tanto lateral como verticalmente y así tener una aproximación de la distribución de facies.

Se puede agregar que los núcleos descritos son provenientes de pozos perforados en la década de los 40 y las condiciones en que se encuentran los núcleos no son las

mejores, éstos no atraviesan de forma continua la sección estratigráfica de interés, y la forma como estos fueron preservados condicionó la descripción sedimentológica detallada de los mismos.

## 1.4 Ubicación del área de estudio

### 1.4.1 Situación Geográfica

El área de estudio se ubica en la Región Oriental de Venezuela, específicamente en el Centro – Oeste del Estado en Anzoátegui, al Suroeste de la población de Anaco y a 10 Km al Sur de la población de Aragua de Barcelona. Se enmarca dentro de las coordenadas UTM 1.012.000 – 1.022.000 Norte y 286.000 – 304.000 Este y abarca un área aproximada de 180 Km<sup>2</sup>. (Figura 1)

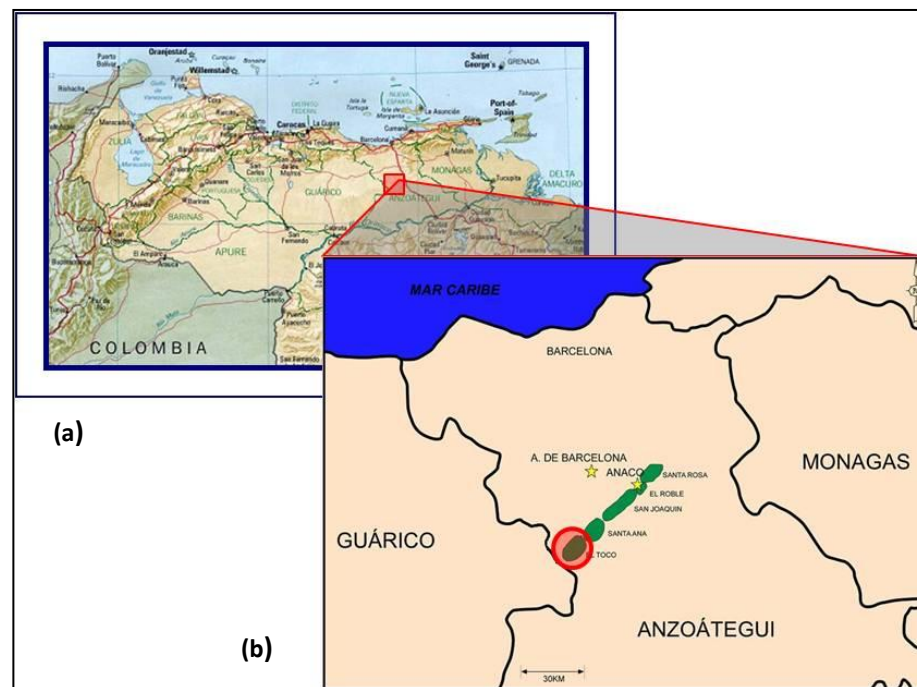


Figura 1 Localización del área de estudio a) Mapa Físico de Venezuela  
( <http://www.avenzuela.com/mapas/map/html/relieve.html>)

b) Mapa regional indicando la ubicación del los Campos de Anaco (Informe interno PDVSA, 2005)

## 1.5 Metodología

A continuación se presenta la metodología de trabajo empleada con la explicación de cada etapa y la en la figura 2 se observa el orden a manera de flujograma. (Ver figura 2).

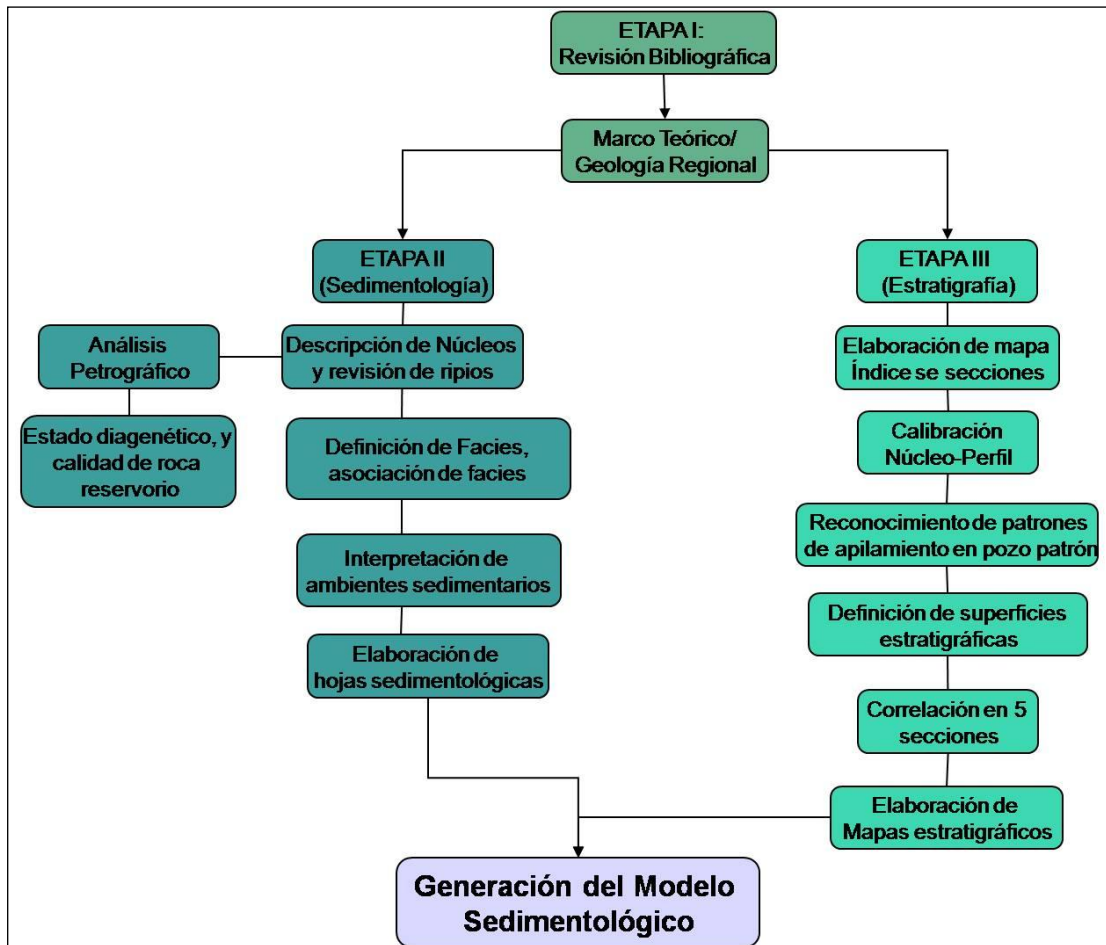


Figura 2 Flujograma explicativo de la metodología empleada para llegar a la generación del modelo.

### 1.5.1 Revisión bibliográfica

Esta fase consistió en la recopilación de literatura geológica general, informes previos, tesis, memorias, congresos, trabajos de investigación y reportes internos de PDVSA, con el fin de obtener un conocimiento general del área, de los ambientes sedimentarios, del marco tectónico, la estratigrafía, principios y funcionamiento de las herramientas utilizadas para la realización del presente trabajo. Para esto se contó con la Biblioteca de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, así como con el Centro de Documentación Geológica (C.D.G) de PDVSA Exploración Oriente.

### 1.5.2 Descripción sedimentológica de núcleos y definición de facies descriptivas

Para realizar la descripción macroscópica de los núcleos y definir las facies sedimentarias fue necesario determinar los diferentes tipos litológicos y sus relaciones verticales, identificar las posibles superficies cronoestratigráficas (límites estratales), textura de las rocas, estructuras sedimentarias, impregnación de hidrocarburos, contenido de fósiles e icnofósiles, aspectos diagenéticos, identificación de fracturas, estilolitas, brechas, etc. y todos aquellos aspectos que pudieran ser observados e identificados en los núcleos.

En esta etapa fueron descritos los núcleos correspondientes a 4 pozos del Campo El Toco, los cuales son: TM-2, TM-3, TM-11 y TZ-1. En total fueron descritos aproximadamente 183 pies.

Simultáneamente con la descripción macroscópica de los núcleos fueron definidas las facies sedimentarias, en base a criterios tales como litología, tamaño de grano, estructuras sedimentarias, fósiles, bioturbación, etc. A estas facies les fue asignada una codificación, para facilitar el manejo de la información referente a las mismas.

### 1.5.3 Elaboración de hojas sedimentológicas

Luego de realizar la descripción de cada uno de los núcleos se procedió a elaborar las hojas sedimentológicas que contienen los registros de los pozos, profundidades (del registro y del núcleo), la columna sedimentaria, la descripción de los núcleos (estructuras, accesorios, icnofósiles, intensidad de bioturbación, facies, etc), observaciones e información referente a los depósitos y ambientes sedimentarios interpretados (Anexo A.1, A.2 y A.3).

### 1.5.4 Evaluación Petrográfica

Se realizó el estudio petrográfico convencional a 9 muestras con el fin de determinar las características texturales, composicionales y genéticas de las rocas. Los parámetros evaluados fueron: las profundidades de las secciones, tamaño de grano, redondez, escogimiento, contactos, granos, matriz, cemento y porosidad. Posteriormente se clasificaron las areniscas utilizando el diagrama de PETTIJOHN, POTTER & SIEVER (1972), presentándose los resultados de forma porcentual.

### 1.5.5 Definición de superficies estratigráficas

Para la interpretación de las secuencias y sistemas encadenados se siguieron los siguientes pasos:

- En primer lugar se seleccionó un datum estratigráfico, se buscó un límite que fuese fácilmente correlacionable en toda el área, que además correspondiera a una superficie de inundación. En este estudio se usó la superficie lutítica más continua en toda el área, que además coincide con la superficie de inundación FS-3.
- Se identificaron las superficies de inundación y los límites de secuencia, tomando como base el comportamiento de los registros de los pozos, siendo el más importante y con mayor influencia el registro Rayos Gamma (GR), potencial Espontáneo (SP) y Resistividad (RD). En la interpretación de las

curvas de los registros de pozos se buscaron los puntos máximos y mínimos que corresponden con superficies de inundación y límites de secuencias respectivamente.

#### **1.5.6 Realización del mallado de las secciones**

Se proponen dos juegos de secciones estratigráficas:

(1) Paralelo al rumbo de la sedimentación se realizan 6 secciones, con la finalidad de observar las variaciones laterales y las relaciones entre las facies sedimentarias.

(2) Paralelo al buzamiento de la sedimentación se proponen 6 secciones más, en las que se observarán las variaciones de la sedimentación a lo largo de los depósitos que generan las corrientes.

Se debe tener en cuenta que todos los pozos deben pertenecer, al menos, a una sección en ambas direcciones. De ésta forma se constata que las correlaciones que se realicen van a mostrar la geometría correcta de las unidades sedimentarias.

#### **1.5.7 Definición areal de secuencias depositacionales**

Se llevó a cabo tomando en consideración la interpretación sedimentológica de las litofacies que se definieron para la zona de estudio, basados en las correlaciones de los pozos con núcleo seleccionados para el área del campo El Toco. Para tal fin se realizaron cinco (5) secciones estratigráficas, ver figura 3, (Anexos: B.1, B.2, B. 3, B.4 y B.5), tanto en dirección oeste-este (3) como sur-norte (2), extrapolando la información de las correlaciones al resto del campo lo que permitió identificar la geometría de los cuerpos sedimentarios.

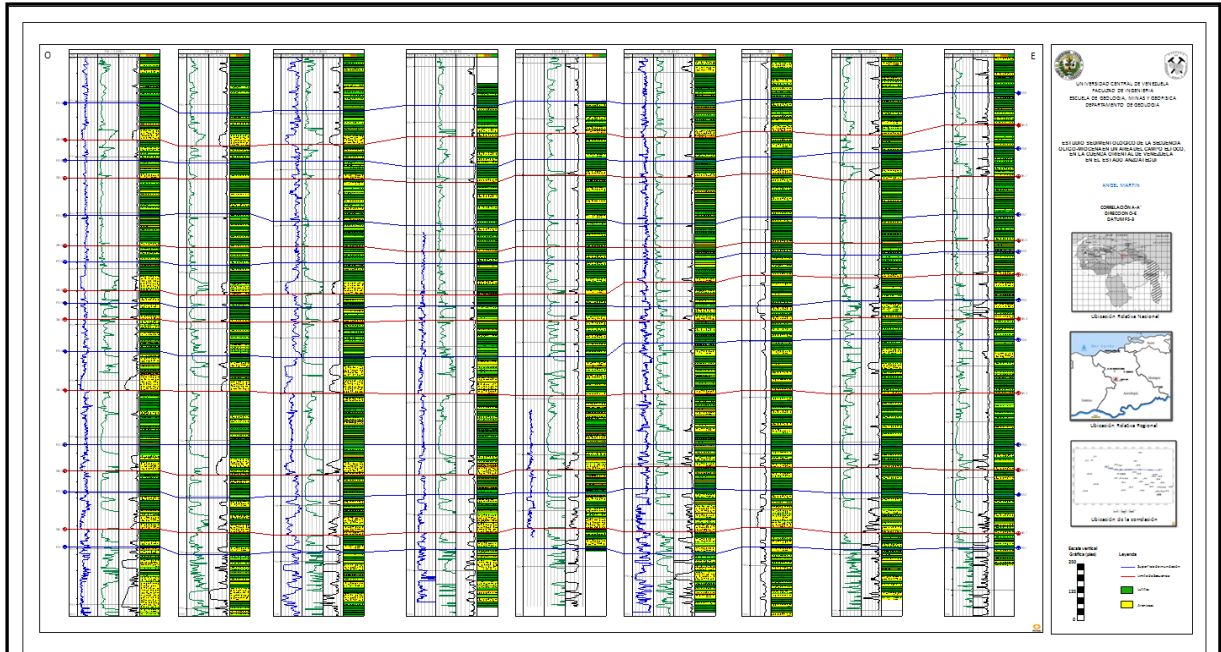


Figura 3: Secciones estratigráficas en dirección pseuperpendicular a la sedimentación.

### 1.5.8 Construcción de Mapas Estratigráficos

Para Krumbein y Sloss (1966), los mapas estratigráficos permiten observar la distribución y geometría de los cuerpos de arena de cada una de las facies reconocidas en las unidades de interés.

*Mapas de Distribución de Facies:* Las facies reconocidas en las secciones estratigráficas deben ser representadas en un mapa base para interpretar las relaciones espaciales de cada una de ellas en las unidades de estudio; mostrando la variación areal de las unidades estratigráficas.

*Mapas de Arena Neta:* Mediante datos petrofísicos se obtienen los espesores de arena limpia que contiene la unidad; los mismos son representados en el mapa base mostrando la distribución de los cuerpos arenosos de las facies.

*Mapas de "Net To Gross":* Se requiere conocer el porcentaje de arena en cada unidad realizando el cociente entre arena neta y espesor total de la unidad, para conocer la cantidad relativa de arena que hay en cada una de las unidades y la variación superficial de las mismas.

*Mapas de Relación Arena/Lutita:* El cociente entre el espesor depositado de arena y el espesor de lutita contenidos en las unidades estudiadas se representa en un mapa base donde se construyen curvas de igual relación, con la finalidad de mostrar las interrelaciones existentes entre estos dos tipos litológicos.

#### **1.5.9 Definición de de la geometría de los cuerpos sedimentarios**

Una vez elaboradas las secciones estratigráficas, se relacionan parámetros geométricos tomando en cuenta: tamaño, forma, orientación y distribución de los depósitos sedimentarios, que constituyen a los miembros Colorado y Amarillo de la Formación Oficina.

A partir de la información generada de la descripción macroscópica de los núcleos, aunado con las respuestas de los perfiles eléctricos de las secciones estratigráficas, se identificaron ciertos depósitos sedimentarios, así como también parámetros principales de la geometría sedimentaria, tales como: espesor, extensión, y continuidad lateral.

El análisis e interpretación de los depósitos sedimentarios definidos en los pozos estudiados se realizó a partir de la observación del patrón de apilamiento vertical de las facies, litologías, la presencia de estructuras sedimentarias e icnofósiles. Luego de definir los depósitos sedimentarios se procedió a interpretar el ambiente en el cual estos fueron sedimentados, con el propósito de proporcionar una mejor definición del modelo sedimentológico del campo.

La Sedimentología y la Estratigrafía Secuencial, fueron las disciplinas claves para el establecimiento del modelo sedimentológico y estratigráfico de la Formación Oficina. Por lo tanto, para la generación de dicho modelo, fue necesaria la integración de toda la información obtenida a partir de los estudios sedimentológicos y estratigráficos previamente analizados.

En este modelo se presenta la interpretación del ambiente depositacional de las unidades sedimentarias de la Formación Oficina, tomando en consideración los cambios laterales de facies, límites de secuencia, y superficies de inundación.

### **1.6 Trabajos previos**

HEDBERG, *et al.* (1947) realizan el primer trabajo realizado en esta la unidad, en el cual se describen las características sedimentológicas, estratigráficas y las estructuras presentes en la Formación Oficina, en el trabajo se define que esta se desarrolla en un ambiente fluvio-deltaico de edad Mioceno.

FUNKHOUSER *et al.* (1948). Realizan el estudio de los campos de Anaco, donde describen la estructura de domos que domina los campos y secuencia estratigráfica entre la Formación Merecure del Eoceno-Oligoceno y el Grupo Sacacual del Mio-Plioceno.

HEDBERG (1950). Realiza e integra la geología de la Cuenca Oriental de Venezuela en lo que corresponde a los estados Anzoátegui, Monagas, Sucre y el este de Guárico; describe la fisiografía de la cuenca y del frente de montaña, así como las formaciones geológicas que allí se encuentran, para generar tablas de correlación.

DE SISTO (1960). Publica una nomenclatura estratigráfica del subsuelo basado en correlaciones realizadas a registros de pozos. Realiza un estudio en el cual se muestra la distribución geográfica de la cantidad de arena neta y lignitos presentes en la Formación Oficina.

CVP (1972). Realiza un estudio en el área Las Ollas – Unare, ubicada hacia la parte Sur-Oeste de la zona objeto de estudio, donde siguieron la correlación desde El Toco, pasando por El Chaparro, hasta llegar a los pozos de Roblote. La correlación se puede

llevar bien y en ella se observó una disminución de las arenas hacia el Noreste, y hacia los pozos Roblote y Cascada.

GONZÁLEZ DE JUANA, *et.al.* (1980). Reconstruyen la historia geológica de la cuenca oriental en el periodo Terciario, describen el proceso sedimentario y las características de las unidades litológicas presentes.

ARNSTEIM (1985). Establece relaciones estratigráficas en las diferentes áreas del subsuelo de la Cuenca Oriental, basándose en pozos exploratorios en Guárico, Anzoátegui y Monagas. Analiza los ciclos sedimentarios utilizando electrofacies y bioestratigrafía estableciendo que los mismos se iniciaron en el Oligoceno y que el final de la sedimentación se da en el Mio-Plioceno con la depositación de molasa.

AUDEMARD *et al.* (1985). Presentan un modelo sedimentológico-estructural de la Faja Petrolífera del Orinoco para el Terciario; mediante correlaciones litoestratigráficas se reconocen tres ciclos de transgresión-regresión. Mencionan que las unidades arenosas tipifican deltas progradantes hacia el norte, asociados a fases regresivas, influenciados por la acción de olas y mareas.

CAMPOS *et al.* (1985). Integran la información estratigráfica existente para el noreste de Anzoátegui, donde definen los límites de las diferentes formaciones, así como también las edades y ambientes sedimentarios de las mismas.

MENDEZ (1985). Presenta en forma gráfica la historia geológica de la Cuenca Oriental de Venezuela, mediante una serie de bloques diagramáticos en perspectiva, explican el proceso de sedimentación de la cuenca y su relación con el proceso de generación, migración y acumulación de hidrocarburos.

LAURIER et. al. (1986). Realizan un estudio sedimentológico y bioestratigráfico del área Dragal-Cagigal, identificando las secuencias sedimentarias en las formaciones Merecure y base de Oficina. Según este estudio los sedimentos de Merecure corresponden a depósitos aluviales y la parte basal de Oficina a depósitos costeros y de plataforma interna con cuerpos arenosos correspondientes a canales distributarios.

EVA *et al.* (1989). Dividen la evolución geodinámica de la Cuenca Oriental de Venezuela en cuatro episodios mayores: a) Una fase de pre-“rift” de edad Paleozoico, b) Una fase de “rifting” y “drifting” de edad Jurásico y Cretácico Temprano, c) Un período de margen pasivo durante el Cretácico-Paleógeno y d) Una fase final de colisión oblicua en el Neógeno y Cuaternario que resulta en la formación de la Serranía del Interior y la transformación del margen pasivo a una cuenca antepaís.

ERLICH & BARRET (1990), elaboraron un trabajo donde proponen la evolución histórica de la tectónica del norte del área de Venezuela-Trinidad, en donde determinaron que la misma ha estado dominada por el desplazamiento discreto de bloques con desplazamientos notables. Este estudio sugiere que las fallas y las estructuras de transpresión-transensión-compresión identificadas, son el resultado del movimiento de la placa del Caribe desde el Paleoceno a lo largo del margen este.

FUNES, D. et al (1994). Realizan un estudio de trampas estratigráficas, en la Cuenca Oriental de Venezuela. Según este estudio aproximadamente 13% de las reservas recuperables de hidrocarburos, en 59 campos densamente perforados en el Área de Anaco y Mayor de Oficina, están asociados a acumulaciones estratigráficas. También determinaron que alrededor de 80% de los yacimientos estratigráficos, presentan espesores iguales o menores a 25 pies y se ubican en profundidades entre 8000' y 12000'; lo cual, según un estudio de resolución sísmica, también realizado en este último trabajo, hace imposible su detección directa con los datos sísmicos existentes en el área.

PARNAUD, *et.al.* (1995). Describen dos provincias principales en la parte central de la Cuenca Oriental, construyen un modelo geológico de ambas provincias utilizando datos estructurales, estratigráficos y geoquímicos. Desarrollan los sistemas petrolíferos de la región.

DI CROCE, *et.al.* (1999). Utilizan el análisis secuencial y estructural para obtener una visión integrada de la Subcuenca de Maturín, el trabajo se basa en datos sísmicos.

ANGULO, S. et al (2001). Realizan un estudio sedimentológico de la Formación Naricual en los campos Carito Norte y Oeste al norte del estado Monagas. En base a las asociaciones de facies sedimentarias, a las icnofacies y a la información bioestratigráfica obtenida a partir del estudio de los núcleos, sugieren un ambiente depositacional deltaico, en el cual se reconocen los subambientes de llanura deltaica baja, bahía, frente deltaico y prodelta

MORALES (2002). Define el marco estratigráfico del campo Socororo Oeste, para las formaciones Merecure y Oficina, a partir de la correlación de registros de pozos, y de la recopilación de las líneas sísmicas 2D presentes en dicho campo. Realiza el cálculo volumétrico del petróleo original en sitio a partir de los mapas isópacos estructurales de las arenas U2U y U1M, L.

REINA (2002). Realiza la interpretación sísmica 3D estructural y estratigráfica del Campo Socororo en el intervalo comprendido por las formaciones Oficina y Merecure Inferior/Media; a través de la misma identifica sistemas de fallas normales con orientaciones NE-SW y NW-SE, característicos de esfuerzos distensivos y propone la transición ambiental entre depósitos continentales a marino somero.

ORSINI (2004). Desarrolla el modelo geológico de la secuencia de arenas medias P de la Formación Oficina en su parte basal, estas arenas que se encuentran limitadas, estratigráficamente, en la base por una discontinuidad que constituye un límite de secuencia (SB) y en el tope por una superficie de inundación (tope PIU). Muestra una

tendencia general de los cuerpos de arena norte-sur y un rango de espesor de reservorio entre 2 y 30 pies; también reconoce canales distributarios con influencia de marea, llanuras de marea y arenas estuarinas, todos estos depositadas en un ambiente general de estuarios.

GONZALEZ, A. et al (2005). Definen un modelo sedimentológico y estratigráfico de las arenas U (formaciones Merecure y Oficina), y de las arenas H y J (Formación Oficina), en el Campo Socororo Oeste que se encuentra dentro del Área Mayor de Socororo, en el estado Anzoátegui. Los autores proponen que el ambiente sedimentario de este intervalo estratigráfico se depositó dentro de la planicie deltáica, donde la influencia fluvial permitió el desarrollo de canales meandriiformes sobre antiguos distributarios.

LEON, M. et al (2006). Realizar un modelo estratigráfico-estructural del campo Socororo Este, estado Anzoátegui, Cuenca Oriental de Venezuela, en el intervalo comprendido entre las arenas U1U hasta H4,5,6 correspondiente a la parte basal y media de la Formación Oficina, la cual caracterizan como un sistema de ciclos deltaicos progradantes con influencia de marea marcada en las zonas de frente deltaico.

GONZALEZ, E. (2007). Utiliza la aplicación Petrel de Schlumberger como herramienta informática para realizar un modelo estratigráfico 3D, para las arenas de la unidad del B-6, pertenecientes a la Formación Misoa (Eoceno Medio) del Campo Cabimas, al norte del Campo Costanero Bolívar, costa oriental del Lago de Maracaibo, Edo. Zulia.

## CAPÍTULO II

### 2. GEOLOGÍA REGIONAL

#### 2.1 Generalidades

La Cuenca Oriental de Venezuela es una depresión topográfica y estructural ubicada en la región Centro -Este del país. Abarca los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro, llegando a extenderse hasta la Plataforma Deltana y Sur de Trinidad. Está limitada al Norte por el Cinturón Móvil de la Serranía del Interior Central y Oriental, al Sur por el Río Orinoco, al Este se prolonga hasta la Plataforma Deltana y al Oeste la limita el levantamiento de El Baúl (Figura 4). Esta cuenca posee una longitud aproximada de 800 Km en sentido Este-Oeste, un ancho promedio de 200 Km y un área aproximada de 16500 Km<sup>2</sup>.

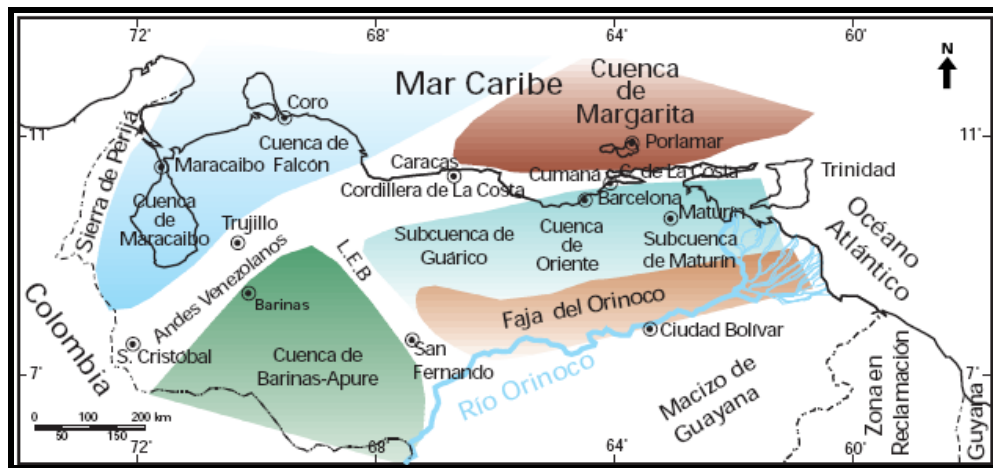


Figura 4 Cuencas petrolíferas de Venezuela, basadas en la distribución de sus Provincias Sedimentarias (Modificado de Pérez de Mejía et. al., 1980). L.E.B. = Lineamiento de El Baúl, límite entre las cuencas de Oriente y Barinas-Apure. Tomado del WEC, 1997

La cuenca actual es asimétrica, con el flanco Sur ligeramente inclinado hacia el Norte y un flanco Norte más tectonizado y con mayores buzamientos, conectado a la zona plegada y fallada que constituye el flanco meridional de las cordilleras que limitan la Cuenca hacia el Norte. Toda la cuenca se inclina hacia el Este, de manera que su

parte más profunda se encuentra al Noreste, hacia Trinidad, donde se estima que pudieron acumularse unos 40.000 pies de sedimentos.

Las principales formaciones productoras presentes en la Cuenca Oriental son Oficina y Merecure, que fueron sedimentadas en ambientes transgresivos sobre el flanco sur de la cuenca, y presentan muy bajo relieve en ambientes de llanuras deltaicas con extensas áreas pantanosas, con abundante vegetación, intercalaciones de aguas salobres y sistemas de caños de dirección generalizada al Norte y ocasionales incursiones de aguas marinas (Figura 5). Además, presentan un engrosamiento de las formaciones de sur a norte y desaparición de las arenas hacia el noreste (González de Juana et. al 1980).

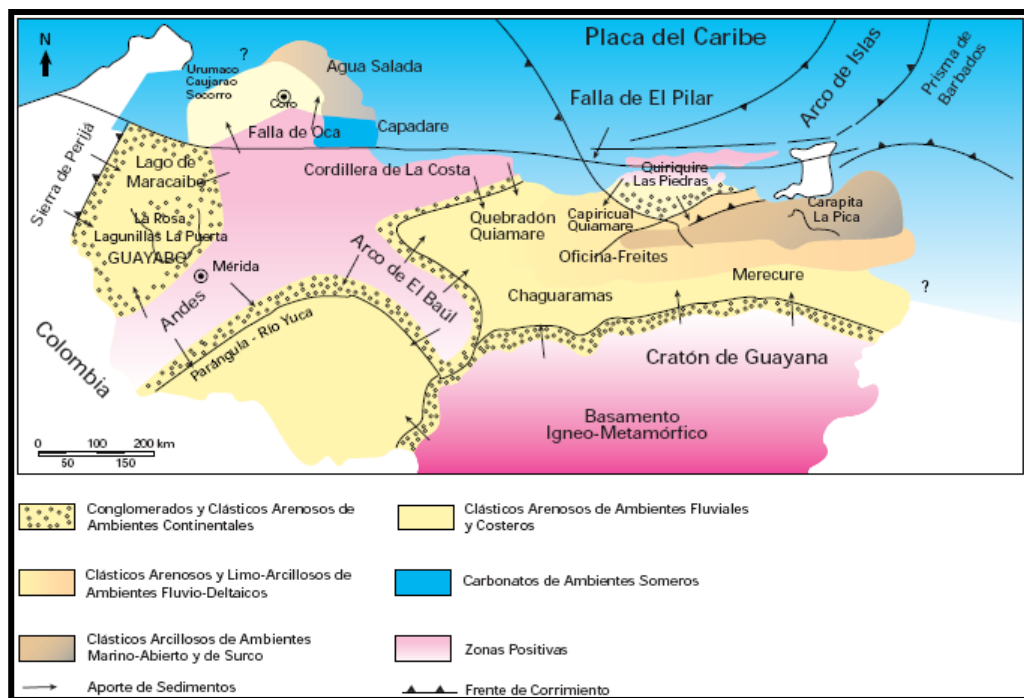


Figura 5 Marco geológico regional para la sedimentación en Venezuela durante el Mioceno-Plioceno. Tomado del WEC, 1997.

Esta cuenca ha sido subdividida operacionalmente en dos subcuencas, la Subcuenca de Guárico al oeste y la Subcuenca de Maturín al este. Dallmus (1963) utiliza como

elemento de separación entre ambas el llamado Arco de Urica (González de Juana *et al.*1980).

### 2.1.1 Subcuenca de Guárico

Según Yoris & Ostos (1997), esta subcuenca comprende el estado Guárico y parte norte de Anzoátegui; el flanco norte se encuentra asociado al frente de deformación, también llamado frente de corrimientos, donde se ubica el sistema de fallas de Guárico. Este frente muestra un complejo marco tectónico, puesto que sobrecarga rocas cretácicas y terciarias; el flanco sur muestra evidencias de depresiones estructurales en las que se conservaron rocas jurásicas y paleozoicas y en donde las secuencias cretácicas y terciarias se acuñan en el mismo sentido. Las principales trampas son combinaciones del tipo estratigráfico y estructural, en campos alejados al frente de deformación.

### 2.1.2 Subcuenca de Maturín

La Subcuenca de Maturín, que constituye la principal unidad petrolífera de la Cuenca Oriental de Venezuela, está ubicada en la parte este de la cuenca su forma es alargada asimétrica en dirección N50E paralela a la Serranía del Interior. Su flanco sur pasivo, está apoyado en el basamento ígneo metamórfico del Escudo de Guayana, caracterizado por un régimen extensivo; mientras que el flanco norte activo presenta estructuras compresivas asociadas a la colisión entre las placas Caribe y Suramericana, lo que propicia la definición de dos dominios operacionales, uno hacia el norte del Corrimiento de Pirital y otro hacia el sur (Figura 6; Yoris, 1997).

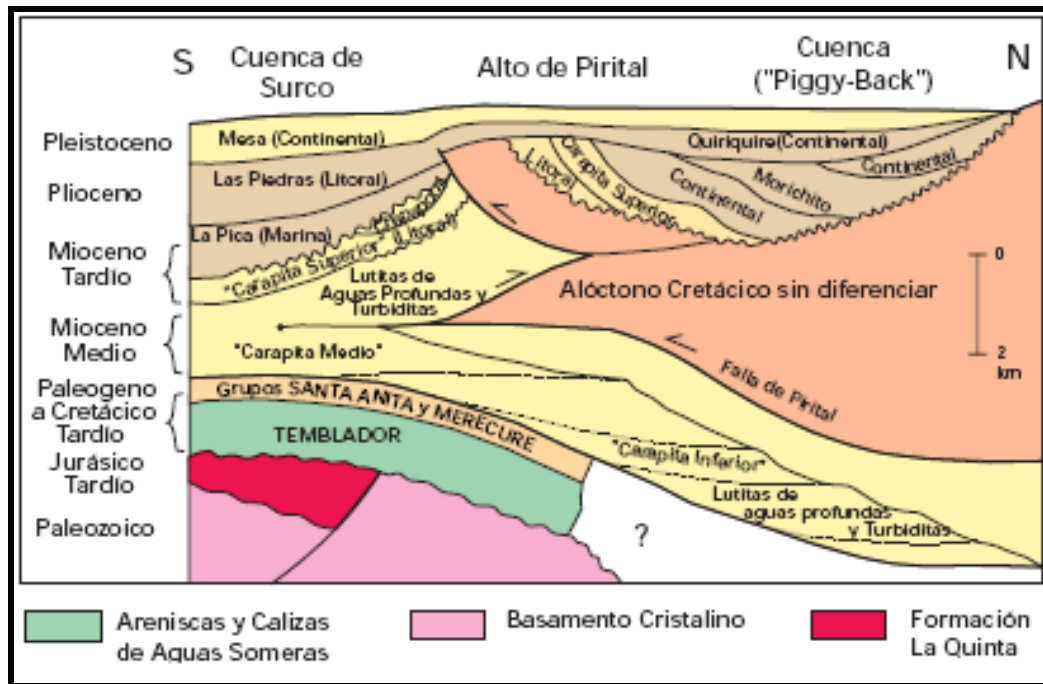


Figura 6 Sección estructural mostrando las unidades tectono-estratigráficas en el flanco norte de la Subcuenca de Maturín. (Yoris y Ostos, 1997)

## 2.2 Marco geológico estructural

La Cuenca Oriental de Venezuela es el resultado de una compleja evolución tectónica iniciada en el Mesozoico con la ruptura de Pangea, la deriva de Suramérica hasta el desarrollo y migración de la Placa del Caribe (Figura 7). La cuenca está asociada con la migración relativa hacia el este de la Placa Caribe a lo largo de la falla transcurrente dextral de El Pilar (Pindell, 1988; Erlich y Barrett, 1992).

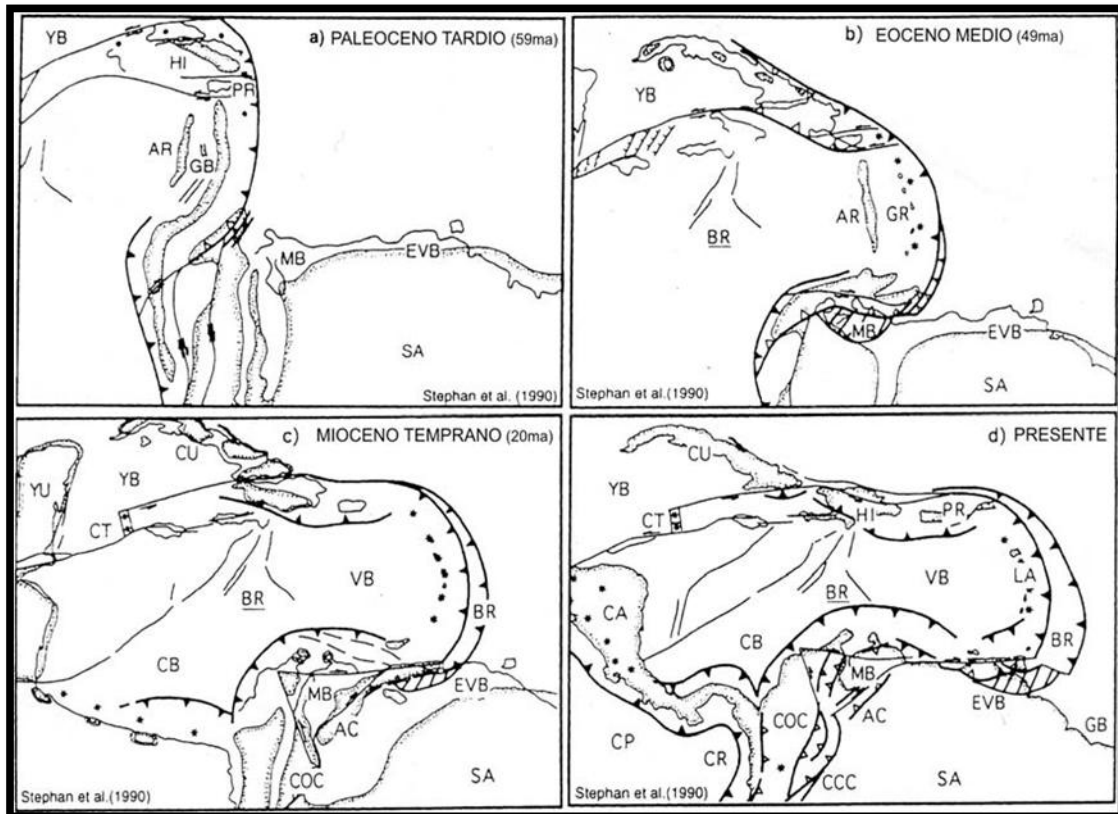


Figura 7 Los cuatro estados del desarrollo de los límites Norte y Sur de la Placa del Caribe desde el Paleoceno tardío al Reciente asociado con la migración hacia el Este de la Placa Caribe. Abreviaturas:

AC = América Central; AM = Antillas Menores; CA = Cordillera de los Andes; CC = Cuenca Colombia; CCC = Cordillera Central de Colombia; CG = Cuenca de Granada; COC = Cordillera Occidental de Colombia; CM = Cuenca de Maracaibo; CV = Cuenca de Venezuela; CU = Cuba; CY = Cuenca de Yucatán; DC = Depresión Caimán; IE = Isla Española; PC = Placa del Caribe; PR = Puerto Rico; RB = "Ridge" de Barbados; RB = "Ridge" de Beata. (Stephan *et al*, 1990).

Según PARNAUD *et al*, (1995) la formación de la cuenca oriental de Venezuela se asocia directamente con la fase de colisión oblicua durante el Neógeno-Cuaternario entre la Placa Caribe y la Placa Suramericana, proceso tectónico mayor que dio origen al levantamiento de la Serranía del Interior Oriental y consecuente flexura de la corteza continental al sur, generando una cuenca tipo Antepaís ("Foreland") (Figura 8).



“foreland”. La colisión oblicua migró progresivamente hacia el este durante el Oligoceno Tardío al Mioceno Temprano, dividiendo la cuenca antepaís en tres áreas: (1) un área al sur (desde Cerro Negro a Oritupano) que corresponde a la zona de plataforma, (2) una zona central (desde Acema-Casma a Pirital) correspondiente al “foredeep”, y (3) un área al norte (norte de la falla de Pirital) correspondiente al área de cabalgamientos.

### 2.2.1 Provincias Tectónicas

De acuerdo a Parnaud (1995), la Cuenca Oriental de Venezuela está dividida en diversas provincias tectónicas, las cuales tienen características estructurales, que permiten separarlas y diferenciarlas en autóctonas y alóctonas, de la siguiente manera:

#### 2.2.1.1 Provincia Autóctona

Que se extiende desde el eje de la cuenca al Río Orinoco. Es de tipo extensional y está caracterizada por fallas normales con tendencia N60°-70°E y fallas transcurrentes, que son más jóvenes en la parte sur que en la parte norte. La tendencia de las fallas transcurrentes N70°O está solo presente en la parte norte de la provincia, afectando tanto a depósitos cretácicos como paleógenos. Fallas gravitacionales de colapso inclinadas hacia el norte afectan las rocas sedimentarias del Mioceno y Plioceno.

#### 2.2.1.2 Provincias Alóctonas

Que se extienden desde la falla desde El Pilar hasta el eje de la cuenca, que corresponde a un sistema con vergencia sur. Es un estilo estructural compresivo caracterizado por lo siguiente:

- Delgadas unidades tectónicas superficiales, que consisten en depósitos cretácico-terciarios que son despegados de su sustrato a lo largo de estructuras mayores de despegue en la interfase Jurásico-Cretácico (evaporitas o carbones).

- La deformación frontal de la provincia alóctona localmente corresponde a zonas triangulares, con progresivos acunamientos de la antifosa, la Formación Carapita depositada en este "foredeep", zonas Mesozoicas y Paleógenas en la rampa anticlinal El Furrial. Otra estructura triangular ocurre por debajo de la deformación frontal que se encuentra presente a lo largo del alto de Pirital.
- Pliegues de escala kilométrica y asociados a los cabalgamientos con tendencia N60°-70°E, que son principalmente rampas anticlinales como en el área del Furrial.
- La secuencia de corrimientos, que son principalmente una secuencia de cuenca transportada (piggyback).
- Fallas dextrales transcurrentes con una dirección N50°-60°O (fallas de Urica, San Francisco y Los Bajos), que separan la Serranía del Interior en áreas de evolución estructural diacrónica (Figura 9).

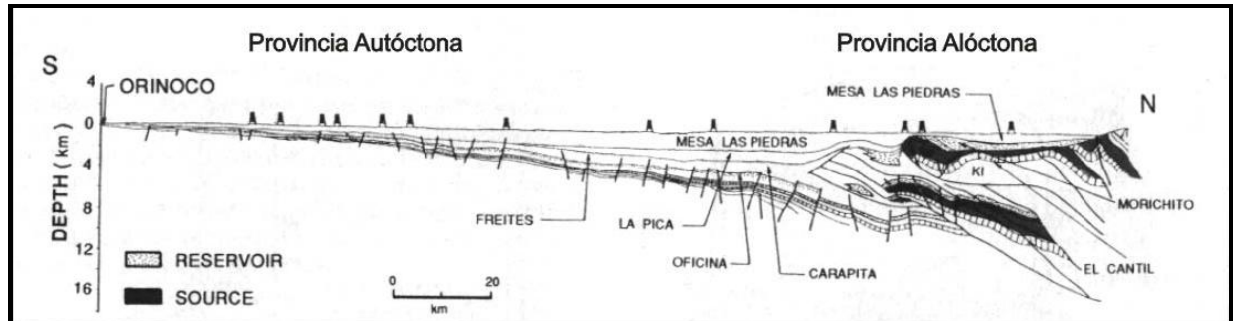


Figura 9 Corte Geológico conceptual de la Cuenca Oriental de Venezuela, que muestra la Provincia Autóctona y parte de la Provincia Alóctona (Modificado de PARNAUD *et al.* 1995).

### 2.3 Estratigrafía regional

Parnaud (1995) definen cuatro megasecuencias depositacionales en la Cuenca Oriental de Venezuela (Figura 10): megasecuencia pre-“rift”, megasecuencia “rift”, megasecuencia de margen pasivo y megasecuencia de colisión oblicua. Todas estas fueron desarrolladas desde el Paleozoico, en un proceso de “rifting”, hasta el Cenozoico asociadas con un evento transpresivo en el borde norte de Suramérica.

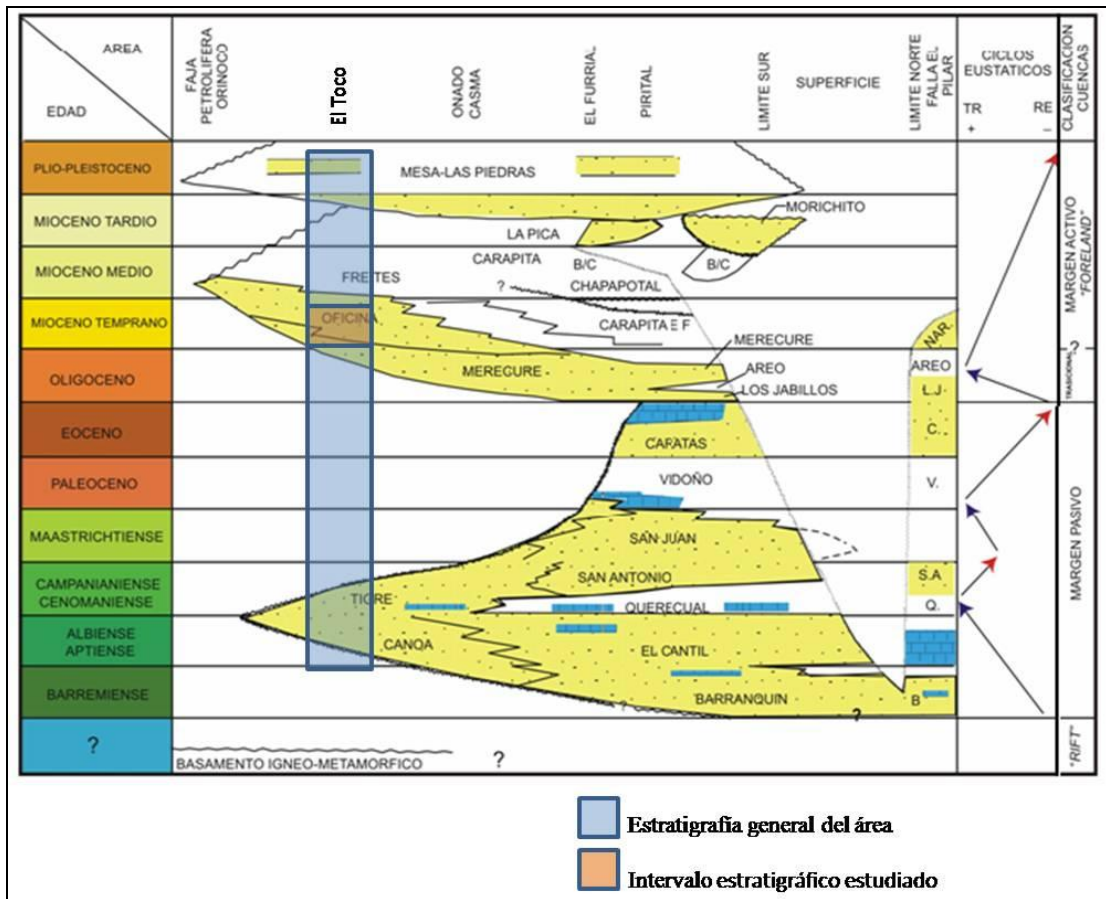


Figura 10 Cuadro Correlativo de la Cuenca Oriental de Venezuela. Modificado de Parnaud (1995).

### 2.3.1 Megasecuencia “pre-rift”: (Pz)

Ésta etapa se desarrolla durante el Paleozoico y es la responsable de la depositación de secuencias sedimentarias en ambientes neríticos y costeros como las formaciones Hato Viejo y Carrizal en la subcuenca de Guárico (Parnaud *et al.*, 1995).

### 2.3.2 Megasecuencia “Rift”: (Jr)

La megasecuencia rift que se desarrolló durante el Jurásico Tardío-Cretáceo Temprano, se ha descrito como Formación Ipire, al Oeste, en el graben de Espino. Esta formación fue depositada en un ambiente continental y está compuesta, principalmente, por lutitas rojas con “sills” basálticos. Esta secuencia alcanza un espesor de unos 3.600m.

### 2.3.3 Megasecuencia de Margen Pasivo: (K)

El periodo de margen pasivo se desarrolla entre el Cretaceo temprano (Aptiense-Albiense) y el Paleogeno, permitiendo el desarrollo de una plataforma relativamente estable. Está caracterizado por tres transgresiones de Norte a Sur que culminan durante el Turoniense, Paleoceno-Eoceno Temprano y el Oligoceno, respectivamente.

- a. *Primera Transgresión:* Esta fase transgresiva inicial comienza con la depositación de la arenisca basal de la Formación Barranquin. El máximo avance transgresivo está marcado por la depositación en un ambiente de plataforma carbonática. Durante este periodo se depositaron la roca madre principal de las formaciones Querecual y San Antonio.
- b. *Segunda Transgresión:* La segunda fase de transgresión ocurre durante la época del Paleoceno-Eoceno, la cual se encuentra representada por la Formación San Juan, la cual presenta facies regresivas de abanicos submarinos (Parnaud *et. al.* 1995).

- c. *Tercera Transgresión*: La última transgresión importante se define como un ciclo transgresivo-regresivo y ocurre durante el Oligoceno con la depositación de la Formación Merecure, característica de ambientes continentales (Parnaud *et al.*, 1995).

#### 2.3.4 **Megasecuencia de Colisión oblicua: (T)**

La etapa de margen pasivo finaliza durante el Oligoceno cuando se inicia la colisión oblicua de la Placa Caribe con el borde nororiental de la placa suramericana. El choque entre las dos placas genera un cambio en la cuenca y forma una cuenca antepaís o "foreland basin"; esta colisión migra progresivamente hacia el este durante el Oligoceno al Mioceno Temprano, dividiendo la cuenca foreland en tres áreas:

- (a) Un área sur que corresponde a una zona plataforma.
- (b) Una zona central correspondiente a la antefosa o "foredeep"
- (c) Un área al norte correspondiente al área de corrimiento; el empuje del frente de deformación aplicado al borde norte continental de Suramérica ocasionó la migración del foredeep de norte a sur.

## 2.4 Estratigrafía de la zona de estudio

### 2.4.1 Cretácico

- ***Grupo Temblador***

Representa toda la sedimentación Cretácica conocida en el subsuelo al sur de los estados Anzoátegui y Monagas, descansa discordante sobre el Escudo de Guayana. El Grupo Temblador está constituido por las formaciones Canoa y El Tigre.

- ***Formación Canoa (Aptiense-Albiense)***

Originalmente descrita por Hedberg *et al.* (1947) en el pozo Tigre-1. Consta de Conglomerados de grano fino y areniscas conglomeráticas, areniscas, limolitas y arcilitas generalmente moteadas con manchas grises, gris verdoso, amarillo, marrón, rojo, púrpura. Se encuentran también algunos intervalos de grano grueso, areniscas y limolitas blanquecinas, pulverulentas e intercalaciones de arcilita gris azulada, con restos de plantas. Se sugiere una depositación en ambientes continentales por la presencia de conglomerados y restos de plantas, posiblemente fluvial del tipo barra de meandro (LEV, 2004).

- ***Formación Tigre (Turonense-Maastrichtense)***

Esta unidad está definida según Hedberg *et al.* (1947), en el pozo Tigre-1, intervalo 1769-1864 m (5805'-6117'). La formación es una secuencia variable, irregularmente estratificada, de areniscas y limolitas de grano fino, glauconíticas, gris a gris verdoso areniscas gruesas friables y espesas, limolitas gris a gris verdoso y lutitas carbonosas y fosfáticas. Hay intercaladas en la sección, calizas dolomíticas y dolomias en capas blanquecinas, delgadas, duras y con frecuencia fosilíferas y glauconíticas. Se presentan pocos intervalos de arcilitas blancas y moteadas.

El ambiente sedimentario de la formación es generalmente profundo y de tipo talud, con el desarrollo de ambientes de plataforma hacia el sur de la región de guárico. La

transición entre ambos ambientes, fue muy suave y con pocas diferencias. La plataforma presentaba variaciones en extensión, dando por origen variación en los espesores y texturas de las calizas. (LEV, 2004).

#### 2.4.2 Terciario

- ***Formación La Pascua (Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano)***

La Formación La Pascua constituye un clástico basal asociado con la transgresión marina sobre una amplia extensión del norte de Venezuela durante el Eoceno Tardío-Oligoceno. Esta unidad consiste de areniscas y lutitas oscuras y algunos lignitos, que gradan hacia el norte y oeste a lutitas de la facies Roblecito.

Las tendencias de engrosamiento, la orientación NO-SE de los canales y el afinamiento de las areniscas hacia el noroeste, indican una fuente de sedimentos en el escudo de Guayana. Fasola *et al.* (1985) en LEV (2004), interpretaron, para la Formación La Pascua, ambientes de marino marginal a costa afuera hacia el oeste, y pantanos, estuarios y bahías interdistributarios hacia el oeste. Isea (1987) representa a La Pascua como areniscas regionales transgresivas en la forma de barras litorales, depósitos de zona de marea o de playa, con algunas lutitas de lagunas o estuarios, todos con una orientación este-oeste preferencial.

- ***Formación Roblecito (Eoceno Tardío-Mioceno Temprano)***

De acuerdo al LEV (2004) la secuencia La Pascua-Roblecito-Chaguaramas fue definida en el Campo Mercedes en 1941. Probablemente, el nombre proviene del pueblo de Roblecito, cerca del campo Mercedes, en el distrito Infante del estado Guárico. La formación consiste en lutitas gris a gris oscuro, medianamente duras, físis, comúnmente limosas, no-calcáreas, frecuentemente glauconíticas y microfósilíferas. Las lutitas, limolitas y areniscas de la parte basal muestran bioturbaciones, laminaciones onduladas, rizaduras de corriente, estratificación cruzada de torrente ("hummocky cross-bedding") y estratificación de espina de

pescado ("herringbone cross-bedding"), además de niveles de pelecípodos. Cabrera (1996) interpretó un paleoambiente para la Formación Roblecito que variaba desde plataforma media durante el Eoceno Tardío, a plataforma externa, con períodos de ambiente de talud, durante el Oligoceno Medio.

Un aspecto notable es la persistencia de características de electrofacies que reflejan una sedimentación cíclica formada por cientos de ciclos gradacionales hacia arriba desde lutitas limpias a lutitas limosas a limos y, localmente a areniscas de grano muy fino. Las correlaciones de electrofacies, utilizando la curva de resistividad amplificada, pueden seguirse con precisión a través de casi toda la cuenca. (LEV, 2004).

- ***Formación Merecure (Oligoceno-Mioceno Temprano)***

Esta unidad fue descrita en pozos no especificados del Campo de Santa Ana, en la región de Anaco, estado Anzoátegui y se encuentra conformada por más del 50 % de areniscas gris claro a oscuras, masivas, lenticulares, duras, presentan una mala estratificación, algunas veces del tipo cruzada, poseen granos finos a gruesos, incluso conglomeráticas. Las arenas están separadas por láminas o intervalos delgados de lutitas gris oscuro a negro, carbonáceas, algunas arcilitas ferruginosas y lignitos (Funkhouser *et al*, 1948).

Según (LEV, 2004) las características litológicas indican que la sedimentación de esta unidad se desarrolla en un sistema fluvio-deltáico, sin embargo la presencia de canales que coalescen indican que Merecure se encuentra en la zona más continental del delta y está dominado por corrientes fluviales entrelazadas.

El tope de la Formación Merecure constituye un reflector sísmico regional como consecuencia del contraste acústico causado por la diferencia litológica existente entre las arenas masivas de Merecure y la alternancia arenisca-lutita de Oficina, sin embargo, ambas formaciones son concordantes. Hacia la base, el contacto entre la Formación Merecure y el Grupo Temblador presenta una marcada discordancia basal,

la cual no se puede observar, debido a que la posición estructural de ambas unidades es subparalela. Tanto el tope como la base de la formación se hacen más jóvenes hacia el sur, por el avance del mar en esa dirección. (Reina, 2002).

- ***Formación Chaguaramas (Oligoceno Tardío - Mioceno Medio)***

Según LEV (1970), se define como área tipo, las cercanías del pueblo de Chaguaramas, en Guárico Central. La formación consiste básicamente de una alternancia de areniscas, lutitas y lignitos de agua salobre, con desarrollos locales de arcillas de agua fresca y conglomerados de guijarros arcillosos.

LEV (1957) sugiere dos tipos distintos de ambientes sedimentarios para la Formación Chaguaramas. un ambiente de pantanos costaneros extensos, ambiente que fue marcado por una abundancia de bancos ligníticos delgados intercalados, y una cantidad apreciable de arena micácea con cementación secundaria moderada. Posteriormente el aspecto de la cuenca cambió convirtiéndose en llanuras expuestas a secamientos intermitentes y a una fuerte oxidación, lo que produjo una acumulación de arcillas abirragadas. Algunos lignitos fueron depositados en las capas superiores durante intervalos de clima húmedo.

Las alteraciones de areniscas, lutitas y lignitos se representan sísmicamente por reflexiones de alta amplitud y excelente continuidad lateral.

- ***Formación Oficina (Mioceno Temprano - Medio)***

Hedberg (1947) describe esta unidad en el Pozo Oficina N° 1 (OG-1) en el distrito Freites. De acuerdo a LEV (2004), esta unidad se caracteriza por alternancias de lutitas grises, limolitas y areniscas de colores claros y de tamaño de grano fino a grueso, variando en proporción de base a tope de la formación. Es común la presencia de carbones y lutitas carbonáceas. La parte basal presenta relativamente mayor porcentaje de areniscas, intercaladas con limolitas, lutitas y carbones de espesor variable. Hacia la parte media de la formación aumentan los espesores de lutitas y se

reduce la presencia de areniscas, apareciendo con espesores muy delgados, los cuales incrementan nuevamente hacia la parte superior.

El ambiente que caracteriza esta formación es fluvio-deltáico, con predominancia de ambiente fluvial en la parte basal, el cual precede a una etapa de transgresión marina y continúa con ciclos que caracterizan a un delta progradante.

- ***Formación Freites (Mioceno Medio a Mioceno Tardío basal)***

Es descrita en los pozos del campo Oficina en el distrito Freites, la misma consiste en lutitas físis gris verdoso con areniscas arcillosas, blanco verdosas y de grano fino en el tope e intercalaciones de lutitas y areniscas verde-amarillentas y de grano medio a grueso en la base de la formación (Hedberg, 1947). En general la sedimentación ocurre en ambientes marino somero que pasa a condiciones más profundas en la parte media y aguas llanas, nuevamente, en el tope de la unidad (LEV, 2004).

## CAPITULO III

### 3. MARCO TEORICO

En función de lograr un mejor entendimiento del contenido de este trabajo se presentan a continuación una serie de conceptos y principios, tanto sedimentológicos como estratigráficos, con intención de ilustrar los fundamentos básicos de este estudio.

