**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# MODELO SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO DE LAS ARENAS DE PETRÓLEO Y GAS PERTENECIENTES A LAS FORMACIONES OFICINA Y MERECURE EN EL CAMPO SOCORORO OESTE, EDO. ANZOÁTEGUI.

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela Por los Brs.
González Gutiérrez, Adriana y
Vásquez Pérez, Diego para
Optar al título de Ingeniero Geólogo

Caracas, Agosto 2005

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# MODELO SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO DE LAS ARENAS DE PETRÓLEO Y GAS PERTENECIENTES A LAS FORMACIONES OFICINA Y MERECURE EN EL CAMPO SOCORORO OESTE, EDO. ANZOÁTEGUI.

Tutor Académico: Prof. Paúl Romero
Tutor industrial: Ing. Paolino Lena

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela Por los Brs.
González Gutiérrez., Adriana y
Vásquez Pérez, Diego para
Optar al título de Ingeniero Geólogo

Caracas, Agosto 2005

**González G. Adriana y Vásquez P. Diego**

# MODELO SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO DE LAS ARENAS DE PETRÓLEO Y GAS PERTENECIENTES A LAS FORMACIONES OFICINA Y MERECURE EN EL CAMPO SOCORORO OESTE, EDO. ANZOÁTEGUI.

**Tutor Académico: Prof. Paúl Romero. Tutor Industrial: Ing. Paolino Lena. Tesis. Caracas, UCV Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geológica. Año 2005. 182 p**

**Palabras claves: Formaciones Oficina y Merecure, Modelo Sedimentológico y Estratigráfico, Campo Socororo Oeste, Cuenca Oriental de Venezuela.**

## RESUMEN

Este trabajo define 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.

El estudio se centra en las formaciones Merecure y Oficina, principales productoras de hidrocarburos en la Cuenca Oriental de Venezuela. Debido a su importancia se desea determinar la arquitectura de las arenas prospectivas por medio de la correlación entre registros de pozos y de la representación espacial de las facies para cada unidad.

Para lograr el desarrollo del modelo se correlacionaron las unidades de interés entre los 24 pozos del campo, evaluándose de cada registro los datos disponibles de potencial espontáneo (curva "SP"), rayos gamma (curva "GR"), resistividad (curva "RD") y densidad (curva "RHOB"). La correlación indica las facies presentes en cada unidad y la distribución de éstas en el subsuelo.

Esta información es representada mediante la construcción de mapas 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 unidades estudiadas.

Se propone que las unidades estudiadas se desarrollan en un ambiente fluvio-deltáico. Entre las unidades U5 y U1 se observó una tendencia retrogradante, por la evolución, de base a tope, de ambientes fluviales de canales entrelazados a sistemas de meandros pertenecientes a la zona proximal de la planicie deltáica. Esta secuencia culmina con la generación de barras litorales de ambientes costeros, limitada por una superficie de máxima inundación.

Entre las unidades J1 y H4 se reconoció una tendencia progradante por la transición de canales distributarios a sistemas fluviales meandriformes. En las secciones estratigráficas se observó que esta transición es afectada por diversos eventos de inundación, indicando que el ambiente de este intervalo perteneciente a la Formación Oficina se encuentra dentro de la planicie deltáica, donde la influencia fluvial permite el desarrollo de canales meandriformes sobre antiguos distributarios.

En definitiva, se determinó la arquitectura de las arenas prospectivas del campo Socororo Oeste, con las cuales se pueden interpretar zonas de interés en la prospección de hidrocarburos tomando en cuenta los límites de facies interpretados en cada una de las unidades. Sin embargo, se recomienda enriquecer el modelo sedimentológico y estratigráfico con estudios de núcleos, modelos estructurales y estudios de las propiedades petrofísicas para estas unidades.

*AGRADECIMIENTOS*

A la Universidad Central de Venezuela, por ser "la casa que vence la sombra", que nos ha brindado luz durante nuestro recorrido dentro de su recinto. A la Facultad de Ingeniería, por forjar el carácter luchador que nos ha hecho llegar hasta el final del camino, a pesar de todas las dificultades. Por último, a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica (especialmente al Departamento de Geología), por su incansable esfuerzo de mantenerse en pie frente a las desavenencias, siendo un claro ejemplo de que el tiempo, en algunos lugares, pareciera no pasar.

Al profesor Paúl Romero, por su claridad a la hora de guiarnos durante el desarrollo de este trabajo, en especial por sus decisiones, siempre acertadas, a la hora de alguna inconformidad.

Al Ingeniero Paolino Lena, por estar siempre dispuesto a recibirnos y darnos su apoyo técnico y moral. De igual forma a los Ingenieros Carlos Soto y José De Armas, los cuales actuaron como tutores industriales adoptivos. A los tres les agradecemos los momentos agradables en la empresa PetroUCV y sus provechosos consejos.

A la empresa PetroUCV, por brindarnos la oportunidad de realizar este Trabajo Especial de Grado y, especialmente, por al apoyo monetario y técnico que nos brindaron.

A todas aquellas personas que nos dieron su apoyo incondicional, objetivo y eficaz, tales como los profesores Jhonny Casas, Lenin González, Ricardo Alezones, Rafael Falcón, Olga Rey y Ángela Rojas. En verdad, GRACIAS por todos los consejos, correcciones y recomendaciones para lograr nuestros objetivos.

Un agradecimiento muy especial a Alejandro González, quien cooperó con nosotros en todos los aspectos, brindándonos su amistad, apoyo y dedicación. Incluso sacrificando días de fiesta y horas de trabajo para optimizar el trabajo y ayudarnos con todo lo que estuviese a su alcance y más. A Román Paz, por su colaboración en la última etapa del trabajo. A Ucha por el apoyo técnico y moral en la realización de los mapas.

A los jefes de la Familia Vásquez Pérez (Carmen y Alejandro), quienes han sido tutores, psicólogos, cocineros, amigos, tantas cosas que no caben en palabras. En ellos hemos encontrado toda la energía para seguir, la colaboración para terminar, los ánimos para no caer, la alegría y ternura para siempre mantener un hogar para ellos y para todos los que llegan a él. A Yorch, por todos los sacrificios que ha tenido que hacer, su apoyo, alegría, compañía, préstamos, colas, soportar nuestras quejas… por todo, se convirtió en nuestro co-compañero. Raiza y Onix, co-compañeras de tesis también, por su apoyo, alegría, compañía, ánimos de ayudar en todo lo que estuviese a su alcance y por ser especiales en todo. Laura, por sus correcciones, consejos y paciencia, a pesar de lo apretado de su tiempo siempre ha estado dispuesta a prestar toda su ayuda en lo que sea. Lucy, por aguantar todos los momentos difíciles con una sonrisa y mucha ternura, siempre enviando lo mejor de su energía y con los brazos abiertos para apoyarnos, animarnos y alentarnos a seguir adelante siempre, ante todo y todos.

*Adriana:*

A la primera persona que quiero agradecer es a mi compañero, Diego, por haber realizado este camino (casi parto) durante todo este tiempo. Le agradezco todo lo que me ha enseñado, lo que hemos compartido, por ser más que mi compañero, mi amigo, mi hermano adoptivo, aprendiz de peluche… pero siempre, un gran apoyo ante todas las situaciones, por muy bizarras que fuesen.

A mis dos faros en esta vida (mi mamita y hermanita), ejemplos a seguir en todo, mis ídolos, amigas, mi luz y camino. Son lo más importante en mi vida, las amo y admiro. A mi familia, porque son lo máximo, siempre están ahí, sin importar diferencias, gustos, colores ni distancias. A mis padres adoptivos (Carmen y Alejandro), porque me han acogido en su casa como una hija, porque me han hecho sentir así, admiro su entusiasmo, nobleza y cariño, son espectaculares. A mi abuelita Rosario, siempre pendiente de mi, ejemplo de fuerza, ternura y ánimo. A mis hermanas menores adoptivas, Fati, Ana T, Mila y Mariana, porque son súper importantes para mi. A Yani, Yajaira, Sonia, Edgar, Helena, Dunia, Blanca y todas las personas que siempre me han aconsejado, me han brindado su amor y siempre me han tendido su mano.

A mis amigos, todos, en especial a Beto, Dianita, Mari de los A, Aris, Ángel, Ceci, MaryE, Padillita, Johis, Ziritte, Katy, El negro, Morella, Reinaldo (el ex prepa), Francho, Carlos "El Gocho", David "El pelúo". A mis hijos Adri, Maru, Manuel, Yoyis, Grazzy, Claud… Son muchos, todos mis hijos y ex alumnos de campo como Canache, Freddy, Woodwarde, Angelike, Darwin, El nazareno, Toby, Capino, Luismi, etc. A la co-compañera Raiza, por todo lo que aguantó. A mis entrenadores que adoro Freddy y Christian, junto a todas mis compañeras, Jaqui, Maity, Jessica, Mary… Besos a todos.