#### 3.1 Facies Sedimentarias

Según Walker y James (1992) el concepto de facies fue introducido por Gressly en 1838, definiéndola como un cuerpo de roca con características específicas de litología, estructuras físicas y biológicas que se diferencia de los cuerpos supra e infrayacentes. Idealmente una facies podría ser un tipo característico de roca que ha sido formada bajo ciertas condiciones de sedimentación, que refleja un ambiente o proceso de depositación particular.

##### 3.1.1 Asociación de Facies

En muchos estudios, las facies han sido definidas en pequeña escala, con unidades de solo algunos metros de espesor, y con diferencias sutiles entre facies, envolviendo, por ejemplo, cambios menores en proporción de limo y lodo, la relativa abundancia y diversidad de fósiles, y pequeñas diferencias en el estilo de la laminación (Walter, 1983). Esta subdivisión detallada comúnmente resulta en un esquema de facies donde las diferencias descriptivas sobrepasan nuestra habilidad de interpretarlas. Debido a esto, es conveniente combinar facies estrechamente relacionadas en *asociaciones de facies* o “grupos de facies genéticamente relacionadas entre sí y que tienen un significado ambiental” (Collinson, 1969), Estas asociaciones de facies de gran escala también han sido denominadas *elementos arquitectónicos* (Allen, 1983) dado que

ellos son como bloques constructores de varios sistemas depositacionales, este concepto también se refiere a la geometría tridimensional de las asociaciones de facies. (Walker y James, 1992)

A la escala de elementos arquitectónicos, se encuentra que en algunos sistemas depositacionales, ciertos elementos ocurren *universalmente* en sedimentos antiguos y recientes, en muchos marcos geológicos diferentes y en varias partes alrededor del mundo. El primer esquema de facies universal fue propuesto para turbiditas (Mutti y Ricci Lucchi, 1972) y, Miall (1977, 1985) sugirió un esquema para depósitos fluviales. Por ejemplo: el elemento arquitectónico de canal de Miall (CH) consiste en una combinación de una serie de litofacies definidas las cuales tienen una geometría alargada de canal; es parte de la arquitectura de casi todos los ríos modernos y pueden reconocerse en la mayoría de los depósitos fluviales antiguos. (Walker y James, 1992).

**Tabla 1** Clasificación de las facies detríticas fluviales según Miall (1978)

<b>Gms</b>	grava masiva, con soporte de matriz	no tiene
<b>Gm</b>	grava masiva o algo estratificadas	estratificación horizontal e imbricación.
<b>Gt</b>	grava estratificada	estratificación cruzada en artesa ( <i>trough</i> ).
<b>Gp</b>	grava estratificada	estratificación cruzada planar.
<b>St</b>	areniscas, a veces con cantos	estratificación cruzada en artesa ( <i>trough</i> ).
<b>Sp</b>	areniscas, a veces con cantos	estratificación cruzada planar.
<b>Sr</b>	areniscas	<i>ripples</i> de diversos tipos.
<b>Sh</b>	areniscas	laminación horizontal, <i>parting lineation</i> .
<b>Sl</b>	arenisca fina	estratificación cruzada de bajo ángulo (<10°).
<b>Se</b>	niveles erosivos con cantos blandos	a veces estratificación cruzada, poco marcada.
<b>Ss</b>	areniscas, a veces con cantos	estratificación cruzada paralela a la base erosiva.
<b>Fl</b>	limos, arenisca, arcillas	laminación fina, <i>ripples</i> muy pequeños.
<b>Fsc</b>	limos, arcillas	laminada o masiva.
<b>Fcf</b>	lutitas	masiva, gasterópodos de agua dulce.
<b>Fm</b>	limos, arcillas	masiva, grietas de desecación.
<b>Fr</b>	limos, arcillas	raíces y restos vegetales.

Probablemente las facies individuales son influenciadas por muchos factores locales de pequeña escala, mientras que los elementos arquitectónicos son componentes de gran escala de un sistema depositacional. Ellos serán más naturales naturalmente, menos influenciados por factores locales, y por ende, más universal en su aplicación. (Walker y James, 1992)

### 3.1.2 Sucesiones de Facies:

El termino asociación de facies fue definido por Potter (1959) como una colección de atributos sedimentarios comúnmente asociados, incluyendo geometría, continuidad, y forma de la unidad litológica, tipo de roca, estructuras sedimentarias y fauna (tipos y abundancia). Otra definición nos habla de un grupo de facies genéticamente relacionadas entre sí, las cuales tienen un significado ambiental. Una asociación de facies esta por lo tanto, basada en observaciones y se puede expresar como una tabla de datos, como un sumario estadístico u un diagrama de ocurrencias estratigráficas. (Walker y James, 1992)

En estudios estratigráficos actuales, el término *sucesión de facies* ha sustituido a *secuencia de facies*. El concepto de sucesión implica que ciertas propiedades de las facies varían progresivamente en una dirección específica (vertical o lateralmente). Muchas veces, la mayoría de las facies descriptivas definidas en campo no dan una interpretación ambiental por sí solas. La clave para estas interpretaciones consiste en analizar conjuntamente todas las facies, en contexto. De este modo, la sucesión de facies aporta información importante que las facies consideradas individualmente no pueden aportar. (Walker y James, 1992)

## 3.2 Ambientes Depositacionales

Un ambiente sedimentario es un área de la superficie terrestre con determinadas características físicas, químicas y biológicas en la cual se acumulan sedimentos. Los ambientes sedimentarios ejercen un gran control sobre las configuraciones

geométricas, características petrofísicas y litológicas de los sedimentos depositados en ellos. En vista de su importancia, se considera que su estudio y el de sus productos son clave para la evaluación geológica de los yacimientos tanto de hidrocarburos, como de minerales metálicos y no metálicos.

### 3.2.1 Clasificación de los ambientes depositacionales

Al definir y reconstruir ambientes sedimentarios antiguos, resulta útil tener en cuenta los tipos de ambientes o medios sedimentarios presentes actualmente en la corteza terrestre, en la cual se reconoce las siguientes categorías: continentales, transicionales y marinos, debido al tipo e intensidad de los procesos sedimentarios que los controlan (ver tabla 2).

**Tabla 2** Clasificación de los ambientes depositacionales

Medios Continentales	Terrestre	Desértico Glacial
	Acuático	Fluvial Lacustre Pantanosos (Paludial) Cavernoso (Espeleado)
Medios de Transición		Deltaico Lagunal De Litoral
Medios Marinos		Nerítica Batial Abisal

En el presente trabajo solo se desarrollaran los conceptos concernientes al medio continental fluvial y al medio transicional deltaico, por ser estos los medios más importantes para este estudio.

### **3.2.2 Medio Continental**

#### **a. Sistema Fluvial**

El estudio de numerosos ríos y sistemas fluviales ha demostrado que la geometría de los canales se organiza según tres tipos morfológicos, en función de la sinuosidad del canal, y el número de canales activos simultáneamente (Schumm, 1977).

Según Cant (1982), pueden ser clasificados de la siguiente manera: rectilíneos, anastomosados, meandriformes y entrelazados. En la tabla 3 se puede observar la dependencia que tiene la geometría del canal con el flujo del mismo, permitiendo que el río sea más rectilíneo a medida que aumenta el flujo.

Tipo de Canal	Composición del Relleno de Canal	Geometría del Canal			Estructura Interna		Relaciones Laterales
		Sección Transversal	Aspecto en Mapas	Isolítico de Arena	Fábrica Sedimentaria	Secuencia Vertical	
CANAL DE CARGA DE LECHO	Predominio de arena	Relación Ancho / Profundidad alta. Relieve bajo o moderado sobre la superficie de erosión basal.	Recto a ligeramente sinuoso	Fajas anchas y continuas	La acresión de estratos domina el relleno sedimentario	Irregular, secuencia grano-decreciente mal desarrollada	Los rellenos de canales multilaterales generalmente exceden volumétricamente los depósitos de albardón.
CANAL DE CARGA MIXTA	Mezcla de arena, limo y fango	Relación Ancho / Profundidad moderada. Relieve alto sobre la superficie de erosión basal	Sinuoso	Complejas fajas "en rosario"	Tanto la acresión de bancos como de estratos se preserva en el relleno de sedimentos	Perfiles grano-decrecientes bien desarrollados	Los rellenos de Canales multi-históricos se subordinan generalmente a depósitos de albardón circundantes
CANAL DE CARGA EN SUSPENSIÓN	Predominio de limo y fango	Relación Ancho / Profundidad baja a muy baja. Erosión del relieve alto con márgenes escarpados. Algunos segmentos con Talwegs múltiples	Altamente sinuoso o anastomosado	Filiforme o vainas	La acresión de bancos (simétrica o asimétrica) domina el relleno de sedimentos	Secuencia dominada por material fino, por lo que las tendencias pueden no ser claras	Los rellenos de canales multi-históricos se encierran en abundante lodo y arcilla de los albardones

**Tabla 3** Características sedimentarias y geomorfológicas correspondientes a canales fluviales (Modificado de Galloway, 1977).

- **Depósitos de ríos entrelazados**

La morfología de estos ríos se esquematiza por una débil sinuosidad del canal y por la presencia de una red compleja de canales secundarios, separados por numerosas barras. La anchura del cauce puede ser muy importante (varios kilómetros) por una profundidad débil (1-10 metros). Por migración lateral, estos cauces pueden barrer grandes extensiones laterales (hasta centenares de kilómetros) en un plazo corto de tiempo. (Allen, G.P, 1992). Ver figura 11.

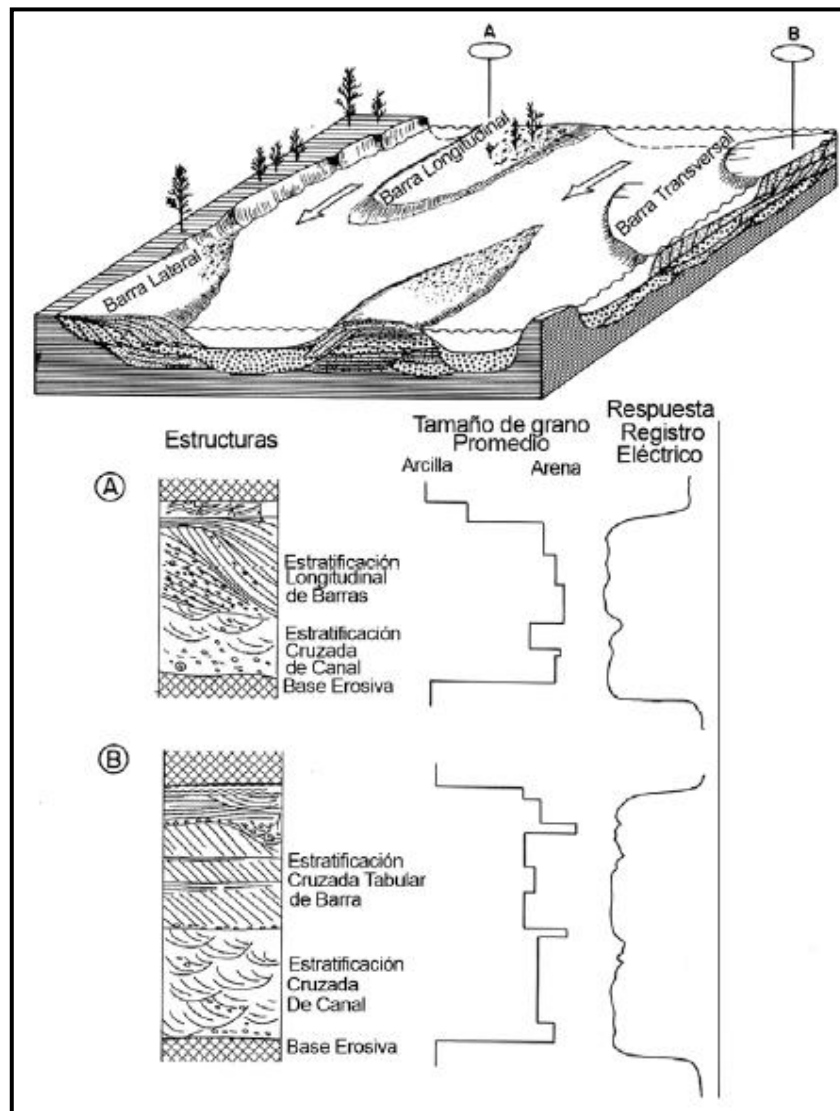


Figura 11 Modelo de depositación generalizado, donde se muestra la variación del tamaño de grano y respuesta del registro eléctrico (S.P.) en dos puntos de un canal ramificado. Modificado de GALLOWAY & HOBAY (1983).

- **Depósitos de ríos Meandriformes**

Están caracterizados por una fuerte sinuosidad, por la presencia de un solo canal, y una mayor estabilidad morfológica que en los ríos entrelazados. Los meandros son curvas pronunciadas que se forman en canales de pendiente baja, y representan la

trayectoria de menor resistencia al flujo de corriente. La secuencia vertical puede tener un espesor de 5 a 20 metros y comienza generalmente con una capa de grava o arena gruesa, sobre la cual se depositan sucesivamente arena media, arena fina, limo y arcilla. Bajo condiciones de clima húmedo el depósito puede estar coronado por una arcilla orgánica o por una capa de carbón. Las estructuras sedimentarias están representadas por estratificación cruzada a escala media en la parte basal y rizaduras de escala pequeña hacia el tope. Ver figura 12.

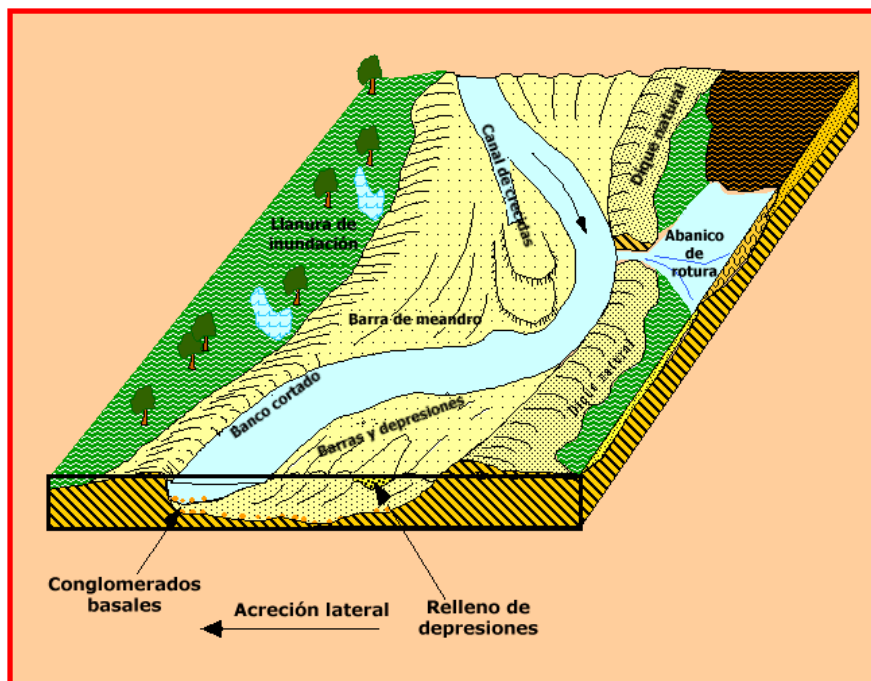


Figura 12 Corte de un canal meandriforme en la zona de la Barra de meandro. Obsérvese la disposición de los demás cuerpos sedimentarios. La erosión del lado donde incide la corriente y simultáneamente la formación de las barras, producen una migración lateral del meandro y acreción lateral de las barras, que puede ser de varios kilómetros o decenas de kilómetros.

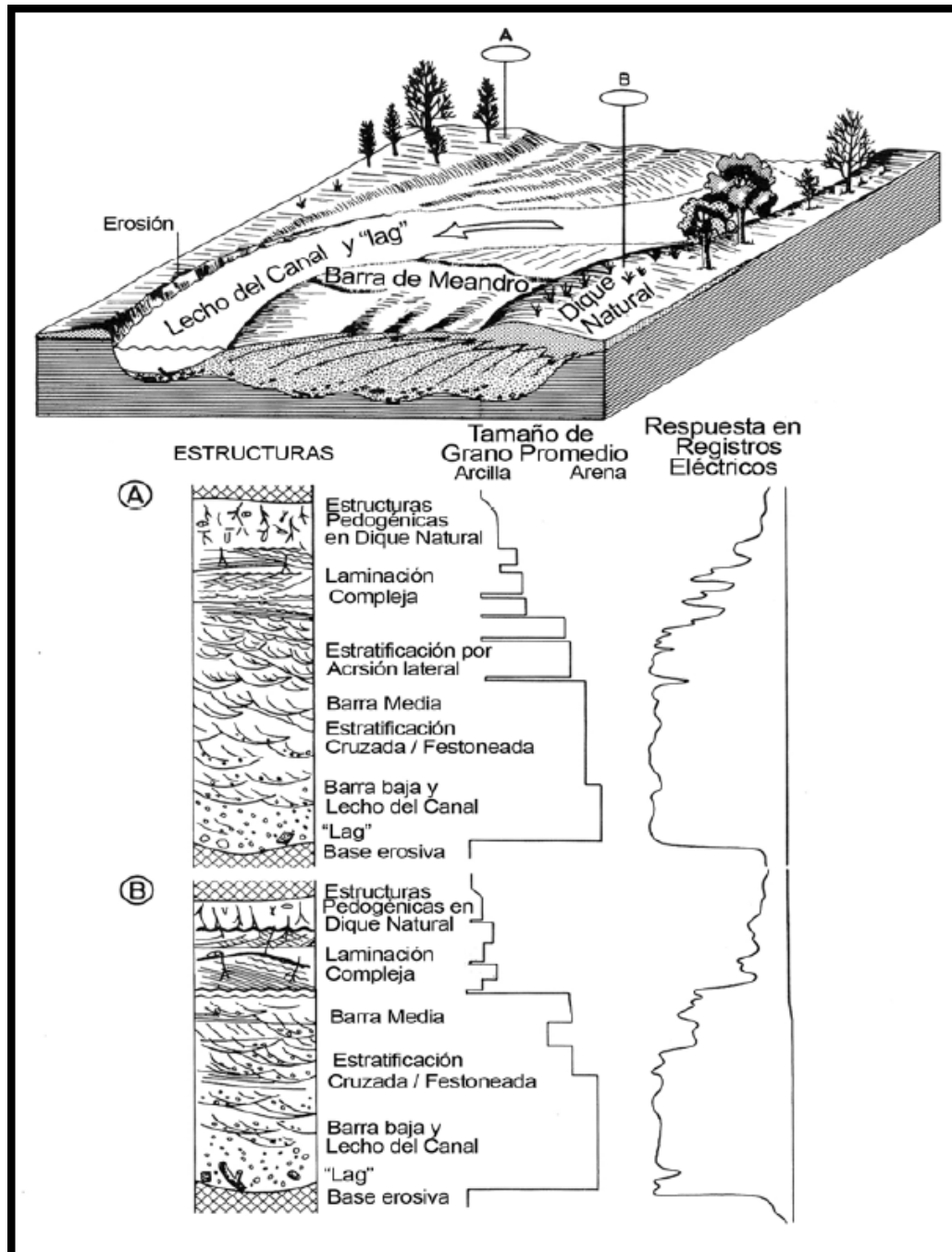


Figura 13 Modelo depositacional generalizado, secuencia vertical y respuesta del registro eléctrico (S.P.) de un cuerpo de arena de una franja de meandros producido por una alta sinuosidad del canal. Modificado de GALLOWAY & HOBAY (1983).

- **Depósitos de ríos Anastomosados**

Una variación de los canales entrelazados son los canales que se anastomosan, es decir, canales individuales trenzados que se forman en las partes de la corriente con pendientes relativamente altas sujetas a una amplia fluctuación en el flujo con una fuente abundante pero intermitente de sedimentos. En las épocas cuando el nivel de las aguas es bajo el flujo de la corriente queda confinado a los canales, los cuales están separados por barras de sedimentos. Estas barras se forman durante la época de descenso del río, cuando los sedimentos se acumulan alrededor de alguna obstrucción o de los restos de una antigua barra. En regiones húmedas con abundante vegetación estas barras pueden estabilizarse y mantenerse como una característica semipermanente; sin embargo en climas áridos las barras son efímeras y pueden ser destruidas durante cada creciente. Como resultado los depósitos de estas corrientes reflejan principalmente la erosión y relleno de los canales individuales a pesar de que algunas barras pueden ser conservadas.

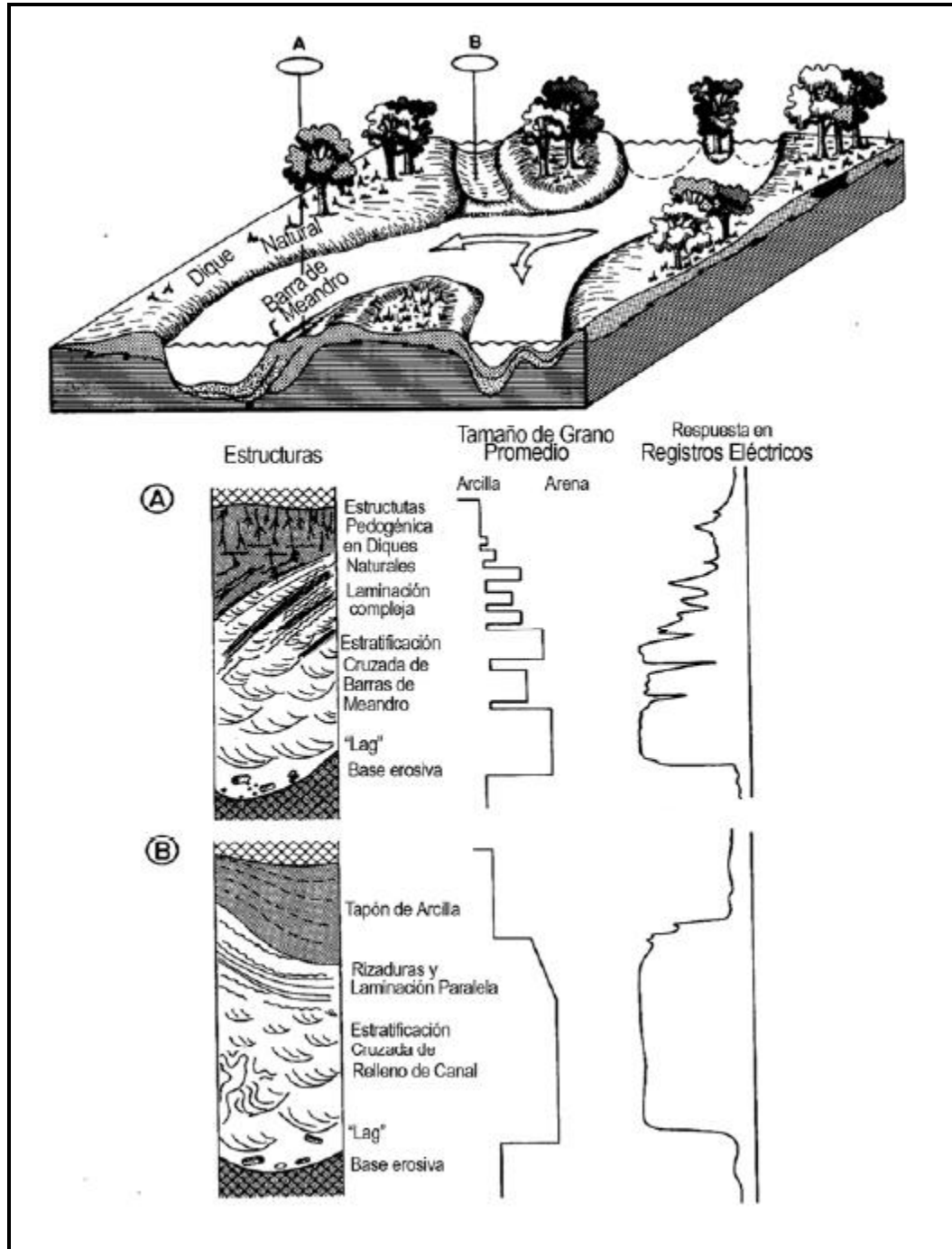


Figura 14 Modelo depositacional generalizado producido por un sistema fluvial anastomosado (Modificado de Galloway y Hobday, 1983).

### 3.2.3 Medios de Transición

#### a. Sistema Deltaíco

Un delta es una construcción hecha con el material detrítico que transporta un río al sedimentarlo en su desembocadura sobre un mar o un lago. El tamaño que puede alcanzar un sistema deltaico puede variar desde pequeñas dimensiones hasta más de 1000 kilómetros cuadrados y cientos de metros de espesor. Un delta está constituido por tres partes que, de la más cercana al río o más proximal, a la más distal o más cercana al mar se denominan: la llanura deltaica, que es subaérea con un claro dominio del continente; el frente deltaico donde se desarrollan ya procesos de tipo marino, y el prodelta, permanentemente sumergido y donde siendo su materiales de procedencia fluvial, se hallan enteramente afectados por procesos marinos. Estas diferentes partes del delta fueron definidas en el río Mississippí por Coleman & Cagliano (1965). (Corrales, 1977). Ver figura 15.

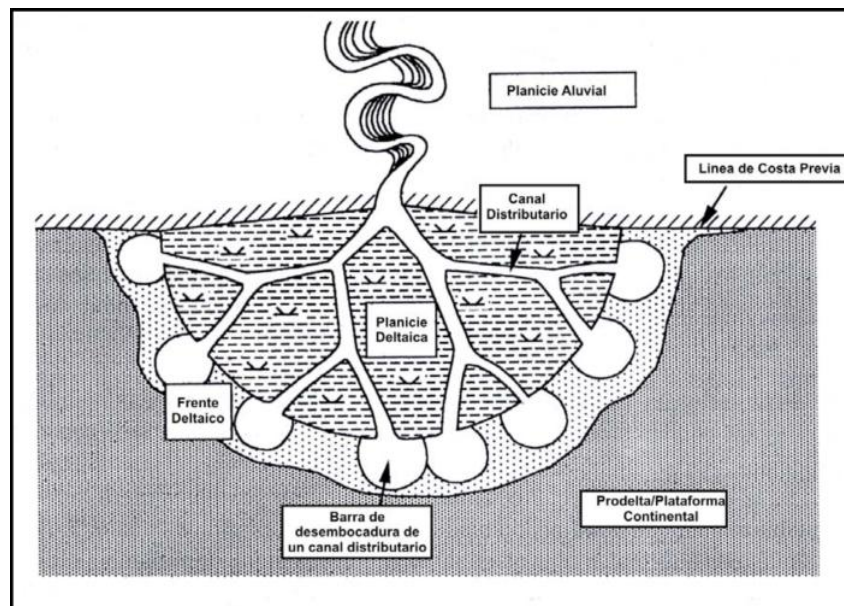


Figura 15 Principales componentes morfológicos y sedimentarios comunes a los deltas, Modificado de ALLEN & CHAMBERS (1998).

Existen diferentes tipos de delta, que resultan o dependen del grado de suministro de material sedimentario a la costa, y su redistribución por las olas, mareas y corrientes litorales. De esta manera, según el tipo de energía predominante se puede distinguir el delta dominado por el río, el delta dominado por la marea y el delta dominado por el oleaje. Aunque, los tres factores pueden actuar conjuntamente para dar lugar a deltas de tipo mixto, (Figura 16). Independientemente del tipo de delta generado, estos van a estar estructurados como se menciona en el párrafo anterior.

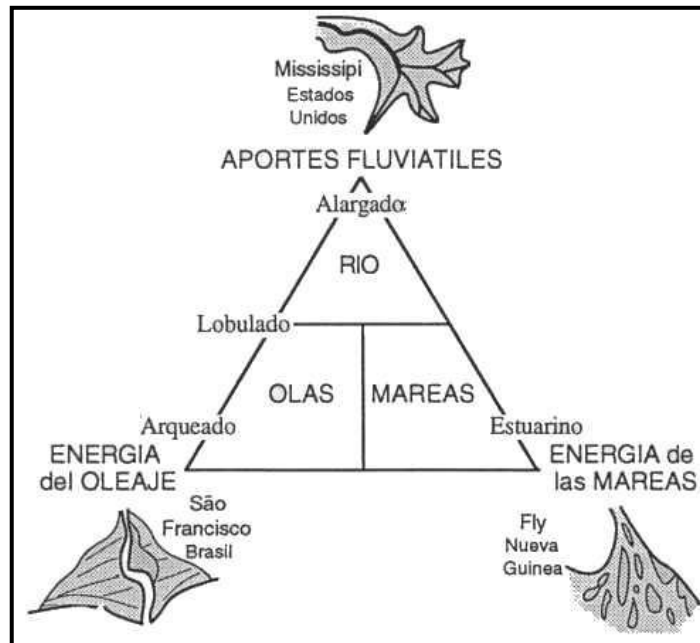


Figura 16 Clasificación genética de los deltas en función del proceso sedimentario dominante (según GALLOWAY, 1975)

**Tabla 4** Características estratigráficas de los sistemas de depositación deltáicos. (Tomado de Galloway, 1975; Galloway y Hobday, 1983)

FACTORES	DOMINIO FLUVIAL	DOMINIO DE OLEAJE	DOMINIO DE MAREAS
Geometría de los lóbulos	Elongada o lobulada	Arqueada	De estuario a irregular
Tipo común de Canales	Distributarios rectilíneos o sinuosos	Distributarios meandrosos	Distributarios sinuosos o llamativamente rectilíneos
Composición Predominante	Pelítica o mixta	Arenosa	Variable
Facies Clásticas	Barra de desembocadura, arenas de relleno de canal, mantos de arena de la margen del delta	Arenas de barrera costera y de cordón de playa	Cordones arenosos de marea y de relleno de estuario
Orientación de las Facies	Paralela a la pendiente de depósito	Paralela a la pendiente de depósito	Paralela a la pendiente de depósito

- **Deltas Dominados por Ríos**

Se originan cuando la tasa de depositación y volumen de sedimentos que aporta el sistema fluvial excede la energía disponible en la cuenca para retrabajar y modificar sustancialmente el margen activo de un delta.

En estos sistemas deltaicos dominados por aporte fluvial, las principales facies arenosas reconocidas son los depósitos de canales distributarios y las barras de desembocadura, junto a ellas, lateralmente algunas facies de arenas deltaicas retrabajadas y abanicos de rotura. También se reconocen facies no asociadas a las facies arenosas, los depósitos interdistributarios de prodelta y margen deltaico, pantanos de planicie deltaica, llanura de inundación, diques naturales y cuencas lacustres (Galloway & Hobday, 1983). Ver figura 17.

**La morfología:** Los deltas con predominancia fluvial son generalmente lobulados (más común) cuando se acumulan en zonas costaneras someras, o alargados cuando

se edifican en aguas más profundas, por ejemplo en el borde de la plataforma continental. La mayoría de los deltas antiguos parecen ser más bien de tipo lobulado. A pesar de sus diferencias morfológicas, dichos deltas presentan características sedimentológicas comunes.

**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. Cuando el río cambia de cauce y abandona un canal distributivo, este último es rellenado por arenas fluviales, que forman un cuerpo estrecho y alargado con espesores que alcanzan 15-20 m y un ancho máximo de 1 a 2 Km. Una secuencia característica de canal presenta una base erosiva, un relleno de arenas limpias con estratificación oblicua y termina por depósitos más finos, tal como arcillas y arenas finas con ondulitas de corriente y huellas de raíces.

**Las zonas intercanales:** Los canales distributivos están bordeados por albardones, construidos por el depósito de sedimentos limosos y arenosos en suspensión, durante los desbordes por crecida. Las zonas intercanales son topográficamente más bajas y forman pantanos o bahías. Durante las crecidas, reciben sedimentos arcillosos que alternan con lechos arenosos. Estos proceden del esparcimiento de material grueso llevado por el agua que sale del cauce del río durante las crecidas, a través de brechas. Dichos depósitos de desembalse pueden formar abanicos arenosos de varias decenas, o aún centenas de Km<sup>2</sup> de superficie.

**En las desembocaduras de los canales distributivos** se depositan 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 las de los canales, pero tienen una extensión geográfica más amplia (varios Km) con una potencia de 2 hasta 10-15 m.

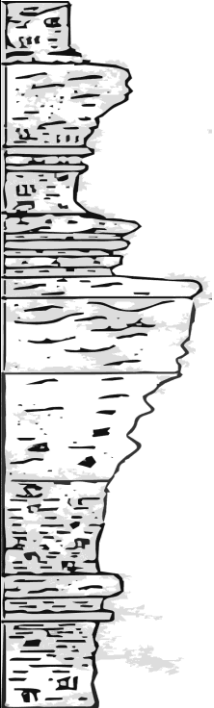
SECUENCIA DELTAICA CON DOMINIO FLUVIAL				
	Unidad	Espesor	Litología	Descripción
BAHIA Y PALUSTRE	10	2-24 m		Limos muy bioturbados con abundante laminacion lenticular. Fauna escasa y salobre, suelos finos y niveles de turba.
ROTURA DE BORDES(CREVASSE SPLAY)	9	1-10 m		Secuencia negativa (CU) de arcilla a arena mal seleccionada bioturbada hacia la base. Esta secuencia puede repetirse muchas veces.
BAHIA ENTRE DISTRIBUTARIOS	8	3-24 m		Arcillas muy bioturbadas y capas finas de base neta de arena y limo, algunos fragmentos de conchas. Localmente, arrecifes de conchas de aguas salobres.
DESBORDAMIENTO	7	3-10 m		Carbon fino enraizado . Arenas y lutitas contactos graduales y poca continuidad lateral, con muchas raices y ripples trepadores.
PLAYA Y DUNA	6	2-6 m		Arenas limpias de selección media. Con fragmentos organicos.
CANAL Y BARRA DE DESEMBOCADURA	5	12-21 m		Arenas y limos con estratificacion y laminacion cruzada y superficies de erosion canalizadas a veces muy grandes. Fallas sinsedimentarias, capas de arcilla y acumulaciones locales y potentes de restos transportados.
BARRA DISTAL	4	10-24 m		Alternancia de arena y lutita con tamaño de grano creciente hacia el tope. Abundante laminacion cruzada debida a ripples de oscilacion y corriente, y ripples tepradores hacia el techo. Bloques desplomados, estructuras de flujo y erosion y relleno. El contenido faunal aumenta hacia el tope.
PRODELTA	3	18-45 m		Arcilla finamente laminada con algunas conchas. Hacia el tope aumenta el tamaño de grano, decrece el contenido faunaly se hacen mas gruesas las laminaciones limo/arcilla.
DESPLOME (SLUMP)	2	1-15 m		Bloque desplomado de arena y limo, con estructuras de flujo, muchas fallas pequelas y estratificacion cruzada.
PLATAFORMA	1	18-120 m		Arcillas marinas finamente laminatas hacia el tope y muy pioturbadas hacia la base

Figura 17 Secuencia depositacional típica de un delta con dominio fluvial. Tomado y modificado de Coleman, J M & Prior, DB (1980).

- **Deltas Dominados por Mareas**

Este tipo de deltas se origina al aumentar el rango de las mareas, incrementándose las corrientes mareales que se encargan de modificar la geometría de las barras de desembocadura y redistribuir la carga de fondo, formando una serie de barras elongadas que se extienden desde la desembocadura, hasta la plataforma subacuosa del frente deltáico. Esta zona es progradante con una tendencia general grano-creciente de la secuencia sedimentaria, sin embargo, las facies reflejan la influencia de mareas (Walker y James, 1992). Ver figura 18.

**La morfología:** Está caracterizada por canales distributarios de tipo estuarino: desembocadura ensanchada, bordeadas por llanuras mareales arcillosas (tidal flat, mud flat), y canales meandríformes aguas arriba.

**Los canales distributarios** generalmente carecen de diques naturales. En el canal se acumulan arenas, a menudo bajo la forma de barras de meandros. Dichos depósitos son más extensos que los de los deltas fluviales.

**Las zonas intercanales** de la llanura deltaica están constituidas por llanuras limosas mareales y pantanos. En las zonas con clima semiárido, se encuentran evaporitas.

**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. Contienen figuras de corriente con sentidos opuestos traduciendo las direcciones opuestas del flujo y refluo. Progradan sobre las arcillas marinas del prodelta, formando secuencias granocrecientes con base gradacional.

Las características de dichos deltas son inducidas por las mareas, que generan el retrabajamiento de los sedimentos por corrientes alternativas y cíclicas. Esta acción continua contrasta con los eventos de carácter más brusco y catastrófico de las crecidas fluviales, y se traduce por la presencia de capas repetidas de ciclos de marea, de laminaciones arcillosas en las arenas, y por estratificaciones sigmoidales.


SECUENCIA DELTAICA CON DOMINIO DE MAREAS				
	Unidad	Espesor	Litología	Descripción
				
PANTANOS DE AGUA DULCE	9	3-18 m		Turba in situ y finas capas de arcilla
PANTANOS EN LA MARISMA	8	1-6 m		Arcilla con mucho material orgánico y carbón. Muy bioturbadas por raíces y algunos animales. Cicatrices pequeñas de canales mareales rellenos por arena.
PLAYA/MAR SOMERO	7	2-6 m		Arenas bien seleccionada, estratificación paralela inclinada.
LLANURA DE MAREAS	6	1-8 m		Arena y lutita con estratificación cruzada pequeña y flaser. Localmente bioturbada. Restos de carbón hacia el tope.
BARRA DE DISTRIBUTARIO/CANAL	5	5-9 m		Arenas limpias con estratificación cruzada
BARRA DISTAL	4	7-11 m		Arena y lutita con laminación cruzada y pequeños desplomes. El contenido faunal decrece hacia el tope. Este intervalo suele faltar por la erosión de los canales mareales.
PRODELTA	3	9-18 m		Arcillas marinas con restos dispersos de fauna y niveles de limo. Es frecuente encontrar conchas rotas y restos orgánicos transportados.
BARRAS MAREALES DE PLATAFORMA	2	9-34 m		Arenas limpias, bien seleccionadas con tamaño de grano decreciente hacia el tope y estratificación cruzada sobre todo en surco. Puede haber cicatrices de erosión y relleno de canales de mareas.
PLATAFORMA	1	12 m		Arcillas y limos marinos con mucha fauna. Laminación cruzada e intensa bioturbación.

Figura 18 Secuencia depositacional típica de un delta de mareas. Tomado y modificado de Coleman, J M & Prior, DB (1980).

- **Deltas Dominados por Oleaje**

En este tipo de deltas el grueso de la carga de fondo inicialmente depositada en el sistema, es retrabajada por el oleaje y redistribuida a lo largo del frente deltáico por la deriva litoral, se caracterizan generalmente por la presencia de una sucesión de facies grano-crecientes, indicativas de costas dominadas por oleaje. (Walker y James, 1992). Ver figura 19.

**La morfología es arqueada (cusate):** La deriva litoral transporta la mayor parte de la arena fluviátil fuera de las desembocaduras, formando cordones litorales y playas.

Si la acción del oleaje es más débil, los cordones de playa no son adheridos a la costa, y forman cordones litorales que limitan lagunas.

**Los canales distributarios:** Si la acción de las olas es muy fuerte, el delta solo tendrá pocos distributarios principales, ya que los cordones litorales tapan los canales secundarios.

**Las zonas intercanales y la llanura deltaica** están casi enteramente constituidas por arenas de playa, cortadas por los canales distributarios. Si la acción de las olas es menor, la llanura deltaica está constituida por lutitas de laguna o de pantano depositadas detrás de los cordones arenosos.

**Las barras de desembocadura** son poco desarrolladas, ya que la arena es retrabajada y transportada. Las características mayores de los deltas dominados por el oleaje son la presencia de arenas de playa y de ante-playa, organizados en cordones progradantes. Dichos depósitos pueden ser muy extensos y son paralelos a la costa, mientras que en los otros deltas, los cuerpos arenosos tienen ejes mayores perpendiculares a la costa (barras de marea, canales fluviales). Los canales de desembocadura son más escasos, pero pueden cortar las secuencias de playa. Figuras sedimentarias atestiguan la acción del oleaje y de las tempestades laminaciones oblicuas en mamelones (Hummucky Cross Stratigrafic = estratificación cruzada Hummucky), capas granoclasificadas, ondulitas simétricas de olas, etc.







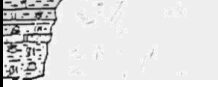
SECUENCIA DELTAICA CON DOMINIO DE OLEAJE				
	Unidad	Espesor	Litología	Descripción
LLANURA MAREAL	7	9-18 m		Arenas y lutitas con carbon y capas de evaporitas. Las capas de carbon tienen poca continuidad lateral. La base de las capas de arena es gradacional o erosiva. Muy bioturbadas.
DUNA EOLICA	6	3-10 m		Arena bien seleccionada con estratificación cruzada de gran escala y bajo ángulo. Estratificación cruzada en surco y laminación cruzada. Bioturbación intensa por raíces.
PLAYA	5	6-15 m		Arenas bien seleccionadas con laminación paralela, inclinada y estratificación cruzada hacia la base. Localmente hay acumulaciones de conchas y de minerales pesados en capas finas.
RELLENO DE CANAL	4	3-18 m		Arenas y lutitas con carbon. Las arenas son mas abundantes hacia la base y presentan base erosiva y canalizada. Abundante bioturbación de raíces y animales hacia el tope.
BARRA DE DESEMBOCADURA	3	12-21 m		Arena y limo con selección media, tamaño de grano creciente hacia el tope. Las capas de arena suelen mostrar granoselección, estratificación y laminación cruzada. Hacia el tope dominan las laminaciones paralelas algo inclinadas. Localmente hay niveles de arcilla.
BARRA DISTAL	2	9-18 m		Arenas y lutitas alternantes. El contenido en arenas aumenta hacia el tope a la vez que disminuye el espesor de las capas de arcilla y el contenido faunal. Hacia el tope es frecuente la estratificación cruzada de pequeña escala.
PRODELTA Y PLATAFORMA	1	mas de 4 m		Arcillas marinas con capas de limo muy bioturbadas y capas dispersas de conchas. Hacia el tope hay laminación cruzada.

Figura 19 Secuencia depositacional típica de un delta dominado por oleaje. Tomado y modificado de Coleman, J M & Prior, DB (1980).

## CAPITULO IV

### 4. GEOLOGÍA LOCAL

#### Generalidades

La Formación Oficina, según el Léxico Estratigráfico Venezolano, es de edad Mioceno Temprano a Medio.

Funkhouser *et al.* (1948) subdividieron la Formación Oficina, en los campos petrolíferos de Anaco, en siete miembros, a base de una combinación de caracteres litológicos, paleontológicos y de registros eléctricos. Estas subdivisiones, designadas arbitrariamente por medio de nombres de colores en castellano, han permanecido vigentes. En orden descendente son los miembros Blanco, Azul, Moreno, Naranja, Verde, Amarillo y Colorado. Aunque estas unidades no constituyen miembros en un sentido litoestratigráfico estricto, se clasifican como "miembros informales", con validez acordada por el Código Americano de Nomenclatura Estratigráfica, 1961.

El espesor de la Formación Oficina en los campos de los campos de Anaco varía entre 7.800 y 10.600' (Funkhouser 1948, *op. cit.*). Según González de Juana *et al.* (1980, *op. cit.*), el espesor de la Formación Oficina aumenta desde los bordes de la cuenca hacia su eje: 220-275 m en Temblador, 600 a más de 1400 m en el área mayor de Oficina, más de 2000 m en Anaco y unos 1000 m en Anzoátegui nororiental. Campos *et al.* (1985, *op. cit.*) mencionan que el espesor de la Formación Oficina en el área de Anaco, es de unos 6550', el cual disminuye hacia cerro Pelado, por efectos de la erosión ocurrida antes de la sedimentación de la Formación Las Piedras.

Para el presente estudio solo se consideraron los miembros Colorado y Amarillo, estos son los más inferiores de los siete miembros informales en que dividieron a la Formación Oficina. Consiste principalmente en lutitas, con varios intervalos de

areniscas de grano fino a medio. El espesor varía entre 1100 y 1600 pies. Hacia abajo, pasa transicionalmente a la Formación Merecure.

#### **4.1 Descripción de los Núcleos**

##### **Generalidades**

La descripción macroscópica de los núcleos de los pozos estudiados se realizó detalladamente de base a tope, tomando en consideración aspectos como: litología, color, granulometría, estructuras sedimentarias, accesorios sedimentarios, trazas fósiles (icnofósiles), entre otros.

Mediante el análisis y descripción de los núcleos correspondientes a los pozos TM-2, TM-3, TM-11 Y TZ-1 ubicados en el Campo El Toco (Ver figura 20), Cuenca Oriental de Venezuela, se identificaron seis (6) facies sedimentarias: dos (2) facies arenosas (S1 y S1B), dos (2) facies heterolíticas (H y HB), una (1) facies limosas (ST), una (1) facies arcillosa (L) y una (1) facies de carbón (C). La terminología de las facies está basada en el tipo litológico, textura, estructuras sedimentarias y grado de bioturbación. La definición de estas facies descriptivas se basa en el esquema aplicado para el Campo Chimire-Boca de la Formación Oficina, en la Cuenca Oriental de Venezuela. Sin embargo, fue necesario definir otras facies que no estaban descritas en este esquema de clasificación y eliminar unas que no estaban presentes. Ver figura 20.

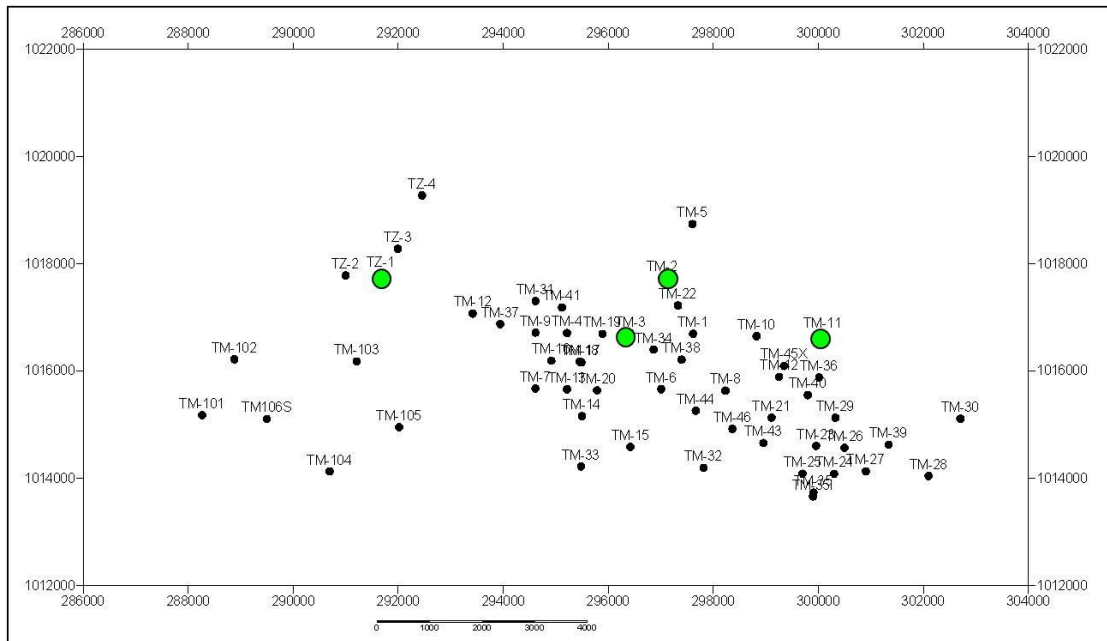


Figura 20: Mapa de ubicación de los pozos del campo El Toco, resaltando en color verde los pozos que tienen Núcleos. Ver Anexo D.1

A continuación de muestra una tabla mostrando los pozos a los cuales se les extrajo núcleos, el intervalo de muestreo y la longitud del núcleo recuperado.

**Tabla 5:** Pozos donde se extrajeron núcleos, señalando el intervalo y la unidad a la que pertenece

Pozo	Profundidad Tope (pies)	Profundidad Base (pies)	Longitud del Núcleo (pies)
<b>TZ-1</b>	6767	6813	45,6
<b>TM-11</b>	5656	5663,7	7,7
	7421	7434,6	13,6
	7441	7454,2	13,2
<b>TM-3</b>	6545	6572,8	27,8
	6581	6592,8	11,8
	7177	7216,5	39,5
	7216,5	7219,5	3
<b>TM-2</b>	6460	6472	12
	6480	6489,6	9,6

### Núcleos del pozo TM-2

6.489'6"- 6.487': Intercalaciones delgadas de lutitas con arenisca muy fina con laminación ondulática de corrientes y "Mud drapes". Intercalación muy delgada y rítmica, grietas de sinérisis, *Planolites*, grado de bioturbación bajo. Ver figura 21.

6.480'-6.482': Lutita

6.472'-6.460': Lutitas intercaladas con arenas al tope. Hacia el tope paleosuelo con raíces, posible paleoambiente de bahía con influencia de mareas.

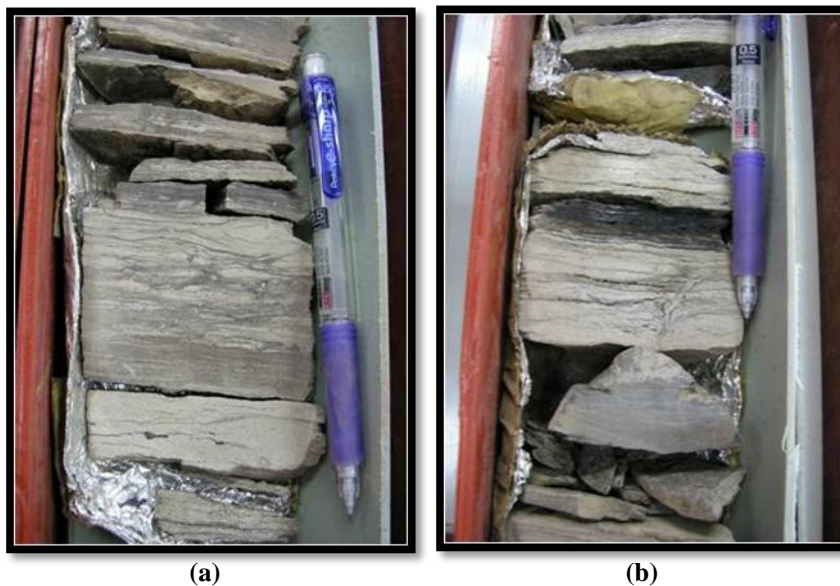


Figura 21 : Fotografías de detalle de los núcleos del pozo TM-2, a.) Trazas de *Palaeophycus* y *Planolites*, prof. 6488'; b.) Intercalaciones de areniscas y lutitas con capa de carbón y trazas de raíces, prof. 6462'6"

### Núcleos del pozo TM-3

7.216'5"- 7.197': Arenisca de grano fino con bandas de siderita, grietas de sinérisis, marcas de raíces, laminación flaser, *Teichichnus*, *Planolites*, presenta bioturbación moderada. Posiblemente depósitos de bahías interdistributarias con influencia de mareas o llanura de

mareas. Secuencia heterolítica, estratificación ondulosa, arenisca con laminas de lutitas, hacia el tope la arenisca se torna más fina a limosa. Ver figura 22.

7.192'-7.177': Grietas de synerises y *Teichichnus* al tope (depósitos de agua salobre).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 22: Fotografías de detalle de los núcleos del pozo TM-3, a.) Trazas de *Planolites* y *Huellas de carga*, prof. 7213'; b.) Grietas de sinéresis, prof. 7212'5"; c.) Trazas de *Planolites* y *Palaeophycus*, prof. 7205'6"; d.) Trazas de *Planolites* y "Mud drapes", prof. 7208'6"

6.592'8"- 6.547': *Teichichnus*, grietas de sinerisis, deformación sinsedimentaria, *Planolites* grandes, estratificación ondulosa, en intervalos arenosos flaser, intervalo con hummocky, bandas de siderita. Se observó un Lag transgresivo con fragmentos de conchas.

6.570'-6.547': Arena y lutita, hacia el tope dominan las lutitas. Estratificación ondulosa en la base que pasa a lenticular al tope, influencia de marea y agua salobre, deformación sinsedimentaria, presenta bioturbación moderada con *Planolites* muy pequeños, grietas de sinerisis, láminas de lutita, huellas de cargas, estratificación lenticular, mucha acción de mareas. Dos posibles ambientes (bahía interdistributaria ó prodelta) Ver figura 23.

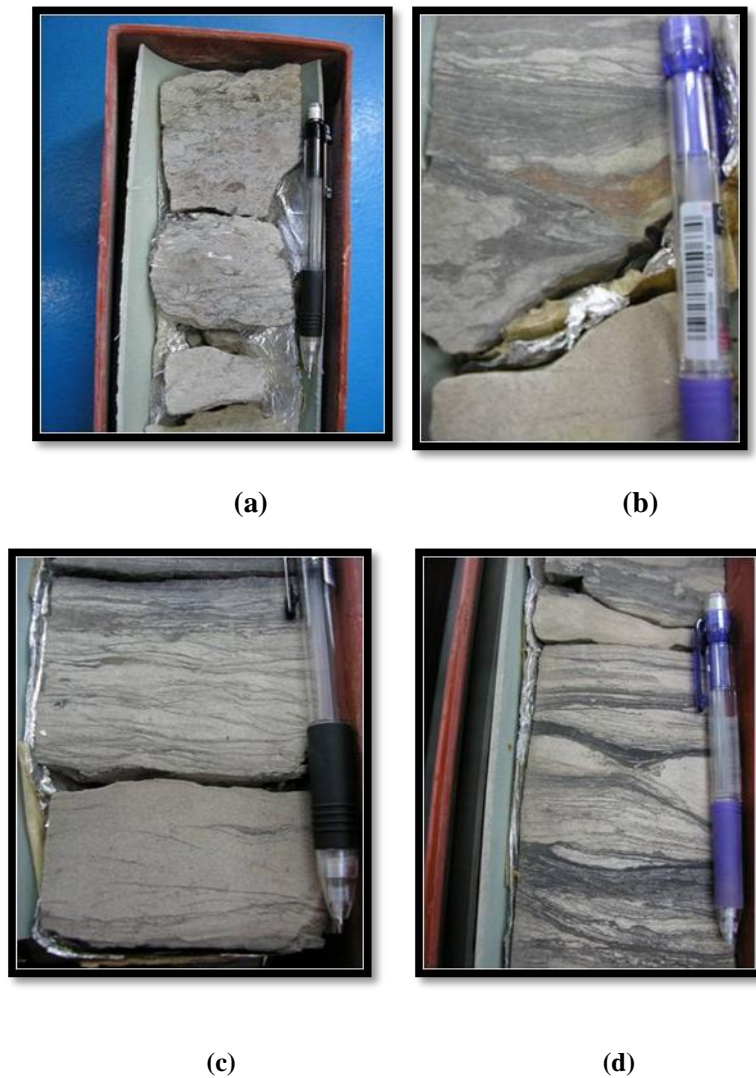


Figura 23: Fotografías de detalle de los núcleos del pozo TM-3, a.) Lag transgresivo, *prof. 6581'*; b.) Deformación sin sedimentaria, *prof. 6563'*; c.) Estructura flaser, *prof. 6563'6''*; d.) Intercalación de areniscas y lutitas, Grietas de sinéresis sinéresis, *prof. 6548'*

### Núcleos del pozo TM-11

7.454'2''- 7.441': Intercalación arenisca-lutita en forma rítmica, estratificación ondulosa, con arenisca muy fina, laminación ondulítica de corrientes y laminación flaser. En otros casos dominan las lutitas con estratificación ondulosa. En general

intervalo caracterizado por intercalación rítmica de arenisca y lutita, influencia de mareas. Grado de bioturbación muy variable desde baja a intervalos muy localizados con intensa bioturbación, pero la diversidad de ichnogéneros es baja, con *Teichichnus* dominante, también hay *Planolites*, delgadas bandas de siderita y grietas de sinéresis. *Teichichnus* pequeños (ambientes estresados de aguas salobres). Localizada estratificación lentícular. Ver figura 24.

7.434'6"-7.421': Similar al intervalo anterior, más arenoso, más dominio de flaser, "Mud drapes", bandas de siderita. Posibles depósitos de bahías con intercalaciones de canal ó cambios en planicies de marea. Intervalo con grado de bioturbación 3, solamente *Teichichnus* y *Planolites*, marcas de raíces.

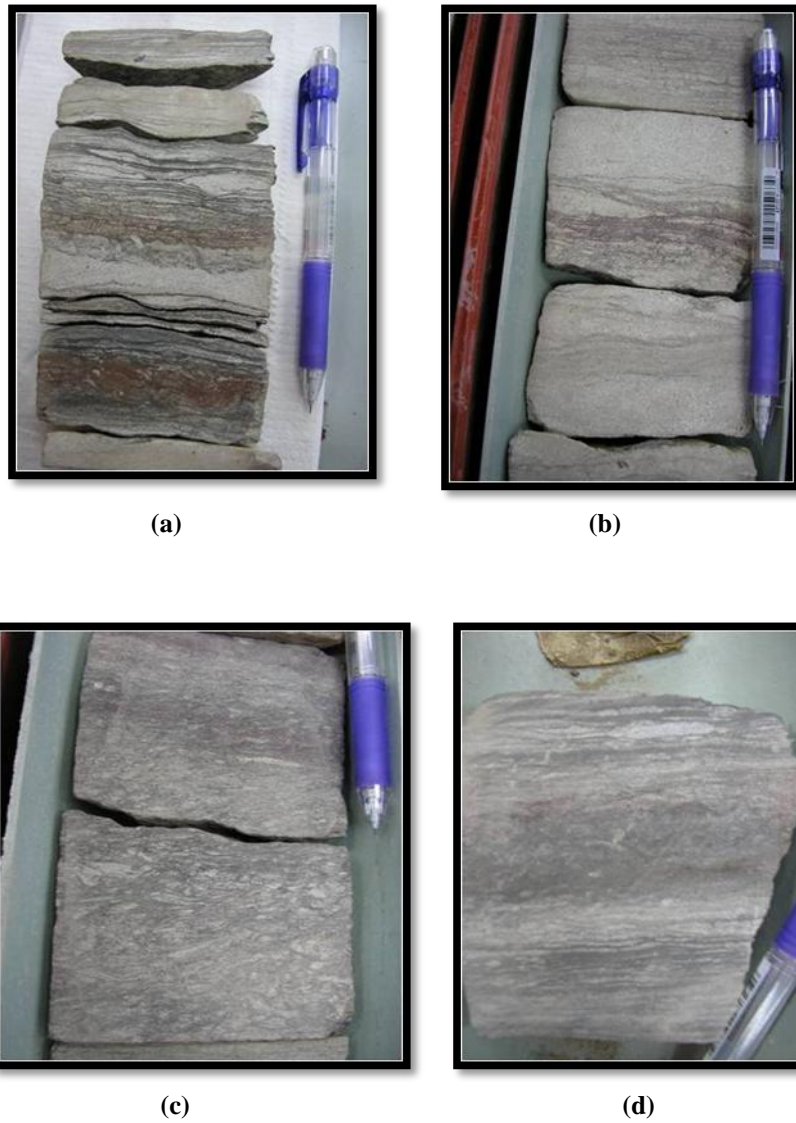


Figura 24: Fotografías de detalle de los núcleos del pozo TM-11, a.) Intercalación de areniscas y lutitas, *Planolites*, prof. 7430'; b.) Grietas de sinéresis, prof. 7430'6"; c.) *Teichichnus*, prof. 7452'; d.) *Planolites*, prof. 7454'

5.663'7"-5.662': Mas bioturbado, con fábrica de ambiente estresado con *Scolicia*, con grietas de sinéresis, *Teichichnus*, *Planolites*, galerías de *Talassinoides*, que bajan de la base del canal, rellenos de intraclastos lutíticos, arenas y clastos sideritizados,

acción de mareas, más marino, un poco menos estresado que los otros intervalos descritos. Ver figura 25.