A Ricardo, por brindarme la oportunidad de trabajar con él y haberme tratado como una hija desde entonces hasta hoy… Profe, GRACIAS por todo. A Frank y Singer, porque admiro su sarcasmo inteligente y me enseñaron muchísimo.

Para "auto gol", porque me hizo saber que soy más fuerte de lo que creía, que tengo una paciencia infinita y porque siempre fue razón para continuar en los momentos de desespero, porque nunca pudo hacer que se amilanara mi ánimo.

*Diego:*

Quiero agradecer muy especialmente a mis padres por haber creído en mí, y por su comprensión y apoyo. También quiero agradecer a mi familia por todo, especialmente a mi abuela Zenobia y mis tíos Ileana, Enrique y Juan Carlos y a mi primo Arturo. A mi hermano, el Yorch, por su colaboración, apoyo, consejos, asesorías, colas y regaños, cumpliendo a cabalidad todos los roles de hermano mayor.

A mi compañera de tesis y de trasnochos, Adriana, por toda su paciencia, apoyo, por los toddy de media noche, y sobre todo por su amistad. A la señora Lucy y a Laura por su afecto, atenciones, consejos y apoyo.

A Raicita, por quererme, aconsejarme, escucharme, animarme y sobre todo por aguantarme. Sin ella no hubiera podido sacar adelante esta carrera.

A mis amigos, especialmente a Jennifer, Blanca, María Antonieta, Karen, Hecby, Verioska, David M ("machu"), Luis Fernando ("chuchu"), Diana, Joseph, Rossmar, Mijail, George, Alejandrita, Onix, Gabriel, Natalia, María Beatriz, Juan M, Mario, Barbarita, Valentina, César, Verónica, Rafael E ("fafa"), Alejandro y Paola. A mis compañeros de campo largo y amigos: Raquel, Leydi, Rosa, Liliana, Lised, Carlos T y Carlos R, por todo lo que compartimos y aprendimos juntos.

Quiero agradecer a los profesores de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica por su instrucción y apoyo a lo largo de mi carrera.

Por último quiero agradecer a todas aquellas personas que de una u otra manera me han ayudado a lo largo de mi carrera y de mi vida. Un abrazo a todos.

*ÍNDICE GENERAL*


| | Pág. |
|---|---|
| ÍNDICE DE FIGURAS | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS | xv |
| LISTADO DE ANEXOS | xvi |
| CAPÍTULO I | 1 |
| 1.1. INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1.1.1. Consideraciones Generales | 2 |
| 1.1.2. Objetivos | 4 |
| General | 4 |
| Específicos | 4 |
| 1.1.3. Ubicación y Extensión | 5 |
| 1.1.4. Metodología | 6 |
| 1.1.5. Antecedentes / Trabajos Previos | 12 |
| CAPÍTULO II | 15 |
| 2.1. MARCO TEÓRICO | 16 |
| 2.1.1. Interpretación general para el reconocimiento de facies | 16 |
| 2.1.2. Sistema fluvial | 16 |
| 2.1.3. Sistema Deltáico | 28 |
| 2.2. GEOLOGÍA REGIONAL | 41 |
| 2.1.1. Generalidades | 41 |
| 2.1.2. Geodinámica regional | 43 |
| 2.1.3. Marco estratigráfico regional | 49 |
| 2.1.4. Marco estructural regional y local | 56 |

CAPÍTULO III 60

3.1. ESTRATIGRAFÍA LOCAL 61

3.1.1. Generalidades 61

3.1.2. Descripción de facies 65

3.1.3. Descripción por cada unidad 67

3.1.4. Evolución estratigráfica 143

3.1.5. Comparación con ambientes modernos 148

SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 152

4.1. SUMARIO Y CONCLUSIONES 153

4.2. RECOMENDACIONES 157

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 158

APÉNDICE I 164

APÉNDICE II 177

APÉNDICE III 182

ANEXOS 183

*ÍNDICE DE FIGURAS*


Pág.