5.656'-5.659': *Tallassinoides*, *Ophiomorpha*, acción de mareas, intercalación rítmica, capas de areniscas con *Tallassinoides*, hacia el tope *Ophiomorpha*.



(a)

(b)

(c)

Figura 25: Fotografías de detalle de los núcleos del pozo TM-11, a.) *Tallassinoides*, prof. 5658'; b.) *Tallassinoides*, prof. 5657'; c.) "Mud drapes", prof. 5658'8"

### Núcleos del pozo TZ-1

6.812'6"-6.780': Desde 6.812'6" hasta 6.798' dominadamente arenosa con "Mud drapes", domina estratificación cruzada planar, "Mud drapes" muy delgadas, sideritizadas, sin bioturbación, dominadas por tracción de material arenoso. Hacia el tope intercalaciones con laminación ondulítica, con "Mud drapes", asociadas con laminación convoluta. Posible abandono de un canal de marea. Ver figura 26.

6.798'-6.794': Sigue dominando la arena, cada vez más común siderita y lutita, laminación ondulítica, con "Mud drapes", laminación convoluta cada vez más

importante, abundan grietas de sinérisis. Grado de bioturbación bajo a moderado con ejemplares de *Planolites*.

6.794'-789': Lutitas, en parte sideritizadas, cuando se intercala con arenisca está deformado (laminación convoluta), grietas de sinérisis.

6.789'-6.787': Textura brechosa, tipo paleosuelo.

6.987'-6.783': Similar al intervalo 6.794'-789'. Tope lutitas, tendencia granodecreciente muy clara.

6.776'-6.767': parecido al intervalo basal, con *Ophiomorpha*, no muy desarrollada, estratificación entrecruzada, "Mud drapes", influencia de mareas clara.

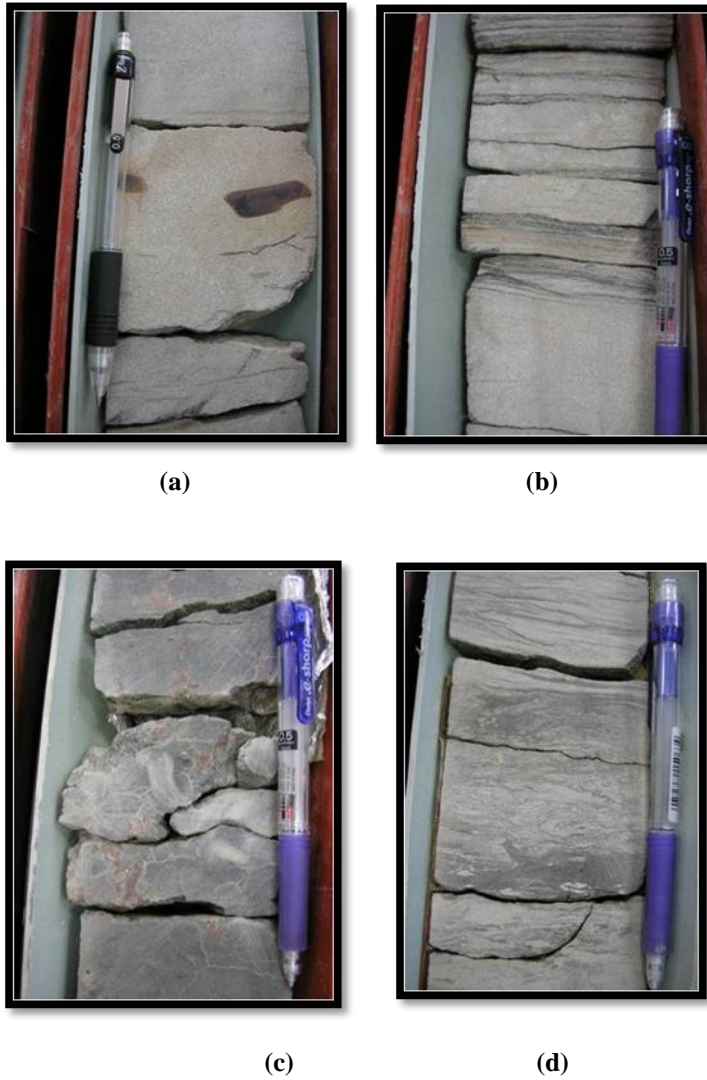
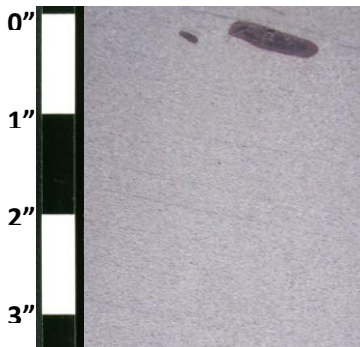


Figura 26: Fotografías de detalle de los núcleos del pozo TZ-1, a.) Clastos sideritizados orientados, *prof. 6808'3"*; b.) Areniscas intercaladas con laminas de lutitas, *prof. 6809'6"*; c.) *Risolithos* y *materia orgánica oxidada*, *prof. 6757'*; d.) *Trazas de Planolites, Teichichnus*, *prof. 6795'*

## 4.2 Descripción de litofacies

A continuación, se realiza la descripción detallada de cada una de las facies sedimentarias identificadas:

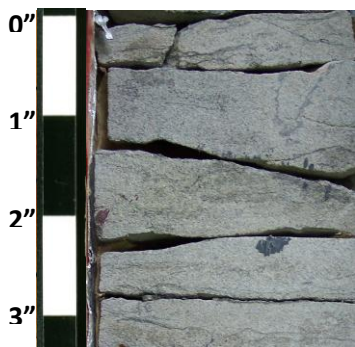
### Litofacies S1 (TZ-1 6812')



ausente.

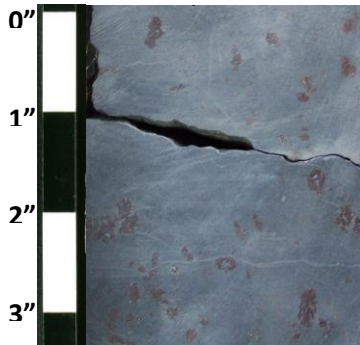
Arenisca de grano fino, de color gris claro, bien escogida, con estratificación cruzada, paralela y planar de bajo ángulo, a veces masiva. Puede presentar laminaciones de arcilla y en ocasiones carbonosas. Presenta clastos alargados generalmente dispuestos paralelos a la estratificación. Bioturbación escasa o

### Litofacies S1B

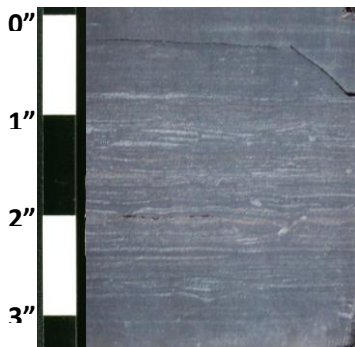


reconocen algunos géneros como *Ophiomorpha*.

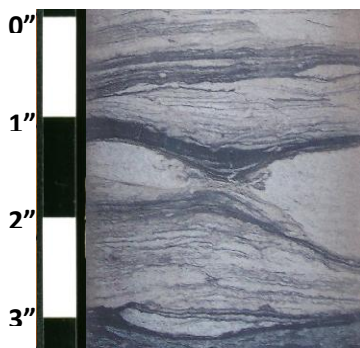
Arenisca de grano fino, de color gris claro, bien a moderadamente bien escogido, presenta laminaciones paralelas y onduladas continuas y discontinuas de arcillas, a veces masiva. Se observa también laminaciones carbonosas, así como restos de carbón y clastos aislados. La bioturbación es moderada, y se

**Litofacies St (TZ-1 6788')**

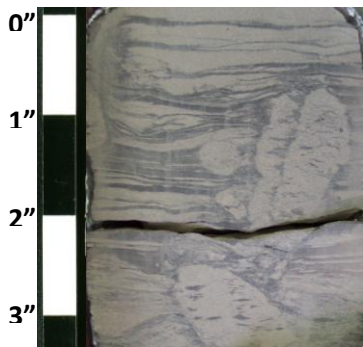
Limolita gris y limos arcillosos de color gris verdoso oscuro y de aspecto masivo. La bioturbacion es escasa a ausente. A veces se observa moteado rojizo ocasionado por el oxido de algún mineral de hierro.

**Litofacies L (TM-3 6550')**

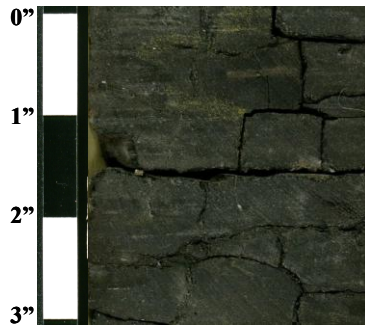
Lutitas gris oscuro a negro, localmente carbonosas, con ocasionales laminas de arena muy fina a limo.

**Litofacies H (TM-3 5663')**

Arenisca gris claro, interestratificada en proporciones variables con lutitas gris oscuro a negro, localmente carbonosas. Presenta rizaduras de oscilación, laminación ondulada y paralela.

**Litofacies HB (TM-11 5660')**

Arenisca de grano muy fino a fino, moderadamente escogida a mal escogida, interestratificada en proporciones variables con lutitas y limolitas de color gris oscuro a negro. Presenta comúnmente rizaduras de oscilación, laminación ondulada y paralela. La bioturbación es de moderada a intensa y suele estar representada mayormente por trazas horizontales sin diferenciar, aunque algunas veces se identifican los icnogenéros *Teichichnus*, *Thalassinoides*.

**Litofacies C**

Carbón y lutitas carbonosas de color gris oscuro a negro.

### 4.3 Caracterización Petrográfica de Rocas Clásticas

#### 4.3.1 Análisis Petrográfico

La evaluación petrográfica se realizó mediante el uso del microscopio de luz polarizada, con el objeto de determinar la composición mineralógica de las muestras seleccionadas, las características texturales tales como: el tamaño de grano, el escogimiento de la muestra y la redondez de los granos, la proporción relativa de matriz, e identificación de cemento y porosidad, así como los porcentajes.

Para tal fin se evaluaron 9 secciones finas distribuidas entre los núcleos estudiados pertenecientes a la Formación Oficina, correspondientes a litologías arenosas, las cuales fueron teñidas para identificar los espacios vacíos o poros de las muestras.

Las muestras, en vista a su composición siliciclástica, alto contenido de granos detríticos y proporción de matriz arcillosa variable, se clasificaron de acuerdo a los parámetros empleados por Pettijohn (1972) (Figura 27), en donde se consideran las cantidades de matriz, granos de cuarzo, feldespatos (ortosa, microclino y plagioclasas) y fragmentos líticos.

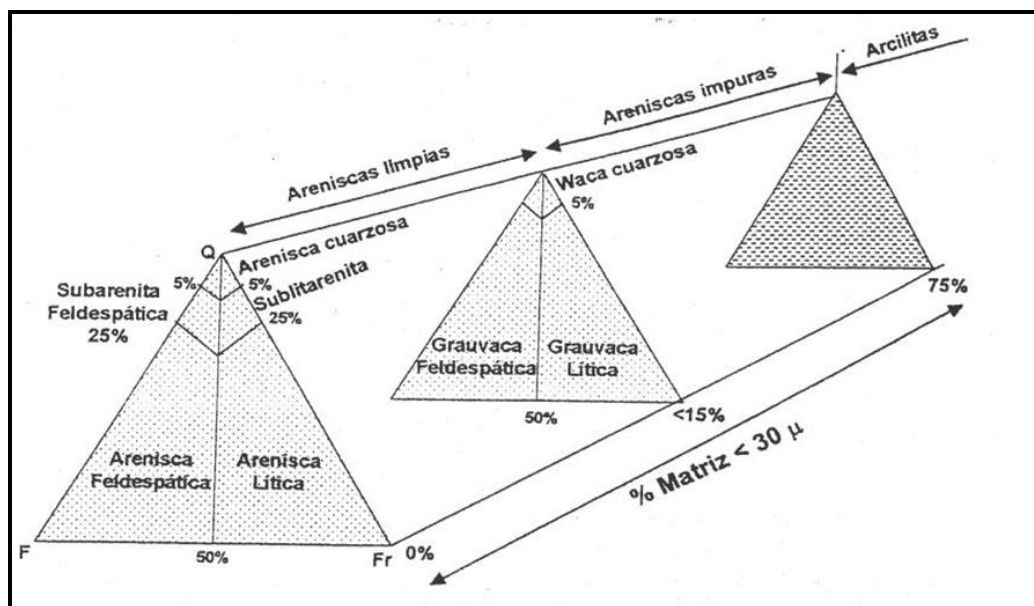


Figura 27: Clasificación para areniscas terrígenas de **Pettijohn, Potter y Siever, 1972**

Se obtuvo como resultado de la clasificación de las muestras, que tres de dichas muestras corresponden a Grauvaca lítica, dos corresponden a Sublitarenita, y una a cada uno de los siguientes grupos litológicos: Arenita lítica, Grauvaca feldespática, Subarcosa y lutita, lo que corresponde a los porcentajes mostrados en la siguiente figura 28.

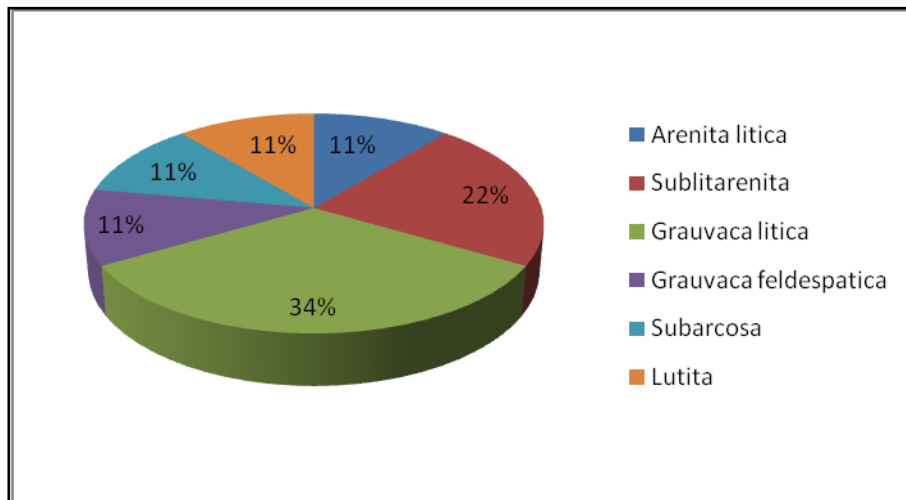


Figura 28: Gráfico de distribución de los tipos de areniscas en las muestras estudiadas

#### 4.3.2 Descripción por grupo litológico

##### **Grauvaca lítica:**

El tamaño de grano predominante varía de 1/16 a 1/8 mm que según la clasificación de UDDEN y WENTWORTH (1922), corresponde a una arenisca de grano muy fino a fino.

En general, el escogimiento que presentan varía de medio a muy bueno, con clastos subangulares a subredondeados, orientación isotrópica e inmaduras texturalmente. El tipo de contacto predominante es grano-matriz y grano-cemento. Ver figura 29.

El principal componente es el cuarzo con un rango que va de 37 a 45%, los feldespatos de 8% a 15%, los fragmentos de roca de 5 a 19%, los minerales accesorios varían de 1 a 3%. El cemento entre 5 y 10% y por último, la porosidad estimada visualmente es de un 5%.

El cuarzo monocristalino plutónico constituye el elemento mineral principal, presentándose en un rango que varía entre 37 a 40%, seguido por el cuarzo policristalino metamórfico entre 1 a 5%. Los feldespatos presentes son: plagioclasa (5%). Los fragmentos de roca son de origen sedimentario (3 - 7%) y chert de 5%. Entre los minerales accesorios se encuentran: biotita (1%) y muscovita (2%).

El cemento está representado por cuarzo, óxido de hierro y minerales de arcilla.

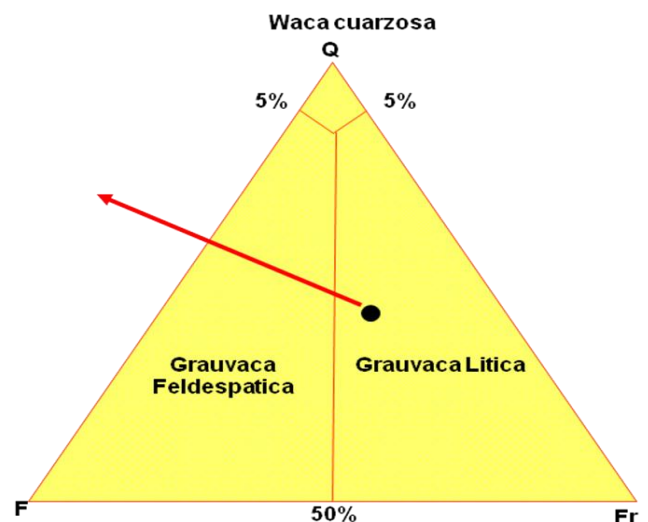
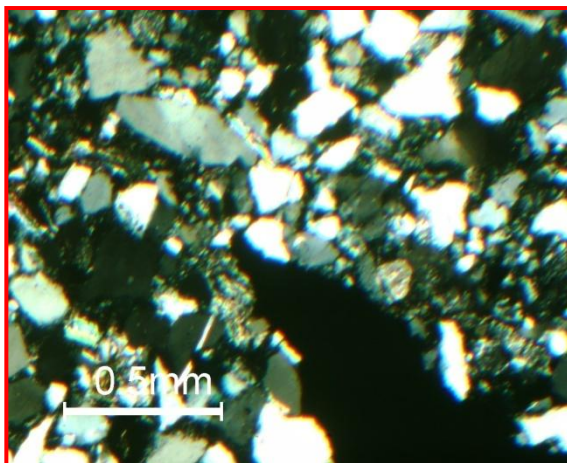


Figura 29: Fotomicrografía de Grauvaca lítica. NX. TM-11 7442.

**Sublitarenita:**

El tamaño de grano predominante varía de 1/8 a 1/4 mm que según la clasificación de UDDEN y WENTWORTH (1922, cit. en FRIEDMAN y SANDERS, 1979), corresponde a una arenisca de grano fino a medio.

El escogimiento varía de medio a muy bueno, con clastos subredondeados a subangular, y texturalmente medianamente maduras, posee una orientación isotrópica. Los contactos presentes son principalmente longitudinales y cóncavo-convexos. Ver figura 30.

El cuarzo constituye el principal componente mineral, presentándose en un rango que varía de 43 a 48%, los feldespatos varían entre 12 y 15%, los fragmentos de roca entre 1 y 7%, los minerales accesorios de 4 a 5%, el cemento de 2 a 8% y la porosidad estimada visualmente varía entre 17 y 18%.

El cuarzo predominante es el monocristalino metamórfico con un porcentaje que varía de 25 a 40%, y el volcánico con un 5%. Los feldespatos presentes son la plagioclasa que varía de 5 a 8%, y el microclino que varía de 1 a 3%. Los fragmentos de roca presentes son de origen sedimentario con porcentajes que varían 7 a 12% y Chert de 1 a 5%, respectivamente. Los minerales accesorios presentes en la facies son: clorita (2%), moscovita (2%) y biotita (1%).

En las secciones estudiadas se observan gran cantidad de fragmentos de roca deformados y triturados en sus bordes por granos de cuarzo, dando lugar a la formación de pseudomatriz, la cual fluye rellenando los espacios vacíos.

El cemento está representado por óxido de hierro (Goethita), observándose como envoltorios de granos y rellenando poros.

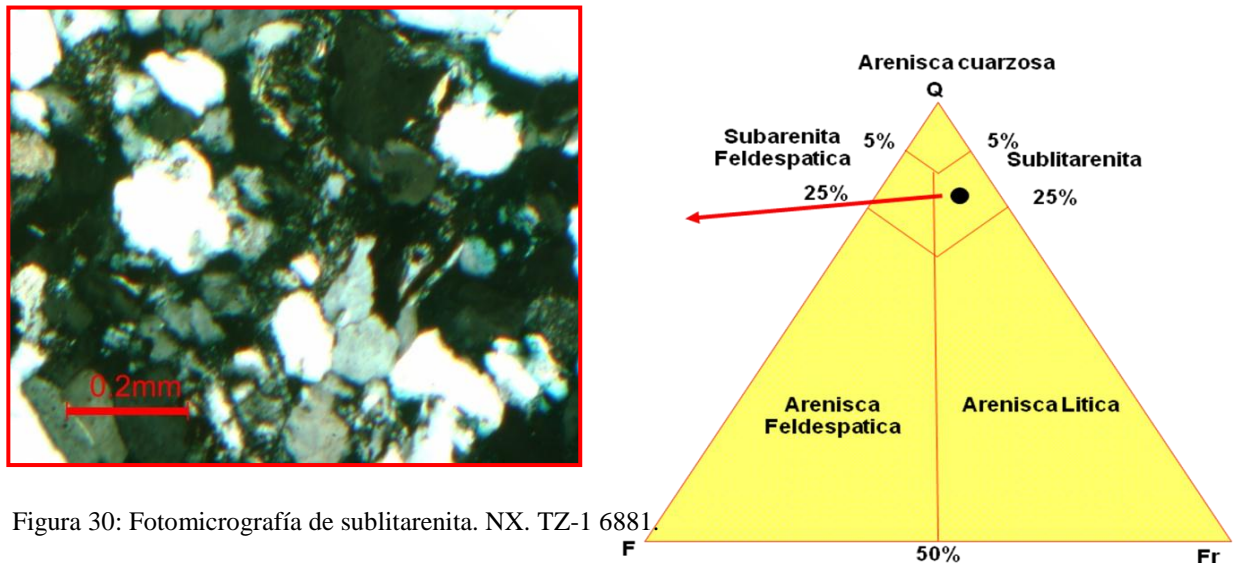


Figura 30: Fotomicrografía de sublarenita. NX. TZ-1 6881.

### **Arenisca Lítica:**

El tamaño de grano predominante varía de 1/8 a 1/4 mm que corresponde a una arenisca de grano fino.

En general, el escogimiento es bueno con clastos subangulares a subredondeados, orientación anisotrópica incipiente. El tipo de contacto predominante es cóncavo – convexo y suturado, evidenciando alta compactación. Figura 31.

El principal componente es el cuarzo con un valor de 40%, los feldespatos de 15%, los fragmentos de roca de 10%, los minerales accesorios varían de 2 a 5%. El cemento que presenta es el de minerales de arcilla y caolinita con un valor de 5% y por último, la porosidad encontrada es por disolución e interpartícula estimada visualmente con un rango de 18%.

El cuarzo monocristalino plutónico constituye el elemento mineral principal, presentándose en un valor de 30%, seguido por el cuarzo policristalino plutónico de 10%. Los feldespatos presentes son: plagioclasa (10%) y microclino (5%). Los fragmentos de roca son de origen sedimentario (5%), plutónico (3%) y chert (7%). Entre los minerales accesorios se encuentra: muscovita (5%). Figura 31.

Los minerales de arcilla recristalizados (1-4%) actúan como cemento recubriendo la mayoría de los granos. Se observaron trazas de hidrocarburos.

En la porosidad predomina la disolución de granos con un 16%.

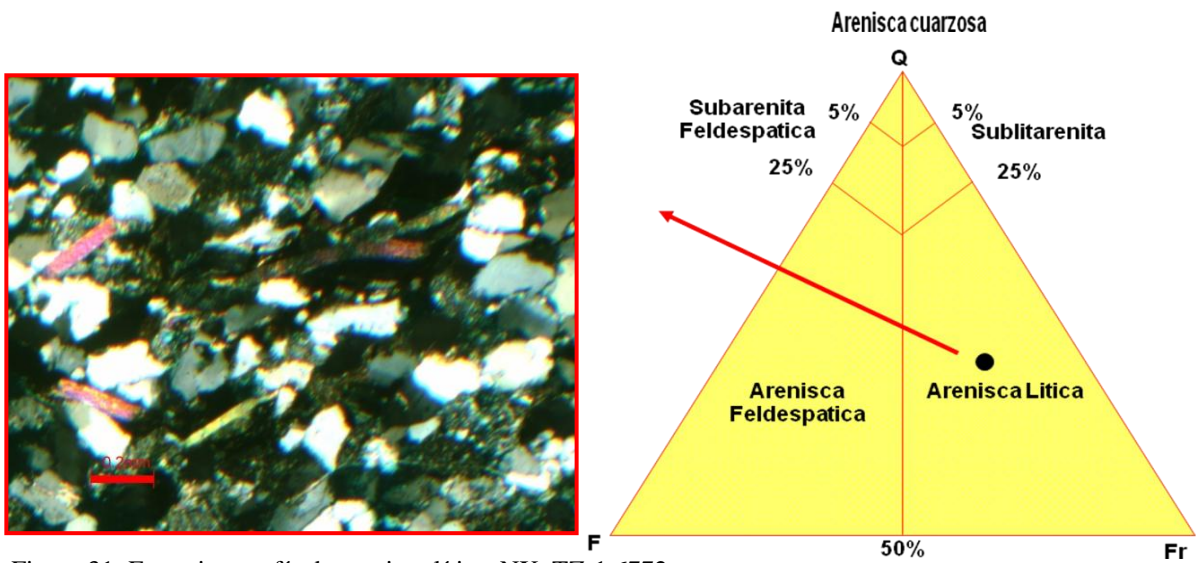


Figura 31: Fotomicrografía de arenisca lítica. NX. TZ-1 6772

#### **Subarcosa (Subarenita feldespática):**

El tamaño de grano predominante varía de 1/16 a 1/8 mm que corresponde a una arenisca de grano muy fino a fino.

Las areniscas están muy bien escogidas, con granos subangulares a redondeados, el contacto predominante es longitudinal y grano-cemento. Presentan distribución isotrópica y texturalmente pueden variar de medianamente madura a madura. Ver figura 32.

Las muestras analizadas presentan como componente principal el cuarzo, el cual se encuentra en un porcentaje de 43%, los feldespatos se presentan en un 15%, los

fragmentos de roca en un 7%, los minerales accesorios con un valor de 2%, y la porosidad visual en sección fina de un 8%.

El cuarzo monocristalino plutónico es el principal componente, se presenta en un valor de 35%, el cuarzo policristalino plutónico con un valor de 3% y el cuarzo volcánico con un valor de 5%.

Los feldespatos predominantes son: la plagioclasa de 10%, y los feldespatos potásicos como el microclino de 3% y otros con 2%. Los fragmentos de roca son plutónicos 2% y chert con un 5%. El mineral accesorio es la muscovita 2%.

El cemento está representado por óxido de hierro, y minerales de arcilla.

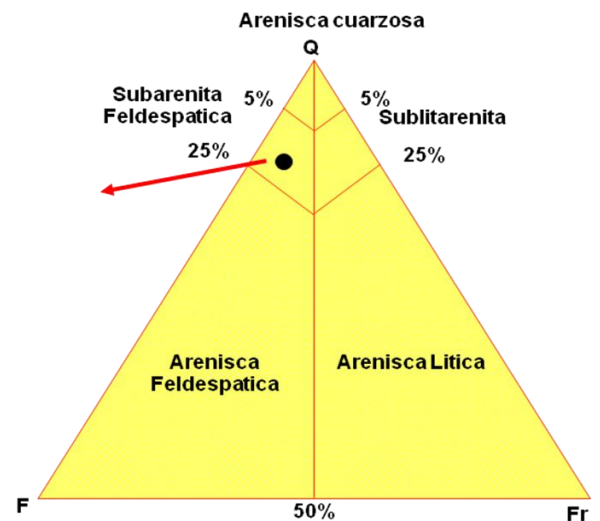
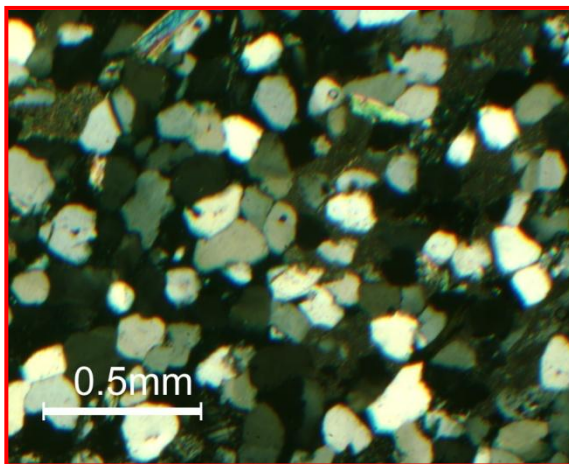


Figura 32: Fotomicrografía de subarenita feldespática. NX. TM-3 6582.

### **Grauvaca feldespática:**

El tamaño de grano es de 1/5 mm que corresponde a una arenisca de grano muy fino.

Las areniscas están medianamente bien escogidas, con granos subangulares a redondeados, el contacto predominante es grano-matriz. Presentan distribución anisotrópica. Ver figura 33.

La muestra analizada presenta como componente principal el cuarzo, el cual se encuentra en un porcentaje de 40%, los feldespatos se presentan con un valor de 12%, los fragmentos de roca de 5%, los minerales accesorios de 3%, y la porosidad visual en sección fina de 5%.

El cuarzo monocristalino plutónico es el principal componente, se presenta en un valor de 23% y el cuarzo policristalino plutónico de 17%.

Los feldespatos predominantes son: la plagioclasa de 5%, y los feldespatos potásicos como el microclino de 7%. Los fragmentos de roca son de origen sedimentario 3% y chert 2%. El mineral accesorio es la muscovita 3%.

El cemento está representado por caolinita, minerales de arcilla y oxido de hierro.

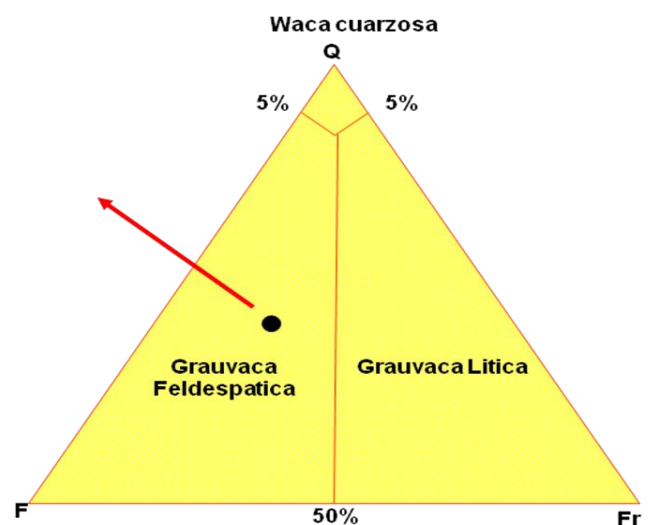
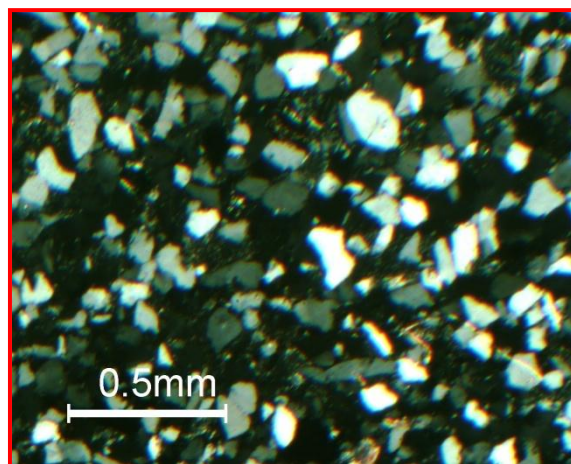


Figura 33: Fotomicrografía de Grauvaca feldespática. NX. TM-3 6562.

**Limolita:**

El tamaño de grano es menor a 1/256 mm muy fino, con granos subredondeados a subangulares, el contacto predominante es grano-matriz. Ver figura 34.

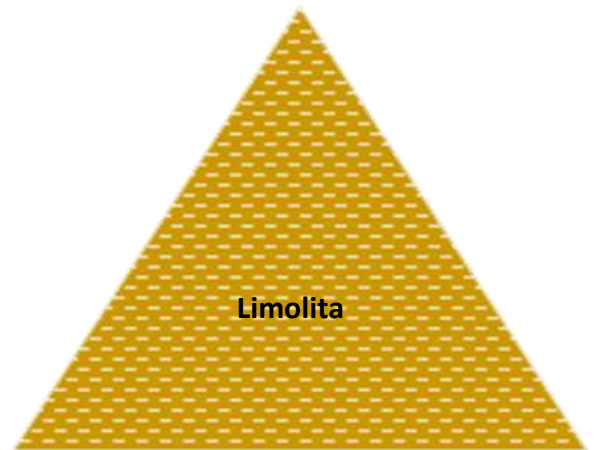
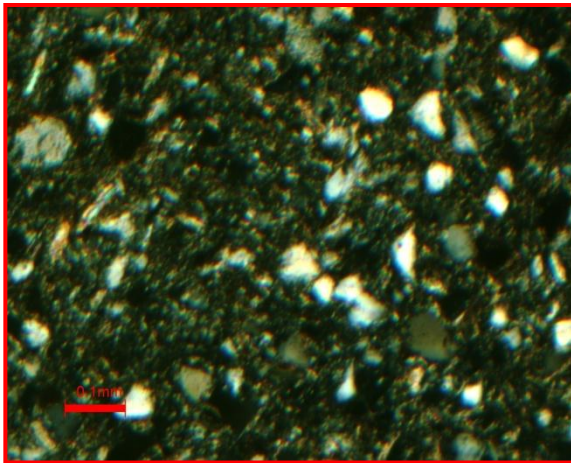


Figura 34: Fotomicrografía de Lutita. NX

**4.4 Diagénesis:**

La diagénesis involucra todos aquellos cambios que ocurren en los sedimentos luego que estos son depositados (alteraciones, pérdidas, modificando y añadiendo componentes nuevos a la población de granos sedimentados). Estos cambios están asociados a una serie de factores que de una u otra manera se encuentran relacionados entre sí, como los son la mineralogía y textura original de los componentes detríticos, la composición y características del fluido de poro, el ambiente tectónico y depositacional pre-soterramiento, la composición de la roca fuente, incremento de la carga litostática, entre otros (SANDOVAL, 2000)

#### 4.4.1 Efectos diagenéticos

En el análisis de petrografía convencional practicado a 9 secciones finas, se lograron identificar algunos procesos diagenéticos resaltantes, tales como: compactación, recristalización, disolución, cementación, reemplazo, alteración, y presión-solución; originados por los procesos físicos, químicos, físico-químicos y biológicos, tanto intrínsecos al sedimento como los generados por la acción ambiental en la cuenca durante la diagénesis.

**Tabla 6:** Efectos diagenéticos y los factores actuantes que los producen

Procesos	Factores actuantes	Efectos diagenéticos asociados
Físicos	Presión litoestática	Compactación
Químicos	Temperatura, Presión, pH, Eh, absorción iónica	Cementación Disolución Reemplazo Alteración Recristalización
Físicos-Químicos	Combinación de los anteriores	Presión-Solución Aumento empaquetamiento
Biológicos	Actividades múltiples (horadaciones)	Pérdida de textura o creación de porosidad

- **Compactación:**

Considerando la compactación como la disminución en el volumen o espesor del sedimento, producto de la reducción de la porosidad, del contenido de agua y del

aumento del grado de empaquetamiento, causado por el incremento de la profundidad de soterramiento o por el efecto de la carga litostática (SANDOVAL, 2000).

En las areniscas estudiadas algunos granos dúctiles, tales como fragmentos de micas muscovita, presentan evidencia el efecto de la compactación, éstas por lo general se encuentran deformadas y en raras ocasiones fracturadas (Figura 35), lo cual es típico del efecto de compactación durante el soterramiento.

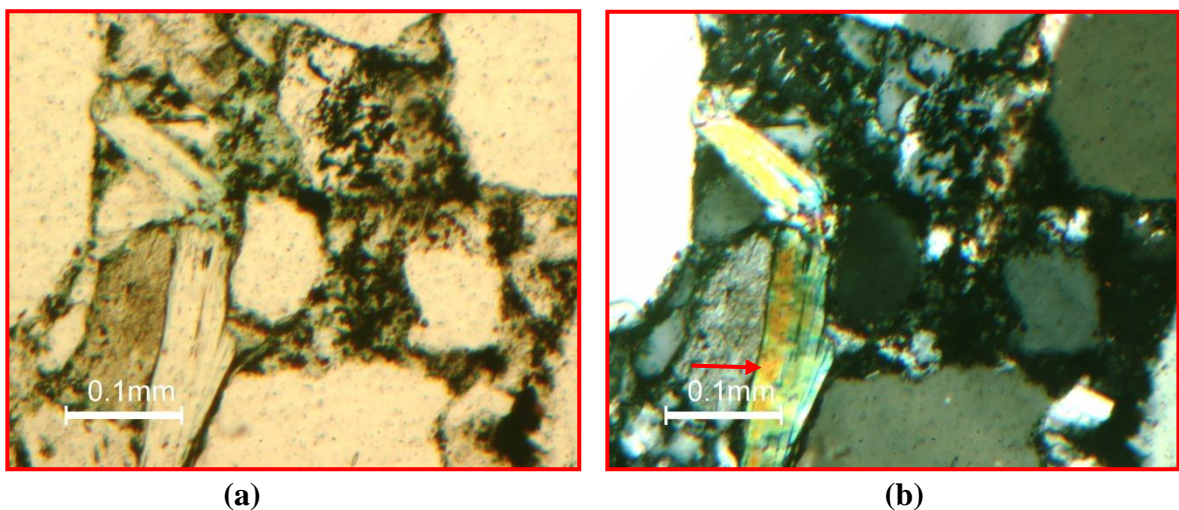


Figura 35: Microfotografía correspondiente a sección fina tomada del pozo TM-11 a una profundidad de 7442 pies, se observa como la mica muscovita se encuentra deformada y fracturada por efecto de la compactación, (a) nicoles paralelos y (b) nicoles cruzados.

Los contactos entre los granos por efectos de la compactación se presentan predominantemente longitudinales, seguidos en orden de abundancia por contactos cóncavo-convexos y grano-matriz, facilitando, estos últimos, el proceso de presión solución.

El proceso de diagenético de compactación se evidencia únicamente por la deformación de minerales (micas) y fragmentos de rocas dúctiles entre las partículas sedimentarias rígidas (cuarzo).

- **Cementación:**

La formación de una serie de minerales autigénicos producto de la precipitación de soluciones intersticiales, debido a una sobresaturación del fluido de poro en ciertas sustancias (SANDOVAL, 2000). El cemento de sílice es predominante y se evidencia en los sobrecrecimientos de cuarzo en continuidad óptica, también es abundante la recristalización de minerales de arcilla. Las secciones finas analizadas muestran cemento recristalizado de minerales de arcilla del tipo calcita como envoltorios de granos de cuarzo, feldespato y poros. Ver figura 36.

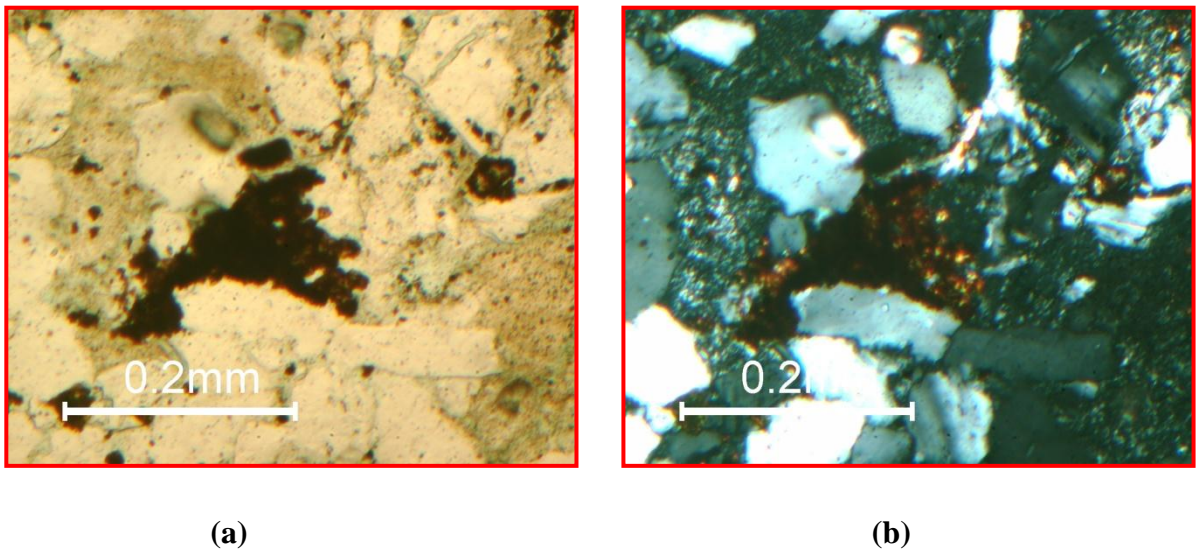
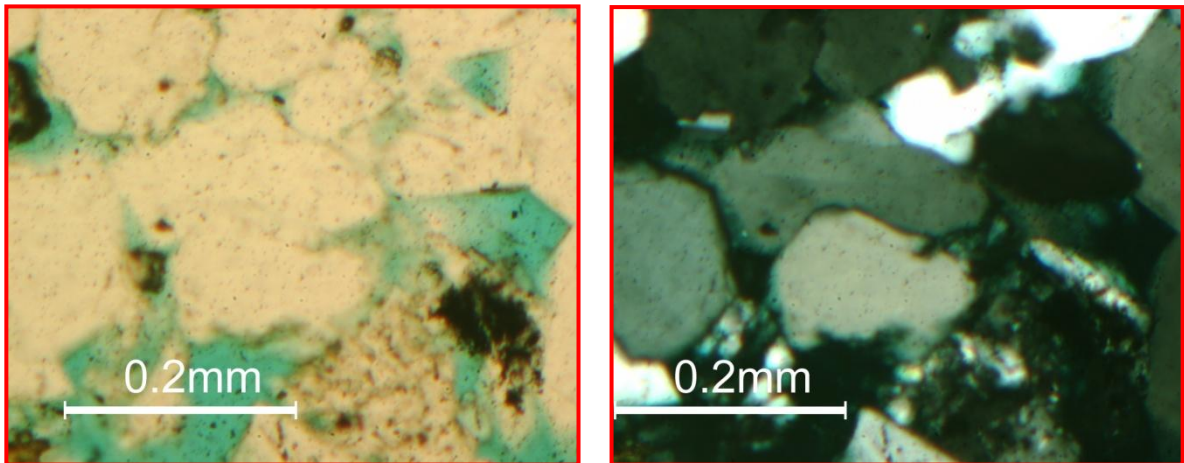


Figura 36: Microfotografía correspondiente a sección fina tomada del pozo TM-3 a una profundidad de 6562 pies, se observa la precipitación de cemento siderítico, (a) nicols paralelos y (b) nicols cruzados.

- **Disolución:**

El proceso de disolución se evidencia en los bordes de algunos granos de cuarzo los cuales se observan corroídos. La disolución de los constituyentes detríticos ocurre de forma parcial o total, y representa un proceso diagenético común en las areniscas estudiadas. Esta disolución tanto de granos como de matriz, es la responsable de la

creación de la porosidad secundaria en la muestras (Figura 37). Es más acentuada en los feldespatos potásicos (ortosa), fragmentos de roca de origen volcánico y sedimentario, y en menor grado en los granos de cuarzo monocristalinos, policristalinos y en el cemento de sílice.



(a)

(b)

Figura 37: Microfotografía correspondiente a sección fina tomada del pozo TM-3 a una profundidad de 6588 pies, se observa la disolución de matriz y cemento generando porosidad secundaria, (a) nicoles paralelos y (b) nicoles cruzados.

- **Reemplazo:**

Son reacciones químicas en los cuales un mineral crece a expensas de y en lugar otro. Ocurriendo así la disolución total de las fases sólidas. Los iones liberados pueden pasar a formar parte del fluido poral, Influir en la precipitación de otro mineral. (SANDOVAL, 2000). Ver figura 38.

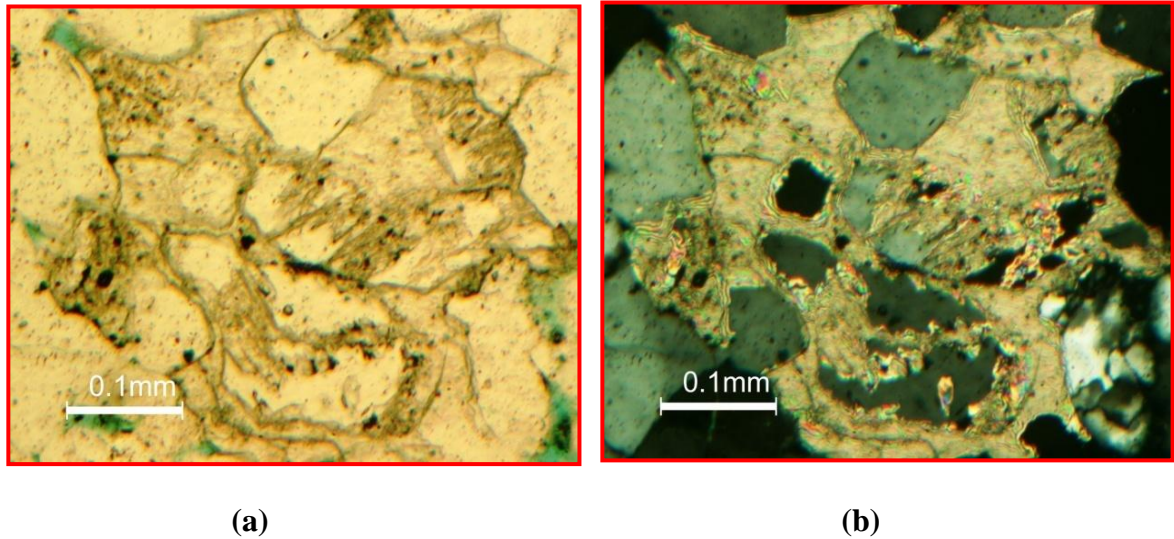


Figura 38: Microfotografía correspondiente a sección fina tomada del pozo TM-3 a una profundidad de 6582 pies, se observa el reemplazo de granos de cuarzo por calcita, (a) nicols paralelos y (b) nicols cruzados.

En las muestras donde se observó el proceso de reemplazo, un mineral autigénico crece a expensas de y en el lugar de otro mineral (grano). El mineral que está reemplazando utiliza el lugar proporcionado por el mineral reemplazado, el cual es inestable (SANDOVAL, 2000).

Por lo general este proceso ocurre con mayor frecuencia en los granos de feldespatos potásicos, en fragmentos de roca y en menor frecuencia en los granos de cuarzo. El mineral que con más abundancia se encuentra reemplazando por la calcita (Figura 39); este crece en las porciones de porosidad intragranular generada por la disolución previa.

- **Alteración:**

Tiene lugar cuando ocurre una disolución selectiva del material o fase sólida, por lo que el mineral cambia su composición, bien sea porque sólo ha disuelto parte de sus

componentes o porque el mineral reacciona con iones presentes en el fluido de poro (SANDOVAL, 2000).

El proceso diagenético de alteración es predominante dentro del análisis petrográfico realizado, observándose cambios en la composición y propiedades físicas de las areniscas. La alteración de minerales y fragmentos de roca forman en algunos casos pseudomatriz. Estos fragmentos de rocas se observan en todas las secciones analizadas, como granos deformados y triturados, dando lugar a la formación de pseudomatriz que aparece rellenando los espacios vacíos. (Figura 39).

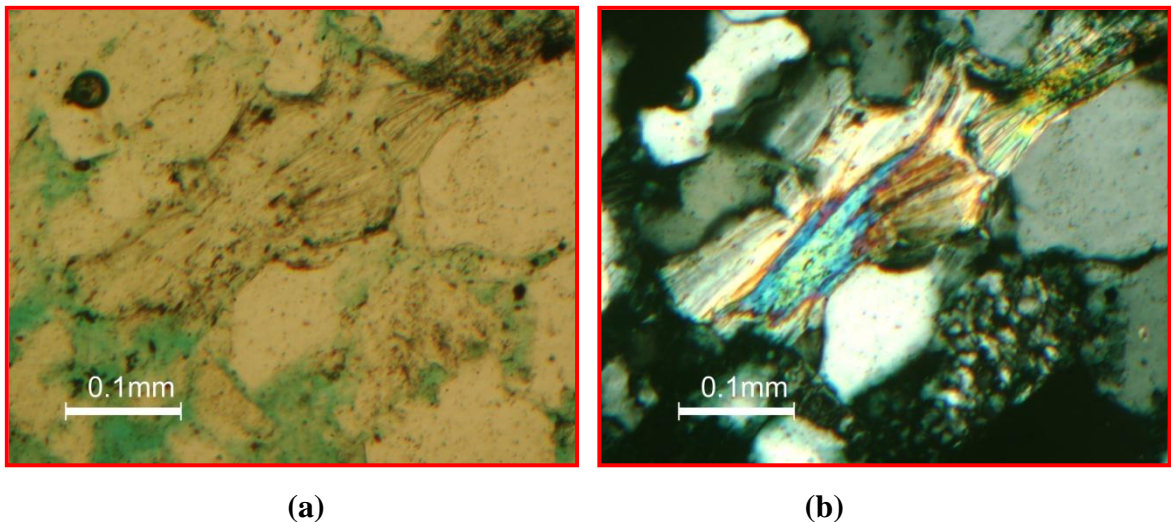


Figura 39: Microfotografía correspondiente a sección fina tomada del pozo TM-3 a una profundidad de 6588 pies, se observa la alteración de Feldspatos, (a) nicoles paralelos y (b) nicoles cruzados.

- **Presión-Solución:**

A mayor profundidad la compactación mecánica deja de ser dominante, dejando lugar luego a la compactación química, con dominio de presión solución (SCASSO Y LIMARINO, 1997).

Los contactos de presión solución se presentan por lo general suturados ocasionalmente lisos, con inclusión de material insoluble (materia orgánica) en el

plano de disolución, lo que lleva a considerar un estado avanzado presión-solución (SANDOVAL, 2000).

De acuerdo con (SANDOVAL, 2000), este proceso corresponde con la disolución de los minerales por efecto de la presión litostática, en el cual los minerales son disueltos en los puntos de contacto entre los granos, debido a un aumento en el grado de solubilidad de ellos en dichos puntos. Este proceso diagenético ha sido evidenciado en las muestras analizadas, en donde se observan todas las gamas de contactos entre granos. Se identificaron con mayor frecuencia los contactos puntuales, saturados y longitudinales (Figura 40) los cuales corresponden a etapas tempranas de este proceso.

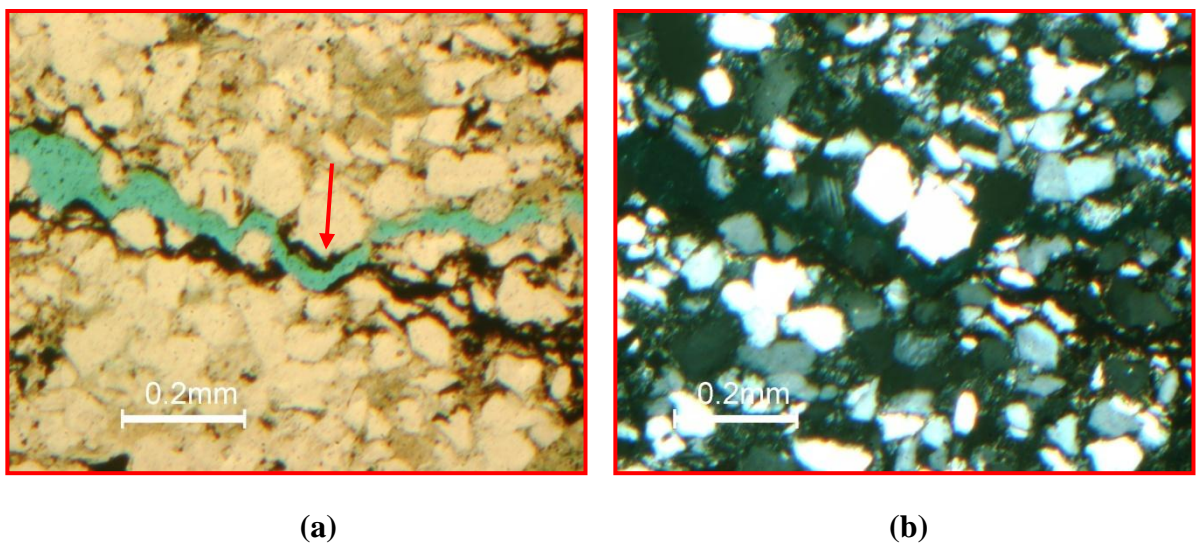


Figura 40: Microfotografía correspondiente a sección fina tomada del pozo TM-3 a una profundidad de 6562 pies, se observa una estilolita producto de presión-solución, (a) nicols paralelos y (b) nicols cruzados.

#### 4.4.2 Evolución Diagenética

Establecer una secuencia de eventos diagenéticos es muy importante para conocer la historia de soterramiento de la roca y tiene gran valor en lo que respecta a la generación u oclusión de su porosidad (SANDOVAL, 2000). En efecto, a partir de la

paragenésis se trata de descifrar el orden de aparición de los distintos eventos diagenéticos agrupándolos de acuerdo a un modelo diagenético teórico. Para el desarrollo de este trabajo en particular se utilizó el modelo diagenético propuesto por SURDAM *et al.*, (1989) el cual establece tres etapas diagenéticas: una primera etapa de soterramiento somero (diagenésis temprana) donde los procesos diagenéticos ocurren desde la interfaces agua/sedimento hasta una temperatura de 80°C; una segunda etapa de soterramiento intermedio la cual abarca un rango de temperatura entre 80°C y 130°C y, por último, una etapa de soterramiento profundo, que abarca las temperaturas entre 130°C y menores a 200°C.

#### **Soterramiento Temprano (*Interface Agua / Sedimento - 80°C*)**

En esta etapa las soluciones porales se conectarán fácilmente con las aguas superficiales, por lo tanto el sistema será abierto y los fluidos circularán con libertad a través de los poros de la roca y se intercambiarán con las aguas marinas o dulces de la superficie (SCASSO Y LIMARINO, 1997)

La circulación de agua a través de las areniscas en un determinado tiempo durante la diagénesis es el agente dinámico de la redistribución de sustancias dentro de la cuenca para la disolución, alteración y/o precipitación (SANDOVAL, 2000)

Entre los procesos observados correspondientes a esta etapa de soterramiento somero tenemos: óxidos de hierro (hematita-goetita) (ver figura 36), envoltorios de granos por arcilla (aros de arcilla), alteración/disolución de feldespatos, compactación (ver figura 35), precipitación de cemento de sílice (sobrecrecimientos), precipitación de caolinita, precipitación de carbonatos (calcita y siderita), reemplazo de granos por carbonato (calcita) (ver figura 38), y disolución incipiente de granos (ver figura 37).

Los óxidos de hierro; esta ocurrencia según SANDOVAL (2000) es común en la etapa temprana del soterramiento. Según SCASSO y LIMARINO (1997) se puede interpretar, para este caso en particular, que hubo una alteración de rocas del basamento en el área fuente que dio origen a la formación de goetita, luego, este óxido fue transportado al área de depositación en forma de partículas discretas o como delgadas películas pigmentadas sobre la superficie de los clastos y posteriormente por transformación diagenética “in situ” se comenzó a formar la hematita.

La formación de aros o envoltorios de arcilla alrededor de los granos (observados en TM 3-6582) ocurren también durante la etapa inicial de la diagénesis (SANDOVAL, 2000), se determinó que los granos involucrados se corresponden a granos de feldespato, los cuales se muestran parcialmente alterados a minerales de arcilla. Durante la alteración, los feldespatos pueden proveer la sílice necesaria para la precipitación de sílice y de caolinita (BLATT, 1979 en: SANDOVAL, 2000).

Debido al efecto producido por el soterramiento y el aumento de la carga litostática durante la compactación, se comienzan a generar un empaquetamiento más apretado de los granos, reflejado mayormente en las sublitarenitas, iniciándose el proceso de presión solución en los puntos de contacto entre los granos. En las vacas líticas la deformación ha sido inhibida en parte por la matriz arcillosa. La compactación ocasiona a finales de la diagénesis temprana la deformación de granos dúctiles, tales como muscovita y fragmentos de roca, estos últimos originan al ser deformados la pseudomatriz, que por lo general ha sido reflejada en las muestras de roca clasificadas como sublitarenitas. La compactación ha generado importantes cambios en la disminución de la porosidad primaria en todas las facies sedimentarias. Se ha determinado que la disminución de la porosidad por compactación es del orden de aproximadamente 15% a 25% (BLATT, 1979: en: SANDOVAL, 2000).

Con la sílice liberada a partir del proceso de presión - solución y el obtenido a partir de la alteración de los feldespatos se genera la precipitación de cemento de sílice como sobrecrecimiento de los granos detríticos de cuarzo. Se identificaron en algunas petrográficas sobrecrecimientos de sílice, discontinuos y poco desarrollados en la mayoría de las muestras analizadas, observándose además como las arcillas inhibían el desarrollo de tales sobrecrecimientos; esto refleja que el desarrollo de este cemento es anterior a la precipitación de los minerales de arcilla.

El cemento de calcita se presentó como relleno tanto parcial como total de poros (observado en TM 3-6582), originando una fábrica “flotante” (donde se observa un desplazamiento de los granos que parecen que estuvieran flotando en el cemento), lo que evidencia condiciones favorables para la formación durante la diagenésis temprana. La precipitación de calcita ocurre comúnmente en los sectores de reducción del sulfato (sector superficial, en los primeros metros de la columna de agua) y fermentación (cuando el sulfato es provisto por el agua de mar, con una profundidad no mayor a diez metros) dentro de la zona diagenética temprana (SCASSO y LIMARINO, 1990).

La continua precipitación de calcita a finales de la diagenésis temprana ocasiona el reemplazo de cuarzo por calcita, lo cual va a depender del pH contenido en los fluidos de poro (el intervalo crítico de pH en el cual ocurren reacciones de reemplazo entre el sílice y la calcita es de 7 a 9). El reemplazo de feldespatos por calcita ocurre bajo la presencia de soluciones ricas en calcio y carbonato, las cuales son capaces de destruir la estructura cristalina de los feldespatos bajo la presencia de pH elevados. Según SANDOVAL, (2000) se tiene que a mayor temperatura se incrementa la solubilidad del sílice y del feldespato y disminuye la de la calcita.