CAPÍTULO I

Fig. 1.1: Ubicación del área de estudio (Campo Socororo Oeste) 5

Fig. 1.2: Distribución de los pozos del Campo Socororo Oeste 6

Fig. 1.3: Flujograma de la metodología utilizada 7

Fig. 1.4: Sección sísmica del Campo Socororo Este 10

CAPÍTULO II

Fig. 2.1: Características sedimentarias y geomorfológicas correspondientes a canales fluviales de carga de fondo, carga en suspensión y de carga mixtas. 18

Fig. 2.2: Modelo depositacional generalizado de una secuencia vertical, producido por un sistema fluvial de canales entrelazados poco sinuosos. 20

Fig. 2.3: (a) Bloque diagramático de depósitos de canales entrelazados.
(b) Sistema de Canales entrelazados en ambientes modernos 21

Fig. 2.4: Bloque diagramático de un río meandriforme hipotético. 22

Fig. 2.5: Modelo depositacional generalizado de los depósitos generados por u sistema fluvial meandriforme 23

Fig. 2.6: Sistema fluvial meandriforme.
(a)Modelo esquemático.
(b)Sistema meandriforme al sureste de Alaska 24

Fig. 2.7: Sistema fluvial anastomosado.
(a)Bloque diagramático.
(b)Sistema anastomosado al sureste de Saskatchewan 26

Fig. 2.8: Modelo depositacional generalizado producido por un sistema fluvial anastomosado 27

Fig. 2.9: Delta de Mahakam (Indonesia) 29

Fig. 2.10: Perfil vertical generalizado de una barra arenosa de desembocadura 31

Fig. 2.11: Delta Nilo (Egipto), dominado por oleaje 33

| | | |
|---|---|---|
| Fig. 2.12: | Perfil vertical generalizado de una isla de barrera | 34 |
| Fig. 2.13: | Geometría de cuerpos arenosos en deltas modernos dominados por el oleaje | 35 |
| Fig. 2.14: | Sección orientada según el buzamiento de la sedimentación, mostrando la distribución de facies del delta Rhode | 36 |
| Fig. 2.15: | Delta dominado por mareas | 37 |
| Fig. 2.16: | Delta Betsiboka (Madagascar) | 38 |
| Fig. 2.17: | Perfil vertical generalizado de un cuerpo de arena de rellenos de canal estuarino. | 40 |
| Fig. 2.18: | Mapa de las principales cuencas de Venezuela, basadas en sus provincias sedimentarias | 41 |
| Fig. 2.19: | Sección estructural de la subcuenca de Maturín desde la Serranía del interior Oriental hasta la Faja del Orinoco | 42 |
| Fig. 2.20: | Perfiles Geológicos con dirección NO-SE que muestran la evolución tectónica y estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela desde el Mesozoico hasta el Presente. | 47 |
| Fig. 2.21: | Secciones Geológicas con dirección N-S que muestran la geometría de la cuenca y la depositación durante el Oligoceno y Mioceno Temprano. | 48 |
| Fig. 2.22: | Columna estratigráfica regional de la Cuenca Oriental | 49 |
| Fig. 2.23: | Configuración de la Cuenca Oriental durante el Oligoceno – Mioceno | 50 |
| Fig. 2.24: | Corte geológico N-S de la subcuenca de Maturín | 55 |
| Fig. 2.25: | Configuración estructural de la Cuenca Oriental de Venezuela y distribución de los sedimentos. | 57 |
| Fig. 2.26: | Mapa estructural del tope de la arena U2U | 58 |
| Fig. 2.27: | Mapa estructural del tope de la arena TU | 58 |

CAPÍTULO III


| | | |
|---|---|---|
| Fig. 3.1: | Registro tipo del Campo Socororo Oeste (Pozo Es-428) | 62 |
| Fig. 3.2: | Mapas de Correlaciones:<br>(A) Según el buzamiento de la sedimentación<br>(B) Según el rumbo de la sedimentación | 63 |
| Fig. 3.3: | Sección estratigráfica D-D' para el ciclo sedimentario de U | 64 |
| Fig. 3.4: | Sección estratigráfica D-D' para las unidades J1 y H4,5,6 | 65 |
| Fig. 3.5: | Sección estratigráfica Ca-Ca' para la unidad U4L | 68 |
| Fig. 3.6: | Sección estratigráfica 1-1' para la unidad U4L | 69 |
| Fig. 3.7: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad U4L | 70 |
| Fig. 3.8: | Mapa de relación "Net to Gross" de la unidad U4L | 71 |
| Fig. 3.9: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad U4L | 71 |
| Fig. 3.10: | Sección estratigráfica B-B' para la unidad U4M | 74 |
| Fig. 3.11: | Sección estratigráfica 6-6' para la unidad U4M | 74 |
| Fig. 3.12: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad U4M | 75 |
| Fig. 3.13: | Mapa de relación "Net to Gross" de la unidad U4M | 76 |
| Fig. 3.14: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad U4M | 76 |
| Fig. 3.15: | Sección estratigráfica Ca-Ca' para la unidad U4U | 78 |
| Fig. 3.16: | Sección estratigráfica 6-6' para la unidad U4U | 78 |
| Fig. 3.17: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad U4U | 80 |
| Fig. 3.18: | Mapa de relación "Net to Gross" de la unidad U4U | 80 |
| Fig. 3.19: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad U4U | 81 |
| Fig. 3.20: | Sección estratigráfica D-D' para la unidad U3 | 83 |
| Fig. 3.21: | Sección estratigráfica 1-1' para la unidad U3 | 83 |
| Fig. 3.22: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad U3 | 85 |
| Fig. 3.23: | Mapa de relación "Net to Gross" de la unidad U3 | 85 |