La siderita (observada en TM 3-6588 y TM 3-6562), se presentó generalmente como un cemento relleno el espacio poroso, lo que hace ver un origen temprano del

mismo. Se forma cuando la actividad del sulfuro es baja y la actividad del carbonato es alta (SANDOVAL, 2000).

La fuente de hierro para la formación de siderita puede ser suministrada al fluido de poro mediante la alteración de los minerales de arcilla, evento que es muy común en la mayoría de rocas observadas y óxidos férricos (goetita) presentes también en la secuencia de estudio, en ambientes de Eh negativo (reductor, conseguido a través de la descomposición bacteriana de la materia orgánica) (SANDOVAL, 2000)

Cambios de temperatura, salinidad y de pH en las soluciones surgen ocasionando la disolución parcial de granos inestables como los fragmentos de roca a finales del soterramiento somero

### **Soterramiento Intermedio (80°C - 130°C)**

Durante el soterramiento intermedio la porosidad puede tanto ser reducida, como también ser preservada, lo que va a depender de las reacciones que ocurran en el sedimento.

En esta etapa continúa el proceso de compactación, la presión solución se hace más intensa. La deformación de los fragmentos de roca formando pseudomatriz es más pronunciada en esta etapa, estos fragmentos con la deformación se hacen más inestables y comienzan a alterarse a minerales de arcillas. Los feldespatos (plagioclasa) con el aumento del grado diagenético continúan su alteración, que en esta etapa es mucho más marcada, adquiriendo una total alteración a minerales de arcilla (observados en TZ 1-6772). La alteración puede asociarse al CO<sub>2</sub> presente en el ambiente diagenético como consecuencia de la maduración de la materia orgánica, en niveles adyacentes. El CO<sub>2</sub> debe estar en una fase disuelta para formar ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), que por ser un ácido débil se disocia en el agua originando iones

H<sup>+</sup> que disminuyen el pH, ocasionando la formación de un solvente orgánico, favoreciendo la disolución y alteración de los feldespatos (SANDOVAL, 2000). Otro evento de disolución en esta etapa diagenética corresponde con la disolución parcial del cemento de calcita el cual pudo haberse originado mediante una disminución de temperatura, de pH o aumento de la salinidad de las soluciones porales (SCASSO Y LIMARINO, 1997). La alteración y disolución de feldespatos potásicos (microclino), feldespatos sódicos (plagioclasa), fragmentos de roca así como la disolución parcial del cemento de calcita son los procesos generadores de porosidad en esta etapa. Observados en TZ 1-6772, TM 3-6588.

A finales del soterramiento intermedio se comienza a observar las estilolitas (ver figura 40) como producto del proceso físico-químico de presión-solución originado por el efecto de la compactación.

### **Soterramiento Profundo (130°C - 200°C)**

En los procesos de la fase de soterramiento profundo se observa la precipitación de minerales de hierro, como la pirita, y la presencia de hidróxidos de hierro (goetita), en forma de material precipitado. La alteración y disolución de los feldespatos a sericita, también se encuentran en algún instante de la fase tardía, producto de las altas temperaturas y de la inestabilidad mineralógica de los feldespatos. Observado en muestras del pozo TM-3 a 6562 pies de profundidad.

## 5. ESTRATIGRAFÍA LOCAL

### **Generalidades**

La Formación Oficina, se encuentra dividida en varias unidades o miembro operacionales, de base a tope estos son: colorado, amarillo, verde, naranja, moreno y blanco. Este trabajo abarca el estudio de los dos primeros, que corresponden a la parte basal de la formación, y que son el nivel estratigráfico de mayor interés económico en el área.

El espesor promedio de estas unidades es de 1100 pies para colorado, y de 600 pies para amarillo.

La columna estratigráfica generalizada de las formaciones del área de Anaco (ver figura 41) muestra las unidades que han sido analizadas en el presente estudio, desde el tope de la Formación Merecure hasta el miembro Amarillo de la Formación Oficina.

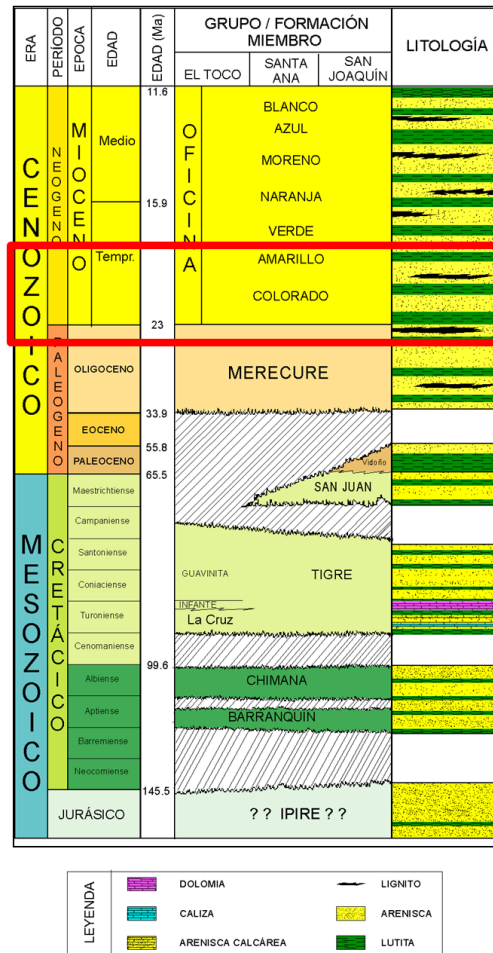


Figura 41: Columna generaliza de las formaciones de Anaco, Cuenca Oriental de Venezuela. Tomado de Informe Interno de PDVSA, Proyecto Anaco. En el recuadro las unidades generalizadas en este estudio.

La columna estratigráfica está caracterizada por alternancias de lutitas grises, limolitas y areniscas de colores claros y de tamaño de grano fino a grueso variando en proporción de base a tope de la formación (Código Geológico de Venezuela, 2007). Es común la presencia de carbones y lutitas carbonáceas. La parte basal presenta relativamente mayor porcentaje de areniscas, intercaladas con limolitas, lutitas y carbones de espesor variable. Hacia la parte media de la formación aumentan los espesores de lutitas y se reduce la presencia de areniscas, apareciendo con espesores muy delgados, los cuales incrementan nuevamente hacia la parte superior. El

ambiente que caracteriza esta formación es fluvio-deltaico, con predominancia de ambiente fluvial en la parte basal, el cual precede a una etapa de transgresión marina y continúa con ciclos que caracterizan a un delta progradante.

Para la definición de las secuencias se emplearon los conceptos básicos de estratigrafía secuencial (ver apéndice), al mismo tiempo que se realizó un análisis de las características litológicas y físicas correspondientes a cada uno de los cuatro núcleos descritos.

Se identificaron las superficies de inundación y los límites de secuencia, tomando como base el comportamiento de los registros de los pozos, siendo el más importante y con mayor influencia el registro Gamma Ray (GR), potencial Espontáneo (SP) y Resistividad (RD). En la interpretación de las curvas de los registros de pozos se buscaron los puntos máximos y mínimos que corresponden con superficies de inundación y límites de secuencias respectivamente.

En vista que para este estudio no se contó con datos bioestratigráficos de edades, se utilizó para establecer el orden de las secuencias el trabajo realizado por Campos et al, (1985) de Estratigrafía del Noreste de Anzoátegui, donde realizan un estudio en el Pozo RG-195S del Campo Santa Rosa y establecen edades para los miembros de la Formación Oficina (ver figura 42), donde establecen edades para la base del Miembro Colorado de 16.5 millones de años. Sin embargo posteriormente CABRERA S. (1990), realiza una reinterpretación para el Pozo RG 195S, donde propone la zona NN3 para la parte inferior media del Miembro Amarillo: la zona NN3 corresponde al Burdigaliense Medio. Según la carta eustática de P.R. VAIL *et al.* (1986), la parte superior del Miembro Colorado podría ser de edad Aquitaniense Superior (N5, NN1 a NN2).

Según la Carta eustática de HAQ et al (1987) ver figura 43, las unidades estratigráficas de este estudio correspondientes a los miembros basales de la Formación Oficina (Colorado y Amarillo), pueden corresponder con cuatro secuencias de tercer orden generadas entre el Aquitaniense y el Burdigalinense. Estas

secuencias fueron divididas a su vez en secuencias de cuarto orden totalizando ocho secuencias.

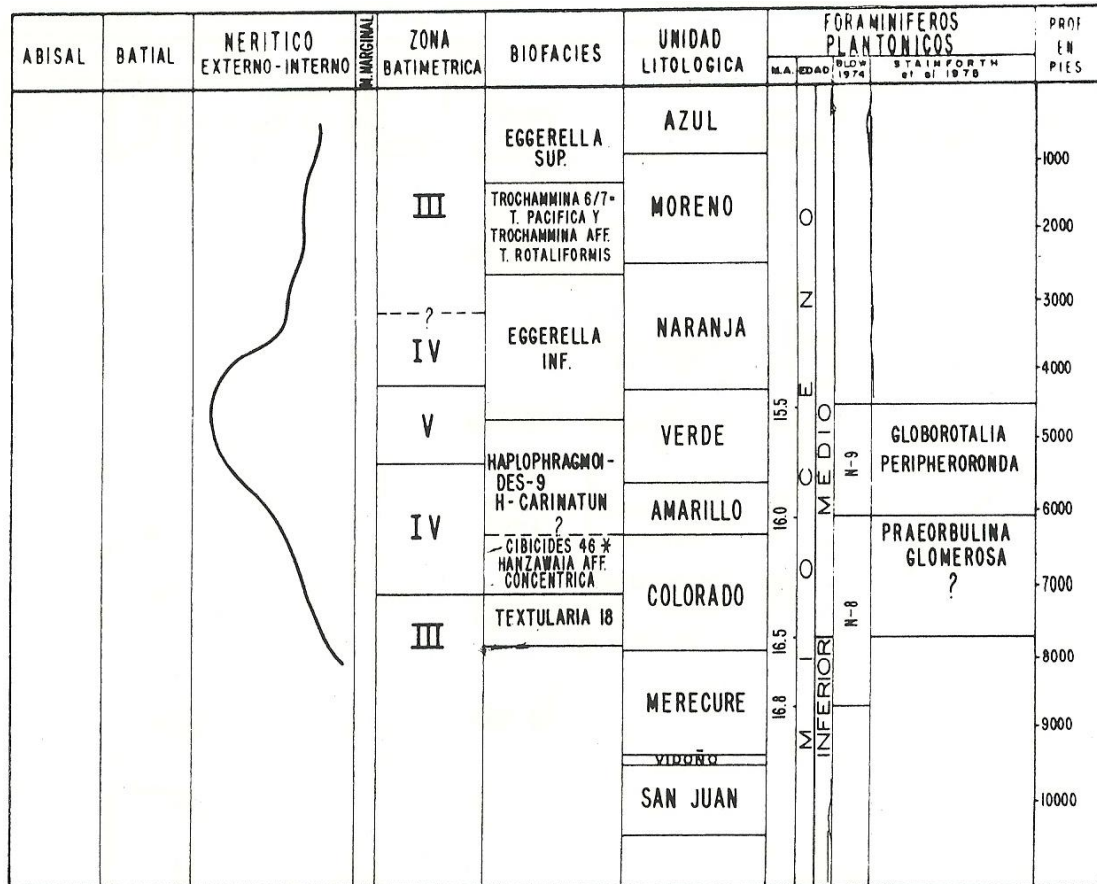


Figura 42: Curva Paleobatimétrica en el pozo RG-195S, se observan las biofacies para cada una de las unidades litológicas de la Formación Oficina. Tomado y modificado de Campo et al, 1985.

En base a lo anterior y utilizando carta estática de HAQ et al, (1987) ver figura 43, se procedió a ubicar los posibles topes de los miembros estudiados según las edades citadas por los autores mencionados anteriormente.

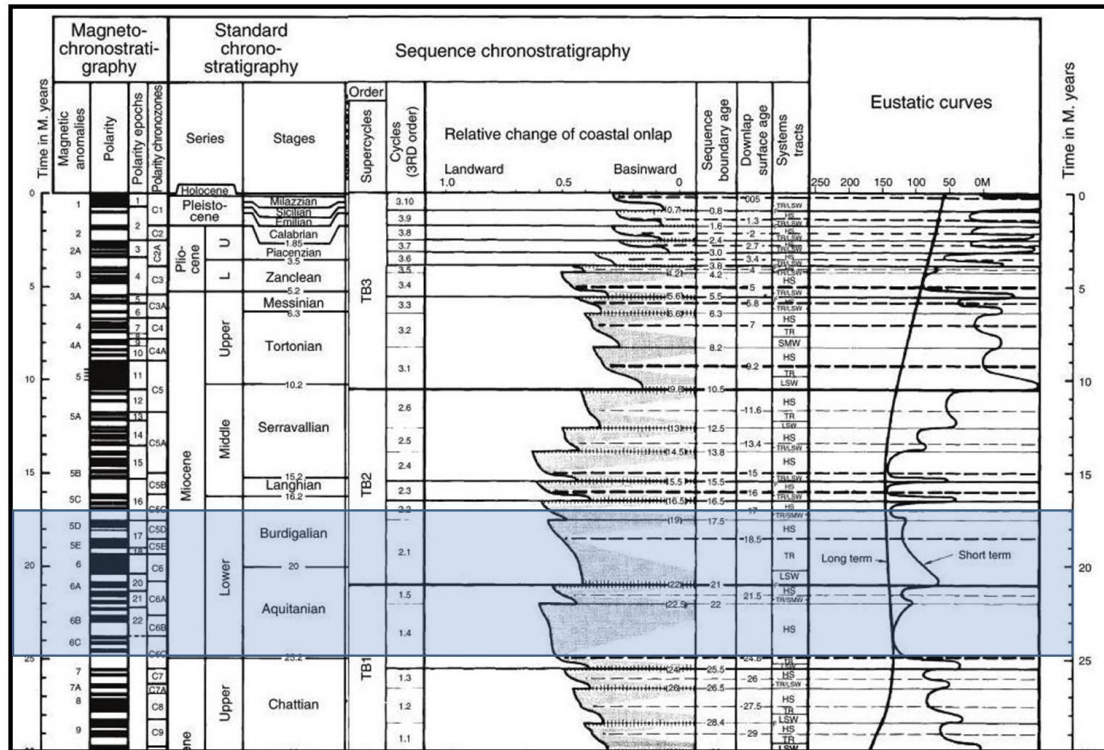


Figura 43: Carta eustática de HAQ et al 1987, donde se resalta el intervalo de estudio.

Se observa que las unidades estudiadas corresponden con cuatro secuencias de tercer orden ubicadas en el Mioceno inferior, dichas secuencias en este estudio fueron divididas a su vez en secuencias de cuarto orden para obtener mayor resolución en los resultados.

Para obtener la columna representativa del Campo El Toco, se realizaron 5 secciones estratigráficas distribuidas en la zona (ver la Figura 44). En dichas secciones se desarrollaron las correlaciones para obtener el comportamiento estratigráfico y observar las variaciones laterales entre los pozos del campo, proporcionando las relaciones de las facies y los posibles eventos depositacionales.



dentro de los miembros Colorado y Amarillo, corresponden a superficies de inundación. Ver figura 45.

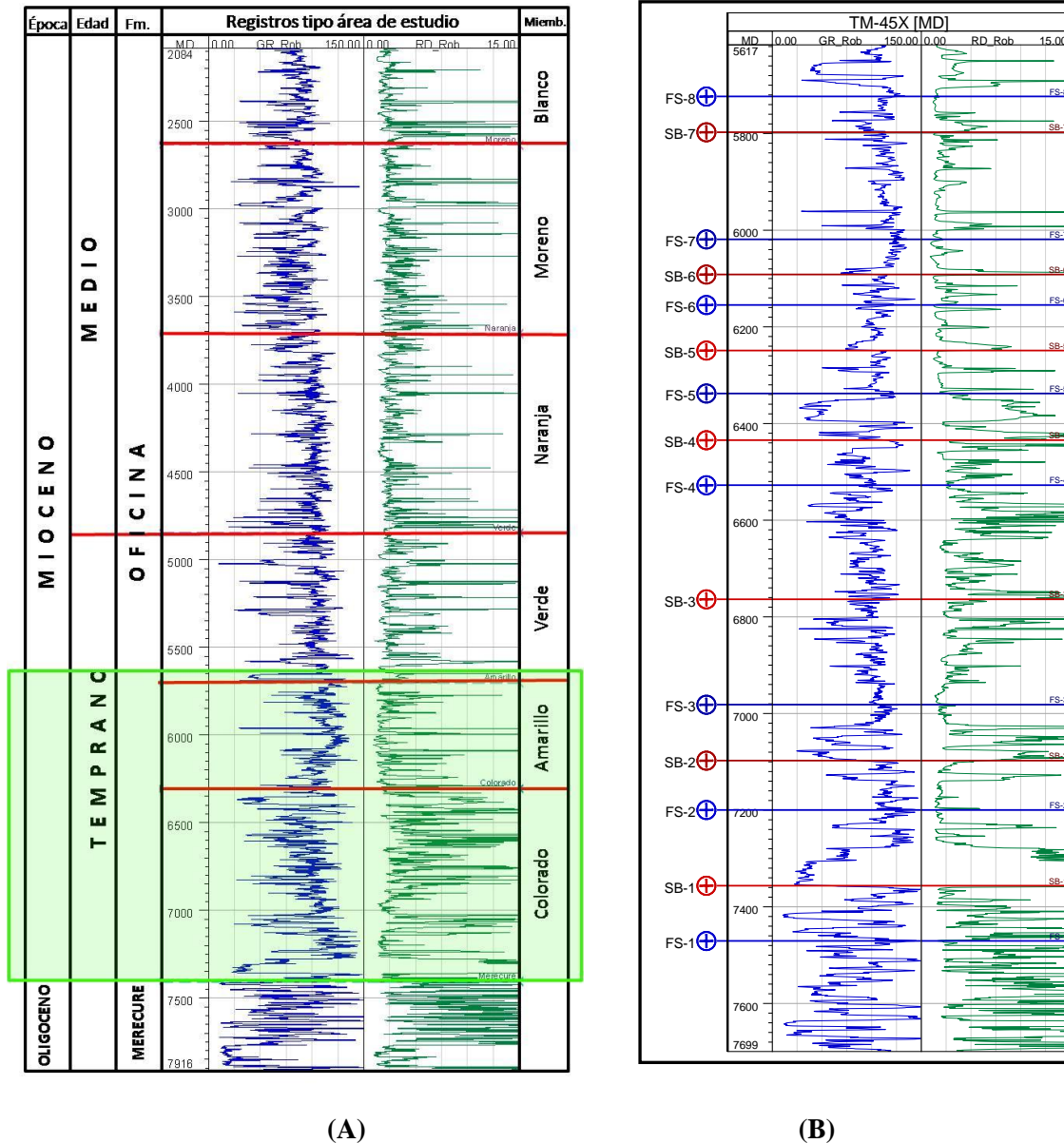


Figura 45: El registro (A) corresponde a uno registro tipo de la Formación Oficina en el área del Toco, pudiéndose observar en el recuadro verde la unidad correspondiente al intervalo de interés. En el registro (B) se muestra un registro con las secuencias establecidas para los miembros Colorado y Amarillo, de la Formación Oficina.

## 5.1 Descripción de las secuencias

A continuación se va a realizar una descripción estratigráfica de base a tope de las diferentes unidades, así como de las electrofacies definidas a partir de registros de Rayos Gamma (GR), Potencial Espontaneo (SP).

### 5.1.1 Secuencia 1

La secuencia 1, vista en la figura 46, ANEXO C. 2, exhibe un espesor promedio de 283 pies, con espesores mínimos de 207,62 pies y máximos de 458,41 pies. Dentro de esta secuencia se puede observar la presencia de varios cuerpos de arenas, con espesores acumulados de arena que van desde los 11 pies, hasta los 213 pies, las arenas pueden llegar a tener espesores individuales de hasta 90 pies. Las electrofacies observadas en esta secuencia corresponden con un sistema de canales anastomosados, canales abandonados, bahías interdistributarias y llanuras de inundación.

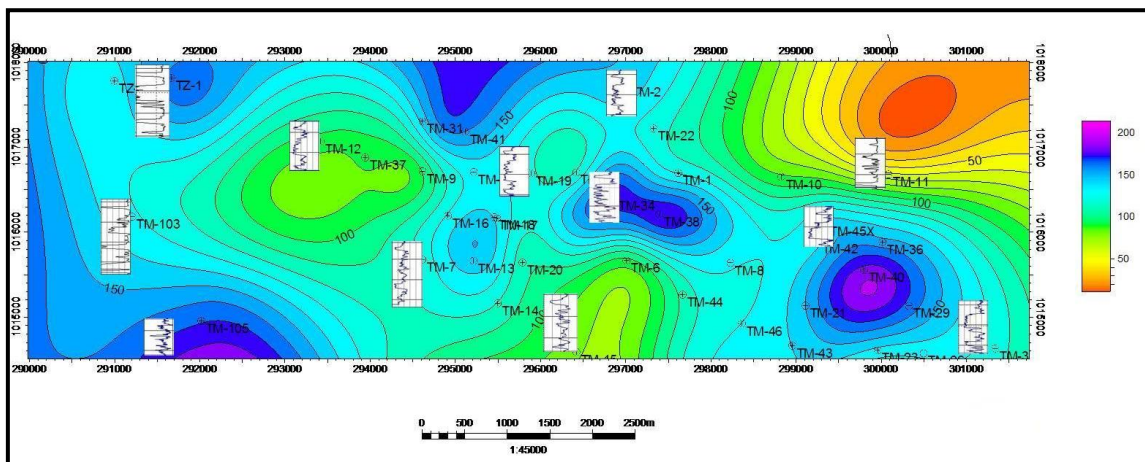


Figura 46: ANEXO C. 2, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.

Las facies de canal están representadas por electrofacies que muestran un comportamiento principalmente cilíndrico, correspondiendo con depósitos de arenas limpias. Esta zona ocupa alrededor de un 50% en el área del mapa y comprende 2 cuerpos arenosos principales. En el primero de estos, al este, se evidencian espesores de arena de hasta 45 pies, relaciones de “net to gross” de 70% y de relación arena/lutita mayor a 4, en la zona de mayor erosión. El segundo, en la zona oeste, alcanza espesores de hasta 50 pies, y exhibe valores máximos de 70% relación de “net to gross” y de arena/lutita de 0.9 a 1. Ver anexo C.2.

Entre los dos canales mencionados se encuentra un área cuyo comportamiento las electrofacies corresponde con una bahía interdistributaria con valores de relación “net to gross” de 30% y de arena/lutita de 0.55. Esta facies ocupa un 25% del área total, y presenta espesores de arena acumulados hasta 120 pies y arenas individuales 23 pies.

Las facies de llanura de inundación muestran una tendencia irregular, como consecuencia de la intercalación de espesos cuerpos de lutita, con pequeños lentes de arenisca. Esta facies ocupa un 25% del área total, y presenta espesores de arena de 6 pies. Se reconoce hacia norteste del campo, y se aprecian valores de relación de “net to gross” de 30%, y de arena/lutita iguales a 0.4.

### **Análisis Ambiental**

La disposición espacial de las facies dentro del campo indica que la secuencia se desarrolló en un ambiente de sedimentación de planicie deltáica, en donde se reconocen facies de depósitos de canales anastomosados, bahías interdistributarias y llanuras de inundación. En la zona este del campo se observa un conjunto de canales de mayor jerarquía, de 2 km de ancho, en la parte central se observa un canal abandonado, en la parte oeste del campo se observa otro conjunto de canales cuyo ancho no se pudo determinar porque se excede del área del mapa, pero se estima que es mayor de 1.5 km, entre ambos canales se encuentra la bahía interdistributaria y al

noreste la llanura de inundación. En la parte central de este canal se aprecia un aumento en los espesores de arena (pozos TM-40 y TM-34). Estas islas presentan depósitos de arena de cierto espesor debido a las variaciones o pulsos de energía en el caudal del sistema fluvial.

La facies de llanura de inundación reconocida al norte del campo, corresponde con la zona interdistributarios del delta, y los espesores de arena reconocidos provienen de eventos de desborde de los distributarios.

En el pozo TM 3 se cuenta con un núcleo de 38 pies de longitud que fue extraído entre los 7216 pies y los 7178 pies, cuya descripción y análisis sugiere la presencia Ver figura 47.

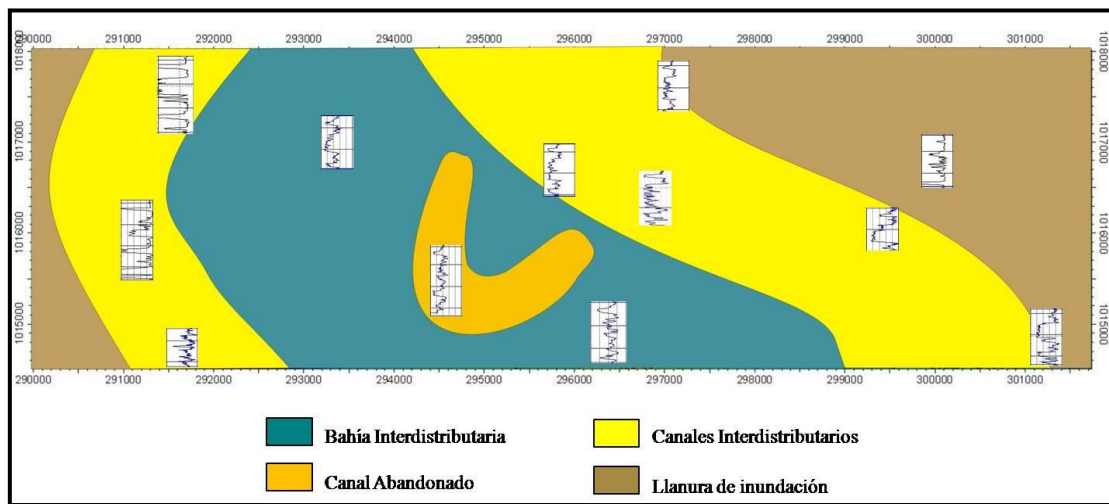


Figura 47: ANEXO C. 33, Mapa de electrofacies de la secuencia 1

### 5.1.2 Secuencia2

La secuencia 2, vista en la figura 48, ANEXO C.6, exhibe un espesor promedio de 196,88 pies, con espesores mínimos de 136,72 pies y máximos de 244,06 pies, los espesores van aumentando de suroeste al noreste. Dentro de esta secuencia se puede observar la presencia de varios cuerpos de arenas, con espesores acumulados de arena que van desde los 11,8 pies, hasta los 118,7 pies, las arenas pueden llegar a tener espesores individuales hasta 60 pies.

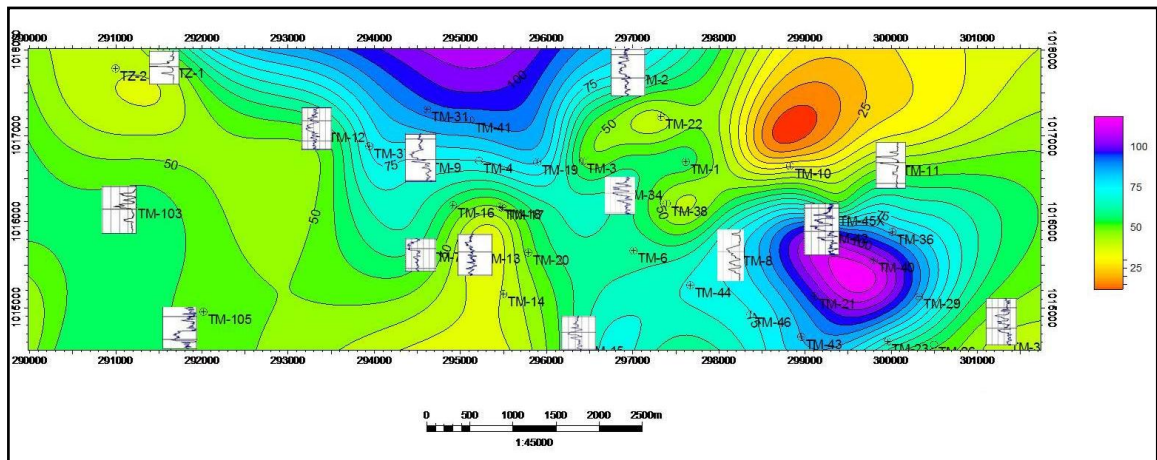


Figura 48: ANEXO C. 6, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.

Las electrofacies de esta secuencia muestran menos cantidad de arena, lo que sugiere un incremento relativo del nivel del mar con respecto a la secuencia anterior, aumentando la influencia de las mareas, lo que genera en las electrofacies un aspecto aserrado o irregular, sin embargo se identifican un sistema de canales anastomosados cuyas facies corresponden con canales, bahías interdistributarias, llanuras de inundación y barras longitudinales dentro del canal.

En esta secuencia las electrofacies correspondiente a los canales fluviales se presentan en ocasiones de forma cilíndrica aserrada y otras veces en campana

aserrada. Correspondiendo a depósitos de arenas intercalados con arcillas depositadas por la influencia de las mareas. Esta zona ocupa alrededor de un 40% en el área del mapa y comprende 2 cuerpos arenosos dispuestos con una dirección sureste – noroeste.

En el primero de estos, al este, se evidencian espesores de arena hasta 30 pies, relaciones de “net to gross” de 54% y de relación arena/lutita 1.24, en la zona de mayor erosión.

El segundo, en la zona oeste, alcanza espesores de hasta 50 pies, y exhibe valores máximos de 40% relación de “net to gross” y de arena/lutita de hasta 0.62. Ver anexo 8 y 5.

Entre los dos canales mencionados se encuentra un área cuyo comportamiento las electrofacies corresponde con una bahía interdistributaria con valores de relación “net to gross” de 22% y de arena/lutita de 0.31. Esta facies ocupa un 40% del área total, y presenta espesores de arena acumulados hasta 65 pies y arenas individuales 45 pies.

Las facies de llanura de inundación muestran una tendencia irregular, como consecuencia de la intercalación de espesos cuerpos de lutita, con pequeños lentes de arenisca. Esta facies ocupa un 20% del área total, y presenta espesores de arena hasta 12 pies. Se reconoce hacia norteste del campo, y se aprecian valores de relación de “net to gross” de 20%, y de arena/lutita iguales a 0.24.

En el interior del canal se observa un comportamiento de las electrofacies en forma de embudo aserrado lo que sugiere la presencia de una barra longitudinal en el interior del canal principal.

### **Análisis Ambiental**

La disposición espacial de las facies dentro del campo indica que la secuencia se desarrolló en un ambiente de sedimentación de planicie deltáica, en donde se reconocen facies de depósitos de canales anastomosados, bahías interdistributarias, llanuras de inundación y barras longitudinales. En la zona este del campo se observa

conjunto de canales de mayor jerarquía, de 2.5 km de ancho, en el interior de este canal está dispuesto una barra longitudinal de unos 2 km<sup>2</sup> de extensión, al sur de este canal se observa la confluencia de canales de menor tamaño de 1 km de ancho. Al oeste del área se presentan facies de canales dispuesto pseudoparalelo al anterior 1.5 km<sup>2</sup>. Entre ambos cinturones de canales se encuentra la bahía interdistributaria y al noreste la llanura de inundación. Ver figura 49.

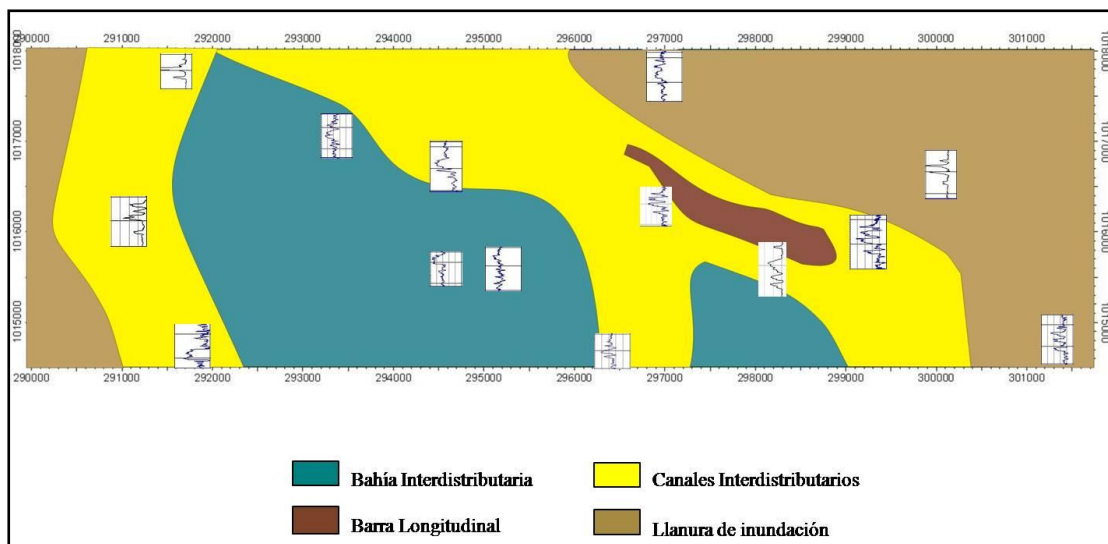


Figura 49: ANEXO C. 34, Mapa de electrofacies de la secuencia 2.

### 5.1.3 Secuencia 3

La secuencia 3, vista en la figura 50, ANEXO C. 10, exhibe un espesor promedio de 445,10 pies, con espesores mínimos de 235,31 pies y máximos de 544,48 pies. Dentro de esta secuencia se puede observar la presencia de varios cuerpos de arenas, con espesores acumulados de arena que van desde los 32,28 pies, hasta los 239,86 pies, las arenas pueden llegar a tener espesores individuales hasta 60 pies.

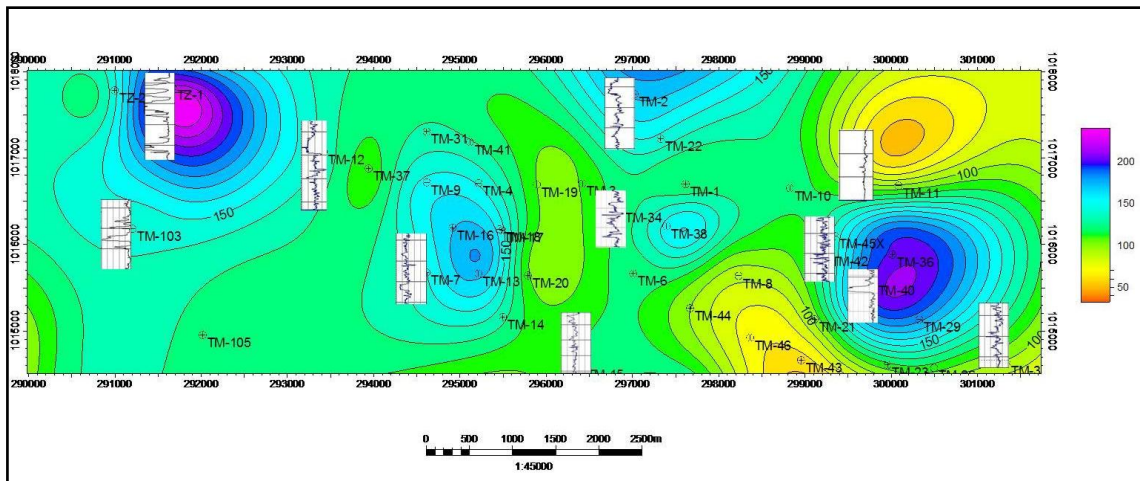


Figura 50: ANEXO C. 10, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.

Continúa el aumento relativo del nivel del mar, por lo que en esta secuencia se observan electrofacies de aspecto más aserrado e irregular que la anterior, sin embargo se identifica la presencia de facies de canales anastomosados, bahías interdistributarias, llanuras de inundación, canales abandonados y diques naturales, con gran influencia de las mareas por encontrarse próximo a la desembocadura del delta. En esta secuencia se encuentran presentes dos canales, uno al Este y otro al Oeste del área. La dirección del primero de estos es aproximadamente Sur-Norte, con espesores de arena de hasta 50 pies, relaciones de “net to gross” de hasta 46% y de relación arena/lutita 0.87, en la zona de mayor erosión. Mientras el segundo está dispuesto de sureste a noroeste, alcanza espesores de hasta 20 pies y exhibe valores máximos de 45% de relación de “net to gross” y de arena/lutita de hasta 0.91. Ver ANEXO C. 12 y C.9. Entre los dos canales mencionados se encuentra un área cuyo comportamiento las electrofacies corresponde con una bahía interdistributaria con valores de relación “net to gross” de 26% y de arena/lutita de 0.32. Esta facies ocupa un 35% del área total, y presenta espesores de arena acumulados hasta 100 pies y arenas individuales 25 pies.

Las facies de llanura de inundación muestran una tendencia irregular, como consecuencia de la intercalación de espesos cuerpos de lutita, con pequeños lentes de arenisca. Esta facies ocupa un 20% del área total, y presenta espesores de arena hasta 12 pies. Se reconoce hacia norteste del campo, y se aprecian valores de relación de “net to gross” de 20%, y de arena/lutita iguales a 0.24.

En el interior del canal se observa un comportamiento de las electrofacies en forma de embudo aserrado lo que sugiere la presencia de una barra longitudinal en el interior del canal principal.

### **Análisis Ambiental**

La disposición espacial de las facies dentro del campo indica que la secuencia se desarrolló en un ambiente fluvio deltaico dominado por la acción de las mareas, con la presencia de canales que cortan los sedimentos más finos de llanura de inundación. En la zona Oeste del campo se observa un conjunto de canales de mayor jerarquía, de unos 2 km de ancho. Para esta secuencia se cuenta con un núcleo extraído en el pozo TZ 1 cuya descripción se puede observar en el capítulo correspondiente, donde se determina que dicho núcleo corresponde con depósitos de canales distributarios con influencia de mareas en la planicie deltaica.

Se puede apreciar que al este se encuentra otro canal, cuya dirección tiende a confluir fuera del mapa con el canal anterior. Entre ambos canales se encuentra la bahía interdistributaria, en dicha bahía y centro del mapa se observa un canal abandonado y al noreste la llanura de inundación. Ver figura 51.

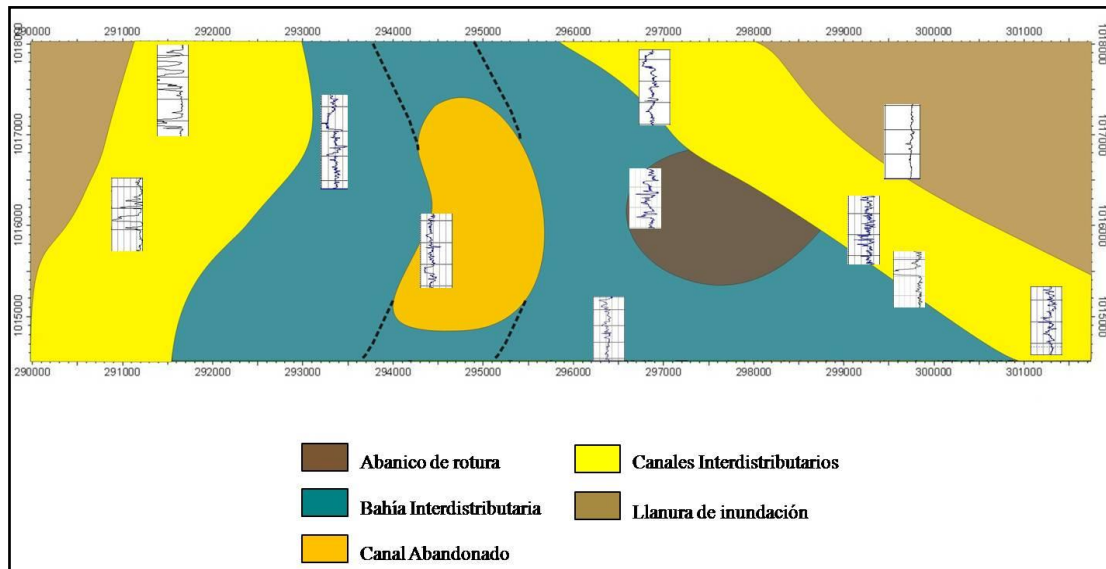


Figura 51: ANEXO C. 35, Mapa de electrofacies de la secuencia 3

#### 5.1.4 Secuencia 4

La secuencia 4, vista en la figura 52, ANEXO C. 14, exhibe un espesor promedio de 191,70 pies, con espesores mínimos de 124,79 pies y máximos de 295,08 pies. Dentro de esta secuencia se puede observar la presencia de varios cuerpos de arenas, con espesores acumulados de arena que van desde los 30,48 pies, hasta los 122,25 pies, las arenas pueden llegar a tener espesores individuales hasta 68 pies.

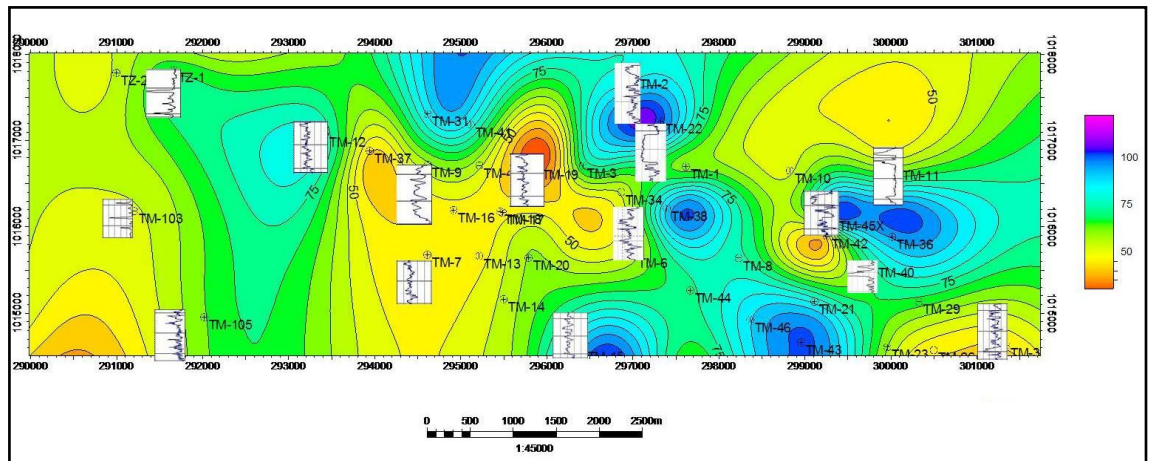


Figura 52: ANEXO C. 14, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.

En esta secuencia se observa un canal con dirección aproximada Sur-Norte, con dos afluentes. Abarcan aproximadamente un 30% del área del mapa.

Se observan claramente, un comportamiento cilíndrico en las electrofacies de los canales e irregular para las llanuras de inundación.

La tendencia irregular de las curvas exhibidas en los pozos TM 7, TM 104, TM 19 y TM 11, y la ausencia de arena indican que éstos se encuentran ubicados en las facies de depósitos de llanura de inundación. La escasa presencia de arena en estos registros trae como consecuencia que las relaciones “net to gross” y arena/lutita sean bajas de aproximadamente 20%. Ver ANEXO C.16 y C.13.

Al noroeste del mapa hacia el pozo TM 12 se observa un área cuyo comportamiento las electrofacies corresponde con un abanico de rotura con valores de relación “net to gross” de 40% y de arena/lutita de 0.7.

## Análisis Ambiental

La disposición espacial de las facies dentro del campo indica que la secuencia se desarrolló en un ambiente de sedimentación de planicie deltáica, en donde se reconocen facies de depósitos de canales, bahías interdistributarias, llanuras de inundación y abanico de rotura. En la zona este del campo se observa un conjunto de canales de 1.5 km de ancho, en esta zona se observa la confluencia de dos canales de menor tamaño de 1 km de ancho, y en la parte norte de este canal se observa un abanico de rotura. La llanura de inundación ocupa el resto del área aproximadamente de 65% del área total. Ver figura 53.

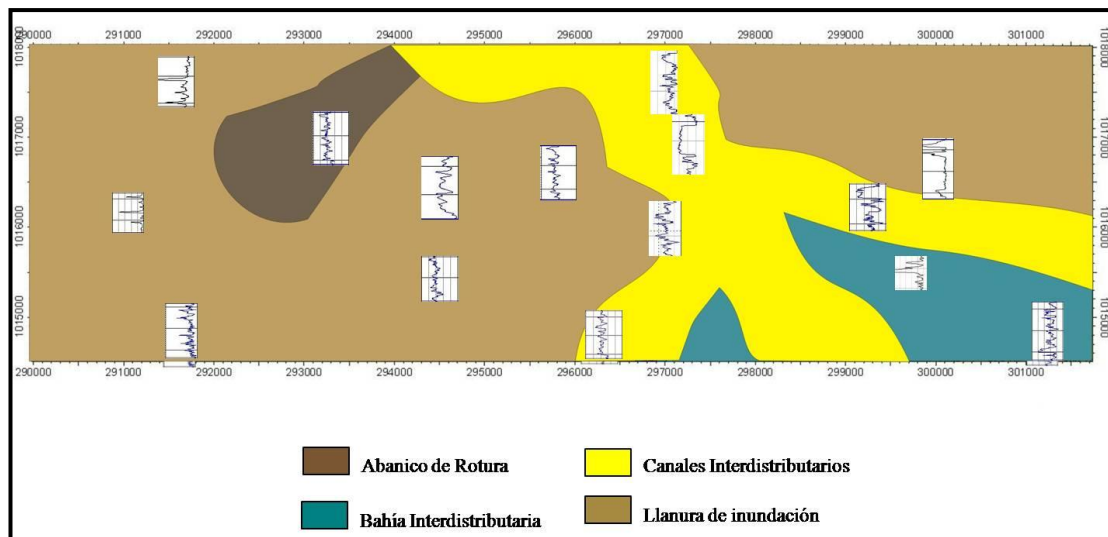


Figura 53: ANEXO C. 36, Mapa de electrofacies de la secuencia 4.

### 5.1.5 Secuencia 5

La secuencia 5, vista en la figura 54, ANEXO C.18, exhibe un espesor promedio de 207,71 pies, con espesores mínimos de 154,06 pies y máximos de 275,73 pies. Dentro de esta secuencia se puede observar la presencia de un cuerpo de arena, con espesor acumulado de arena que van desde los 70 pies, hasta los 123 pies, las arenas pueden llegar a tener espesores individuales hasta 20 pies.

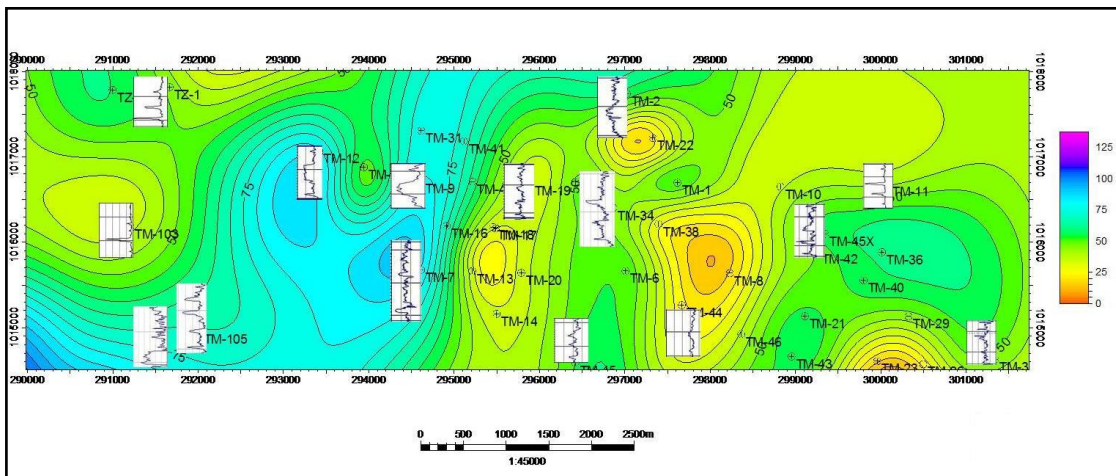


Figura 54: ANEXO C. 18, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.

En esta secuencia se observa un canal con dirección aproximada Sur-Norte, abarcan aproximadamente un 20% del área del mapa.

Se observan claramente, un comportamiento cilíndrico en las electrofacies de los canales e irregular para las llanuras de inundación, al borde del canal se presentan electrofacies que pueden corresponder a diques naturales.

En la llanura de inundación se observan cuerpos de arenas irregulares que corresponden a depósitos de desborde en tiempos de crecida de los ríos. Ver ANEXO C.20 y C.17.

En el área del canal se aprecian valores de relación “net to gross” de hasta 55% y de arena/lutita de 0.25. Para la llanura de inundación se observa los valores de relación “net to gross” desde 0% hasta 25% y de arena/lutita hasta 0.20.

### Análisis Ambiental

La disposición espacial de las facies dentro del campo indica que la secuencia se desarrolló en un ambiente de sedimentación de planicie deltáica, en donde se reconocen facies de depósitos de canales distributarios, llanuras de inundación y diques naturales. En la zona este del campo se observa un conjunto de canales de aproximadamente 1.5 a 2 km de ancho, al borde de este canal se observa la presencia de diques naturales. La llanura de inundación ocupa un 70% en el área del mapa. Ver figura 55.

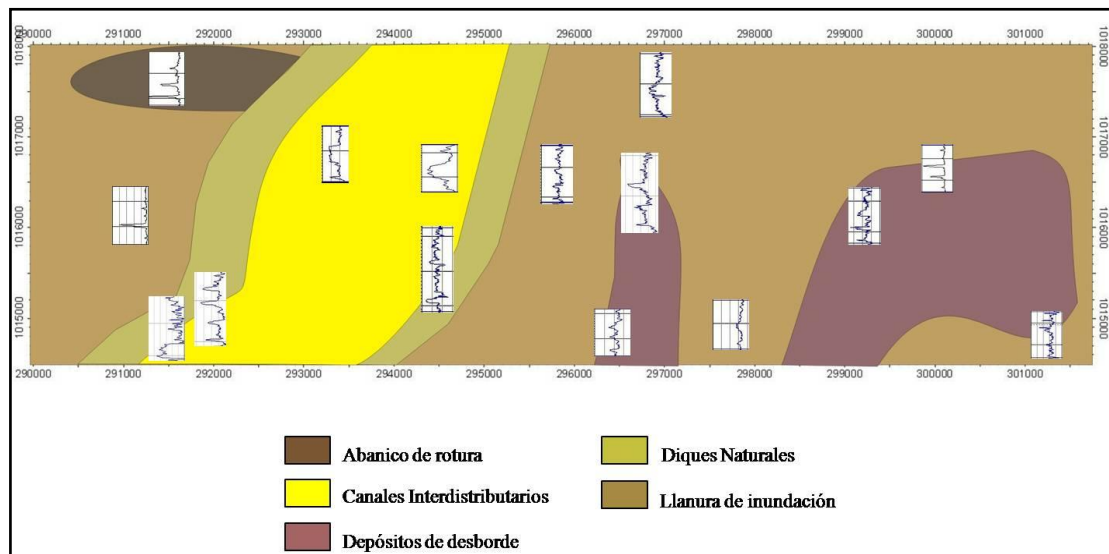


Figura 55: ANEXO C. 37, Mapa de electrofacies de la secuencia 5.

### 5.1.6 Secuencia 6

La secuencia 6, vista en la figura 56, ANEXO C.22, exhibe un espesor promedio de 180,79 pies, con espesores mínimos de 129,55 pies y máximos de 244,26 pies. Dentro de esta secuencia se puede observar el dominio de depósitos lutíticos y escasos cuerpos de arenas que se presentan de forma aislada e independiente, con espesores individuales de arenas que varían entre 13 pies (pozo TM 12) y 26 pies (pozo TM 39).

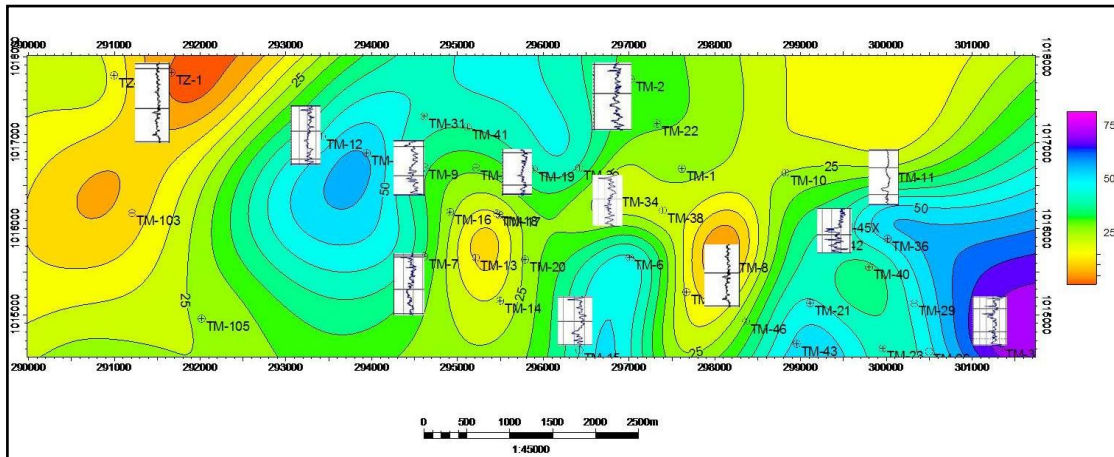


Figura 56: ANEXO C. 22, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.

Esta secuencia está representada por una extensa llanura mareal consecuencia del avance de la línea de costa sobre el continente y el aumento de relación acomodación/sedimentación, donde se muestran curvas de GR y SP de muy poco espesor y de forma irregular. Los valores promedio de relación de “net to gross” y arena/lutita para esta secuencia son 8% y 0.24 respectivamente. Ver ANEXO C.24 y C.21.

## Análisis Ambiental

La disposición espacial de las facies dentro del campo indica que la secuencia se desarrolló en un ambiente de sedimentación de prodelta proximal/frente deltaico distal, en donde se reconocen facies de barras y llanuras mareales.

Esta secuencia se desarrolla en una gran llanura mareal con muy poca presencia de clásticos tamaño arena lo que la ubica en una secuencia de un delta de dominación de mareas. Las pocas barras mareales que se observan están muy poco desarrolladas y domina la litología arcillosa y marina típica de ambientes marinos. Ver figura 57.



Figura 57: ANEXO C.38, Mapa de electrofacies de la secuencia 6.

### 5.1.7 Secuencia 7

La secuencia 7, vista en la figura 58, ANEXO C. 26, exhibe un espesor promedio de 263,61 pies, con espesores mínimos de 210,10 pies y máximos de 309,39 pies. Dentro de esta secuencia se puede observar la presencia de varios cuerpos de arenas, con espesores acumulados de arena que van desde los 60 pies, hasta los 110 pies, las arenas pueden llegar a tener espesores individuales hasta 20 pies.

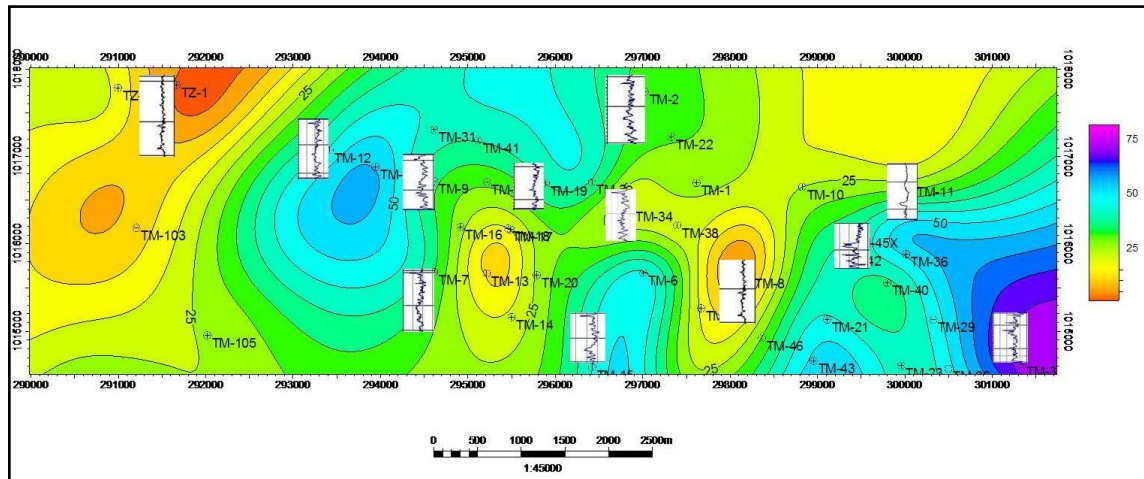


Figura 58: ANEXO C. 26, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.

Esta secuencia está representada por una extensa llanura mareal consecuencia del avance de la línea de costa sobre el continente y el aumento de relación acomodación/sedimentación, donde se muestran curvas de GR y SP de muy poco espesor y de forma irregular. Los valores promedio de relación de “net to gross” y arena/lutita para esta secuencia son 20% y 0.26 respectivamente. Ver ANEXO C. 28 y C.25.

### **Análisis Ambiental**

La disposición espacial de las facies dentro del campo indica que la secuencia se desarrolló en un ambiente de sedimentación de prodelta proximal/frente deltaico distal, en donde se reconocen facies de barras y llanuras mareales.

Esta secuencia se desarrolla en una gran llanura mareal con muy poca presencia de clásticos tamaño arena lo que la ubica en una secuencia de un delta de dominación de mareas. Las pocas barras mareales que se observan están muy poco desarrolladas y domina la litología arcillosa y marina típica de ambientes marinos. Ver figura 59.

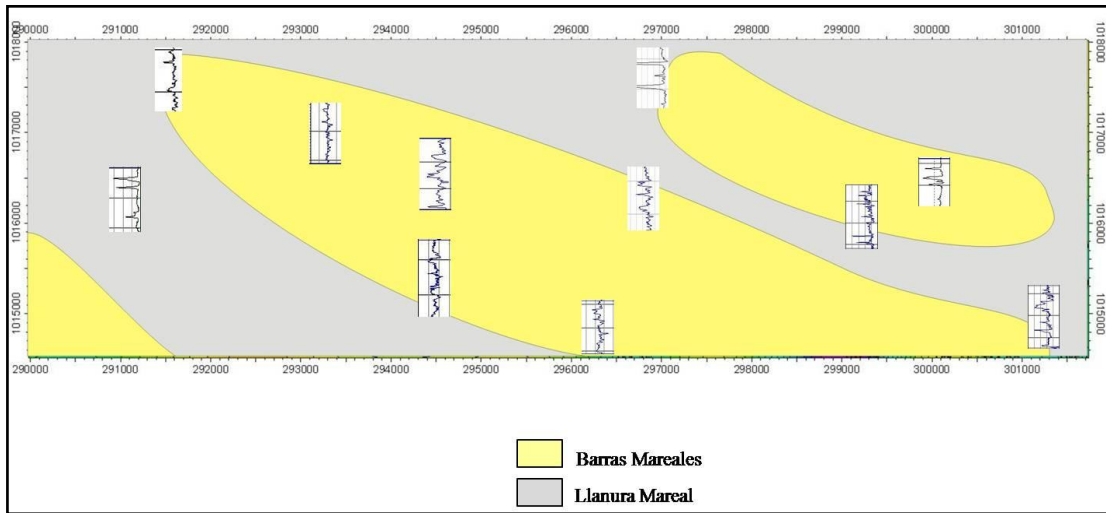


Figura 59: ANEXO C. 39, Mapa de electrofacies de la secuencia 7.