| | | |
|---|---|---|
| Fig. 3.24: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad U3 | 86 |
| Fig. 3.25: | Sección estratigráfica B-B' para la unidad U2L | 88 |
| Fig. 3.26: | Sección estratigráfica 6-6' para la unidad U2L | 89 |
| Fig. 3.27: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad U2L | 91 |
| Fig. 3.28: | Mapa de relación "Net to Gross" de la unidad U2L | 91 |
| Fig. 3.29: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad U2L | 92 |
| Fig. 3.30: | Mapa estructural del tope de la sub-unidad U2L | 93 |
| Fig. 3.31: | Sección estratigráfica A-A' para la unidad U2M | 95 |
| Fig. 3.32: | Sección estratigráfica 1-1' para la unidad U2M | 96 |
| Fig. 3.33: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad U2M | 97 |
| Fig. 3.34: | Mapa de relación "Net to Gross" de la unidad U2M | 98 |
| Fig. 3.35: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad U2M | 98 |
| Fig. 3.36: | Sección estratigráfica D-D' para la unidad U2U | 101 |
| Fig. 3.37: | Sección estratigráfica 3-3' para la unidad U2U | 101 |
| Fig. 3.38: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad U2U | 103 |
| Fig. 3.39: | Mapa de relación "Net to Gross" de la unidad U2U | 103 |
| Fig. 3.40: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad U2U | 104 |
| Fig. 3.41: | Sección estratigráfica Ca-Ca' para la unidad U1L | 106 |
| Fig. 3.42: | Sección estratigráfica 1-1' para la unidad U1L | 107 |
| Fig. 3.43: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad U1L | 108 |
| Fig. 3.44: | Mapa de relación "Net to Gross" de la unidad U1L | 109 |
| Fig. 3.45: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad U1L | 109 |
| Fig. 3.46: | Sección estratigráfica E-E' para la unidad U1M | 111 |
| Fig. 3.47: | Sección estratigráfica 1-1' para la unidad U1M | 112 |

| | | |
|---|---|---|
| Fig. 3.48: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad U1M | 113 |
| Fig. 3.49: | Mapa de relación “Net to Gross” de la unidad U1M | 114 |
| Fig. 3.50: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad U1M | 114 |
| Fig. 3.51: | Sección estratigráfica Cb-Cb’ para la unidad U1U | 116 |
| Fig. 3.52: | Sección estratigráfica 5-5’ para la unidad U1U | 117 |
| Fig. 3.53: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad U1U | 118 |
| Fig. 3.54: | Mapa de relación “Net to Gross” de la unidad U1U | 118 |
| Fig. 3.55: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad U1U | 119 |
| Fig. 3.56: | Desarrollo de abanicos de tormenta en barras litorales | 120 |
| Fig. 3.57: | Sección estratigráfica Ca-Ca’ para la unidad J1 | 121 |
| Fig. 3.58: | Sección estratigráfica 2-2’ para la unidad J1 | 122 |
| Fig. 3.59: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad J1 | 123 |
| Fig. 3.60: | Mapa de relación “Net to Gross” de la unidad J1 | 124 |
| Fig. 3.61: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad J1 | 124 |
| Fig. 3.62: | Sección estratigráfica E-E’ para la unidad H6 | 127 |
| Fig. 3.63: | Sección estratigráfica 6-6’ para la unidad H6 | 127 |
| Fig. 3.64: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad H6 | 129 |
| Fig. 3.65: | Mapa de relación “Net to Gross” de la unidad H6 | 129 |
| Fig. 3.66: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad H6 | 130 |
| Fig. 3.67: | Sección estratigráfica B-B’ para la unidad H5 | 132 |
| Fig. 3.68: | Sección estratigráfica 5-5’ para la unidad H5 | 132 |
| Fig. 3.69: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad H5 | 134 |
| Fig. 3.70: | Mapa de relación “Net to Gross” de la unidad H5 | 134 |
| Fig. 3.71: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad H5 | 135 |
| Fig. 3.72: | Sección estratigráfica B-B’ para la unidad H4 | 136 |