### 5.1.8 Secuencia 8

La secuencia 8, vista en la figura 60, ANEXO C. 30, exhibe un espesor promedio de 257,38 pies, con espesores mínimos de 218,35 pies y máximos de 318,90 pies. Dentro de esta secuencia se puede observar la presencia de varios cuerpos de arenas, con espesores acumulados de arena que van desde los 80 pies, hasta los 150 pies, las arenas pueden llegar a tener espesores individuales hasta 25 pies.

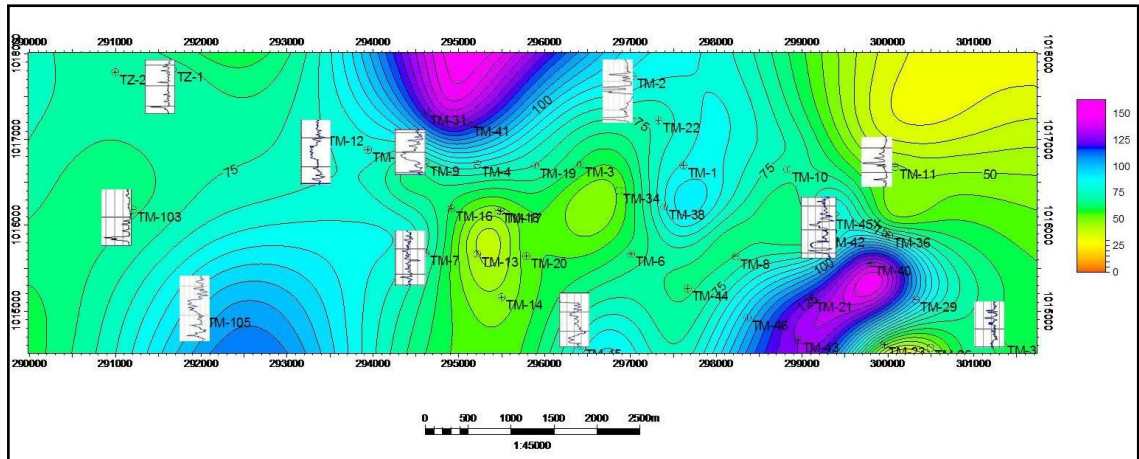


Figura 60: ANEXO C. 30, Mapa de espesor de arena del área de estudio, donde se observa la disposición de los principales cuerpos sedimentarios.

En esta secuencia se observan dos canales que confluyen al Norte de la hoja y poseen una dirección general Sur-Norte. Abarcan aproximadamente un 40% del área del mapa. Se observan claramente, un comportamiento cilíndrico en las electrofacies de los canales e irregular para las llanuras de inundación.

La tendencia irregular de las curvas exhibidas en los pozos TM 7, TM 39 y TM 11, y la escasa presencia de arenas en estos registros sugieren la presencia de llanuras de inundación, y como consecuencia que las relaciones  $\frac{\text{net to gross}}{\text{arena/lutita}}$  varían de 0% a 20% y arena/lutita de 0.10 a 0.25. Ver ANEXO C. 32 y C.29.

### Análisis Ambiental

La disposición espacial de las facies dentro del campo indica que la secuencia se desarrolló en un ambiente de sedimentación de planicie deltáica, en donde se reconocen facies de depósitos de canales entrelazados, llanuras de inundación y barras longitudinales. En el canal Este de la zona del campo se observa la presencia de una barra longitudinal dentro de facies de canales de aproximadamente 2 km<sup>2</sup> de extensión, al Norte del área este canal confluye con el canal ubicado al Oeste del área. Entre ambos canales se encuentra la bahía interdistributaria y tanto al Este al Oeste del área las llanuras de inundación. Ver figura 61.

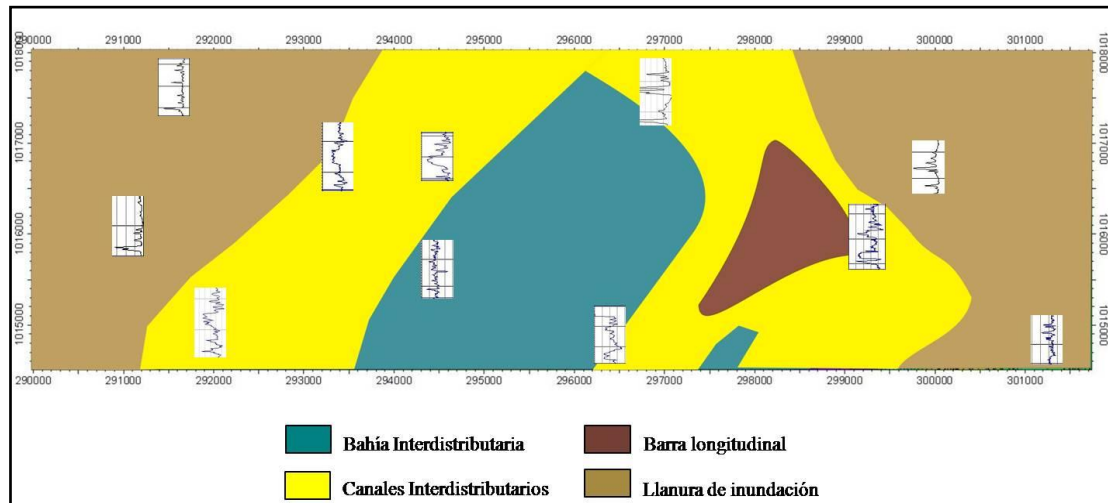


Figura 61: ANEXO C.40, Mapa de electrofacies de la secuencia 8.

## 5.2 Análisis Ambiental Integrado

A partir de la integración del análisis sedimentológico y estratigráfico realizado para la sección estudiada de la Formación Oficina, se determinó que los sedimentos de las ocho secuencias estratigráficas definidas para el intervalo, se depositaron principalmente en un sistema deltaico con dominio de mareas, donde predominan sedimentos depositados en la planicie deltaica, y frente deltaico distal/prodelta proximal, se distinguen todos los depósitos sedimentarios relacionados a ella, tales como: Canales distributarios, bahías interdistributarias, llanuras de inundación, abanicos de rotura, canales abandonados, barras longitudinales, barras de mareas, llanuras mareales. Ver Figura 62.

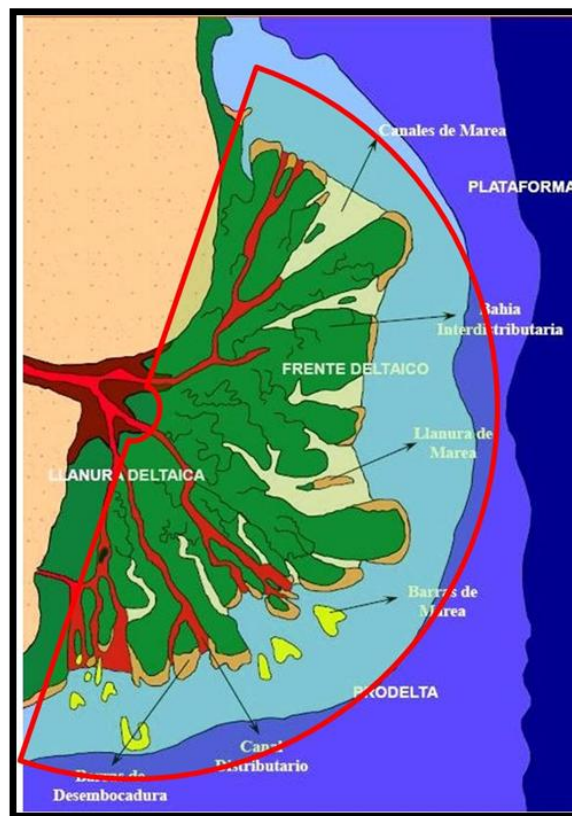


Figura 62: Principales ambientes sedimentarios en un sistema deltaico mixto, resaltando el área donde se desarrollan los principales ambientes en este estudio. Tomado de Allen (1989)

Para las secuencias 1,2,3,4 y 5 la distribución de las facies a lo largo del campo y la geometría de los cuerpos de arena generados permiten identificar que la depositación es característica de un sistema de canales distributarios en la planicie deltaica, donde la variación en la energía de la corriente y la avulsión de los canales permiten que se formen cuerpos de diferentes geometrías, que pueden interconectarse por medio de canales secundarios, esta unión permite que se generen canales más anchos, entre los cuales quedan zonas emergidas (bahías y llanuras de inundación), ésta zona es invadida por diversos eventos de desborde, que evolucionan en canales que se van uniendo a una corriente principal.

Para la secuencia 1, se conto con un núcleo discontinuo ubicado en el pozo TM-11, al noreste del campo, y cuya longitud no supera 40 pies, sin embargo las estructuras y trazas fosiles observadas fueron de gran utilidad para establecer el ambiente depositacional. El núcleo consistió principalmente de una litología de intercalaciones de areniscas de grano muy fino con laminas de lutita, presento hacia la base estratificación cruzada planar, estructuras flaser, laminación ondulitica, asi como laminas de arcilla sidiretizadas, hacia el tope aumenta la presencia de estructuras flaser, “mud drapes” y raíces. La presencia de icnofacies de *Skolithos* y *Cruziana* marcadamente empobrecida, baja icnodiversidad, y presencia de grietas de sinéresis reflejan las fluctuaciones en la salinidad del ambiente de depositación. Estas características aunadas al comportamiento de las electrofacies y geometría de los cuerpos de arena, permitieron inferir a grandes rasgos que se trata de depósitos de llanuras de inundación cerca de los márgenes del canal, y con gran influencia de las mareas. Esta secuencia también conto con un núcleo en el pozo TM-3, cuyas características son similares al anterior, mostrando estructuras que evidencian la influencia de las mareas en los depósitos sedimentarios de la zona en esta secuencia.

Para el tope de la secuencia 3 se conto con un núcleo ubicado en el pozo TM-3, al cento-norte del área, este se interpreto como depósitos de bahía interdistributaria, dichas condiciones de sedimentación se evidencian por la presencia de laminación convoluta, estructuras flaser que pasan a lenticulares hacia el tope, y la presencia de fragmentos de conchas y calcos de carga, sigue siendo muy marcada la influencia de las mareas para este intervalo. El pozo TZ-1 conto con un núcleo en esta secuencia, y se interpreto como canales distributarios con influencia de marea, debido a clara tendencia granodecreciente en las areniscas, y que se correspondió con lo observado en las electrofacies y la geometría de los cuerpos en los mapas de arena.

La secuencia 6 y 7, se caracterizan por depósitos predominantemente lutiticos, lo que sugiere un aumento del nivel eustatico del mar, por lo que la sedimentación para estas secuencias es característica del frente deltaico distal/prodelta proximal, observándose en los mapas de arena tendencias de los cuerpos de arena alargada y dispuestos perpendicularmente a la dirección de la sedimentación. Aunque no se conto con nucleos para estas secuencias, en las electrofacies se aprecia una tendencia irregular, donde la llanura de marea esta rrepresentada por registros casi lineales, y las barras mareales por registros SP y GR en forma de embudo aserrados, generados por depósitos granocrecientes y en depósitos heteroliticos, generados por las fluctuaciones de energía en el ambiente de sedimentación y en la fuente de aportes.

La secuencia 8, se deposito durante una regresión pasando de depósitos de frente deltaico distal/prodelta proximal de nuevo a llanura deltaica, observando nuevamente facies de canales distributarios, llanuras de inundación, bahías interdistributarias y barras longitudinales dentro de los canales. Para esta secuencia se conto con un núcleo el en pozo TM-11, el cual fue interpretado como llanura de inundación, por presentar intercalaciones heteroliticas de arenisca y lutita, en proporciones que varían desde 70% de areniscas en la base, a 40% hacia el tope, así como la presencia de

icnógenos como *Ophiomorpha nodosa*, *Talassinoides*, *Planolites* y *Teichichnus*. El comportamiento de las curvas de registros GR y SP, también evidencian la presencia de facies correspondientes a la planicie deltaica, con arenas más limpias y tendencias granodecrecientes para los canales, y geometrías alargadas de los cuerpos de arena que se observan en los mapas de estratigráficos para esta secuencia, y que apoyan la interpretación de canales para esta unidad.

La diferencia observada entre las secuencias 1 a la 5, y las secuencias 6 y 7, marcan el límite entre los miembros informales Colorado y Amarillo de la Formación Oficina, que correspondió aproximadamente con el límite de secuencia FS-5.

## 6. SUMARIO Y CONCLUSIONES

### 6.1 SUMARIO

- Como resultado del presente trabajo, se logró elaborar un modelo sedimentológico y estratigráfico para las arenas pertenecientes a la parte basal de la Formación Oficina en sus miembros operacionales Colorado y Amarillo en el Campo El Toco.
- El modelo se construyó a partir de secciones y mapas estratigráficos para determinar la arquitectura de las unidades sedimentarias en el subsuelo.
- Los análisis de secciones finas dan como resultado muestras de areniscas, revelan que el constituyente detrítico principal de las mismas es el cuarzo, por lo que las subarenitarenitas de cuarzo son siempre las más abundantes para todas las facies sedimentarias arenosas identificadas.
- Se generaron los mapas de Electrofacies, Isópacos, Net to Gross y Arena Neta para cada secuencia de los niveles estratigráficos con lo cual se determinaron las distintas electrofacies, tendencias depositacionales y espesores de arena presentes en cada secuencia.
- Se interpreta para la sección estratigráfica estudiada un ambiente de depositación deltaico (plano deltaico bajo-frente deltaico-prodelta), en el cual se identifican los siguientes depósitos sedimentarios: canales distributarios, llanuras de inundación, abanico de rotura, barras longitudinales, barras de marea, bahía interdistributarias y prodelta.

## 6.2 CONCLUSIONES

La descripción sedimentológica de los núcleos permitió establecer siete facies sedimentarias descriptivas, estas fueron S1 (Areniscas), SB1 (Areniscas Bioturbadas), ST (Limolíticas), H (Heterolíticas), HB (Heterolíticas Bioturbadas), L (Lutita), C (Carbón). Sin embargo, se considera que para este estudio no fue suficiente la cantidad de núcleos disponibles, puesto que ninguno atraviesa la sección estratigráfica de forma continua de las secuencias establecidas, por lo que la interpretación en base a comportamiento de los registros eléctricos, GR, SP y RD, sobrepasan ampliamente al alcance de las interpretaciones realizadas a través de los núcleos. Las facies propuestas en este estudio pueden ser aplicadas en otros campos adyacentes y al mismo nivel estratigráfico, pero adaptándolas y agregando las facies que sean necesarias para cada campo.

Los resultados de las petrografías realizadas a las nueve muestras obtenidas de los núcleos, muestran que el constituyente de las areniscas es el mineral de cuarzo y en menor porcentaje feldespatos, fragmentos de rocas, micas y sideritas, con predominio del cemento de sílice y óxido de hierro.

Para el análisis e interpretación de las electrofacies se contó con registros eléctricos de pozos GR, SP y RD, sin embargo no todos los pozos disponen de todos los registros, limitando la interpretación en aquellos pozos donde no se contó con registros de GR. Cabe destacar que los registros eléctricos pertenecientes a los pozos del Campo El Toco, por un campo que se exploró y se explotó en la década de los años cuarenta, por lo que carecen de registros actualizados tales como: GR Espectral, Densidad Neutrón, Registros Acústicos, Sónicos, de Imágenes, entre otros.

Al calibrar en profundidad los núcleos de este estudio, con las profundidades de los registros surgió la dificultad de no contar con registros de coregamma o gamma ray del núcleo teniendo que calibrar por tanteo.

En función del estudio sedimentológico, correlaciones estratigráficas y mapas de arena neta se determina que la dirección de sedimentación local para las secuencias estudiadas es Sureste – Noroeste, por lo que sugiere una fuente de sedimentos al sur del área, probablemente proveniente del cratón de Guayana y asociados al frente corrimiento de Anaco.

Los mapas estratigráficos realizados a partir de las secuencias, y donde se observan las tendencias de los cuerpos arenosos permitieron inferir las disposición espacial de los depósitos sedimentarios en los antiguos ambientes depositacionales. Aunque la baja densidad de pozos en algunas aéreas del campo, fue un factor limitante a la hora de realizar las interpretaciones.

Se identificaron superficies de inundación y límites de secuencia tomando como base el comportamiento de los registros de los pozos, estableciendo ocho secuencias limitadas en su base y tope por superficies de inundación. Estas secuencias fueron enumeradas de base a tope. En vista de que no se contó con datos bioestratigráficos de edades, se usaron las edades propuestas por otros autores para el pozo RG-195S del Campo Santa Rosa, para los miembros operacionales de la Formación Oficina.

Según la Carta eustática de HAQ et al (1987), las unidades estratigráficas de este estudio correspondientes a los miembros basales de la Formación Oficina (Colorado y Amarillo), pueden corresponder con cuatro secuencias de tercer orden generadas entre el Aquitaniense y el Burdigalinense. Estas secuencias fueron divididas a su vez en secuencias de cuarto orden totalizando ocho secuencias.

Las secuencias 1, 2, 3, 4 y 5, fueron depositadas en la planicie deltaica de un delta influenciado por las mareas, para las dos secuencias siguientes (6 y 7) se observan depósitos generados en el frente deltaico distal/prodelta proximal, lo que indica un aumento relativo en el nivel del mar, este cambio marca el límite entre el Miembro Colorado y Amarillo que coincide con el tope de la secuencia 5. Por último la secuencia 8 fue depositada probablemente durante la etapa de Sistema de Alto Nivel (“High System Track”), lo que genera la progradación del delta, depositándose nuevamente cuerpos sedimentarios correspondientes a la llanura deltaica, donde se observan canales distributarios, bahías interdistributarias y barras longitudinales.

## 7. RECOMENDACIONES

Tomar núcleos orientados con el fin realizar análisis estadísticos de las estructuras sedimentarias, tales como estratificación cruzada, que permitan identificar patrones de paleocorrientes, acompañado de un análisis petrográfico con énfasis en la determinar de la procedencia de las areniscas.

Para mayor detalle estratigráfico del campo El Toco se recomienda realizar un reprocesamiento sísmico de alta resolución, que permita realizar análisis sismoestratigráficos en el área.

Obtener cortes de núcleos continuos en diversos pozos y que corten las secuencias de interés, para poder tener un mayor control de las características litológicas de estas arenas, de sus propiedades petrofísicas. Así como también realizar análisis bioestratigraficos de alta resolución para establecer edades y ambiente sedimentario.

En vista de que los pozos del Campo estudiado fueron trazados en la década de los 40, y para la fecha no se contaba con las tecnologías actuales, se sugiere correr registros actualizados que tengan mejor resolución.

---

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN G. (1992). Sequence Stratigraphic Analysis in Clastic Sediment. LAGOVEN. 36 p.
- ALLEN G. y J. CHAMBERS, (1998). Sedimentación in the Modern and Miocene Mahakan Delta. Indonesia Petroleum Association, 236 p.
- ANGULO, S. y RODRIGUEZ, J. (2001). Estudio Sedimentológico de la Formación Naricual en los campos Carito Norte y Oeste al norte del Estado Monagas. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- ARSTEIN, R., CABRERA, E, RUSSOMANNO, F. y SANCHEZ, H (1985). Revisión Estratigráfica de la Cuenta Oriental. VI Congreso Geológico Venezolano, 41-68 p.
- AUDEMARD, F.; AZPIRITXAGA, I.; BAUMANN, P.; ISEA, A. y LATREILLE, M. (1985). Marco Geológico del Terciario de la Faja Petrolífera del Orinoco, Venezuela. VI Congreso Geológico Venezolano, 70-108 p.
- BLATT, H. (1979). Diagenetic processes in sandstones. S.E.P.M., Spec. Pub N° 26.
- BLATT, H.; MIDDLETON, G. y MURRAY, R. (1972). Origin of Sedimentary Rocks. Prentice-Hall, New Jersey, USA; 634 p.
- CANT, D. (1982). Fluvial Facies Model and Their Application, En: Sandstone depositional Environments. American Association of Petroleum Geologist. Memoir 31. Tulsa, Oklahoma, U.S.A. 115 -137 p.

- CANT, D. J. (1992). Subsurface facies analysis. En: Facies models: Response to sea level change. (Eds Walker, R.G. and James, N.P.) Geological Association of Canada. 27-45 p.
- CAMPOS, V., CABRERA S., y LANDER R., (1985). Estratigrafía del noroeste de Anzoátegui. Ponencia presentada en: VI Cong. Geol. Venez., Caracas, 1: 156-200 p.
- CORPORACIÓN VENEZOLANA DEL PETRÓLEO (1972). Estudio de Las Ollas – Unare, Estados Guárico y Anzoátegui. Informe interno inédito CVP, Puerto La Cruz, 47p.
- COLEMAN, J. y PRIOR, D. (1982). Deltaic Environments of Deposition. En: Sandstone Depositional Environments. American Association of Petroleum Geologist. Memoir 31. Tulsa, Oklahoma, U.S.A. 139-178 p.
- CORRALES, I y ROSELL, J (1977). Estratigrafía. Editorial Rueda, Madrid, España, 718 p.
- DI CROCE, J., (1999). Eastern Venezuelan Basin: Sequence Stratigraphy and Structural Evolution. Trabajo de Ascenso. Universidad Central Venezuela.
- DI CROCE, J.; BALLY, A. y VAIL, P. (1999). Sequence Stratigraphy of the Eastern Venezuela Basin. Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the World. Elsevier ScienceB.V., Amsterdam, p. 419–476.
- DE SISTO, J. (1960). Distribución geográfica de nueve lignitos y arenas asociadas en la Formación Oficina en el Área Mayor de Oficina en Venezuela Oriental. Ponencia presentada en el III Congreso Geológico Venezolano, Tomo III, 943-947 p.

- ERLICH, R. & S. BARRETT, (1992). Petroleum Geology of the Eastern Venezuela Foreland Basin. En: Foreland Basins and Foldbelts. American Association of Petroleum Geologist. Memoir 55. Tulsa, Oklahoma, U.S.A. 341-362 p.
- EVA, A., BURKET, K., MANN, P. AND WADGE, G. (1989). Four-phase Tectonostratigraphic of the Southern Caribbean, Marine and Petroleum Geology, V. 6. 9-21.p
- FASOLA., G. GIFFUNNI, S. CRESPO, I. PAREDES y A. URIBE, (1985). Estudios bioestratigráficos del intervalo Cretáceo superior (Maestrichtiense) a Mioceno inferior en el norte del estado Guárico, Venezuela. VI Congr. Geol. Venez., Caracas, 1: 588-645.
- FUNES D., SALAZAR R., ITRIAGO J., LEÓN F., MUJICA A., CABRERA S., AUDEMAR F., SARSALEJO S., BEJARANO C., y FLORES G. (1995) Exploración De Trampas Estratigráficas (EXPLOTRES). Corpoven, Informe técnico, Puerto La Cruz, 1-20 p.
- FUNKHOUSER, H. J., SASS, L. C., y HEDBERG, H. D., (1948). Santa Ana, San Joaquín, Guárico and Santa Rosa oil fields (Anaco fields), central Anzoátegui, Venezuela, American Association of Petroleum Geologist., Bulletin., 32(10): 1851-1908.
- GALLOWAY, W. y D. HOBDAV, (1983). Terrigenous Clastic Depositional Systems. Applications to Petroleum, Coal, and Uranium Exploration. New York: Springer Eds., 423 p.

- GALLOWAY, W. (1975). Process Framework for Describing the Morphologic and Stratigraphic Evolution of Deltaic Depositional Systems. En: BROUSSARD, M *ET AL.*, Deltas, Models for Exploration. Houston Geological Society. 87-98 p.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C.T., AROZENA y X. PICARD-CADILLAT, (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Caracas, Foninves ediciones, v.2, 1051 p.
- GONZÁLEZ, A. y VAZQUEZ, D. (2005). Modelo Sedimentológico y estratigráfico de las Arenas de Petróleo y Gas pertenecientes A las Formaciones Oficina y Merecure en el Campo Socorro Oeste, Edo. Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- GONZÁLEZ, E. (2007). Modelo Estratigráfico 3D de la Formación Misoa B-Sup y B-6 (Eoceno), Ubicado en el Campo Costanero Bolívar, Área Cabimas, Edo. Zulia. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- HAQ, B., HARDENBOL, J. y VAIL, P. (1987). Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, V. 235, 1156-1167 p.
- HEDBERG, H. D.; L. C. SASS y H. J. FUNKHOUSER, (1947). Oil fields of the greater Oficina area, central Anzoátegui, Venezuela. *American Association of Petroleum Geologist. Bull.*, 31(12): 1089-2169.
- HEDBERG, H. D., (1950). Geology of the eastern Venezuela Basin (Anzoátegui-Monagas-sucree eastern Guárico portion). *Geol. Soc. Am. Bull.*, 61(11): 1137-1216 p.

ISEA, A., (1987). Geological synthesis of the Orinoco Oil Belt, Eastern Venezuela. *Journal of Petroleum Geology*, 10(2): 135-148.

KRUMBEIN, W. y SLOSS, L. (1966). *Stratigraphy and Sedimentation*. Primera edición. Unión Tipográfica Hispanoamericana. México. 497 p.

LAURIER, D., GENDROT, C., SALAZAR, A. y VILLAIN, J.M. (1986). Estudio Sedimentológico y Bioestratigráfico del Área Dragal-Cagigal Aragua de Barcelona. Informe inédito de Meneven S.A.

LEÓN, M y VIELMA, J. (2006). Modelo Estratigráfico-Estructural de la Formación Oficina en el Campo Socororo Este, Pariaguan, Estado Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA (2004): <http://www.pdv.com/léxico>

LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA Tomo I y II (1997). Ministerio de Energía y Minas. Dirección de Geología, Publicación especial N0. 12., Boletín de Geología, Caracas, Venezuela, 828 p.

MIALL, A. D (1995) Whiter stratigraphy. *Sedimentary Geology*, 100, 5-20 p.

MIALL, A. (1996). *The Geology of Fluvial Deposits*. Springer-Verlag, New York, USA; 479 p.

MIALL, A., (1997). *The Geology of Stratigraphic Sequences*. Springer - Verlag, Berlín, 433 p.

- MITCHUM JR. y VAIL, P. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea-level. Part 7: stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: Payton, C.E. (Ed.), *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*, American Association of Petroleum Geologists Memoir 26, pp. 135–144.
- MÉNDEZ, O., (1985). Historia geológica graficada de la cuenca oriental de Venezuela. Ponencia presentada en: VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas 1985, S.V.G., 2: 1.000-1.040 p.
- MORALES, E., (2002). Interpretación estratigráfica del área Socororo Oeste del convenio Socororo, operado por PetroUCV, Estado Anzoátegui. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito, 114 p.
- ORSINI, C. (2004). Geología de Las Arenas P1 a P3 de la Formación Oficina, Campo Dación, estado Anzoátegui, Venezuela. Tesis de Grado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- PARNAUD, F., GOU, Y., P., J.C, TRUSKOWSKI, I., GALLANGO, O. y PASSALACQUA, H., (1995), Petroleum geology of the central part of the eastern Venezuelan Basin. *Petroleum basins of South America*, AAPG. Memoir 62, p-741-756. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa.
- PDVSA, (2006). Proyecto Anaco. Documento Interno, PDVSA Exploración, Oriente.

- PÉREZ DE MEJÍA, D.; KISER, G.D.; MAXIMOWITSCH, B. y YOUNG, G. (1980) Geología de Venezuela. En: Evaluación de Formaciones en Venezuela. Schlumberger Surencó S.A.; 1ra. Ed.: 287 p.
- PETIJOHN, F.; POTTER, P. y SIEVER, R. (1972) Springer- Verlag, New York, 618p.
- REINA, J. (2002). Interpretación Sísmica 3D Estructural y Estratigráfica del Proyecto Socororo al Sur del Estado Anzoátegui. Tesis de grado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- RENZ, H. H.; H. ALBERDING; K. F. DALLMUS; J. M. PATTERSON; R. H. ROBIE; N. E. WEISBORD y J. MASVALL, (1963). La cuenca oriental de Venezuela en: Aspectos de la industria petrolera en Venezuela. I Cong. Venez. Petrol., Caracas, 890 p. Cap. I (Resumen Geológico): 100-189.
- SANDOVAL, M.E. (2000). Diagénesis de areniscas. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 414 p.
- SCASSO, R. A. y LIMARINO, C. O (1997). Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas. Publicación Especial # 1. Asociación Argentina de Sedimentología. Productora Gráfica Centenario. Capital Federal: Argentina. 259 p.
- SCHLUMBERGER, (1997). Well Evaluation Conference (WEC). Caracas, Venezuela.
- SERRA, O., (1990). Análisis de ambientes sedimentarios mediante Perfiles de Pozos. Schlumberger. 131-178 p.

- STEPHAN, J.F., MERCIER, B., CALAIS, E., TARDY, M., BECK, C., CARFANTAN, J.C., y otros (1990). Paleogeodynamic maps of the Caribbean: 14 steps from Lias to Present. Bull. Soc. Geól. Fr. 8 (6), 915–919.
- SUMMA, L.; GOODMAN, E.; RICHARDSON, M.; NORTON I. y GREEN A. (2003) Hydrocarbon Systems of Northeastern Venezuela: Plate through molecular scaleanalysis of the genesis and evolution of the Eastern Venezuela basin. V. 20. 323-349 p.
- TEARPOCK, D. y BISCHKE, R. (1990). Applied Subsurface Geological Mapping. Prentice Hall PTR. New Jersey. 648 p.
- VAIL, P. R., AUDERMARD, F., BOWMAN, S.A., EISNER, P.N. y PÉREZ, G., (1991). The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentation: an overview. In: A. Seilacher and G. Eisner (editores), Cycles and Events in Stratigraphy, II. Springer-Verlag, pp. 617-659
- VAN WAGONER, J.C., MICTCHUM R. M., CAMPION K. M. y RAHMANIAN V. D. (1990). Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores and Outcrops. AAPG Methods in Exploration Series, N° 7. 105 p.
- WALKER, R. y JAMES, N. (1992). Facies Model. Response to Sea Level Change. Geological Association of Canada. St. John's, Newfoundland, Canada; 409 p.
- YORIS, F. y OSTOS, M. (1997). "Geología de Venezuela : Geología General y Cuencas Petrolíferas". En : Singer, J. (Edr.) WEC 1997. Conferencia

Evaluación de Pozos. Schlumberger - Surencó C.A. 1<sup>ra</sup>. Ed. Español ; Jolley Printing (Texas) : Cap. 1 : 1 - 17 ; 24 - 44.

## **9. APÉNDICE**

### **9.1 Conceptos básicos de estratigrafía secuencial:**

#### **9.1.1 Estratigrafía Secuencial**

La estratigrafía secuencial, es un modelo conceptual desarrollado por los investigadores del Laboratorio de investigación de Producción de la Exxon, durante los últimos 20 años, como una continuación las ideas e hipótesis publicadas por P. Vail y sus colegas en 1977, y subsiguientes publicaciones de H. Posamentier, P. Vail, H. Jervey, y J. Van Wagoner, (Memoria 42 de SEPM). La importancia del modelo es que proporciona un modelo estratigráfico coherente que define y relaciona los diferentes patrones de sedimentación que se acumulan durante los ciclos de nivel relativo del mar.

#### **9.1.2 Espacio de acomodo de sedimentos**

Posamentier & Allen (1999); definen el espacio de acomodo como aquel comprendido entre la superficie terrestre o piso oceánico y el nivel marino o lacustre; en ambientes fluviales, está controlado por la relación entre superficie terrestre y equilibrio fluvial determinado por hidrología y carga sedimentaria del río. Para Jervey (1988) citado en Miall (1996); es el espacio disponible por debajo del nivel de erosión en donde los sedimentos pueden ser preservados.

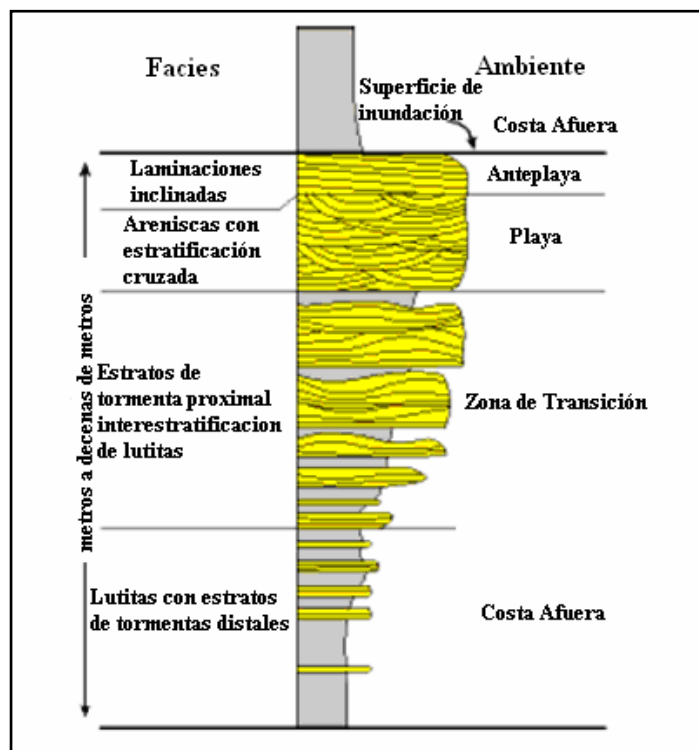
#### **9.1.3 Aporte de sedimentos**

Los patrones y secuencias estratigráficas del relleno en cuencas siliciclásticas dependen directamente del tamaño de grano y cantidad de sedimentos transportados por sistemas fluviales; alteraciones abruptas en la geometría sedimentaria corroboran períodos asociados a cambios climáticos, tectónicos o mecanismo intrínsecos de sistemas fluviales (Posamentier & Allen, 1999).

Las variaciones registradas en el suministro de sedimentos durante la evolución de la cuenca controlan los patrones estratigráficos de dos formas: dada una tasa de cambio en el espacio de acomodo, la arquitectura estratigráfica estará supeditada al calibre y volumen de influjo local de sedimentos asociado a modificaciones en el perfil de equilibrio fluvial; cambios en el espacio de acomodo por perturbaciones isostáticas y efectos fluviales debido a carga de sedimentos en la costa (Posamentier & Allen, *op cit*).

#### 9.1.4 Parasecuencia

Sucesión relativamente conformable de capas o conjunto de capas limitadas por superficies de inundación marina o superficies correlativas. En posiciones especiales con la secuencia, las parasecuencias pueden ser limitadas tanto arriba como abajo por límites de secuencia (Van Wagoner *et al.*, 1990).



**Figura A. 1:** Ejemplo de parasecuencia de una típica línea costera silicoclástica dominada por el oleaje (Modificado de Allen G. P, 1992).

### 9.1.5 Superficie de Inundación marina

Es aquella superficie que separa estratos jóvenes de antiguos y que evidencia incremento abrupto en la profundidad de la cuenca que, comúnmente es acompañada de períodos de no-depositación o erosión submarina (Van Wagoneer *et al.*, 1990).

De acuerdo a Posamentier & Allen (1999); superficies de inundación regionales ocurren por transgresión marina causada por subsidencia acelerada o aumento en el nivel eustático; asimismo, transgresiones locales son sobrellevadas por incremento en el aporte de sedimentos en la línea de costa. En épocas de máxima transgresión, los depocentros son desplazados en posición máxima hacia el continente

La máxima superficie de inundación (MFS) es inmediatamente seguida por el sistema encadenado de alto nivel y puede ser representada por una sección condensada; típicamente, los depósitos de alto nivel progradan hacia el mar desarrollando una relación de *downlap* con la MFS (Miall, 1996).

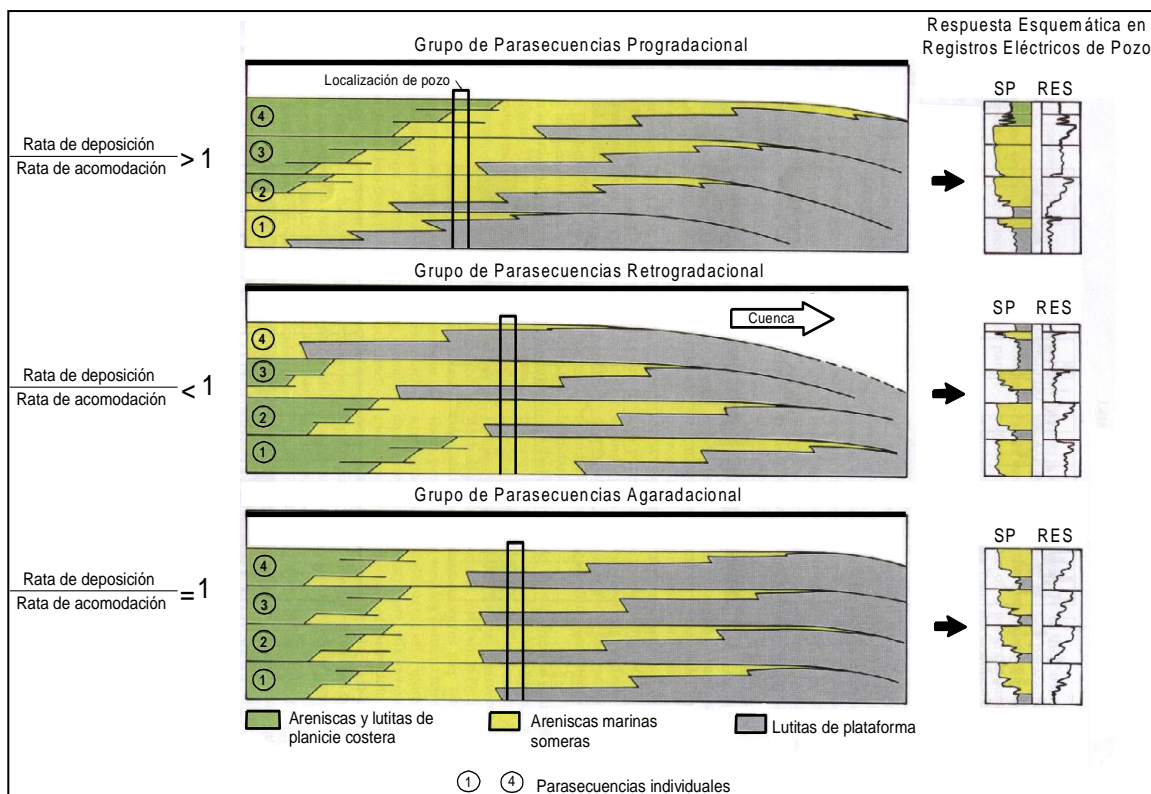
La transgresión durante el ascenso continuo del mar cubre la plataforma infrayacente y talud en lutitas; asimismo, los suelos sufren cambios depositacionales de oxidados a reductores corroborados por el desarrollo de carbones y calizas carbonáceas (Miall, 1996; Johannessen & Steel, 2005).

### 9.1.6 Conjunto de parasecuencias

Sucesión de parasecuencias genéticamente relacionadas formando un patrón de apilamiento distintivo limitado por superficies de máxima inundación marina y sus superficies correlativas. Los límites del conjunto separan patrones de apilamiento de parasecuencias distintivas, pueden coincidir con límites de secuencias y solapar (*downlap*) límites de sistemas encadenados (Van Wagoneer *et al.*, 1990).

### 9.1.7 Tipos de conjuntos de parasecuencias

La relación entre tasa de acomodo y aporte de sedimentos determinará el desarrollo de tres tipos de conjuntos de parasecuencias: Progradacional, parasecuencias sucesivamente más jóvenes se depositan hacia la cuenca debido a mayor aporte de sedimentos con respecto al acomodo; Retrogradacional, ocurren durante transgresiones locales o regionales depositándose secuencias cada vez más jóvenes hacia el continente, la tasa de aporte es menor a la de acomodo; Agradacional, la tasa de acomodo es similar a la depositación por lo que no existen cambios laterales significantes en las secuencias (Van Wagoneer *et al.*, 1990).



**Figura A. 2:** Patrones de apilamientos de grupos de parasecuencias y su respuesta esquemática en registros eléctricos de pozo. (Tomado de Van Wagoner *et al.*, 1990).

### 9.1.8 Secuencias

Posamentier *et al.*, (1988) vinculan el concepto a efectos de isostasia durante la evolución de la cuenca, argumentando que las secuencias son depositadas entre puntos de inflexión de caídas eustáticas.

Por su parte, Van Wagoner *et al.* (1990); lo definen como aquella unidad estratigráfica compuesta de una sucesión relativamente conformable de estratos genéticamente relacionados y limitados en tope y base por discordancias o conformidades correlativas.

### 9.1.9 Tipos y límites de secuencias

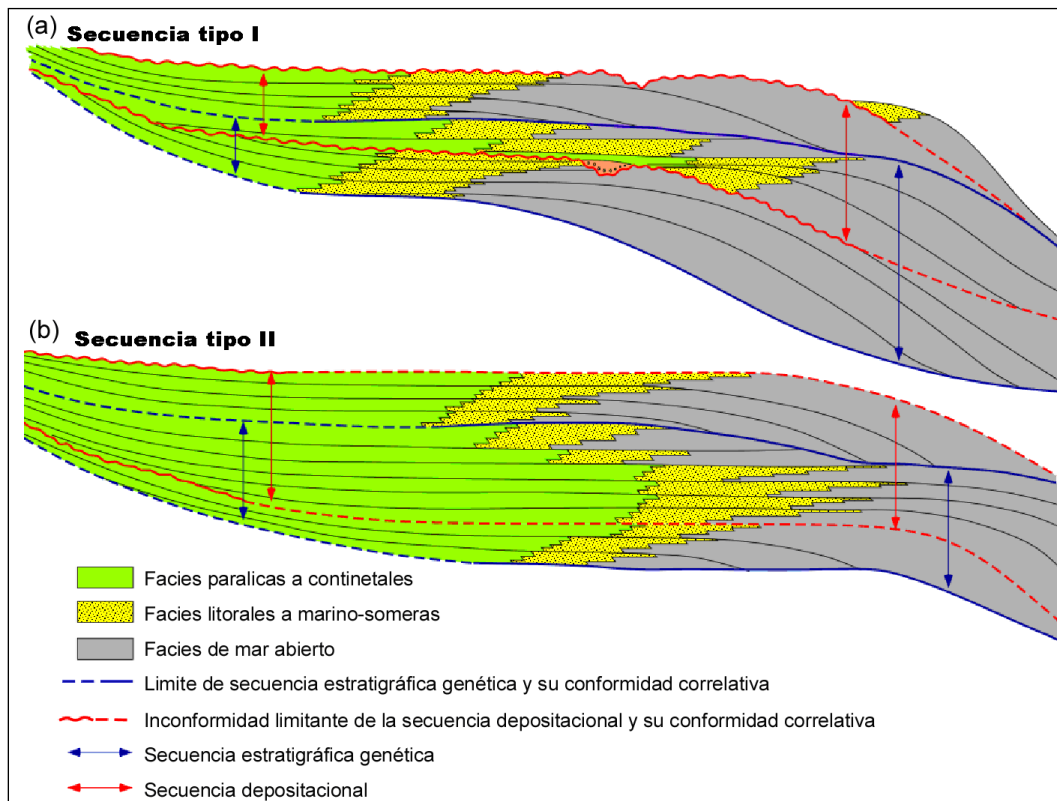
Existen dos metodologías o modelos de Secuencias que persiguen los mismos objetivos utilizando diferentes técnicas: la Estratigrafía Depositacional y la Estratigrafía de Secuencias Genéticas. La primera, basada en los trabajos de Posamentier y Vail (1988) y Posamentier *et al.* (1988), discretiza el registro sedimentario de los márgenes continentales en unidades o secuencias que están limitadas por discontinuidades erosivas (o “Sequence Boundaries”). Las discontinuidades erosivas suelen ser las superficies más evidentes en sísmica, sin embargo, son superficies heterócronas, que pueden abarcar un lapso de tiempo importante. En las zonas donde no se produce truncación de las series sedimentarias subyacentes (por ejemplo, en zonas que quedan emergidas o en cuencas profundas), las superficies correlativas de las discontinuidades erosivas no suelen ser evidentes y constituye todo un desafío reconocerlas, especialmente en registros de pozos.

La escuela de Estratigrafía de Secuencias Genéticas está basada en los trabajos de Galloway (1989). Esta escuela utiliza como límites de secuencia las superficies de máxima inundación (figura 21). Estas superficies suelen coincidir con máximos de arcillosidad y formación de *hard-grounds* en las zonas marinas y son, por tanto, fáciles de reconocer en los registros eléctricos (suelen coincidir con máximos de Gamma Ray y mínimos en las curvas resistivas). No obstante, tienen el inconveniente que en zonas más proximales que pueden llegar a quedar emergidas durante las fases

de caída del nivel del mar relativo, estas superficies pueden no ser evidentes o incluso pueden desaparecer por erosión.

En el registro geológico se reconocen dos tipos de límites de secuencias depositacionales, las cuales son: las secuencias de tipo I y las secuencias de tipo II. La de tipo I, se forma cuando la tasa de caída del nivel del mar eustático es mayor que la subsidencia sobre la línea de costa, ocurriendo así una caída relativa del nivel del mar, con excavación fluvial y exposición subaérea de parte (o toda) la plataforma (o hasta el talud superior), ocurriendo una importante erosión de grandes volúmenes de sedimentos (Allen G.P, 1992).

La secuencia de tipo II, se forma cuando la caída eustática del nivel del mar es menor que la subsidencia sobre la línea de costa. En este caso no hay caída relativa del nivel del mar, ni ocurre excavación fluvial. El límite de secuencia tipo I se expresa como una discordancia regional sobre la plataforma expuesta, lo que no ocurre con la secuencia tipo II (Allen G.P, 1992).



**Figura A. 3:** Tipos de límites de secuencias, en el esquema se representan las secuencias tipo I y tipo II, según el criterio de Exxon y de Galloway.

#### 9.1.10 Sistemas encadenados

El término System Tract (Sistema Encadenado) fue definido por Brown y Fisher (1977) como la asociación de sistemas depositacionales contemporáneos, donde un sistema depositacional es un ensamblaje tridimensional de litofacies, genéticamente relacionado por ambientes y procesos activos o inferidos.

Posamentier & Allen (1999); definen los sistemas encadenados como unidades estratigráficas distintivas que son depositadas en fases específicas del ciclo eustático y que conforman una sucesión predecible y relativamente conformable.

Las secuencias sedimentarias pueden ser agrupadas en sistemas encadenados de bajo nivel (LST), alto nivel (HST) y transgresivo (TST).

#### 9.1.11 Sistema encadenado de bajo nivel

Incluye las sucesiones estratigráficas depositadas durante períodos de caída del nivel del mar y posterior incremento isostático; consecuentemente, comprende el intervalo desde la caída del nivel del mar hasta que la tasa de subsidencia supera a la de aporte (Posamentier & Allen, 1999).

Los sedimentos asociados a estadios de bajo nivel son correlativos con períodos erosivos del margen emergido y plataforma previamente construida, uno u otra entrarán en erosión en función de la magnitud de la bajada eustática que lo genera (Martínez, 1994).

#### 9.1.12 Sistema encadenado transgresivo

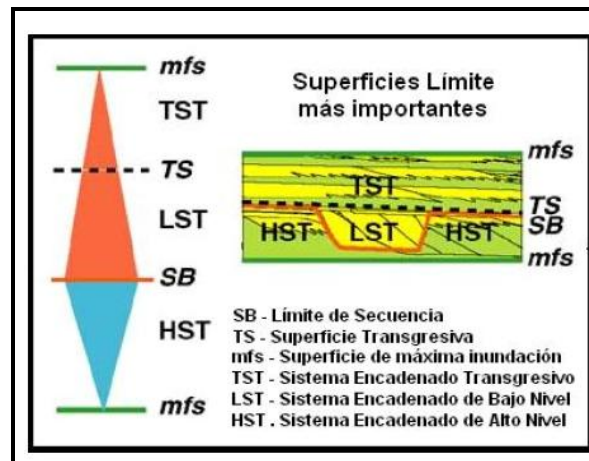
Comprende unidades retrogradantes depositadas por transgresión hacia el continente del nivel marino debido al aumento isostático, puede ser causado por incremento en el acomodo o disminución en aporte de sedimentos (Posamentier & Allen, 1999).

De acuerdo a Van Wagoner *et al.*, (1990); el sistema encadenado transgresivo suprayace a la superficie de transgresión y está limitado en su tope por una Superficie de Máxima Inundación (MFS); en sección, parasecuencias cada vez más jóvenes son depositadas en ambientes progresivamente profundos a medida que la línea de costa avanza. Por su parte, Martínez (1994), afirma que la transgresión equivale a una disminución en el aporte de sedimentos y es quizás por este motivo que las secuencias son delgadas y ricas en materia orgánica; esto concuerda con lo establecido por Miall (1996), quien afirma mayor concentración y preservación de materia orgánica en secuencias fluviales durante el TST.

#### 9.1.13 Sistema encadenado de alto nivel

Se desarrolla al final del período transgresivo cuando la tasa de aumento del nivel del mar es excedida por el suministro de sedimentos; en sección, secuencias cada vez más jóvenes son depositadas en ambientes progresivamente someros. El

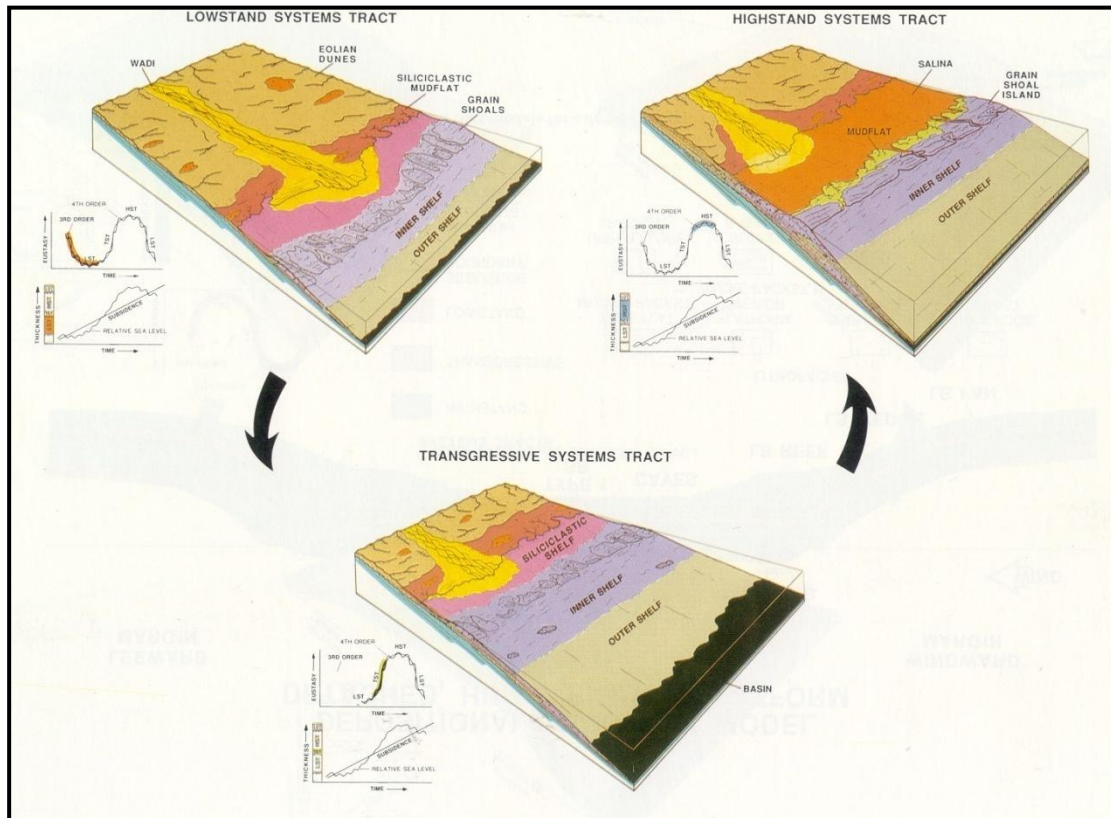
sistema suprayace a una superficie de solape (*downlap*) y está limitado en su tope por un límite de secuencia; la sección inferior comúnmente consiste en conjuntos de secuencias agradacionales que infrayacen a períodos tardíos que eventualmente progradan sobre la Superficie de Máxima Inundación (MFS) o sección condensada (sumarizado de Van Wagoner *et al.*, 1990; Posamentier & Allen, 1999).



**Figura A. 4:** Superficies límites de mayor importancia modificado de University of South Carolina. Christopher G. St. C. Kendall, 2003.

Miall (1996); sugiere que en ambientes no marinos, los sistemas encadenados de alto nivel son pobremente representados debido a erosión sub-aérea asociada a la subsecuente caída del nivel base que sucede a la secuencia.

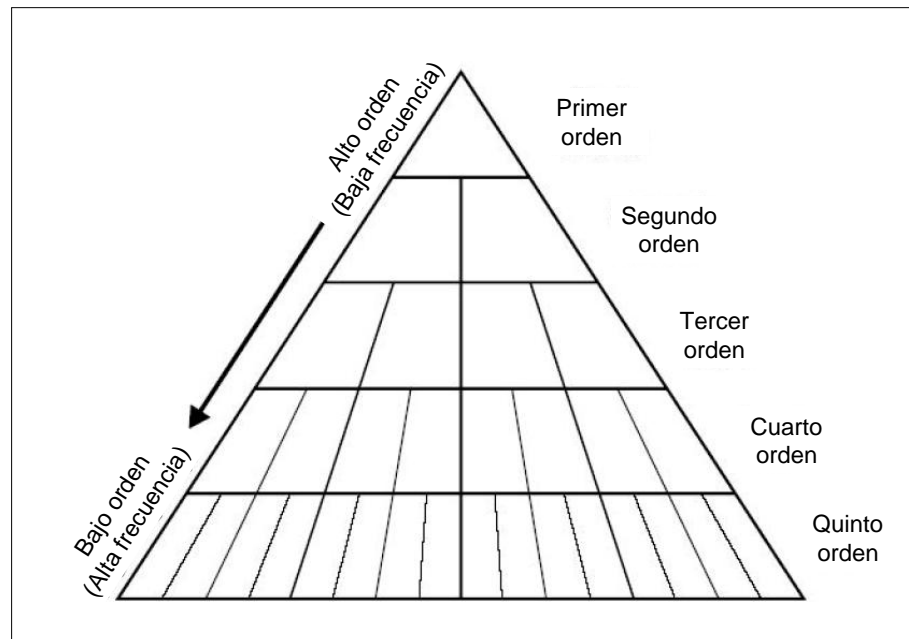
Los sistemas encadenados están enmarcados dentro de la relación entre el nivel marino y aporte de sedimentos por lo que ocurren en sucesión continua durante el ciclo eustático (Figura A.5).



**Figura A. 5:** Ciclo de sistemas encadenados (tomado de Posamentier & Allen, 1999).

#### 9.1.14 Orden jerárquico de las secuencias

Según Miall (1996) Las secuencias estratigráficas ocurren en escalas de tiempo divididas en cinco órdenes de magnitud, desde decenas de miles de años a centenares de millones de años, como a continuación se describe:



**Figura A. 6:** Representación diagramática del concepto de la jerarquía de los ciclos

Ciclos de primer orden: están relacionados a cambios mayores en el ciclo eustático por formación y rompimiento de supercontinentes durante períodos de cientos de millones de años (200-400 Ma).

Ciclos de segundo orden: el mecanismo principal que actúa en la formación de estos ciclos son cambios eustáticos inducidos por alteraciones en el volumen de sincrónicos de levantamiento y subsidencia en áreas tan extensas como placas continentales enteras, ocupa períodos de varios millones de años (1-10 Ma).

Ciclos de cuarto y quinto orden: son asociados a ciclos glacioeustáticos de Milankovitch por fuerzas gravitacionales; en cuencas *foreland* son causados por episodios de carga local confinados a cuencas individuales; la duración típica de

los ciclos de cuarto orden es de 0.2 a 0.5 Ma, mientras que para los de quinto orden es de 0.01 a 0.2 Ma.

centros de expansión global mid-oceánica o flexión regional por carga de la corteza, la duración es típicamente de decenas de millones de años (10-100 Ma).

Ciclos de tercer orden: son ocasionados por episodios tectónicos regionales debidos a esfuerzos intraplaca transmitidos lateralmente que generan ciclos

**Tabla a: 1** Comparación de la duración de los ciclos estratigráficos, propuesta por distintos autores.

Orden de ciclicidad	Duración	
	Vail <i>et al.</i> (1991)	Mitchum y Van Wagoner (1991)
1 <sup>er</sup>	> 50 Ma	
2 <sup>o</sup>	3-50 Ma	9-10 Ma
3 <sup>er</sup>	0.5-3 Ma	1-2 Ma
4 <sup>o</sup>	80-500 Ka	100-200 Ka
5 <sup>o</sup>	30-80 Ka	10-20 ka
6 <sup>o</sup>	10-30 ka	

Las secuencias estratigráficas en cuencas *foreland* corresponden a “cuñas clásticas” depositadas en el borde continental de semicuenas lineares en subsidencia; allí en la sección más profunda, la espesa secuencia de sedimentos garantiza su mejor preservación con respecto a la sección del borde marino. (Miall, 1996)

Aunque la arquitectura de la cuenca es determinada por el orógeno incipiente, las relaciones estratigráficas y características sedimentológicas en cuencas *foreland* están controladas por la relación entre clima y tectónica. Períodos de quietud tectónica disminuyen la tasa de aporte de material clástico por asentamiento del nivel base en sistemas fluviales; por tanto, períodos alternantes de levantamiento y subsidencia tectónica resultan en secuencias cíclicas limitadas por discordancias de extensión considerable. Por otro lado, el clima figura como el factor básico que controla la frecuencia y magnitud de las inundaciones, y por tanto, de flujos hiperpícnicos y corrientes de turbidez que registran períodos de máximo aporte sedimentario (Mutti *et al.*, 2003).






Miall (1996) y Schwans (1995); establecen que el espacio de acomodo es generado más lentamente en el centro de la cuenca debido a menor subsidencia, por lo que las unidades estratigráficas tienden a adelgazarse en el mismo sentido.

## **9.2 Registros de pozo y criterios de Correlación**

### **9.2.1 Generalidades**

El comportamiento de los registros de pozos puede ser utilizado para el reconocimiento de facies depositacionales, por su similitud con las sucesiones en los tamaños de granos, ya que cada tipo litológico va a mostrar un comportamiento característico ante propiedades físicas, tales como *potencial espontáneo*, *rayos gamma*, *resistividad*, *densidad*, entre otros (Walker y James, 1992). En la tabla 6 se muestran ciertos patrones típicos de las curvas de *potencial espontáneo* y de *rayos gamma*, que permiten el reconocimiento de facies. Sin embargo, estos patrones no son únicos o diagnósticos de ningún ambiente de depositación en particular, por lo tanto quedan abiertos a múltiples interpretaciones, generando incertidumbre en los modelos geológicos que desarrollan su estudio basados en los registros de pozos.

Tabla a: 2Electrofacies. Tomado de CANT, 1990

Cilindrico	En forma de Embudo	En forma de Campana	Simétrico	Irregular
Limpio, Sin tendencia	Tope Abrupto, Grano-creciente	Base Abrupta, Grano-decreciente	Base y topes transicionales	Intercalación entre arena y lutita. Sin tendencia
				
Ambientes Eólicos, Canales Fluviales Entrelazados, Plataformas Carbonáticas, Arrecifes o relleno de Cañones Submarinos	Abanicos de Rotura, Barras de Desembocadura, Islas de Barrera, plataforma clástica, areniscas marino someras, secuencias carbonáticas o Abanicos Submarinos.	Barras de Meandros, Barras de Marea, Canales Submarinos o algunas arenas transgresivas de plataforma.	Barras Arenosas Costa Afuera, algunas arenas transgresivas de plataforma o amalgamiento entre otras secuencias grano-crecientes y grano-decrecientes.	Llanura de Inundación, Taludes Carbonáticos, Taludes Clásticos o Relleno de Cañones.

En la correlación de registros de pozos se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

1. Los sedimentos compuestos por partículas finas que componen las capas lutíticas, son depositados en ambientes de baja energía. Estos ambientes de baja energía comúnmente cubren amplias áreas geográficas.
2. Las capas de arena son frecuentemente malos marcadores para las correlaciones, debido a que frecuentemente muestran variaciones considerables en su espesor y características de pozo a pozo que son lateralmente discontinuas.
3. Las curvas de resistividad para una misma arena en dos pozos correlacionados, puede ser diferente, debido a variaciones en los fluidos que

contiene o diferencias en las propiedades de los fluidos de perforación utilizados en cada uno de los pozos. (Tearpock & Bischke, 1991).

A continuación se presentan varias técnicas para la correcta correlación de unidades estratigráficas, las cuales se plantean por Walker & James (1992).

### 9.2.2 Criterios de Correlación

#### Ajuste por Patrones

Este método permite correlacionar secuencias estratigráficas donde han ocurrido variaciones laterales de facies, litología o espesores.

Esta técnica envuelve el reconocimiento y ajuste de distintivos patrones de registros de cualquier origen. Los patrones correlacionados pueden representar sucesiones verticales de facies, facies sobreimpuestas o unidades limitadas por discordancias. Por ajuste de patrones, las correlaciones son hechas en base a la forma de los registros en intervalos de metros o diez metros, en lugar de los picos individuales, punto más bajo, o marcadores sin sucesión.

Los registros se deben mover hacia arriba o hacia abajo hasta que la mejor correlación estratigráfica se obtenga (Walker & James, 1992).

Las unidades a correlacionar deben satisfacer las siguientes condiciones para que las mismas sean utilizables:

- Las sucesiones de facies individuales no muestran abruptos cambios de un registro con respecto a otro en los aspectos de: espesor, patrones de los registros y patrones de granulometría.
- Las sucesiones individuales no deben mostrar aumento de los espesores de las areniscas hacia el mar.
- Las sucesiones de talud deben disminuir gradualmente hacia el mar, a menos que la sección esté afectada por tectonismo.

- Los abruptos cambios laterales en sucesiones de facies implican la existencia de una inconformidad (WALKER & JAMES, 1992).

### Capas Marcadoras

La respuesta del registro de una distintiva capa o serie de capas puede ser usada como marcador aunque la litología o el origen de la capa sean desconocidos. Marcadores que puedan ser mapeados regionalmente pueden por lo tanto ser relacionados, o incluir, importantes superficies aloestratigráficas. Por ejemplo, secciones condensadas (posiblemente expresando superficies de máxima inundación) son quizás las capas marcadoras más extensas y son extremadamente usadas porque ellas son en esencia líneas de tiempo. Pueden ser identificadas en la mayoría de las cuencas por sus características de alto gamma-ray, considerable alta resistividad y alta porosidad (WALKER & JAMES, 1992).

Según Busch & Link las capas marcadoras más utilizadas son las siguientes:

- Calizas delgadas
- Bentonitas
- Carbones
- Evaporitas
- Margas
- Arcillas marinas delgadas
- Radiactivas “ hot streaks ”
- Fósiles índices, Zonas faunales o florales.

### **Técnica de la Porción**

Es considerado como un método de último recurso, cuando los otros métodos no producen resultados, un intervalo puede ser subdividido arbitrariamente en unidades de espesores constantes, o unidades con espesores proporcionales al intervalo completo. Esta técnica genera muchos errores ya que con ella se asume que todas las líneas de tiempo son horizontales lo cual no es cierto por lo tanto se utiliza como última opción en depósitos continentales donde no existen capas continuas ni sucesiones de facies de buena extensión lateral (WALKER & JAMES, 1992).

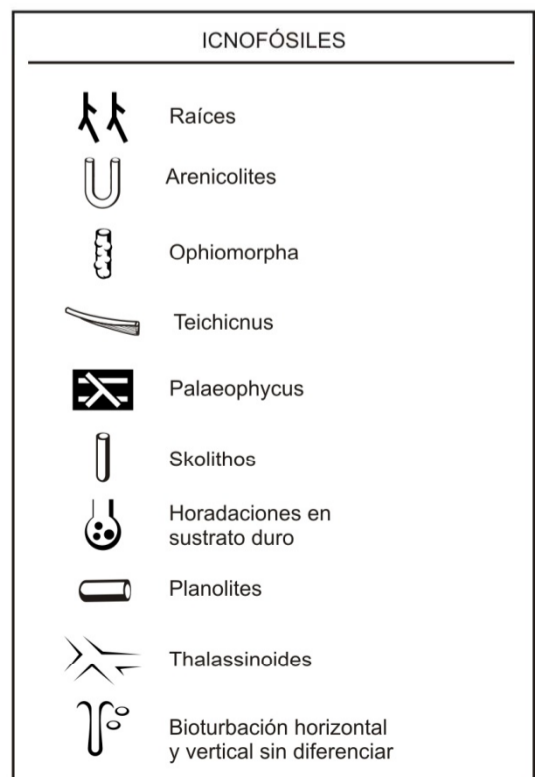
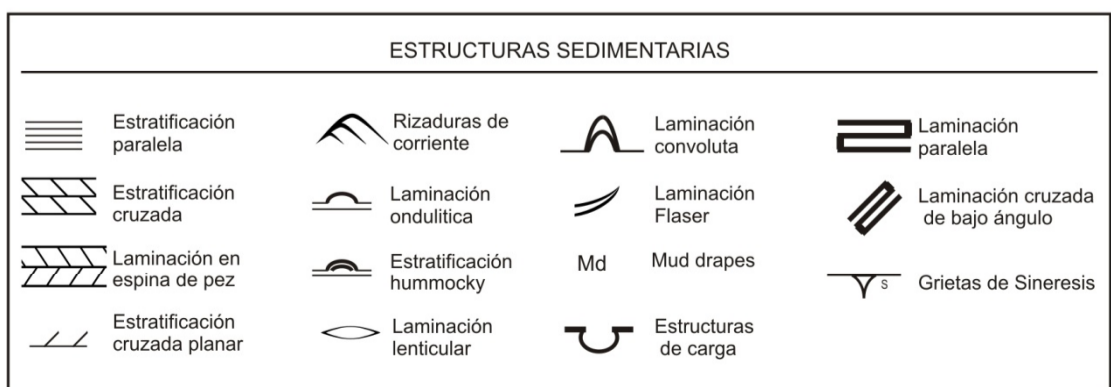
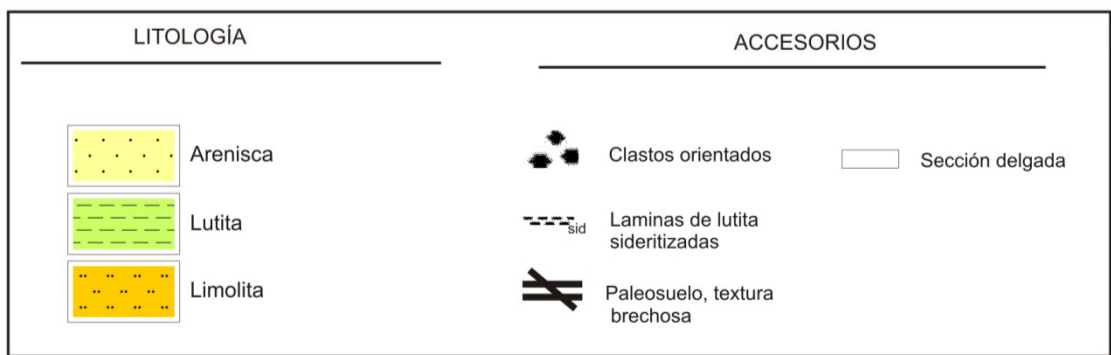
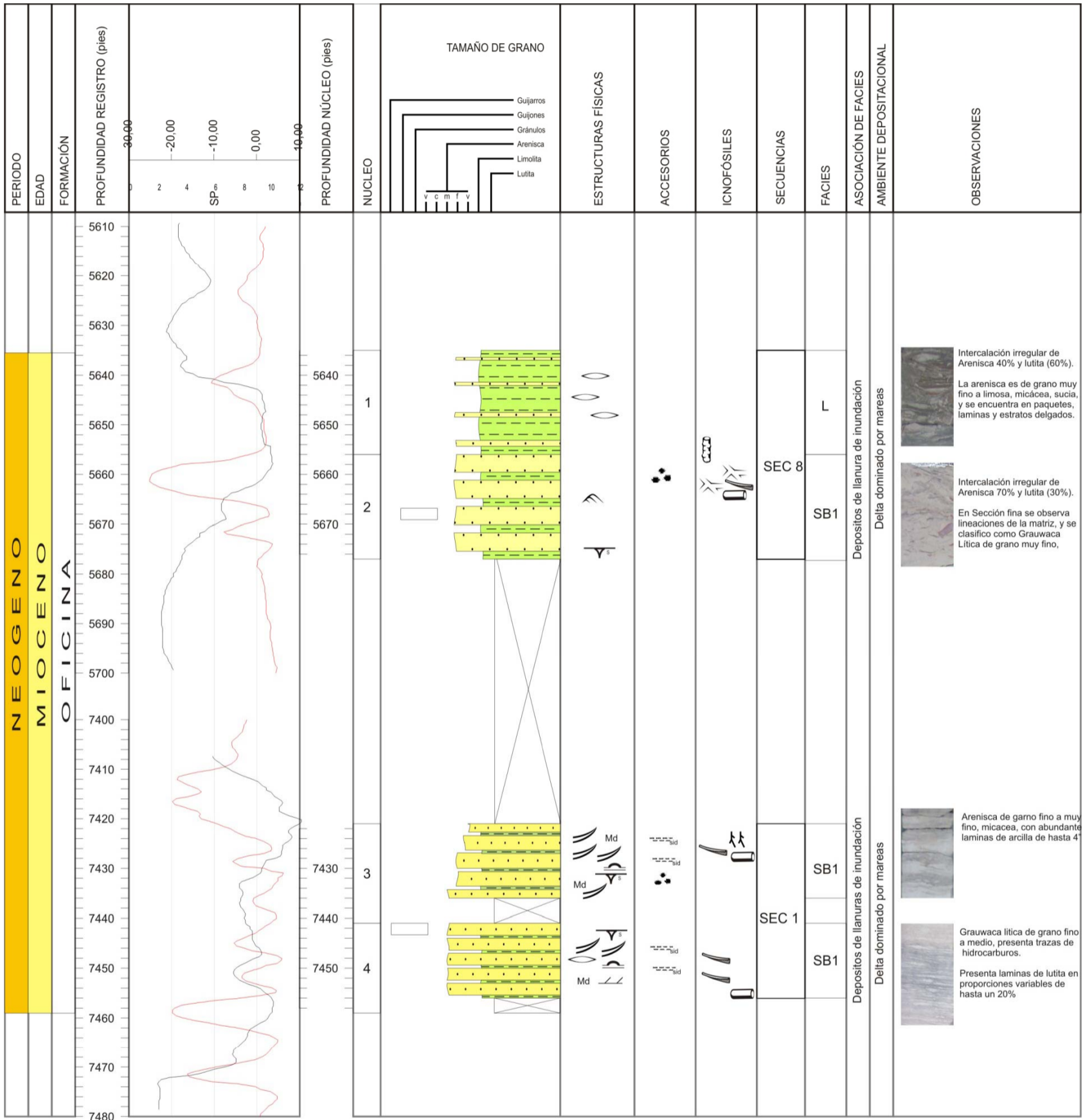




TRABAJO ESPECIAL DE GRADO  
 "ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA SECUENCIA OLIGO-MIOCENA EN UN AREA DEL CAMPO EL TOCO,  
 EN LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI "

ANEXO A.2: HOJA SEDIMENTOLÓGICA DE LOS NÚCLEOS DEL POZO TM-11

ESCALA 1:200	ANEXO N° A.2	REALIZADO POR: ANGEL MARTIN TUTOR ACADÉMICO: PROF. LENIN GONZALEZ TUTOR INDUSTRIAL: ING. ROSA AQUINO	FECHA: ABRIL 2010
--------------	--------------	--	-------------------

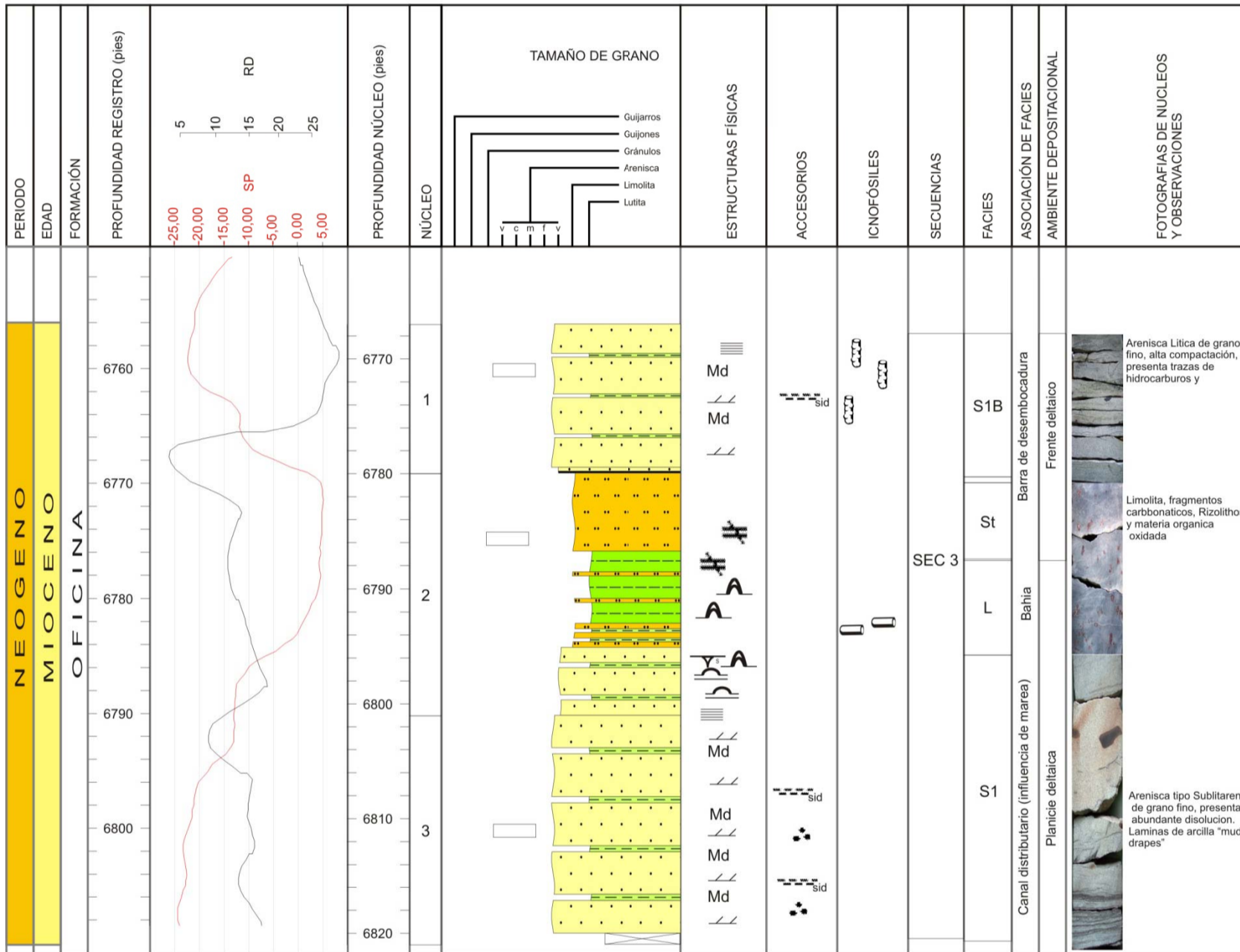




TRABAJO ESPECIAL DE GRADO  
"ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA SECUENCIA OLIGO-MIOCENA EN UN AREA DEL CAMPO EL TOCO,  
EN LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI "

ANEXO A.3: HOJA SEDIMENTOLÓGICA DE LOS NÚCLEOS DEL POZO TZ-1

ESCALA 1:200	ANEXO N° A.3	REALIZADO POR: ANGEL MARTIN TUTOR ACADÉMICO: PROF. LENIN GONZALEZ TUTOR INDUSTRIAL: ING. ROSA AQUINO	FECHA: ABRIL 2010
--------------	--------------	--	-------------------



LITOLOGÍA	ACCESORIOS
Arenisca	Clastos orientados
Lutita	Laminas de lutita sideritizadas
Limolita	Paleosuelo, textura brechosa
	Sección delgada

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS			
Estratificación paralela	Rizaduras de corriente	Laminación convoluta	Laminación paralela
Estratificación cruzada	Laminación ondulítica	Laminación Flaser	Laminación cruzada de bajo ángulo
Laminación en espina de pez	Estratificación hummocky	Md Mud drapes	Grietas de Sineresis
Estratificación cruzada planar	Laminación lenticular	Estructuras de carga	

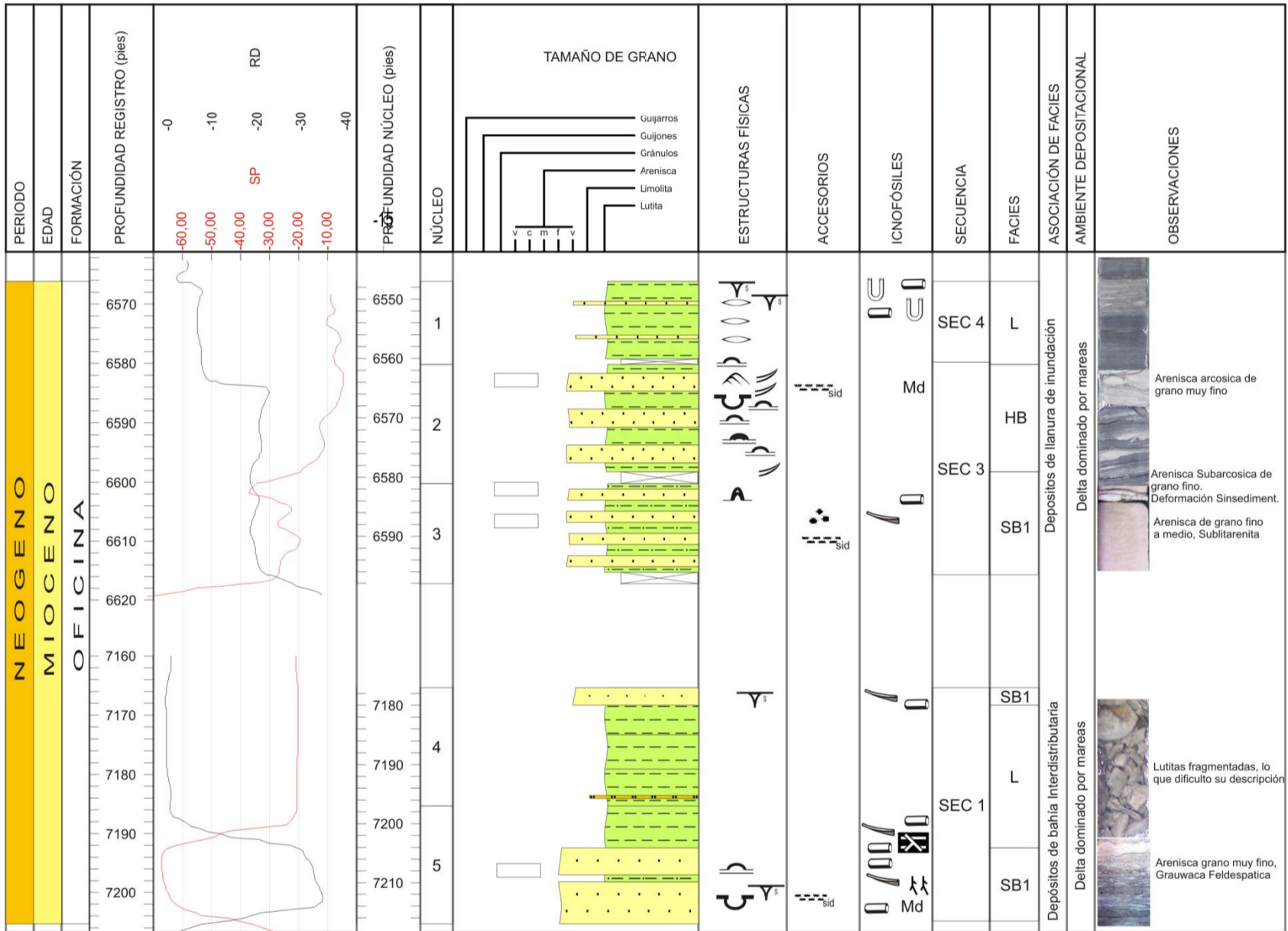
ICNOFÓSILES	
	Raíces
	Arenicolites
	Ophiomorpha
	Teichicus
	Palaeophycus
	Skolithos
	Horadaciones en sustrato duro
	Planolites
	Thalassinoides
	Bioturbación horizontal y vertical sin diferenciar



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO  
"ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA SECUENCIA OLIGO-MIOCENA EN UN AREA DEL CAMPO EL TOCO,  
EN LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI "

ANEXO A.1: HOJA SEDIMENTOLÓGICA DE LOS NÚCLEOS DEL POZO TM-3

ESCALA 1:200	ANEXO N° A.1	REALIZADO POR: ANGEL MARTIN TUTOR ACADÉMICO: PROF. LENIN GONZALEZ TUTOR INDUSTRIAL: ING. ROSA AQUINO	FECHA: ABRIL 2010
--------------	--------------	--	-------------------



LITOLOGÍA	ACCESORIOS
Arenisca	Clastos orientados
Lutita	Laminas de lutita siderizadas
Limolita	Paleosuelo, textura brechosa
	Sección delgada

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS			
Estratificación paralela	Rizaduras de corriente	Laminación convoluta	Laminación paralela
Estratificación cruzada	Laminación ondulítica	Laminación Flaser	Laminación cruzada de bajo ángulo
Laminación en espina de pez	Estratificación hummocky	Md Mud drapes	Grietas de Sineresis
Estratificación cruzada planar	Laminación lenticular	Estructuras de carga	

ICNOFÓSILES	
Raíces	
Arenicolites	
Ophiomorpha	
Teichicus	
Palaeophycus	
Skolithos	
Horadaciones en sustrato duro	
Planolites	
Thalassinoides	
Bioturbación horizontal y vertical sin diferenciar	

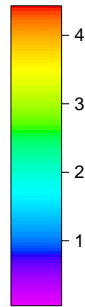
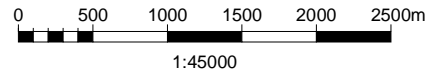
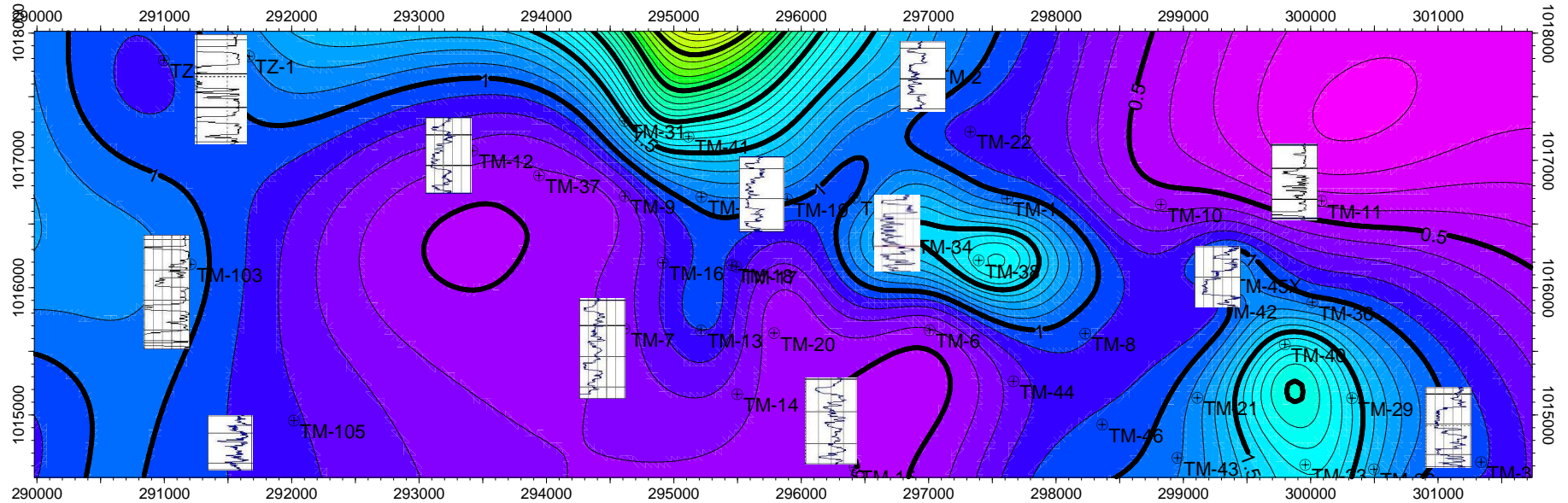


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

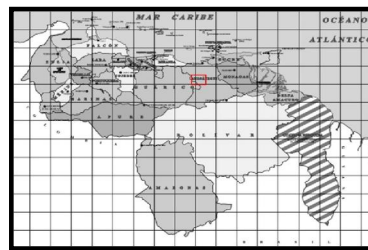


Elaborado por: Br Angel N Martin A

**MAPA DE RELACIÓN DE ARENA-LUTITA SECUENCIA 1**



RELACIÓN



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

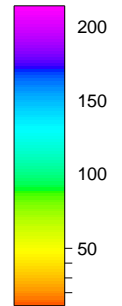
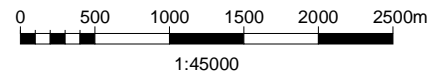
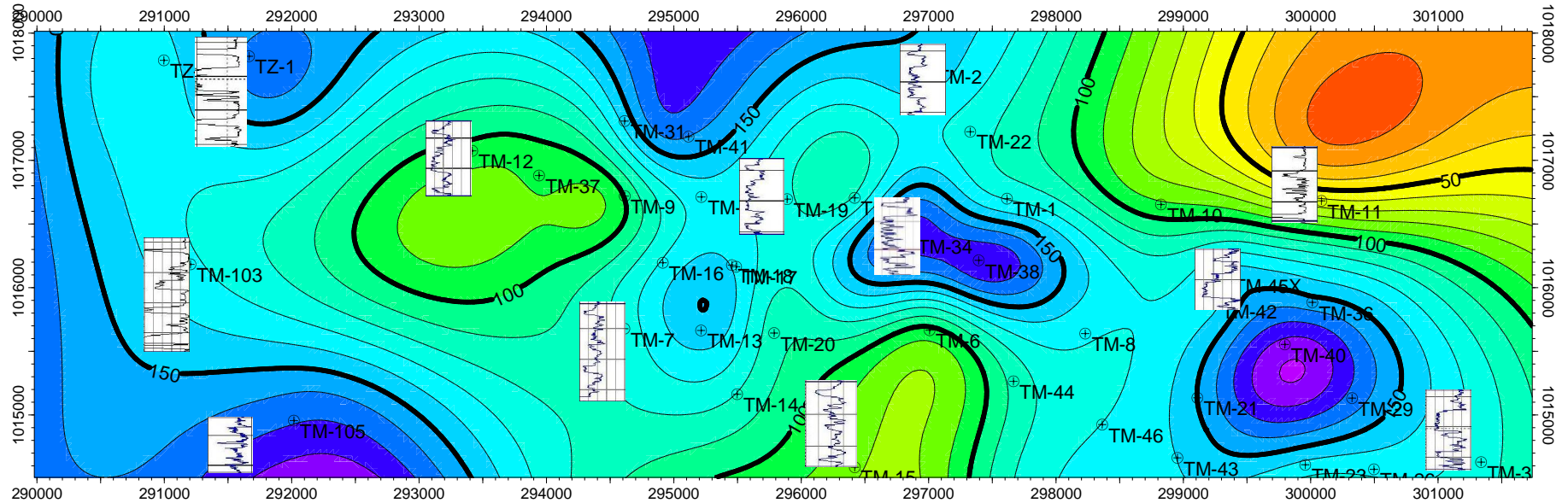


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

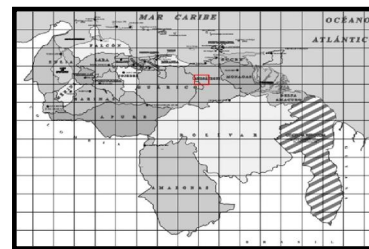


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE ESPESOR DE ARENA SECUENCIA 1



ESPOSOR



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

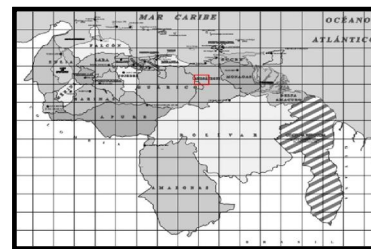
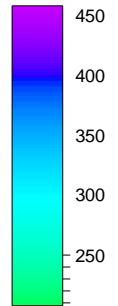
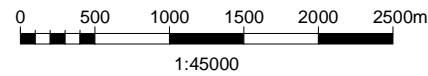
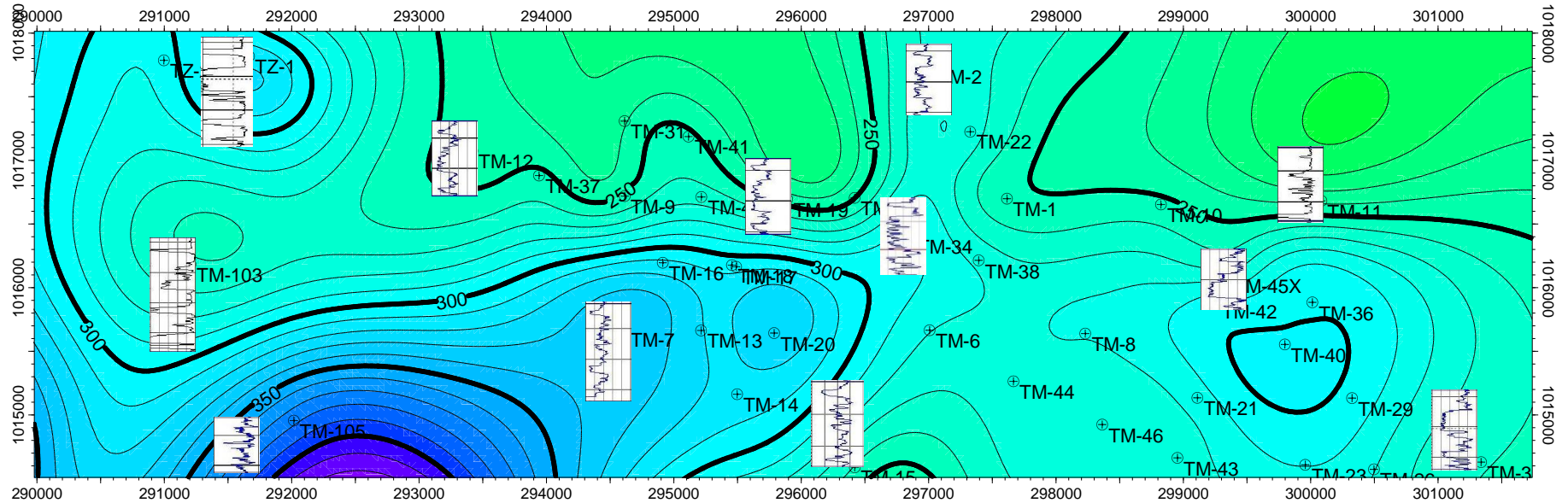


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA ISOPACO SECUENCIA 1



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

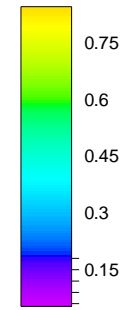
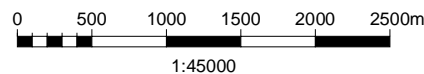
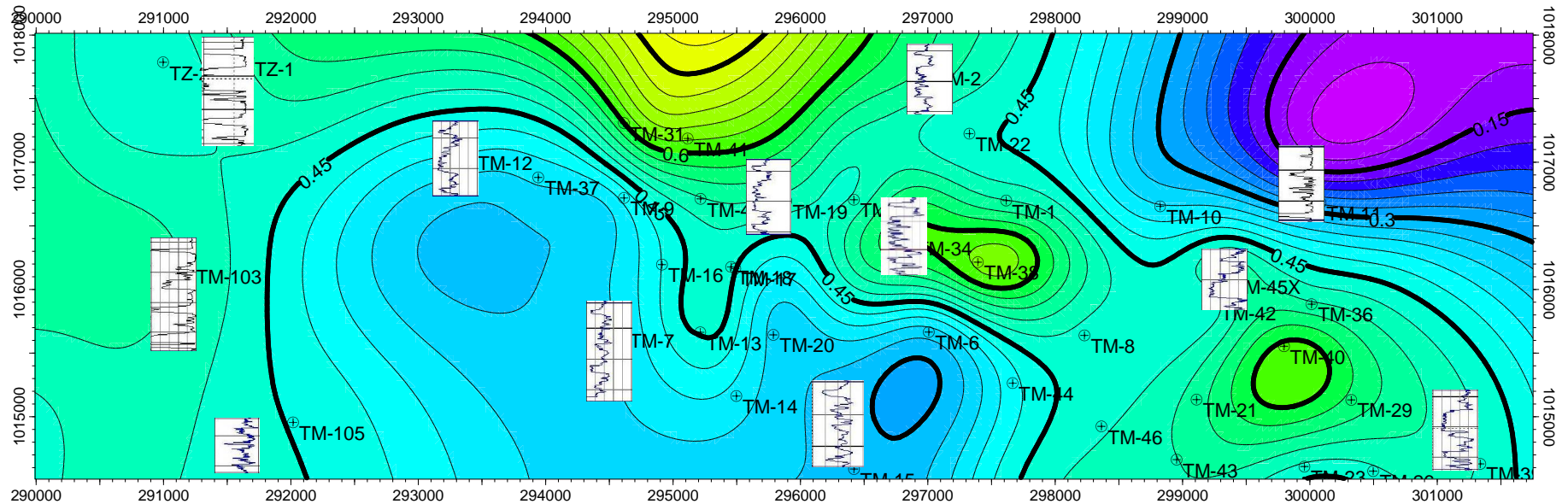


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

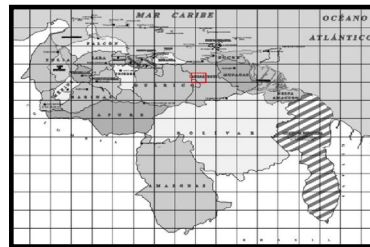


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA "NET TO GROSS" SECUENCIA 1



PORCENTAJE



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

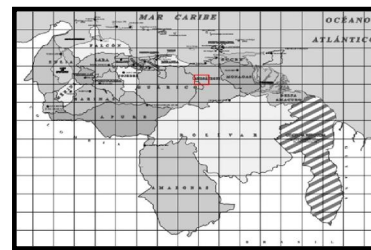
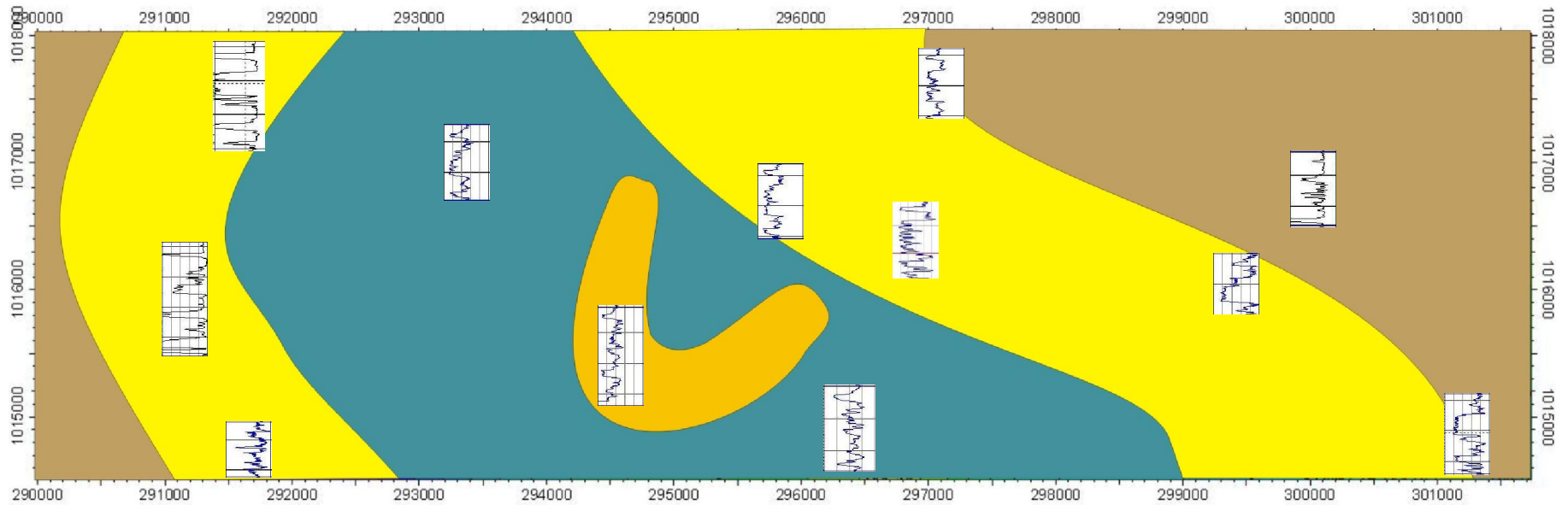


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A





### MAPA DE ELECTROFACIES SECUENCIA 1



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

-  Bahía Interdistributaria
-  Canal Abandonado
-  Canales Interdistributarios
-  Llanura de inundación

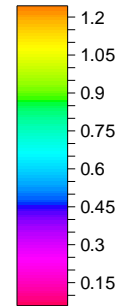
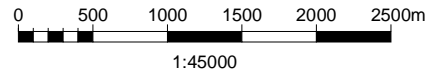
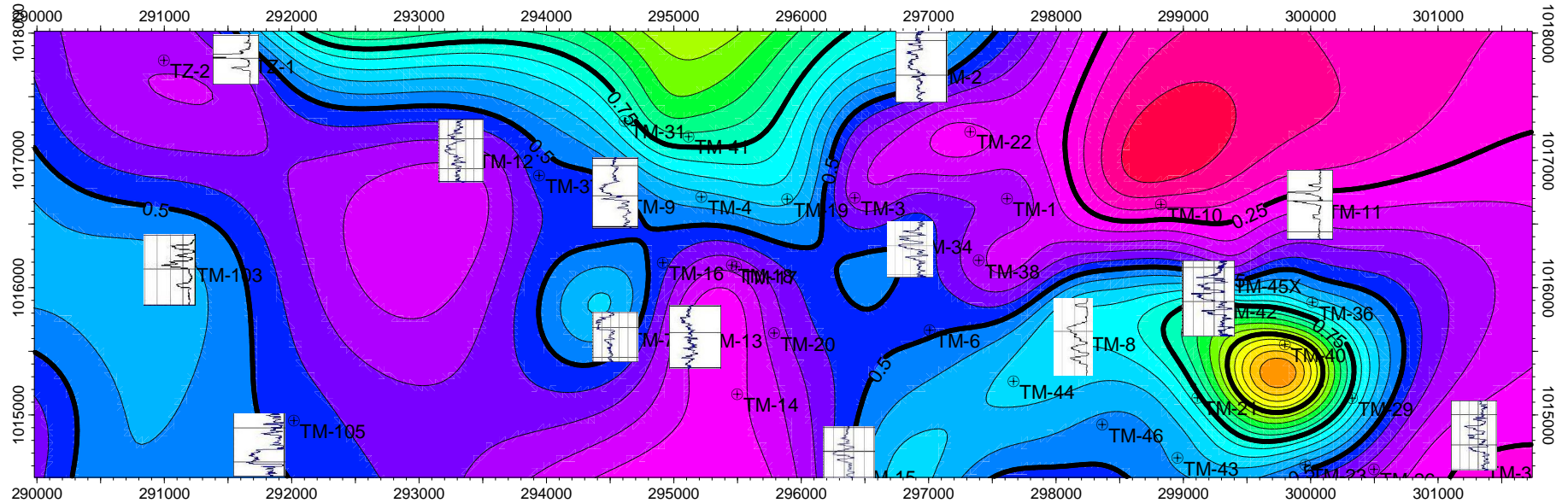


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

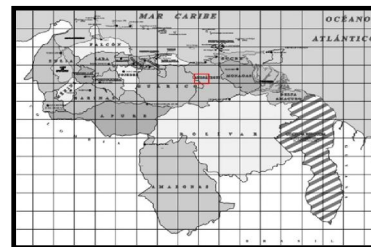


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE RELACIÓN DE ARENA-LUTITA SECUENCIA 2



RELACIÓN



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

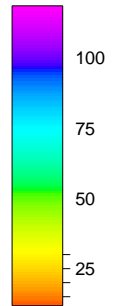
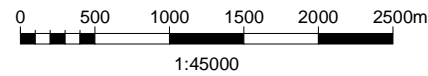
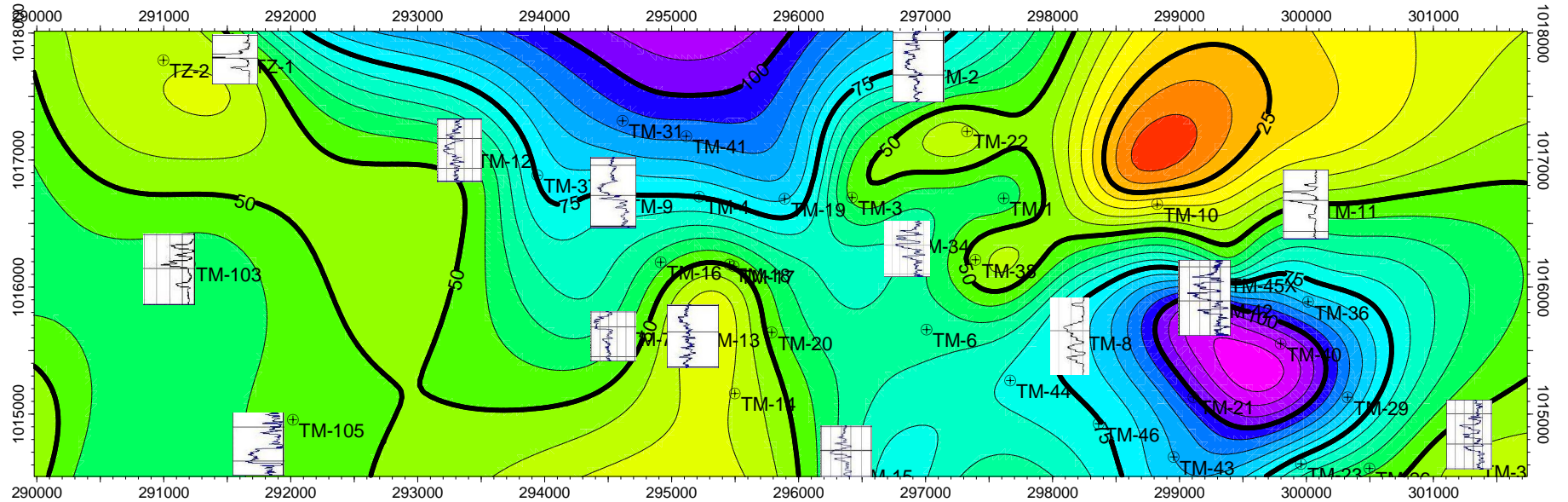


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

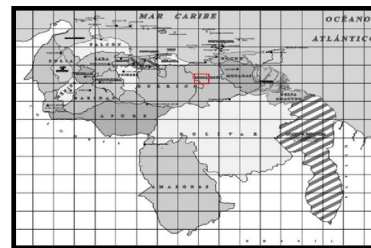


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE ESPESOR DE ARENA SECUENCIA 2



ESPELOR



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

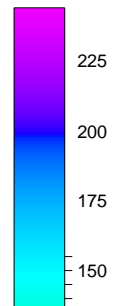
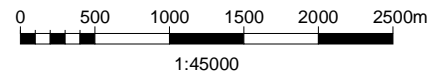
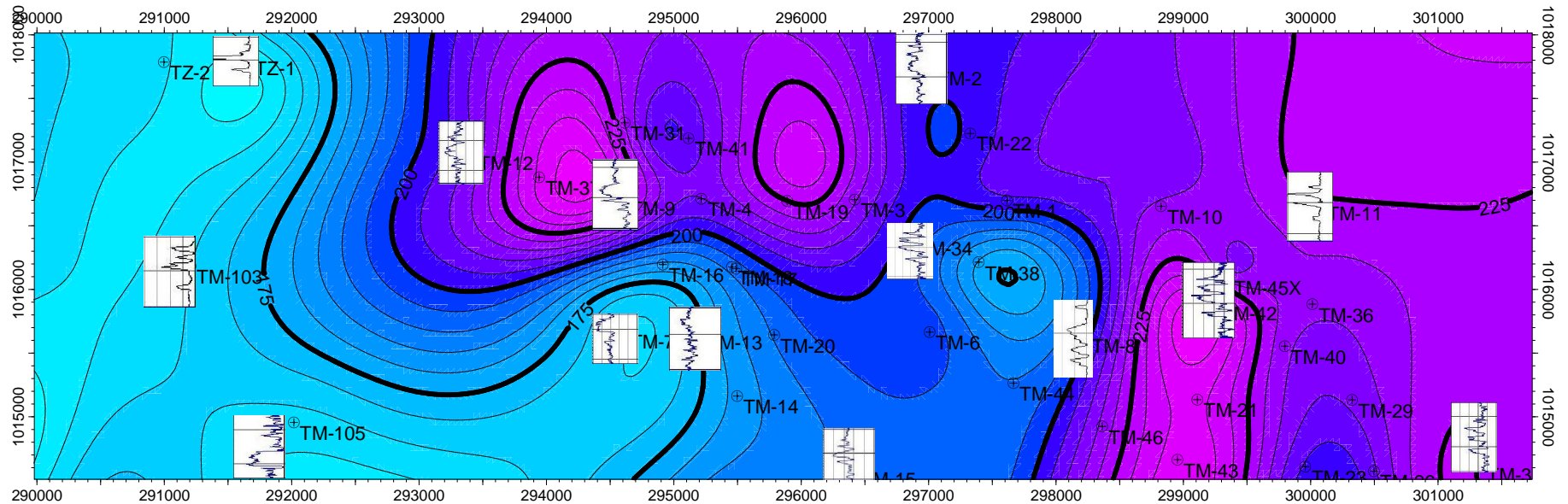


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

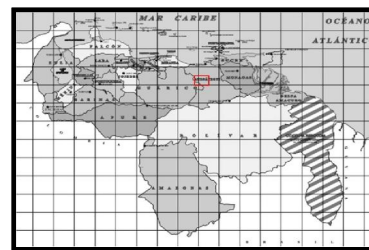


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA ISOPACO SECUENCIA 2



ESPESOR



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

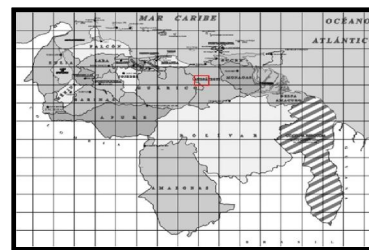
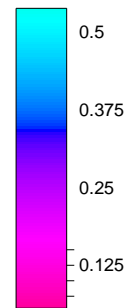
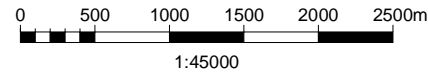
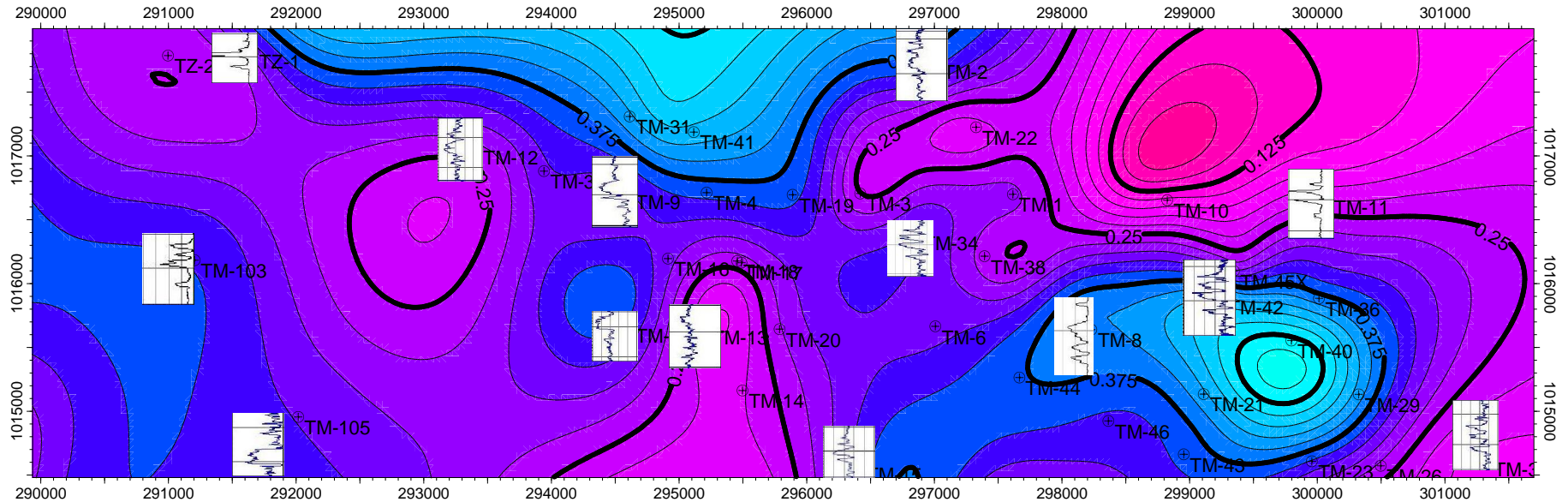


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE "NET TO GROSS" SECUENCIA 2



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

PORCENTAJE

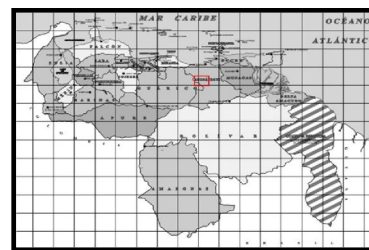
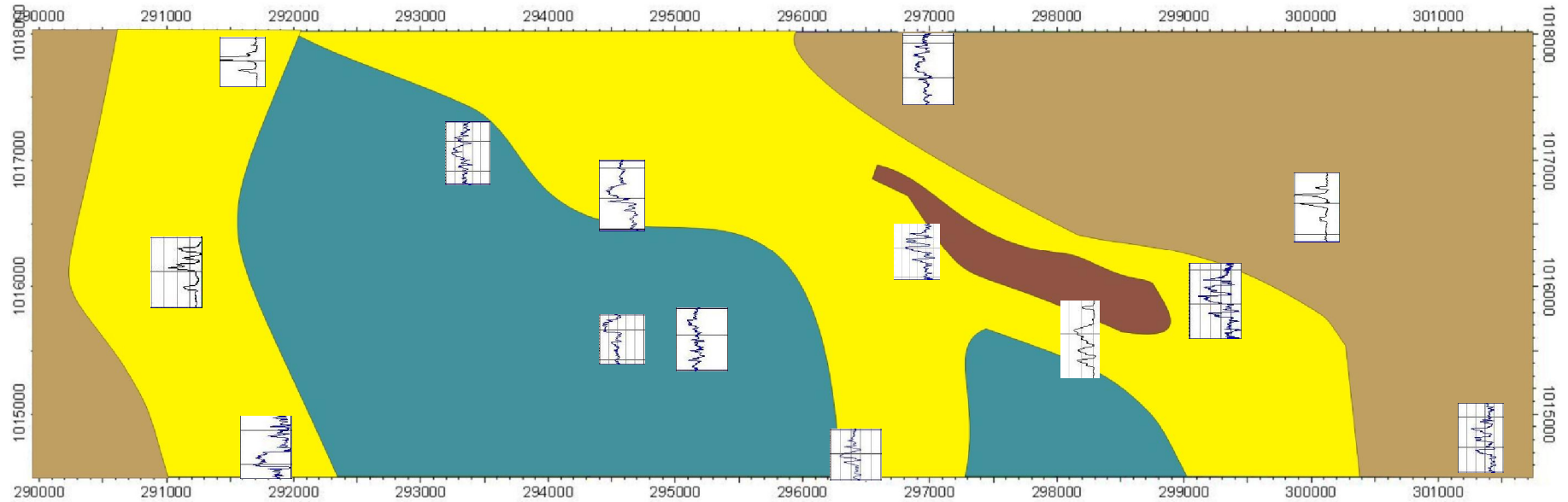


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por: Br Angel N Martin A







### MAPA DE ESPESOR DE ARENA SECUENCIA 2



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

-  Bahía Interdistributaria
-  Barra Longitudinal
-  Canales Interdistributarios
-  Llanura de inundación



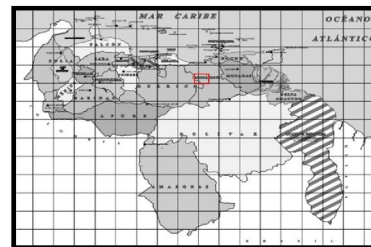
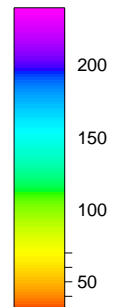
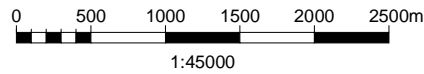
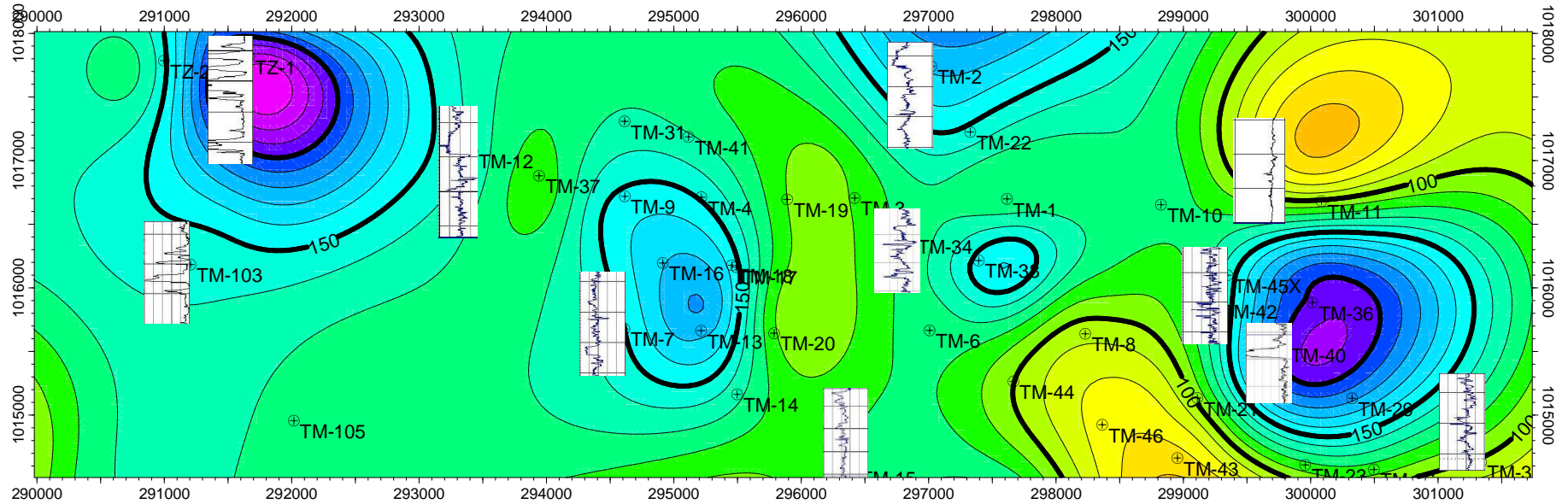


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE ESPESOR DE ARENA SECUENCIA 3