| | | |
|---|---|---|
| Fig. 3.73: | Sección estratigráfica 2-2’ para la unidad H4 | 137 |
| Fig. 3.74: | Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad H4 | 138 |
| Fig. 3.75: | Mapa de relación “Net to Gross” de la unidad H4 | 139 |
| Fig. 3.76: | Mapa de relación Arena/Lutita de la unidad H4 | 139 |
| Fig. 3.77: | Desarrollo de un sistema deltáico. Comportamiento de los canales distributarios | 140 |
| Fig. 3.78: | Comparación del mapa de distribución de fauces de la unidad H4 con el desarrollo de canales distributarios en un delta moderno | 141 |
| Fig. 3.79: | Evolución estratigráfica perteneciente a la secuencia de las unidades U | 145 |
| Fig. 3.80: | Evolución estratigráfica de la secuencia perteneciente a las unidades J1 y H4,5,6 | 147 |
| Fig. 3.81: | Canales entrelazados en Rakaia, Alaska | 149 |
| Fig. 3.82: | Valles de Columbia y Blaeberry, cerca de Goleen, B.C. Canadá | 149 |
| Fig. 3.83: | Río Formosa, Algarve – Portugal | 150 |
| Fig. 3.84: | Delta de Mahakam, Indonesia | 151 |

*ÍNDICE DE TABLAS*

Pág.

CAPÍTULO I

Tabla 1.1: Datos de los campos pertenecientes al Área Mayor de Socororo 2

Tabla 1.2: Datos de Producción de petróleo (en MB), gas asociado y gas no asociado (en MMPC) 3

CAPÍTULO II

Tabla 2.1: Identificación de facies por patrones de curvas de Potencial Espontáneo (SP) y de Rayos Gamma (GR). 17

Tabla 2.2: Características estratigráficas de los sistemas de depositación deltáicos. 28

Tabla 2.3: Resumen de los eventos tectónicos y estratigráficos al SE del Caribe y Sur América 46

CAPÍTULO III

Tabla 3.1: Patrones de las curvas de Potencial Espontáneo y Rayos Gamma para clasificar las facies encontradas en los registros del campo Socororo Oeste correspondientes a la secuencia U y las unidades J1 y H4,5,6 66