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

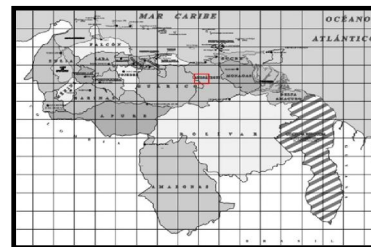
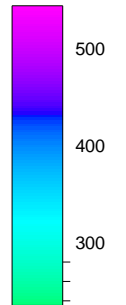
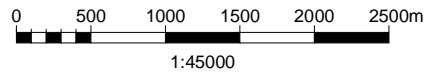
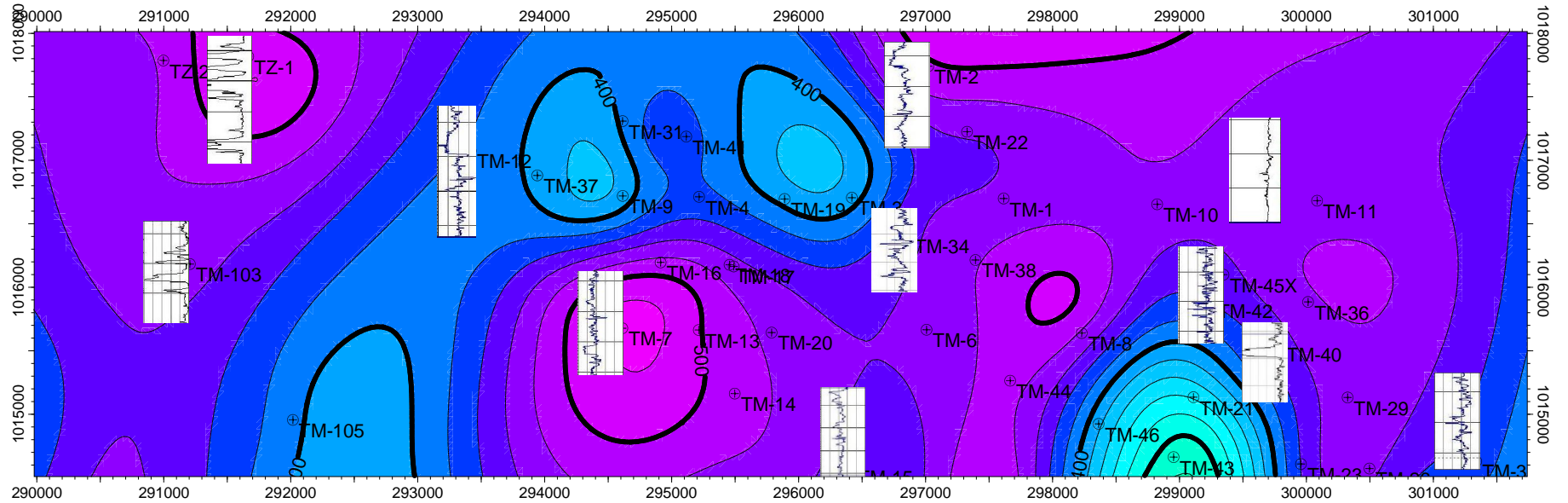


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA ISOPACOSECUENCIA 3



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

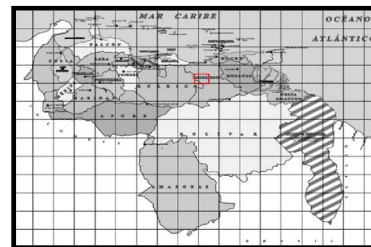
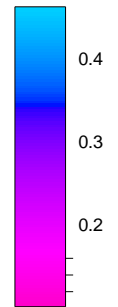
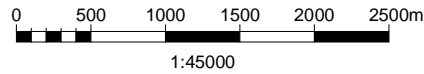
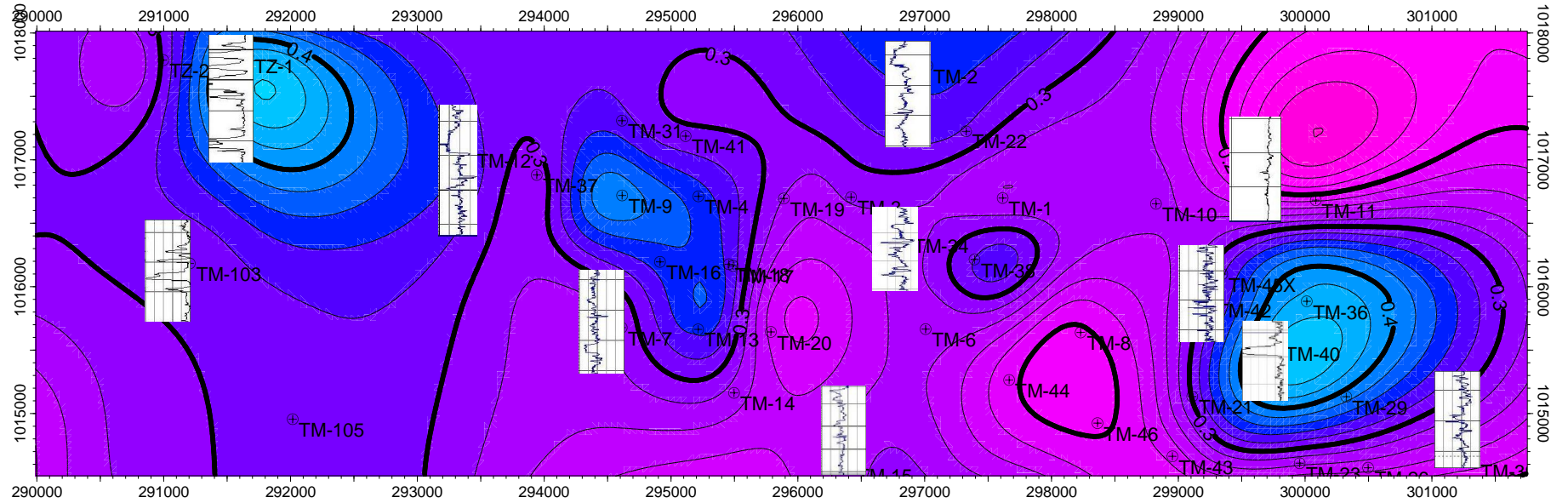


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA "NET TO GROSS" SECUENCIA 3



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

PORCENTAJE

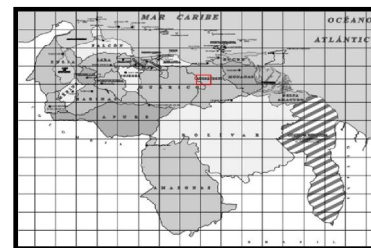
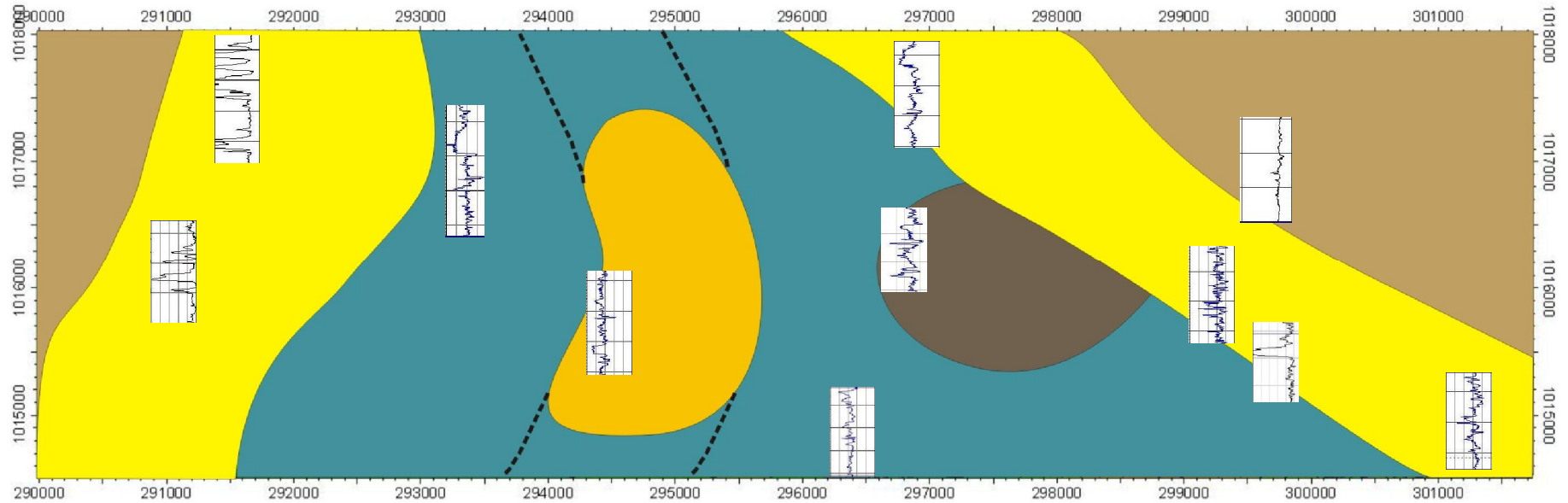


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A






### MAPA DE ELECTROFACIES SECUENCIA 3



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

-  Abanico de rotura
-  Bahía Interdistributaria
-  Canal Abandonado
-  Canales Interdistributarios
-  Llanura de inundación

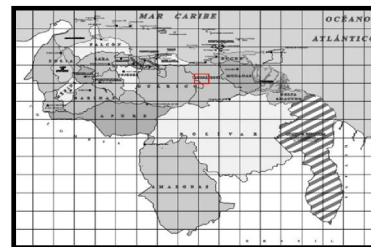
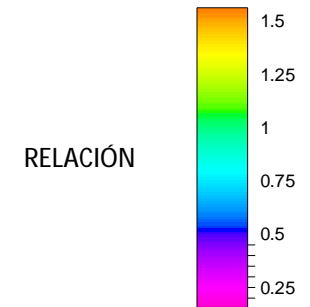
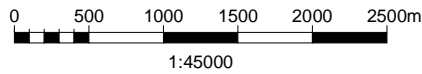
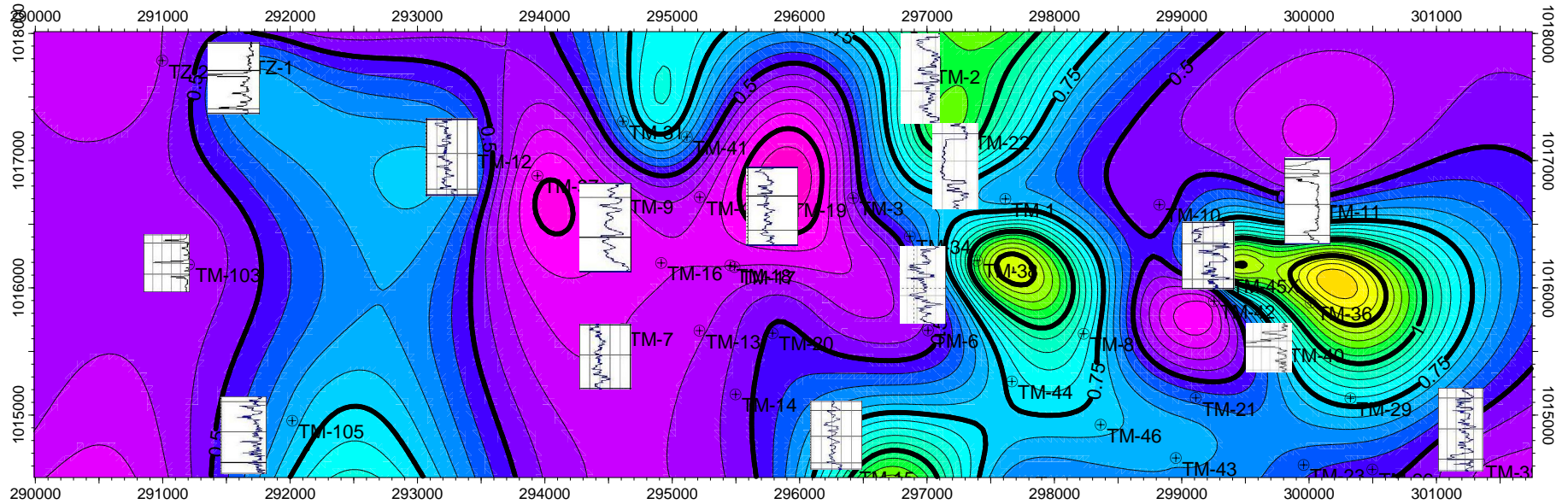


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE RELACIÓN DE ARENA-LUTITA SECUENCIA 4



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional



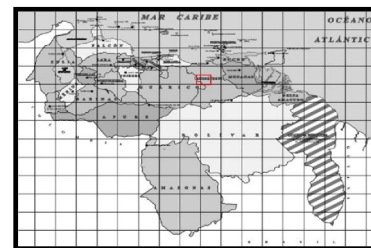
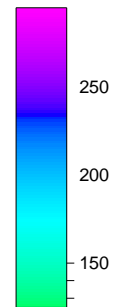
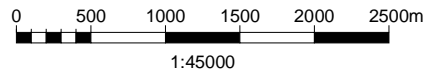
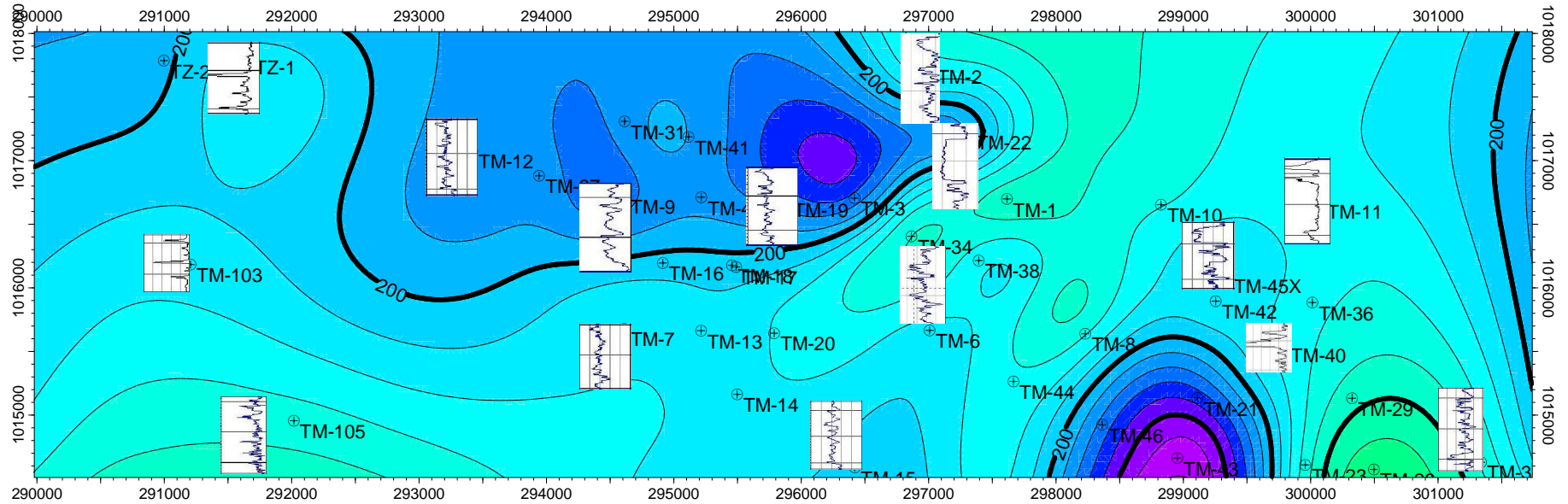


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA ISOPACO SECUENCIA 4



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

ESPOSOR

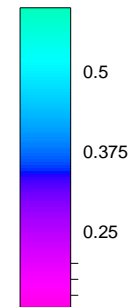
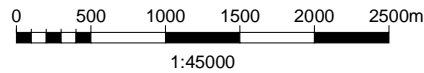
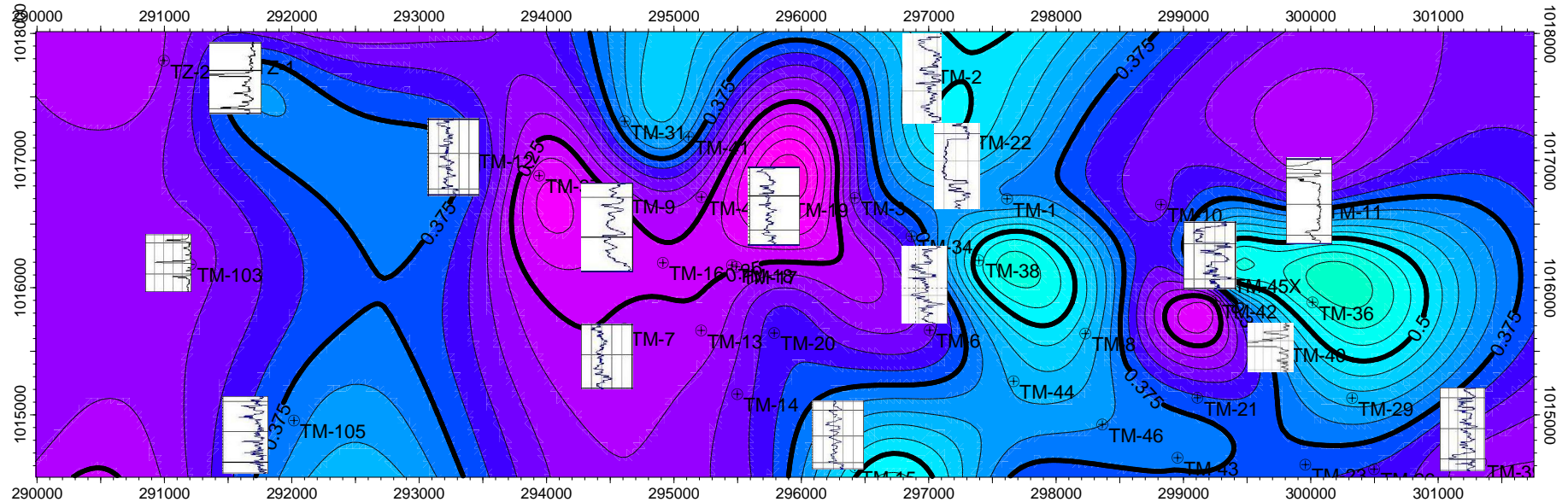


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

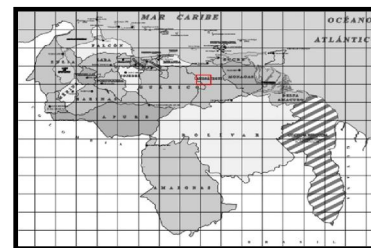


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA "NET TO GROSS" SECUENCIA 4



PORCENTAJE



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

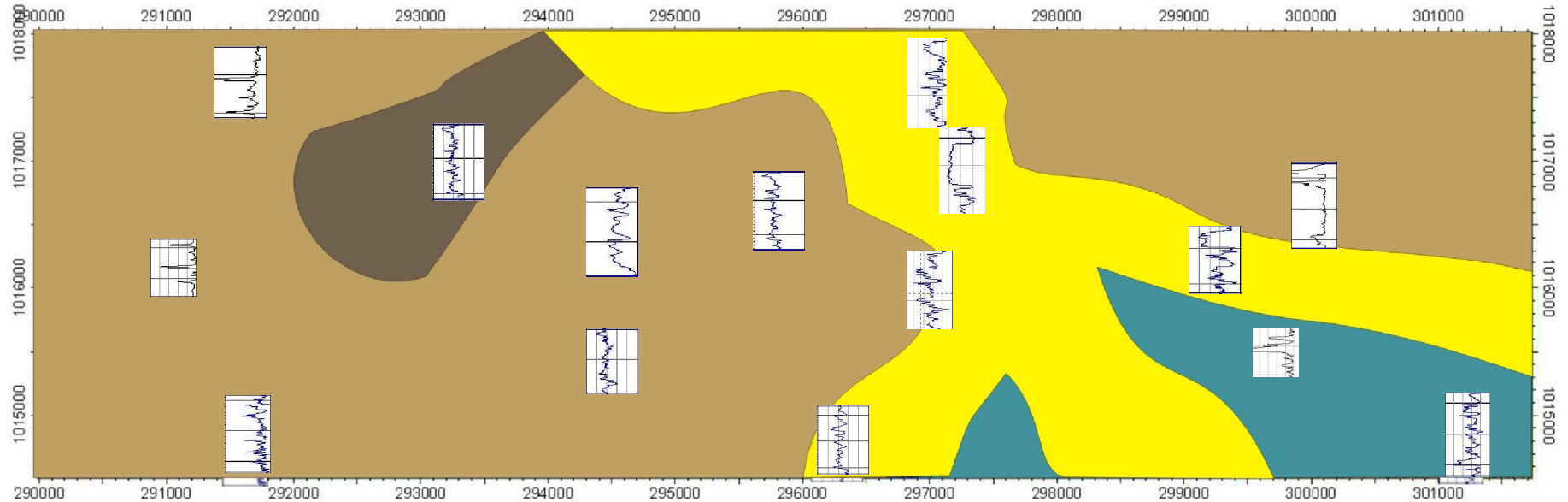






UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

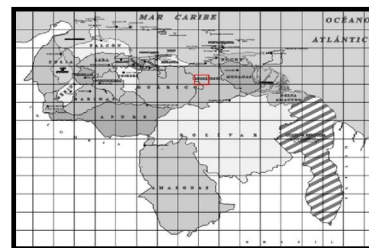


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE ELECTROFACIES SECUENCIA 4



-  Abanico de Rotura
-  Bahía Interdistributaria
-  Canales Interdistributarios
-  Llanura de inundación



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

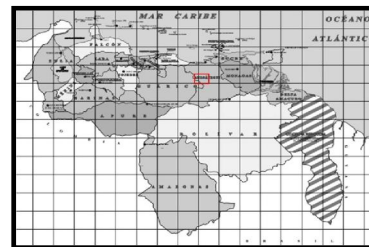
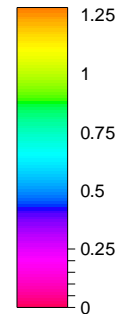
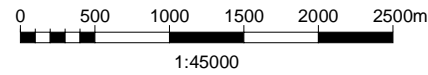
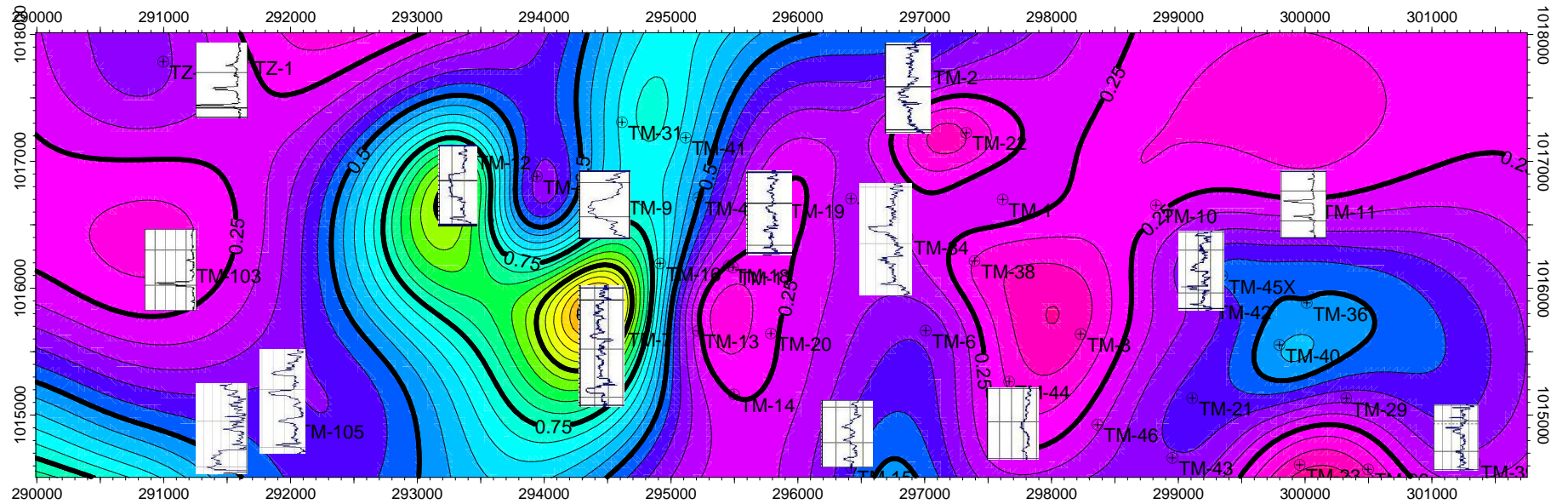


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE RELACIÓN DE ARENA-LUTITA SECUENCIA 5



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

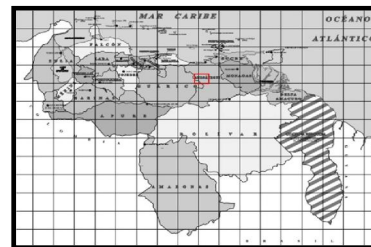
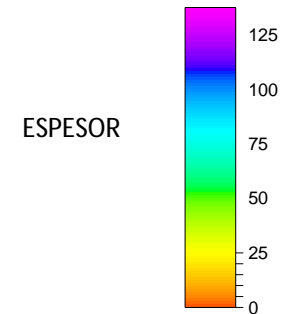
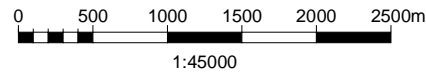
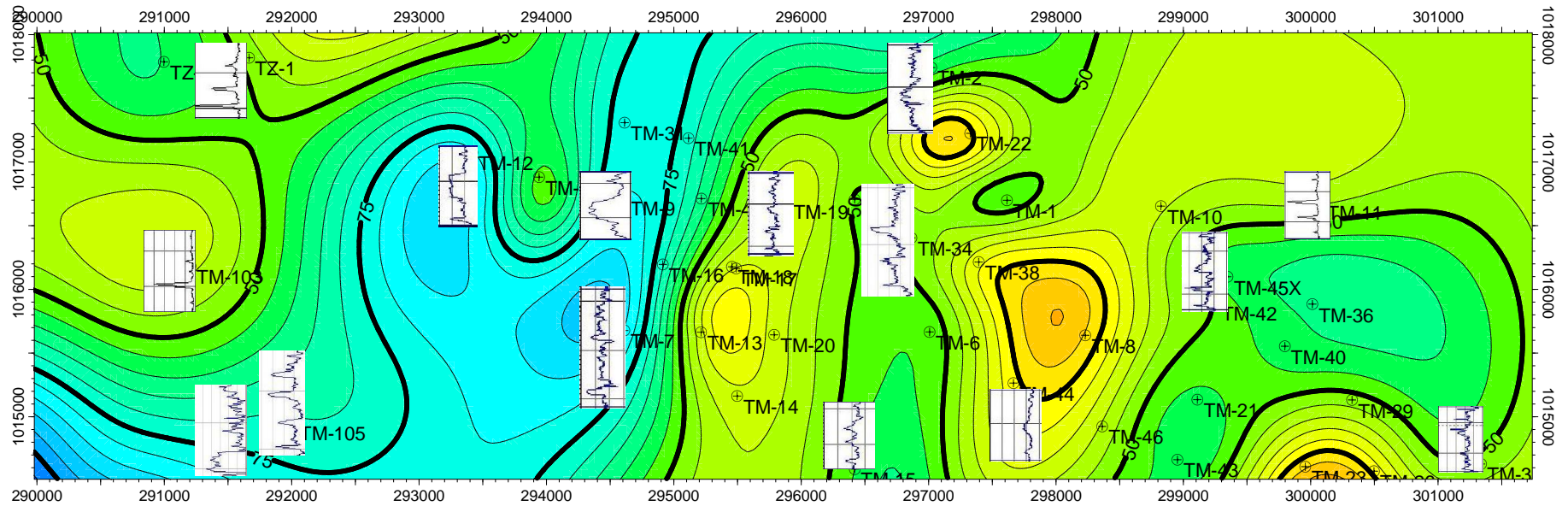


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE ESPESOR DE ARENA SECUENCIA 5



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

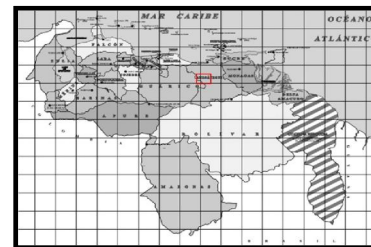
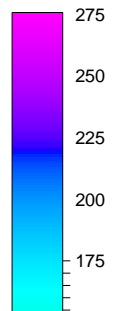
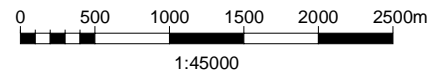
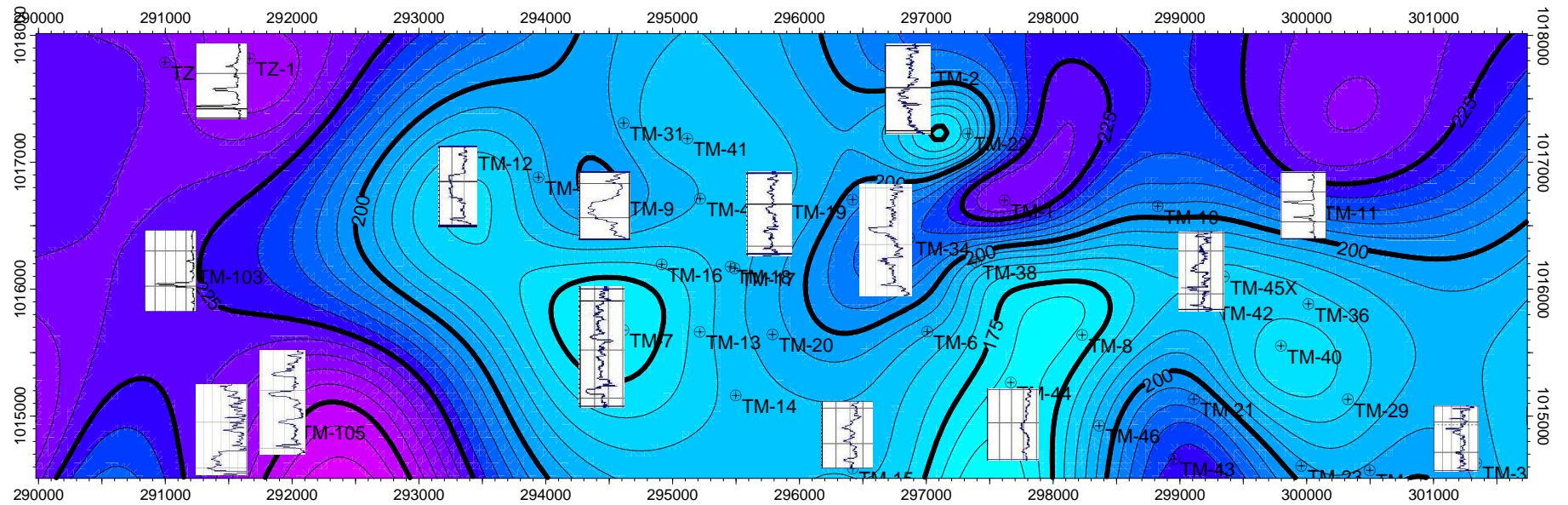


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA ISOPACO SECUENCIA 5



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

ESPEJOR

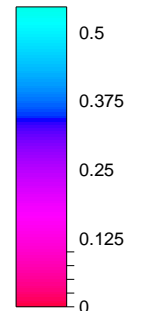
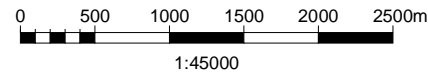
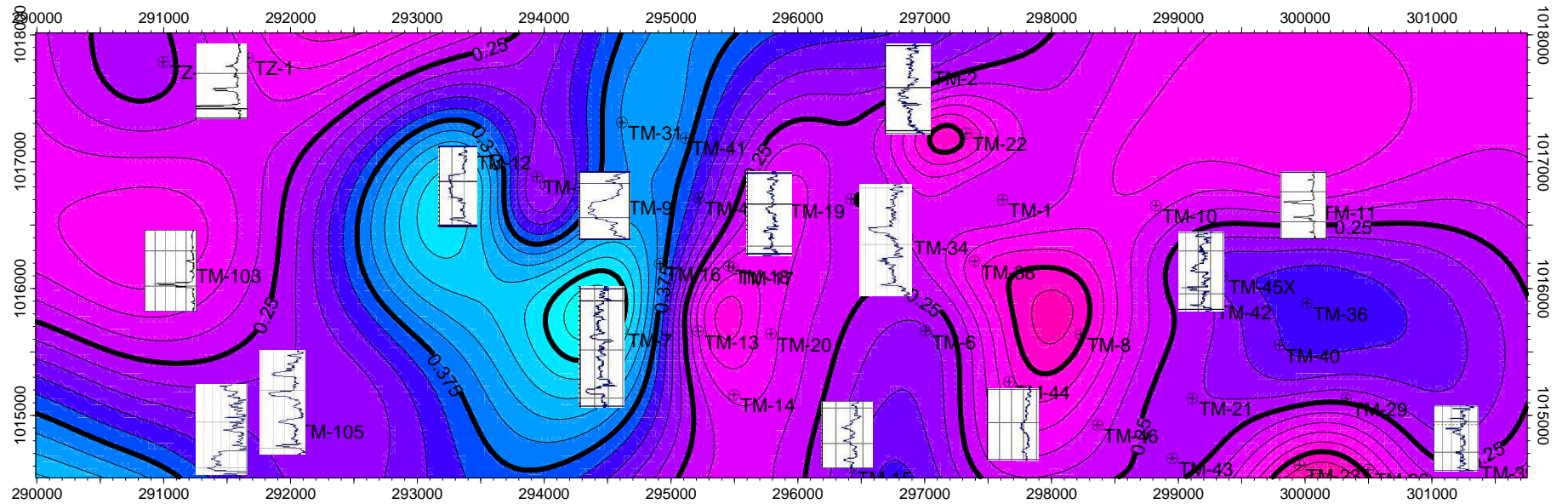


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

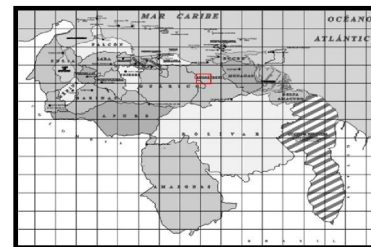


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA "NET TO GROSS" SECUENCIA 5



PORCENTAJE



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

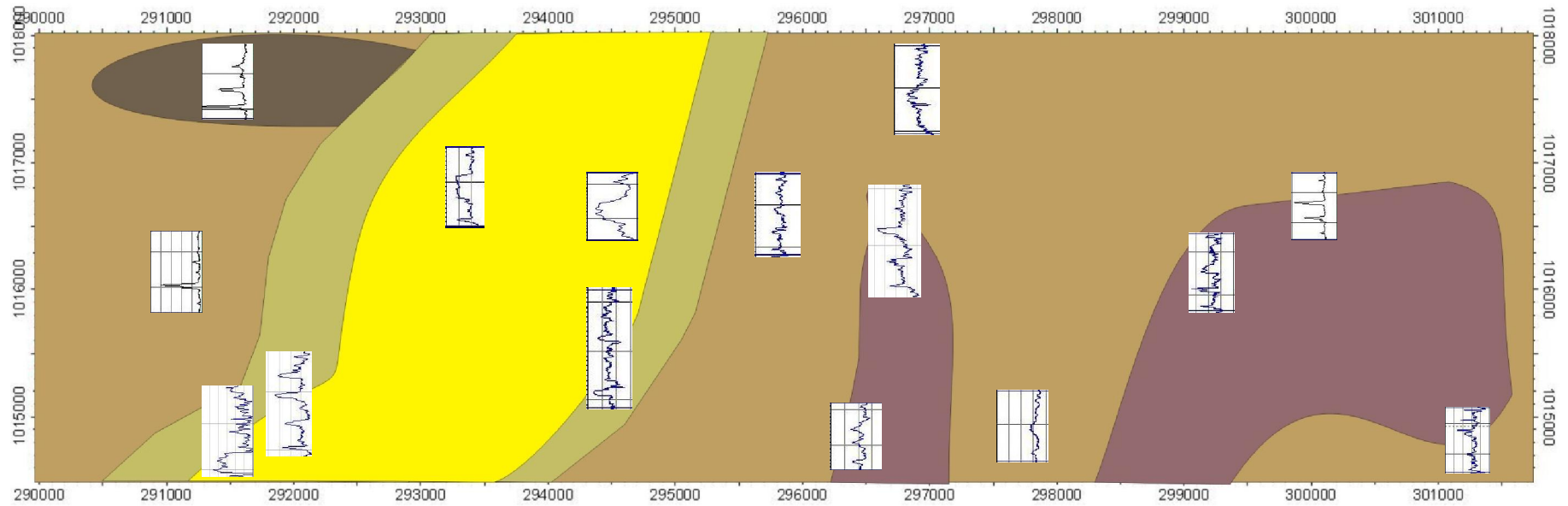







UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

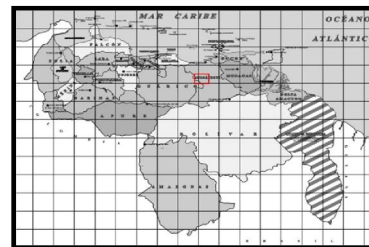


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE ELECTROFACIES SECUENCIA 5



-  Abanico de rotura
-  Canales Interdistributarios
-  Depósitos de desborde
-  Diques Naturales
-  Llanura de inundación



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

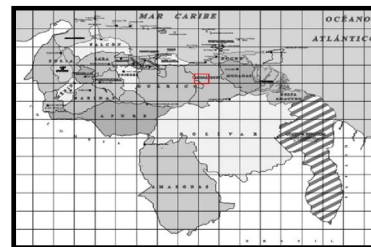
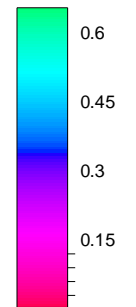
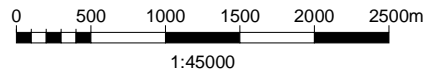
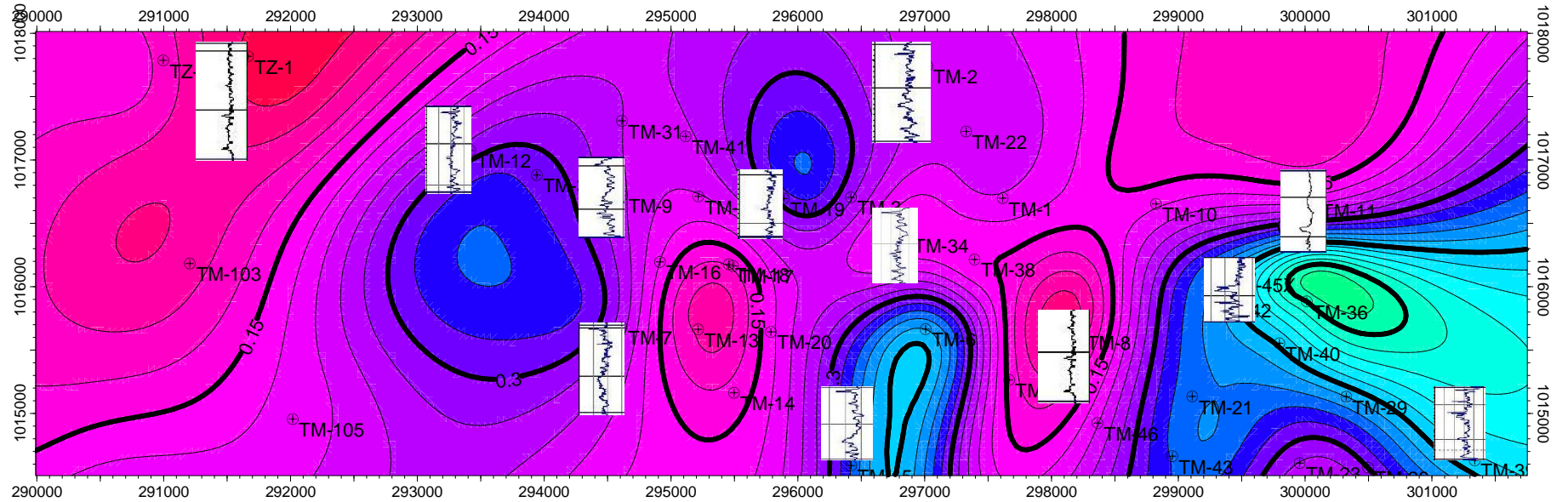


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE RELACIÓN DE ARENA-LUTITA SECUENCIA 6



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

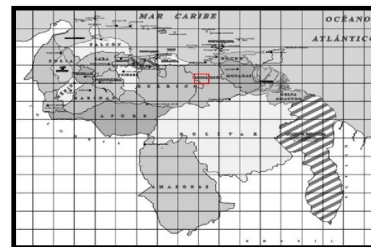
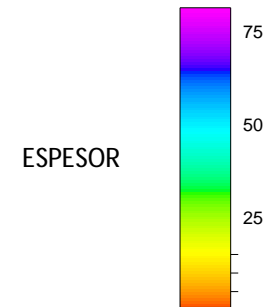
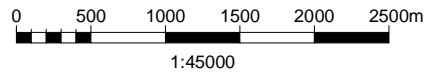
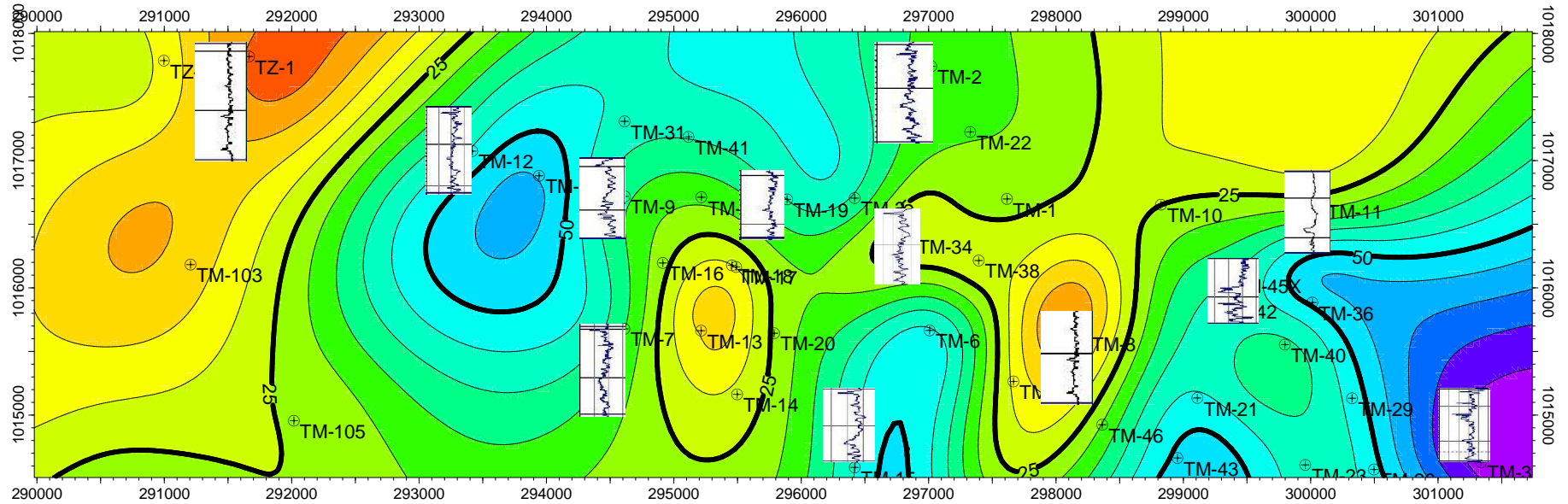


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE ESPESOR DE ARENA SECUENCIA 6



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

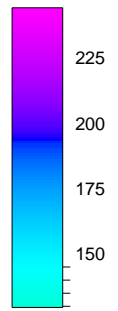
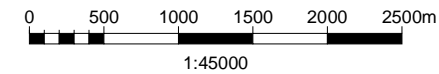
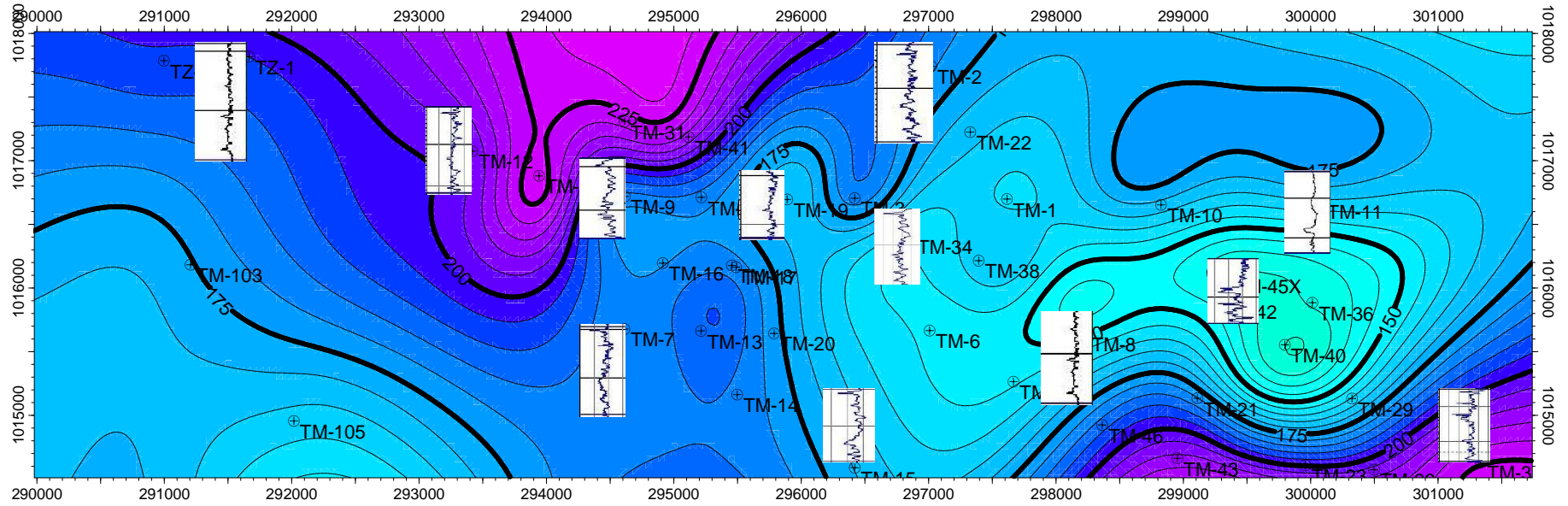


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

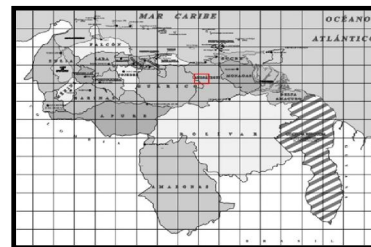


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA ISOPACO SECUENCIA 6



ESPESOR



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

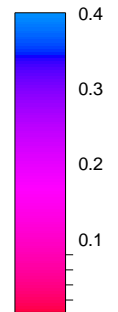
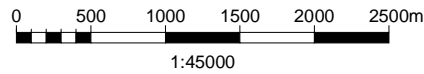
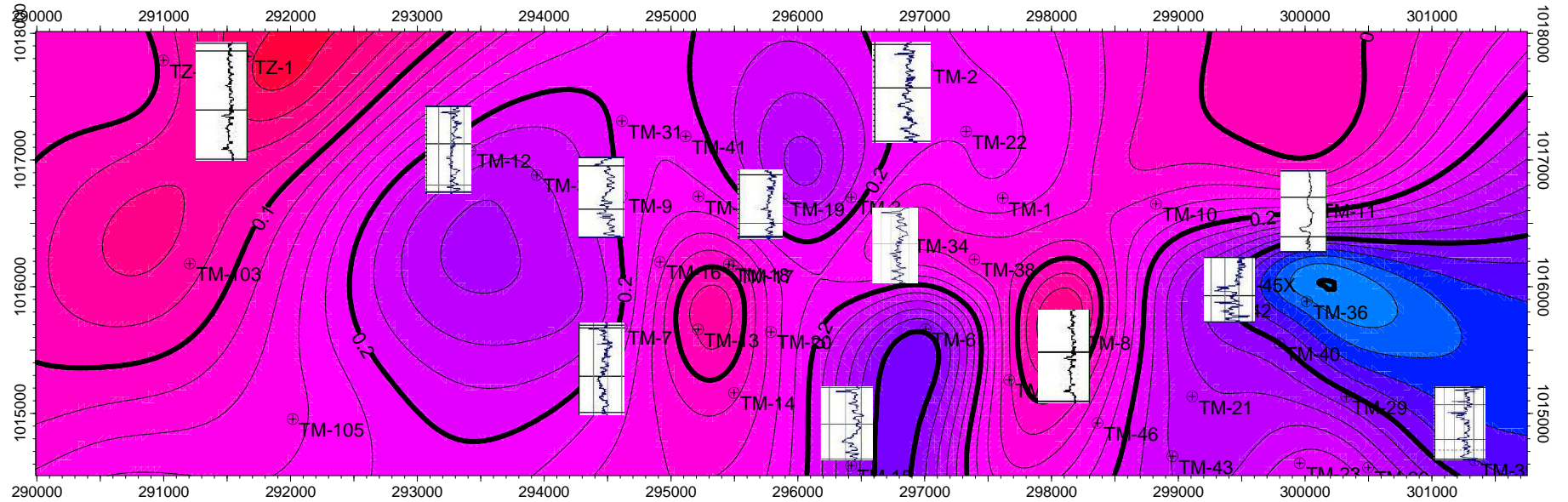


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

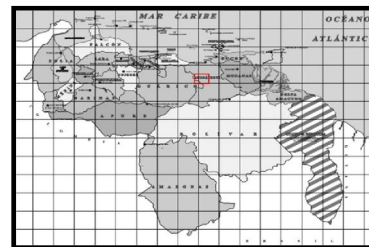


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA "NET TO GROSS" SECUENCIA 6



PORCENTAJE



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

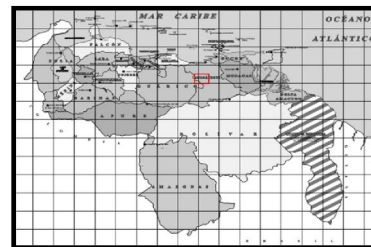
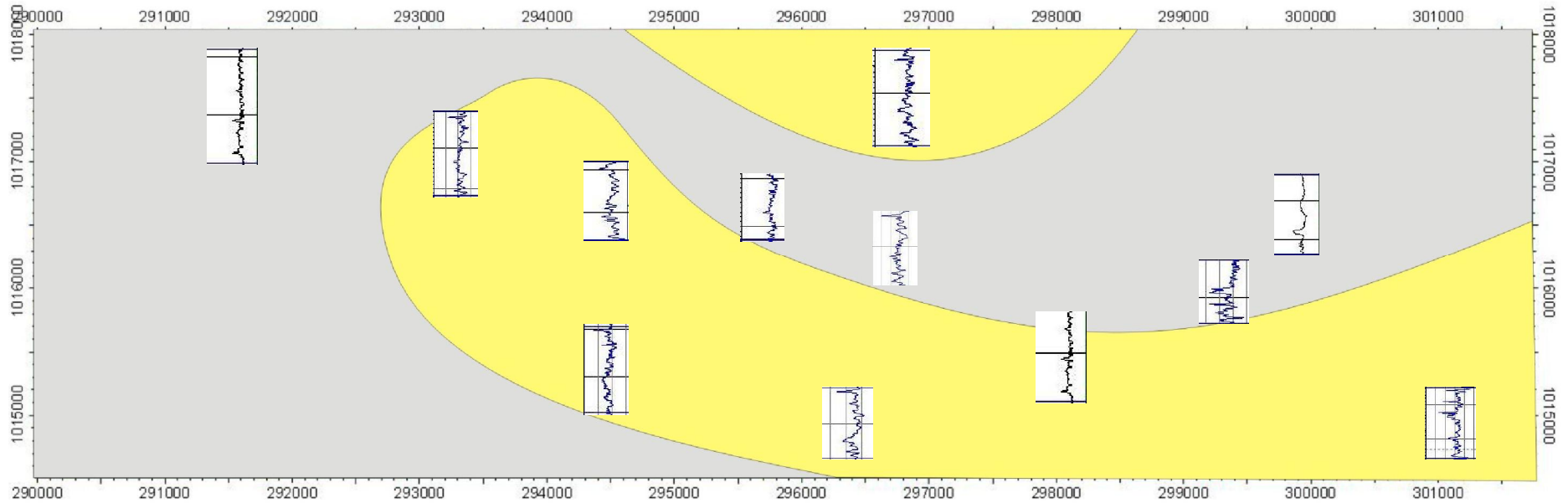


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A



### MAPA ELECTROFACIES SECUENCIA 6



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

-  Barras Mareales
-  Llanura Mareal

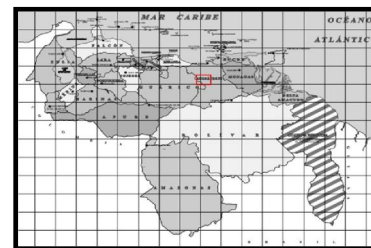
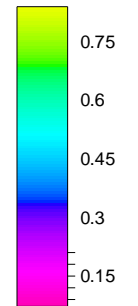
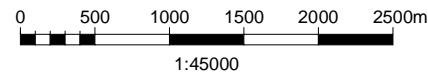
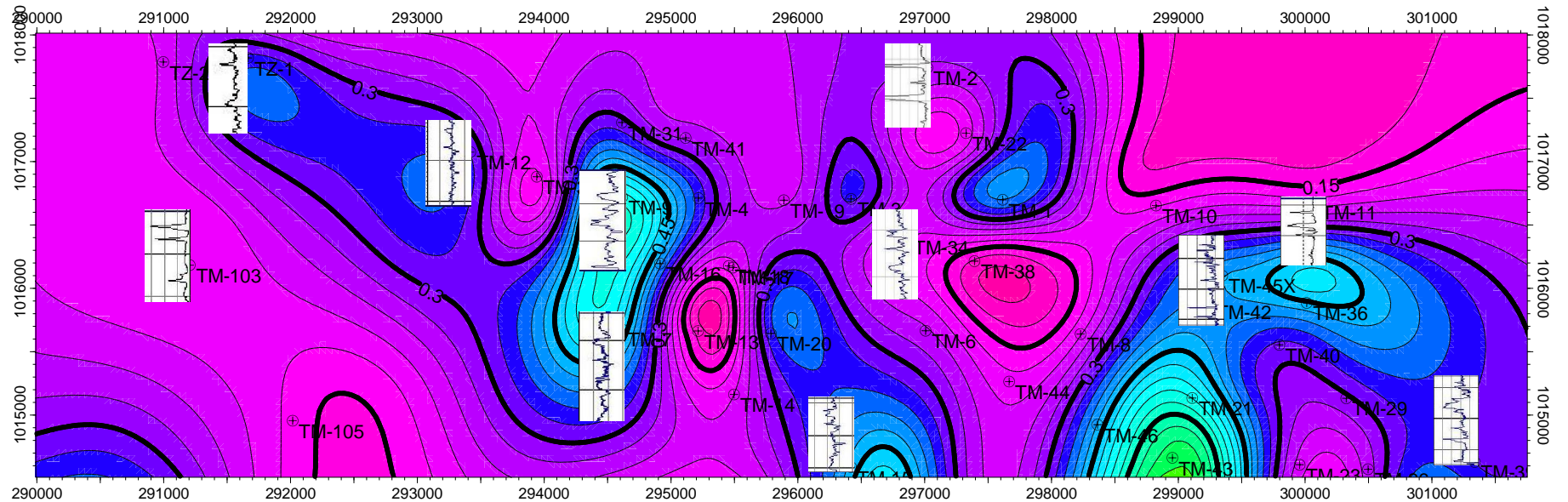


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE RELACIÓN DE ARENA-LUTITA SECUENCIA 7



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

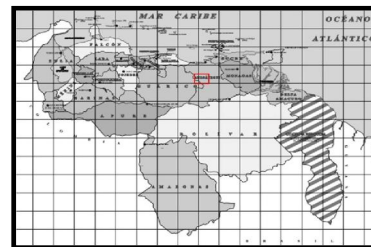
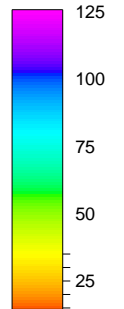
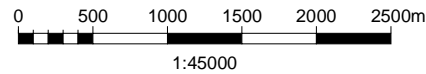
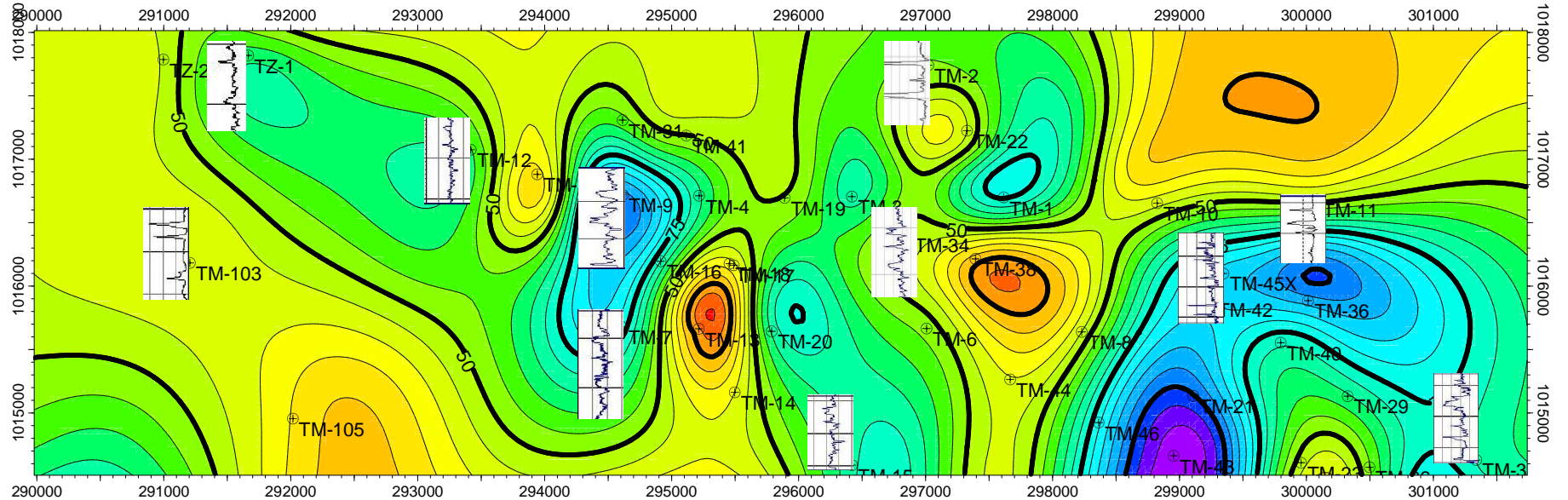