*LISTADO DE ANEXOS*


Anexo # 1 Sección Estratigráfica 1-1', intervalo U4-U1

Anexo # 2 Sección Estratigráfica 2-2', intervalo U4-U1

Anexo # 3 Sección Estratigráfica 3-3', intervalo U4-U1

Anexo # 4 Sección Estratigráfica 4-4', intervalo U4-U1

Anexo # 5 Sección Estratigráfica 5-5', intervalo U4-U1

Anexo # 6 Sección Estratigráfica 6-6', intervalo U4-U1

Anexo # 7 Sección Estratigráfica A-A', intervalo U4-U1

Anexo # 8 Sección Estratigráfica B-B', intervalo U4-U1

Anexo # 9 Sección Estratigráfica Ca-Ca', intervalo U4-U1

Anexo # 10 Sección Estratigráfica Cb-Cb', intervalo U4-U1

Anexo # 11 Sección Estratigráfica D-D, intervalo U4-U1

Anexo # 12 Sección Estratigráfica E-E', intervalo U4-U1

Anexo # 13 Sección Estratigráfica 1-1', intervalo J3-H4,5,6

Anexo # 14 Sección Estratigráfica 2-2', intervalo J3-H4,5,6

Anexo # 15 Sección Estratigráfica 3-3', intervalo J3-H4,5,6

Anexo # 16 Sección Estratigráfica 4-4', intervalo J3-H4,5,6

Anexo # 17 Sección Estratigráfica 5-5', intervalo J3-H4,5,6

Anexo # 18 Sección Estratigráfica 6-6', intervalo J3-H4,5,6

Anexo # 19 Sección Estratigráfica A-A', intervalo J3-H4,5,6

Anexo # 20 Sección Estratigráfica B-B', intervalo J3-H4,5,6

Anexo # 21 Sección Estratigráfica Ca-Ca', intervalo J3-H4,5,6

Anexo # 22 Sección Estratigráfica Cb-Cb', intervalo J3-H4,5,6

Anexo # 23 Sección Estratigráfica D-D, intervalo J3-H4,5,6

Anexo # 24 Sección Estratigráfica E-E', intervalo J3-H4,5,6

Anexo # 25 Mapa de facies, sub-unidad U4L

Anexo # 26 Mapa de facies, sub-unidad U4M

Anexo # 27 Mapa de facies, sub-unidad U4U

Anexo # 28 Mapa de facies, unidad U3

Anexo # 29 Mapa de facies, sub-unidad U2L

Anexo # 30 Mapa de facies, sub-unidad U2M

Anexo # 31 Mapa de facies, sub-unidad U2U

Anexo # 32 Mapa de facies, sub-unidad U1L

Anexo # 33 Mapa de facies, sub-unidad U1M

Anexo # 34 Mapa de facies, sub-unidad U1U

Anexo # 35 Mapa de facies, unidad J1

Anexo # 36 Mapa de facies, unidad H6

Anexo # 37 Mapa de facies, unidad H5

Anexo # 38 Mapa de facies, unidad H4

Anexo # 39 Mapa de arena neta, sub-unidad U4L

Anexo # 40 Mapa de arena neta, sub-unidad U4M

Anexo # 41 Mapa de arena neta, sub-unidad U4U

Anexo # 42 Mapa de arena neta, unidad U3

Anexo # 43 Mapa de arena neta, sub-unidad U2L

Anexo # 44 Mapa de arena neta, sub-unidad U2M

Anexo # 45 Mapa de arena neta, sub-unidad U2U

Anexo # 46 Mapa de arena neta, sub-unidad U1L

Anexo # 47 Mapa de arena neta, sub-unidad U1M

Anexo # 48 Mapa de arena neta, sub-unidad U1U

Anexo # 49 Mapa de arena neta, unidad J1

Anexo # 50 Mapa de arena neta, unidad H6

Anexo # 51 Mapa de arena neta, unidad H5

Anexo # 52 Mapa de arena neta, unidad H4

Anexo # 53 Mapa de relación “net to gross”, sub-unidad U4L

Anexo # 54 Mapa de relación “net to gross”, sub-unidad U4M

Anexo # 55 Mapa de relación “net to gross”, sub-unidad U4U

Anexo # 56 Mapa de relación “net to gross”, unidad U3

Anexo # 57 Mapa de relación “net to gross”, sub-unidad U2L

Anexo # 58 Mapa de relación “net to gross”, sub-unidad U2M

Anexo # 59 Mapa de relación “net to gross”, sub-unidad U2U

Anexo # 60 Mapa de relación “net to gross”, sub-unidad U1L

Anexo # 61 Mapa de relación “net to gross”, sub-unidad U1M

Anexo # 62 Mapa de relación “net to gross”, sub-unidad U1U

Anexo # 63 Mapa de relación “net to gross”, unidad J1

Anexo # 64 Mapa de relación “net to gross”, unidad H6

Anexo # 65 Mapa de relación “net to gross”, unidad H5

Anexo # 66 Mapa de relación “net to gross”, unidad H4

Anexo # 67 Mapa de relación arena/lutita, sub-unidad U4L

Anexo # 68 Mapa de relación arena/lutita, sub-unidad U4M

Anexo # 69 Mapa de relación arena/lutita, sub-unidad U4U

Anexo # 70 Mapa de relación arena/lutita, unidad U3

Anexo # 71 Mapa de relación arena/lutita, sub-unidad U2L

Anexo # 72 Mapa de relación arena/lutita, sub-unidad U2M

Anexo # 73 Mapa de relación arena/lutita, sub-unidad U2U

Anexo # 74 Mapa de relación arena/lutita, sub-unidad U1L

Anexo # 75 Mapa de relación arena/lutita, sub-unidad U1M

Anexo # 76 Mapa de relación arena/lutita, sub-unidad U1U

Anexo # 77 Mapa de relación arena/lutita, unidad J1

Anexo # 78 Mapa de relación arena/lutita, unidad H6

Anexo # 79 Mapa de relación arena/lutita, unidad H5

Anexo # 80 Mapa de relación arena/lutita, unidad H4

# *CAPÍTULO I:*
# INTRODUCCIÓN

- *Consideraciones generales*
- *Objetivos*
- *Ubicación y extensión*
- *Metodología*
- *Antecedentes/Trabajos previos*