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

**MAPA DE ESPESOR DE ARENA SECUENCIA 7**



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

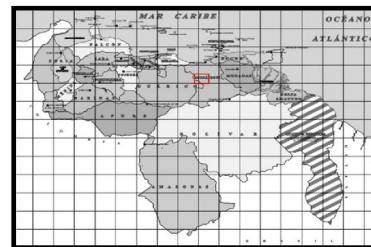
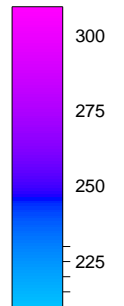
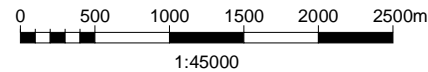
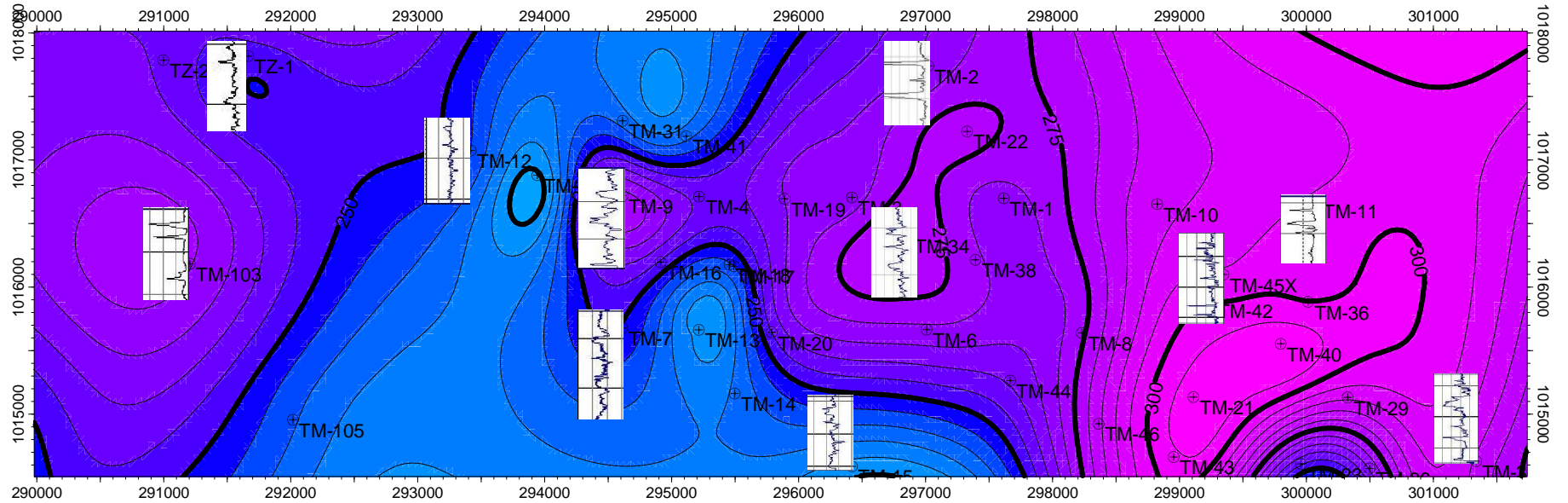


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA ISOPACO SECUENCIA 7



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

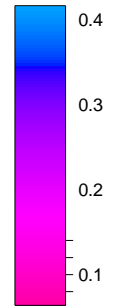
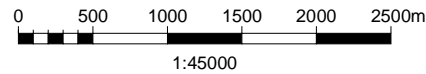
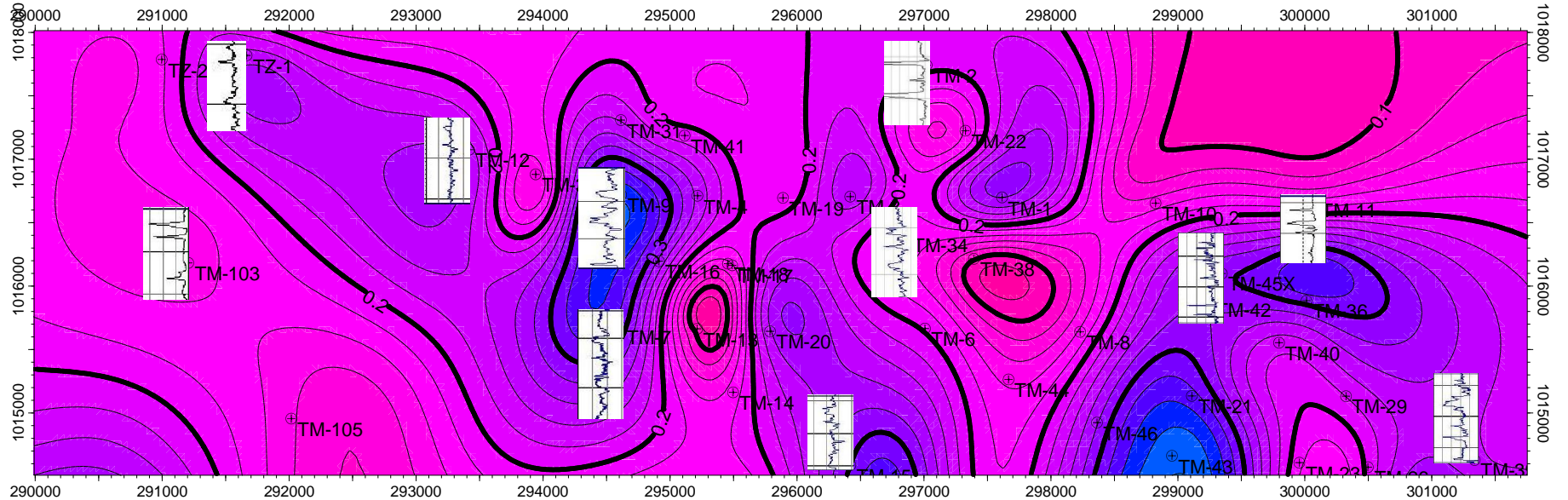


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

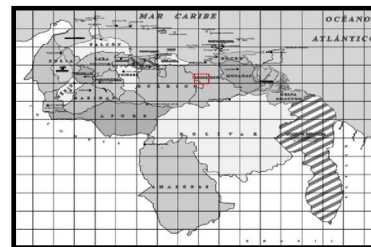


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA "NET TO GROSS" SECUENCIA 7



PORCENTAJE



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

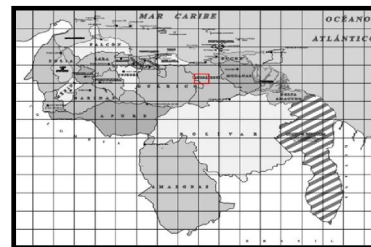
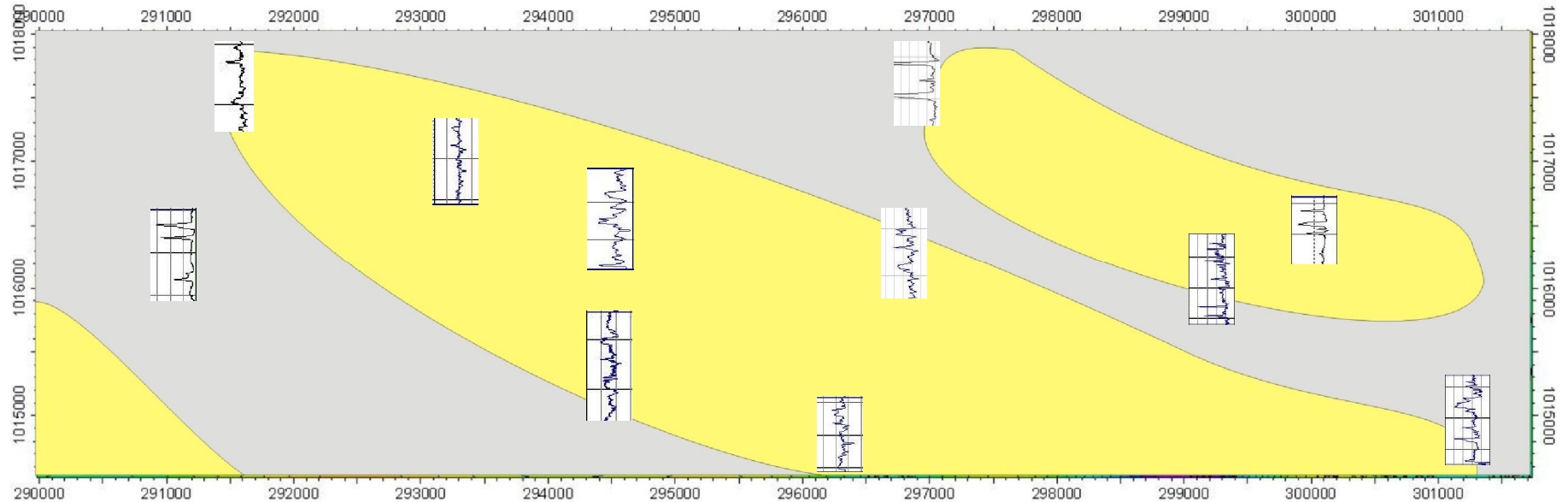


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE ELECTROFACIES SECUENCIA 7



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

- Barras Mareales
- Llanura Mareal

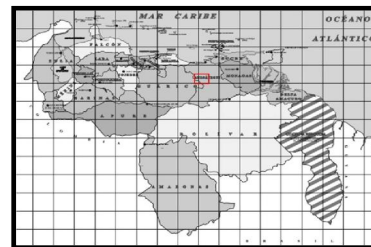
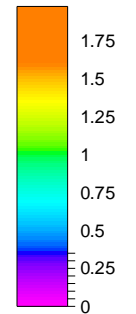
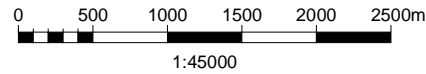
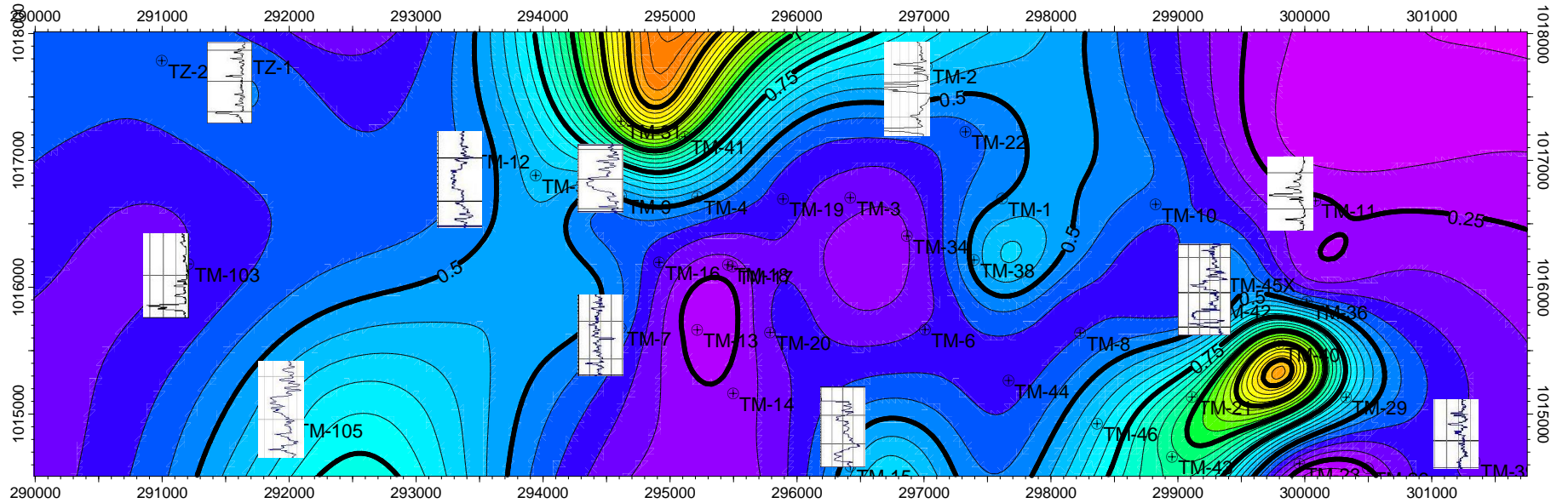


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE RELACIÓN DE ARENA\_LUTITA SECUENCIA 8



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

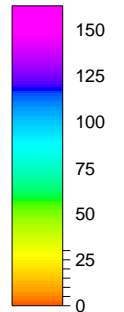
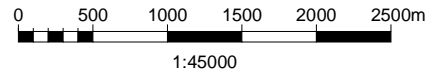
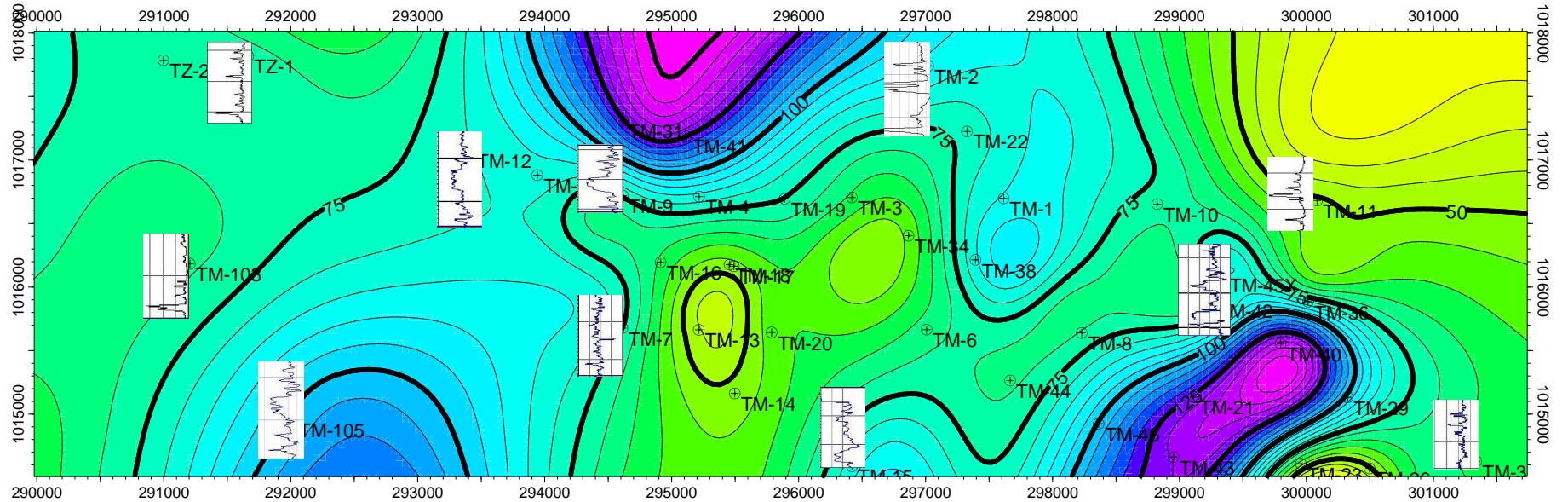


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

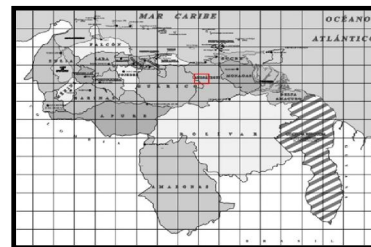


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA DE ESPESOR DE ARENA SECUENCIA 8



ESPEJOR



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

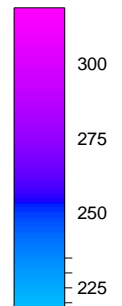
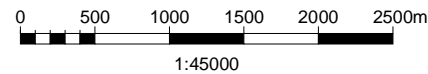
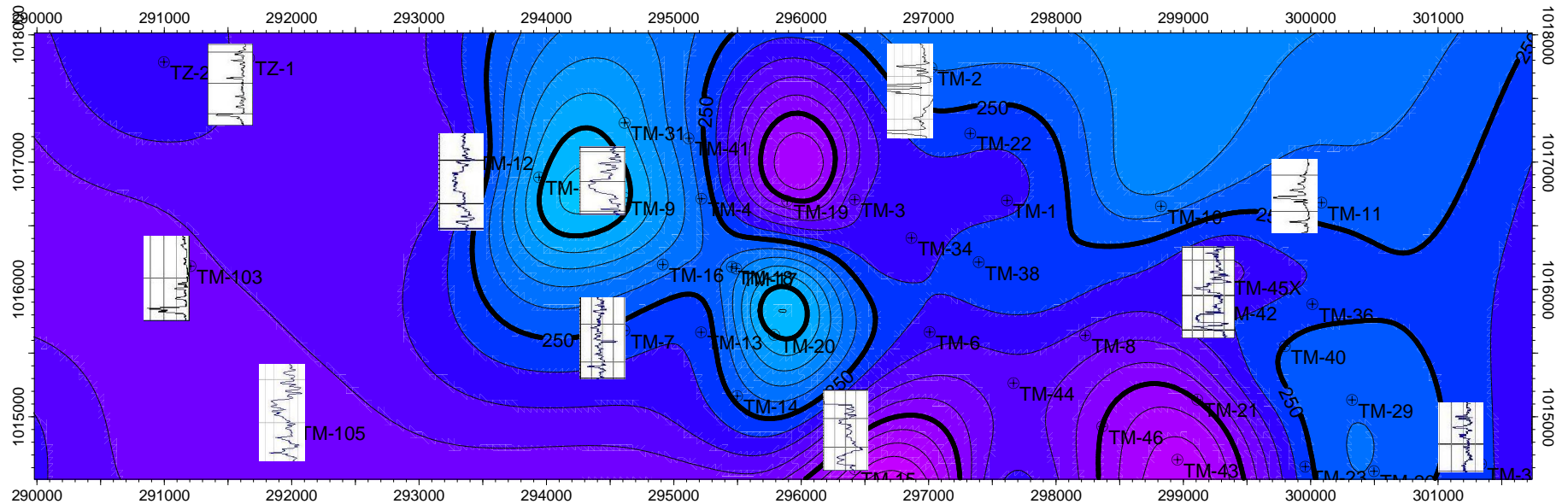


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

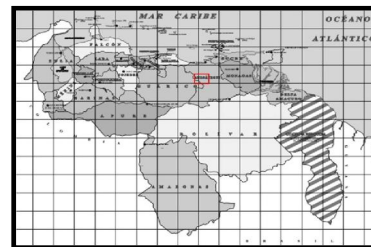


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA ISOPACO SECUENCIA 8



ESPESOR



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

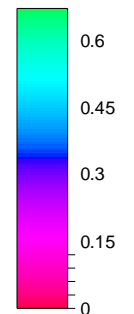
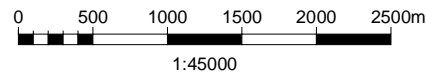
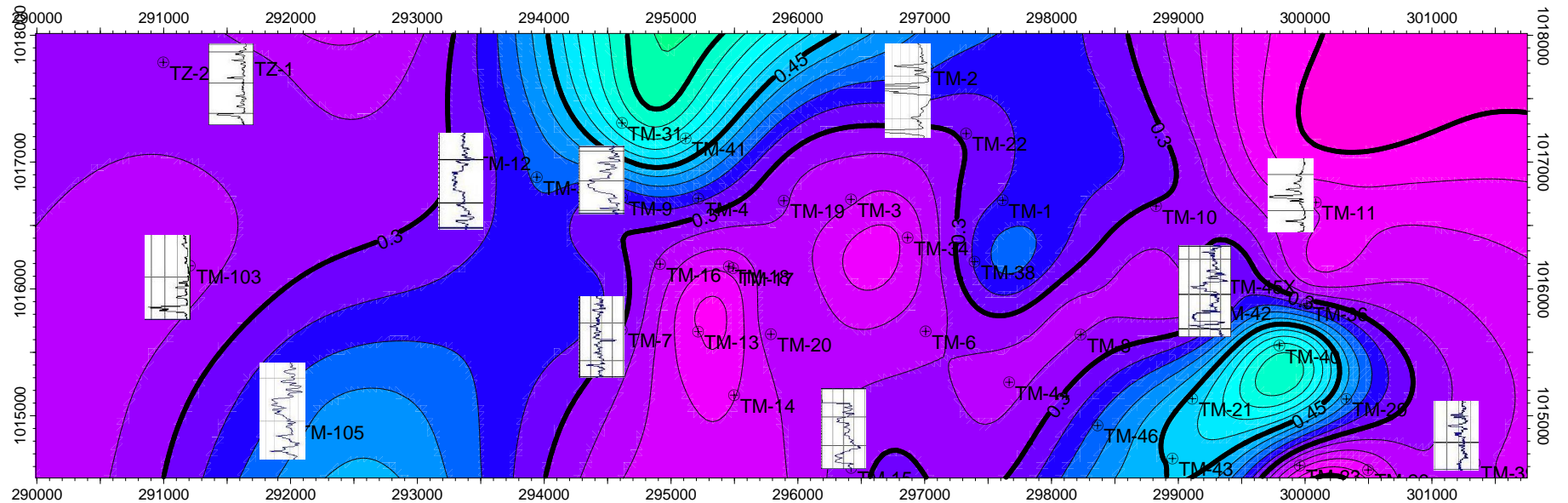


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

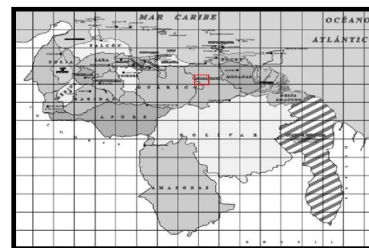


Elaborado por: Br Angel N Martin A

### MAPA NETGROSS SECUENCIA 8



PORCENTAJE



Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

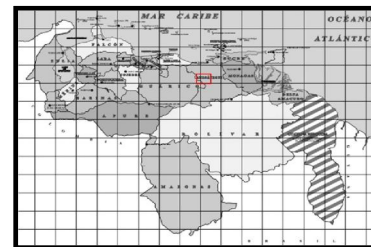
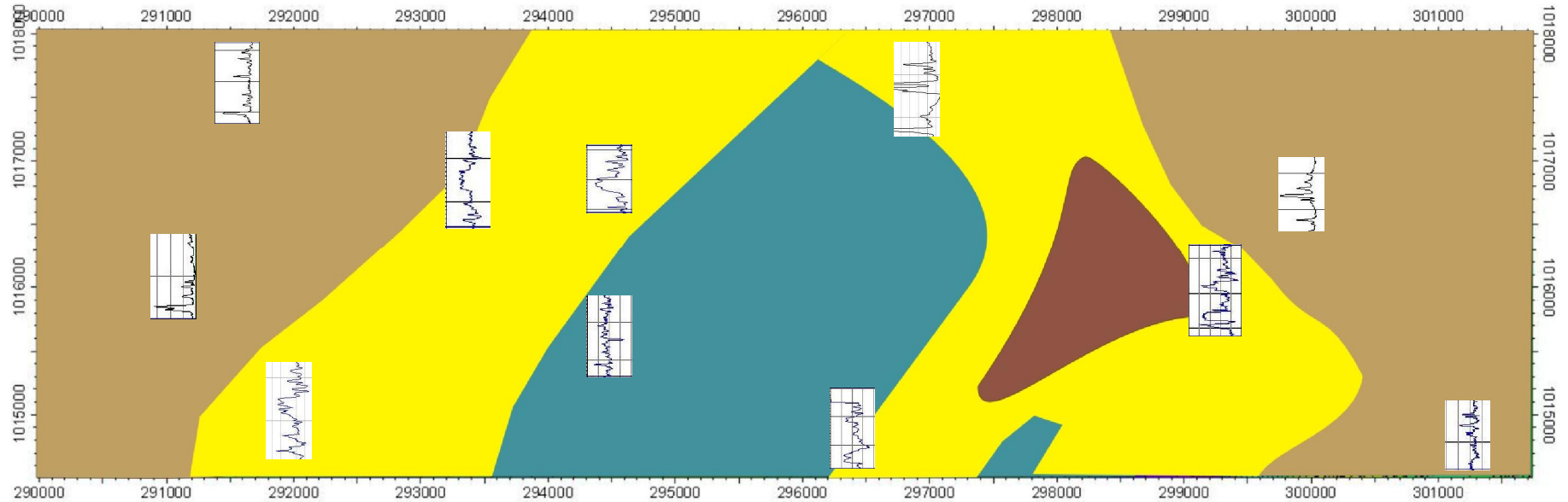


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Elaborado por: Br Angel N Martin A





### MAPA DE ESPESOR DE ARENA SECUENCIA 8

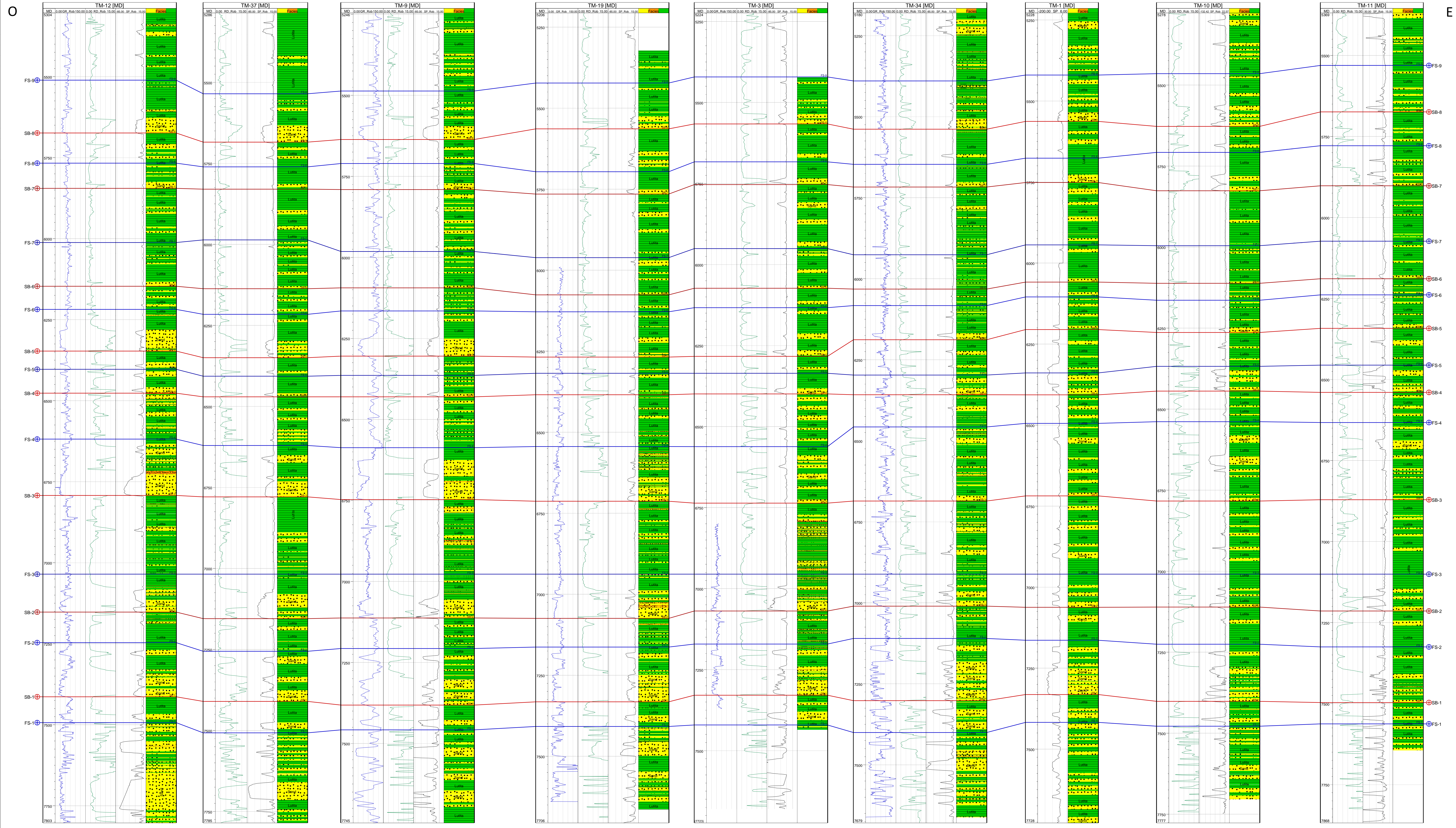


Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

-  Bahía Interdistributaria
-  Canales Interdistributarios
-  Barra longitudinal
-  Llanura de inundación

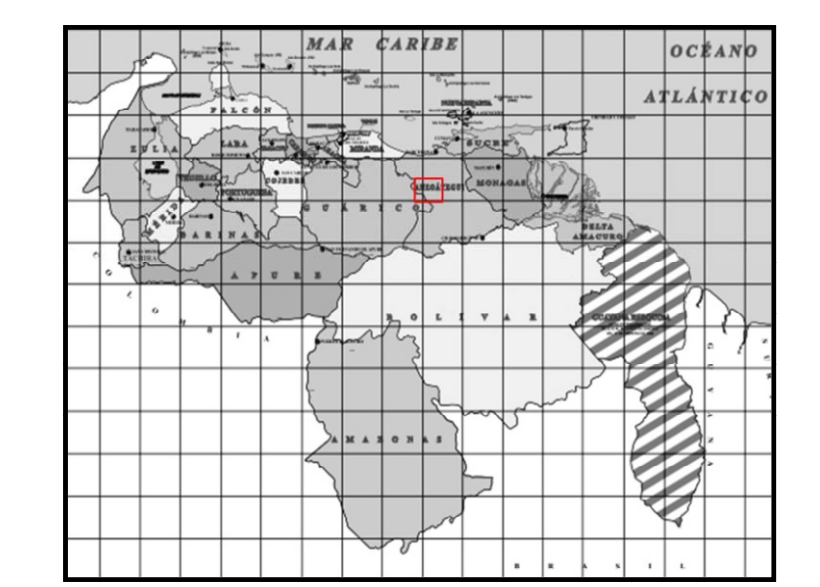


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA  
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA SECUENCIA OLIGO-MIOCENA EN UN AREA DEL CAMPO ELTOCO, EN LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI**

ANGEL MARTIN

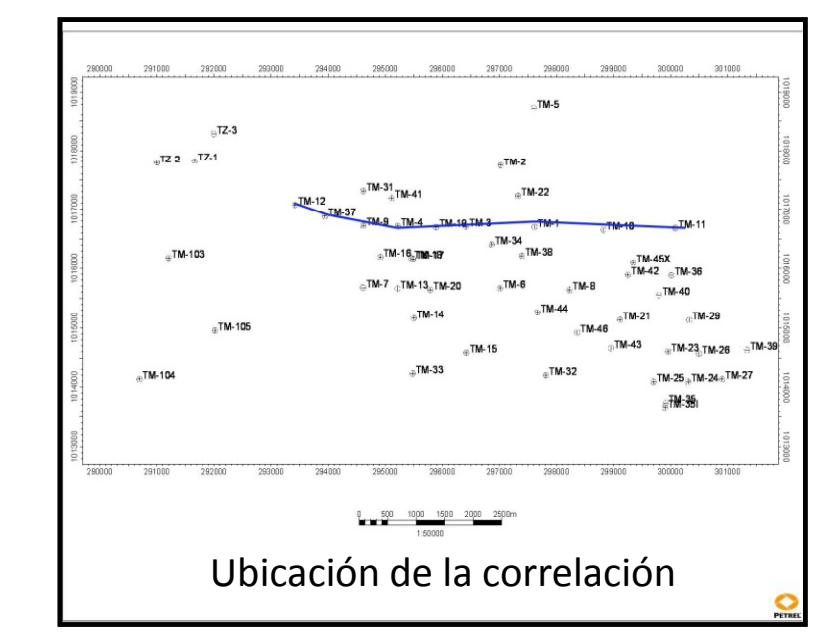
CORRELACIÓN A-A'  
 DIRECCIÓN O-E  
 DATUM FS-3



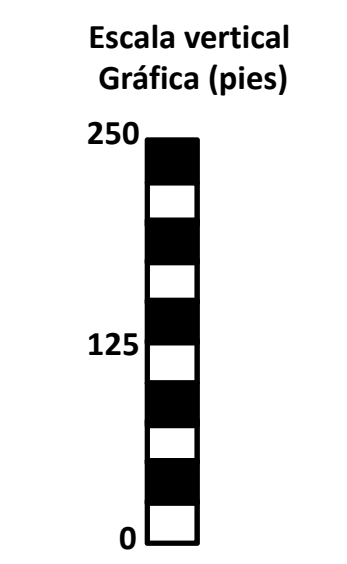
Ubicación Relativa Nacional



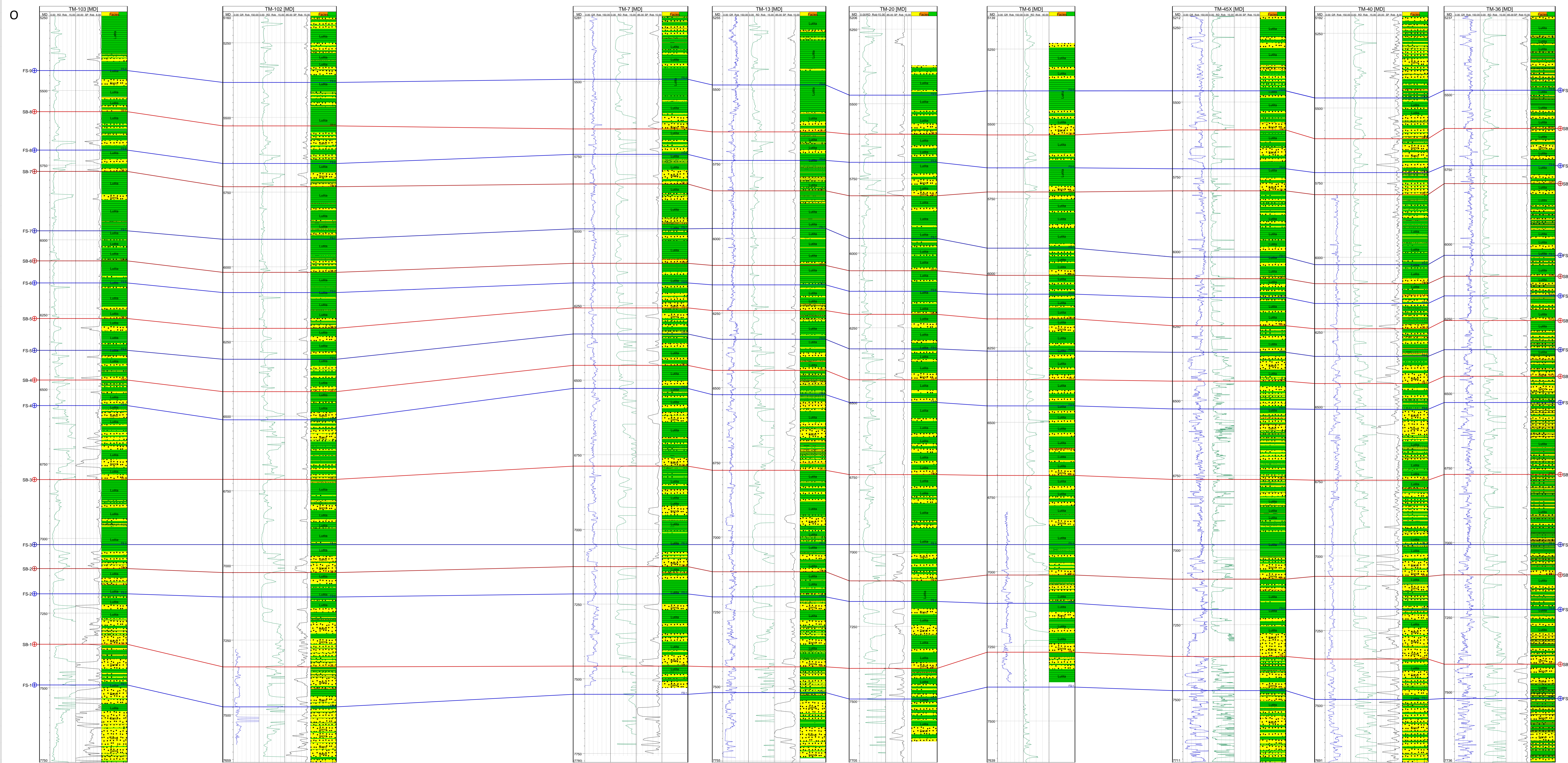
Ubicación Relativa Regional



Ubicación de la correlación



- Legenda**
- Superficie de inundación
  - Limite de Secuencia
  - Lutitas
  - Areniscas

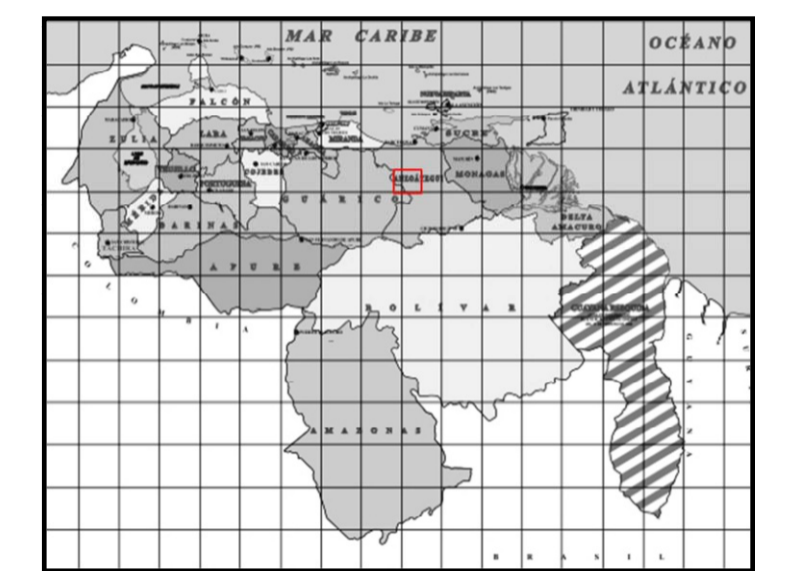


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA  
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA SECUENCIA OLIGO-MIOCENA EN UN ÁREA DEL CAMPO EL TOCO, EN LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI**

ANGEL MARTIN

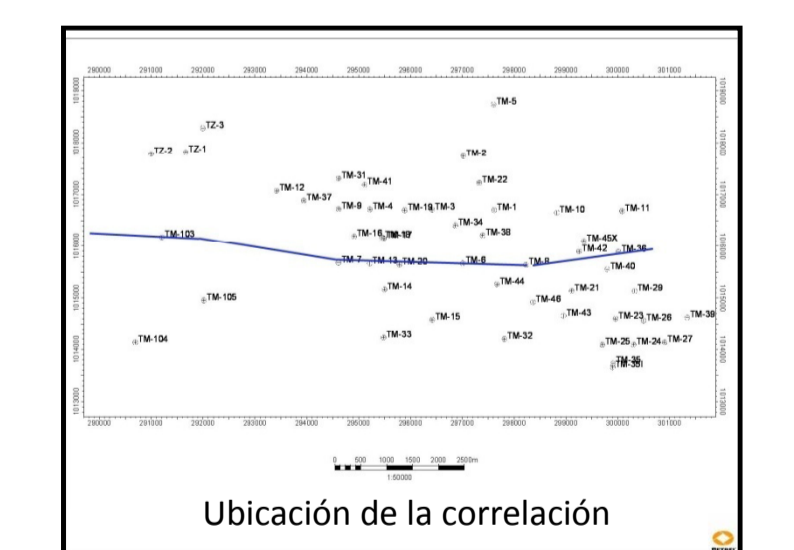
CORRELACIÓN B-B'  
 DIRECCIÓN O-E  
 DATUM FS-3



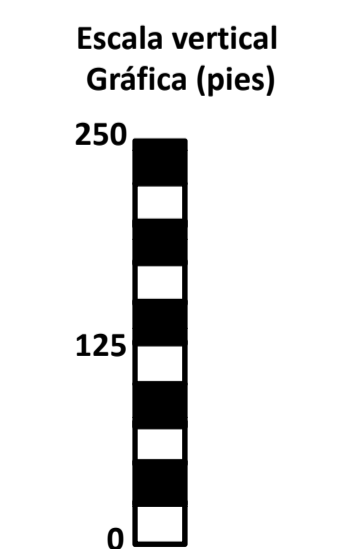
Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

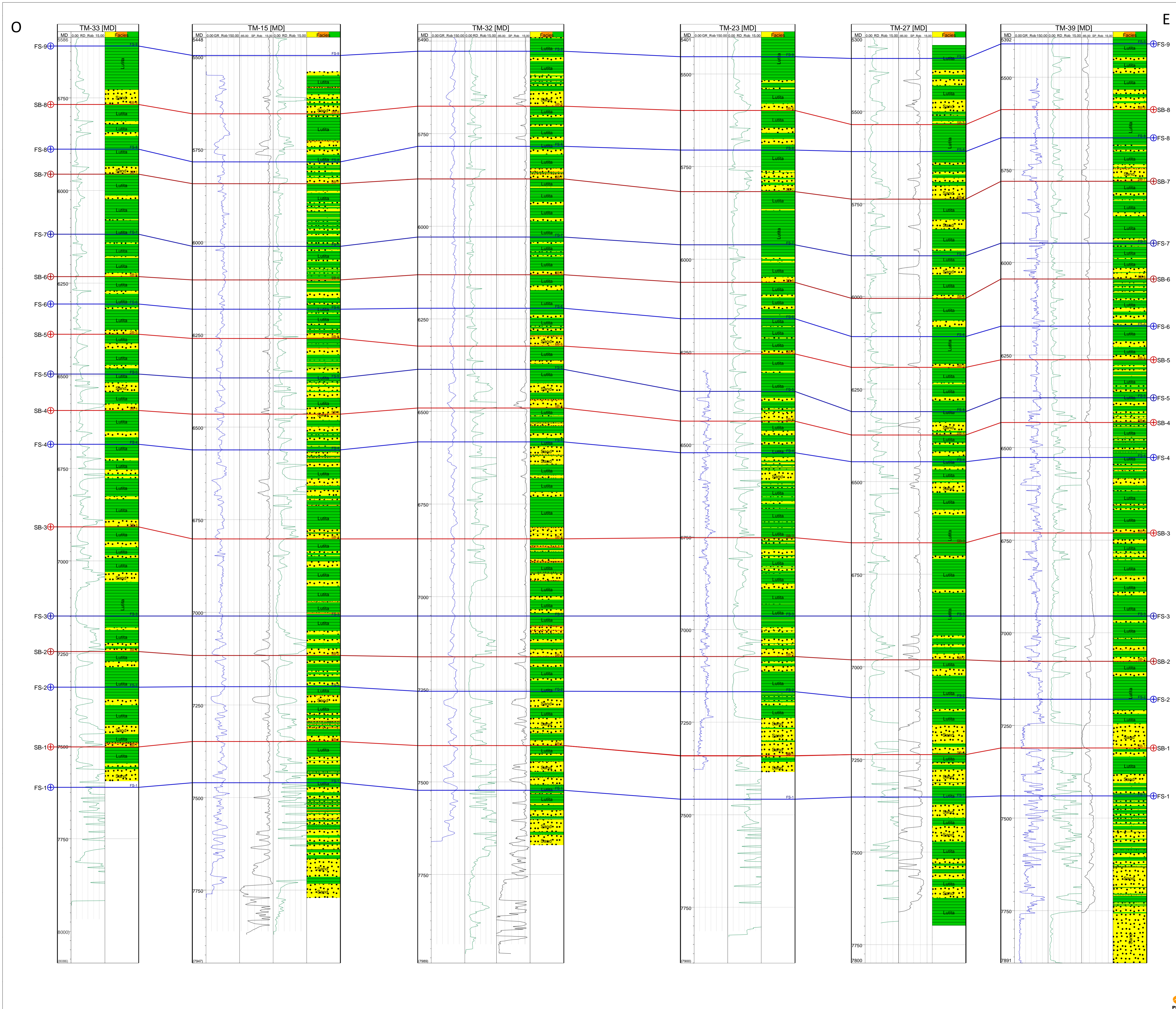


Ubicación de la correlación



- Escala vertical Gráfica (pies)**
- Superficie de inundación
  - Limite de Secuencia
  - Lutitas
  - Areniscas



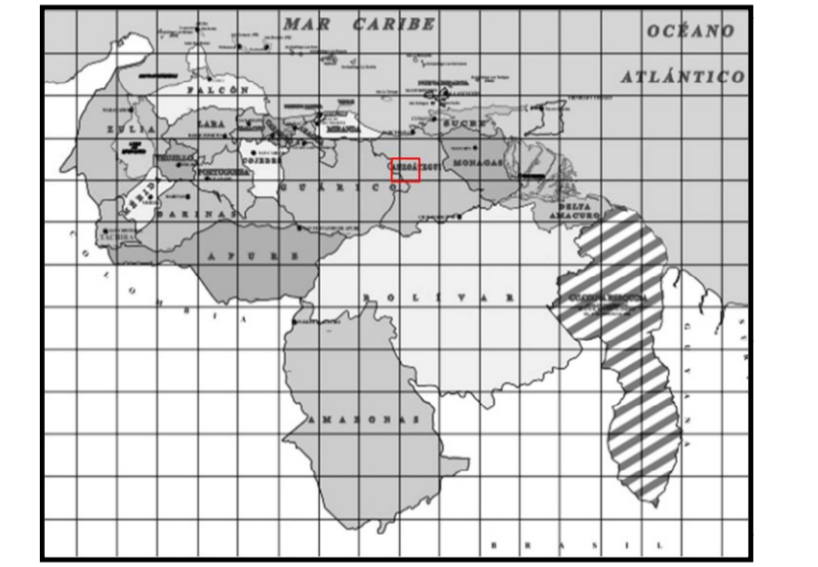


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA  
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA SECUENCIA OLIGO-MIOCENA EN UN AREA DEL CAMPO ELTOCO, EN LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI**

ANGEL MARTIN

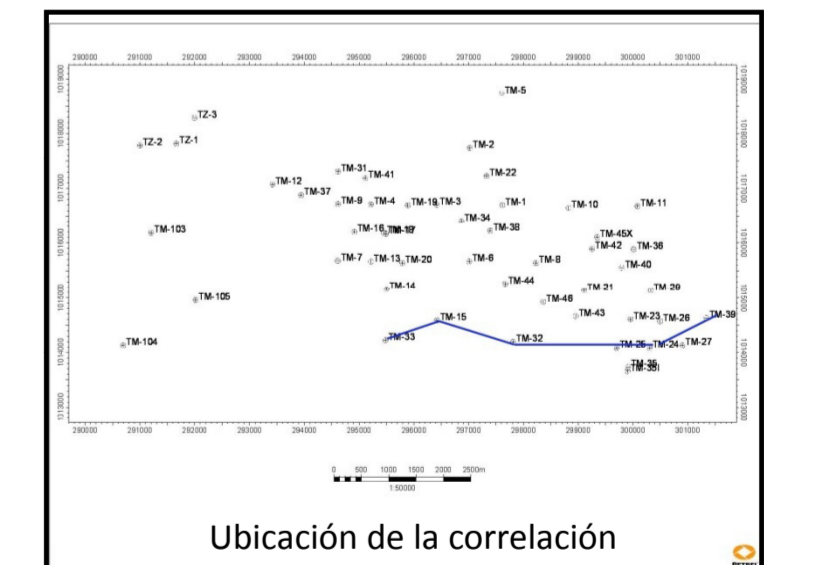
CORRELACION C-C'  
 DIRECCION O-E  
 DATUM FS-3



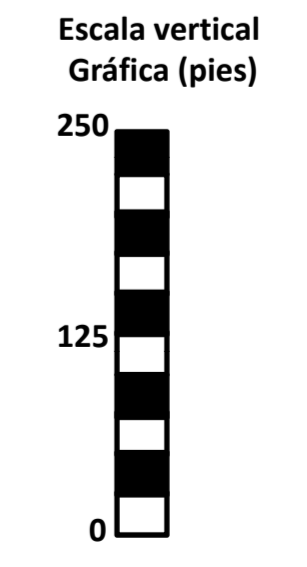
Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional

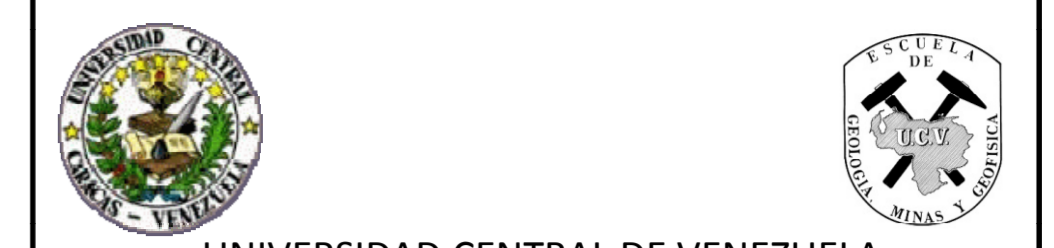
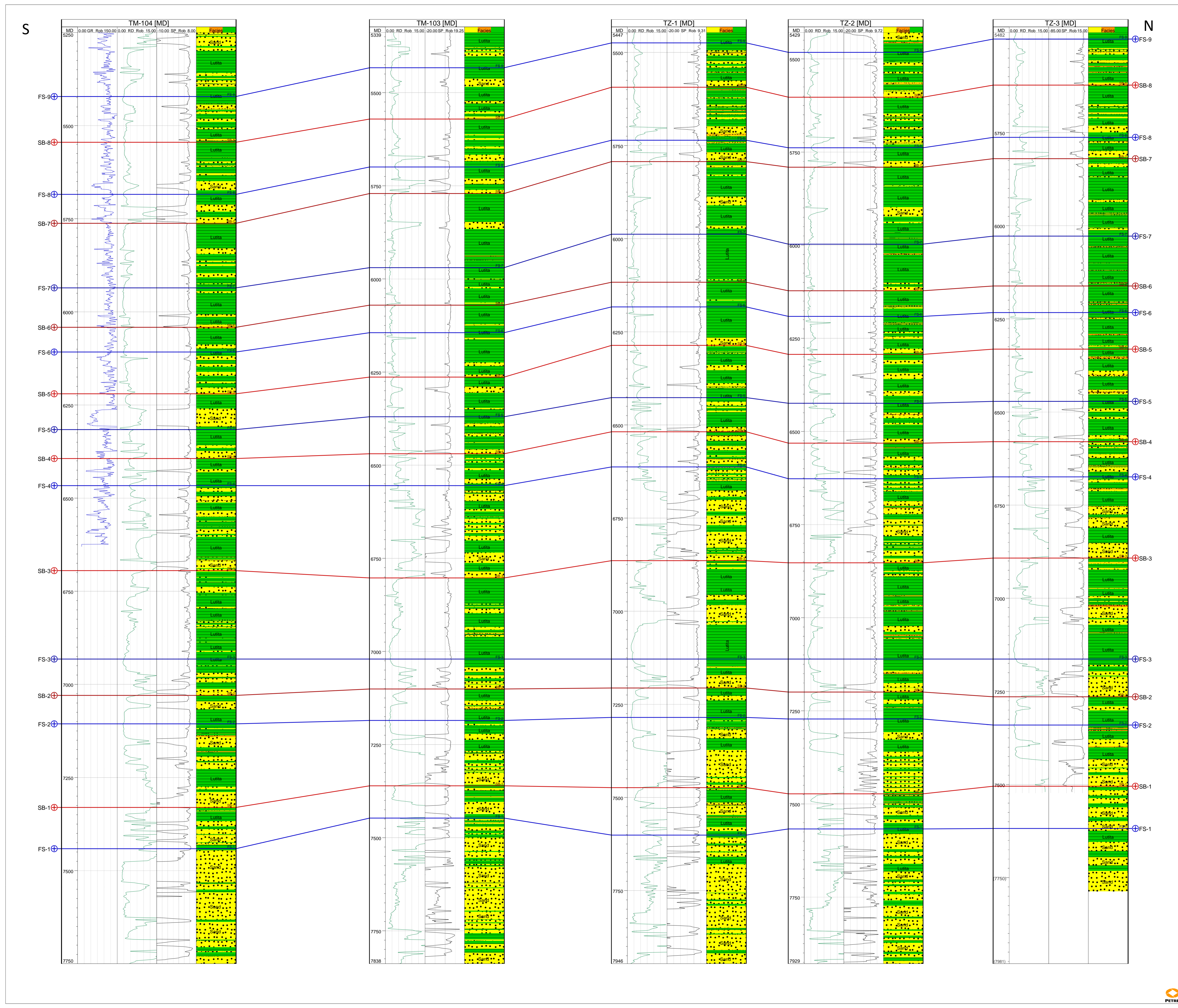


Ubicación de la correlación



- Leyenda**
- Superficie de inundación
  - Limite de Secuencia
  - Lutitas
  - Arenas



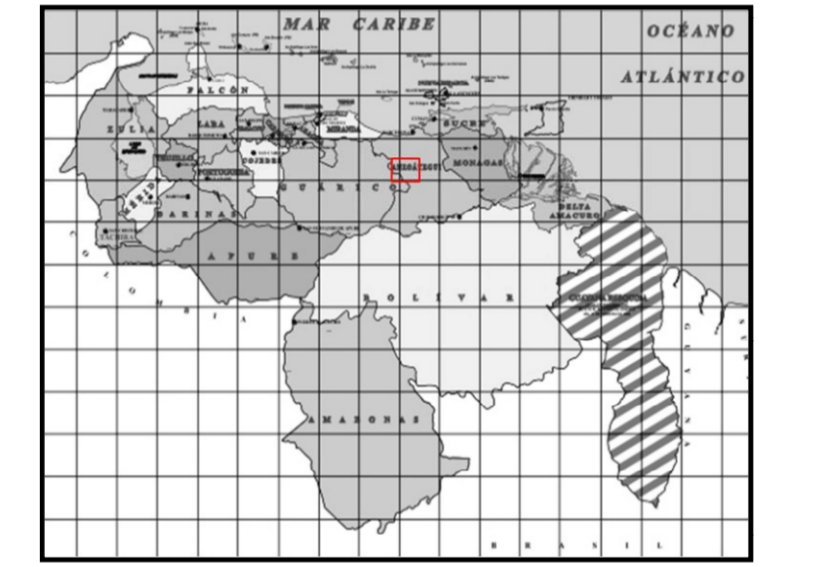


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA  
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA SECUENCIA OLIGO-MIOCENA EN UN AREA DEL CAMPO ELTOCO, EN LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI**

ANGEL MARTIN

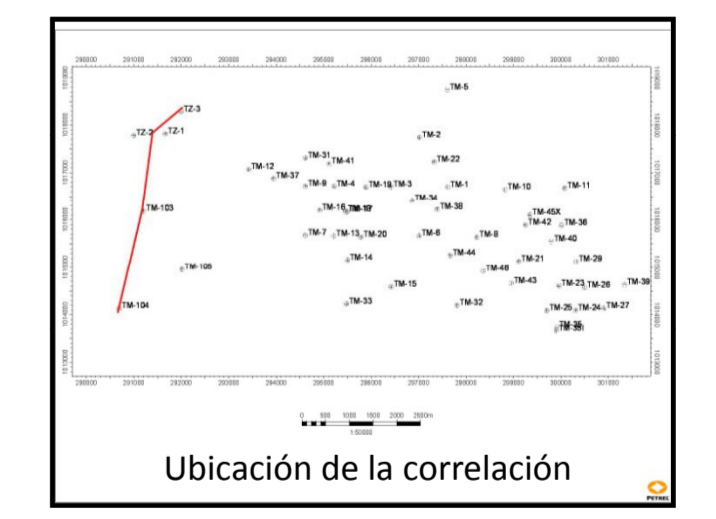
CORRELACIÓN D-D'  
 DIRECCIÓN O-E  
 DATUM FS-3



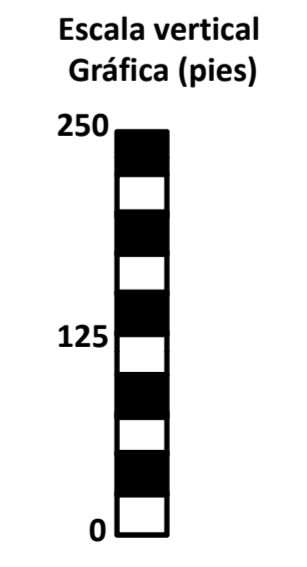
Ubicación Relativa Nacional



Ubicación Relativa Regional



Ubicación de la correlación

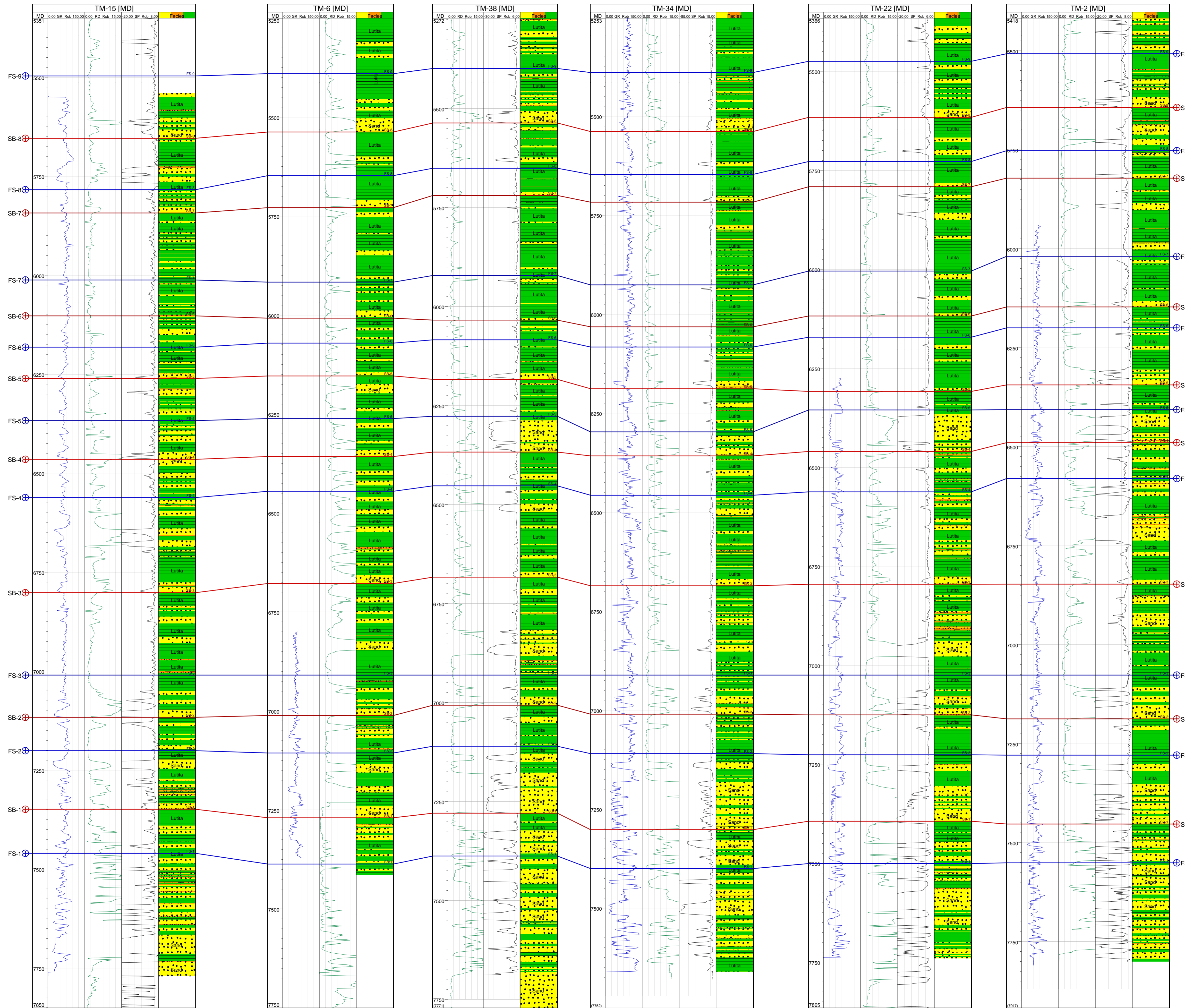


- Leyenda**
- Superficie de inundación
  - Limite de Secuencia
  - Lutitas
  - Arenas



S

N



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA  
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA SECUENCIA OLIGO-MIOCENA EN UN AREA DEL CAMPO EL TOCO, EN LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA EN EL ESTADO ANZOÁTEGUI**

ANGEL MARTIN

CORRELACIÓN E-E'  
 DIRECCION O-E  
 DATUM FS-3