*CAPITULO I*

# 1.1. INTRODUCCIÓN

## *1.1.1. Consideraciones generales*

El Área Mayor de Socororo se encuentra ubicada al este de la población de Pariaguán, municipio Miranda, estado Anzoátegui, entre las coordenadas geográficas:

| | |
|---|---|
| Latitud: | 8º 43′ 00” y 8º 53′ 53” Norte |
| Longitud: | 64º 30′ 56” y 64º 42′ 06” Oeste |

Ésta posee una superficie de 270 $Km^2$ distribuidos en los campos Socororo (Este, Oeste y Noreste), Caricari y Cachicamo, conformando un bloque de geometría irregular ubicado al suroeste del flanco sur de la Cuenca Oriental de Venezuela (Ver la figura 1.1)

Éste campo fue descubierto en la década de los ‘40, con la perforación del primer pozo, el Socororo Nº 1, el 31 de Agosto de 1939. Actualmente el campo cuenta con 94 pozos perforados, entre los cuales 20 resultaron secos, 15 fueron abandonados y sólo 34 estaban en producción (estadísticas tomadas por la empresa PetroUCV, para el año 2001). La tabla 1.1 muestra la distribución de los pozos en la actualidad:

Tabla 1.1: Datos de los campos pertenecientes al Área Mayor de Socororo:

| **Área Mayor de Socororo** | | | |
|---|---|---|---|
| **Campo** | **Pozos** | **FDC/CNL** | **Viejos** |
| Caricari | 27 | 13 | 14 |
| Socororo O | 24 | 19 | 7 |
| Socororo NE | 8 | 7 | 1 |
| Socororo E | 21 | 9 | 12 |
| Cachicamo | 14 | 9 | 5 |
| **Total** | **94** | **57** | **39** |

Las formaciones penetradas por los pozos en el Área Mayor de Socororo son Mesa, Las Piedras, Freites, Oficina, Merecure, El Grupo Temblador, Carrizal, Hato

Viejo y el Basamento Precámbrico. De todas éstas, las formaciones responsables de la producción de hidrocarburos en el Área Mayor de Oficina (específicamente en el Campo Socororo), son Oficina y Merecure (Ver tabla 1.2).

Tabla 1.2: Datos de Producción de petróleo (en MB), gas asociado y gas no asociado (en MMPC):

**Petróleo MB**

| Campo | POES | Probadas | Probables | Posibles | Producción Acumulada | Reservas Remanentes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cachicamo | 67.211 | 9.512 | - | - | 999 | 8.513 |
| Caricari | 31.875 | 5.120 | 2.919 | - | 615 | 4.505 |
| Socororo | 331.169 | 46.239 | 40.920 | - | 6.384 | 39.855 |
| **Total** | **430.255** | **60.871** | **43.839** | **-** | **7998** | **52.873** |

**Gas Asociado MMPC**

| Campo | GOES | Probadas | Probables | Posibles | Producción Acumulada | Reservas Remanentes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cachicamo | 67.211 | 14.004 | - | - | 4.425 | 9.579 |
| Caricari | 31.875 | 10.779 | 6.230 | - | 1.296 | 9.483 |
| Socororo | 331.169 | 118.146 | 110.443 | - | 16.108 ⇑<br>13.626* ⇓ | 115.664 |
| **Total** | **430.255** | **142.929** | **116.673** | **-** | **8.203** | **134.726** |

***El 13,626 de "Producción Acumulada" es por Inyección**

**Gas No Asociado MMPC**

| Campo | GOES | Probadas | Probables | Posibles | Producción Acumulada | Reservas Remanentes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cachicamo | 9.384 | 6.569 | - | - | - | 6.569 |
| Caricari | 32.450 | 27.261 | - | - | - | 27.261 |
| Socororo | 193.619 | 154.988 | - | - | 821 | 154.167 |
| **Total** | **235.453** | **188.818** | **-** | **-** | **821** | **187.997** |

Mediante el modelo geológico que va a ser desarrollado, la empresa PetroUCV pretende establecer la arquitectura estratigráfica y sedimentológica del área, con la finalidad de determinar la distribución espacial de los cuerpos de arena, indicando las zonas de mayor interés en la explotación de hidrocarburos. Esto servirá como parte

integral para la elaboración del modelo estático y dinámico de los yacimientos de hidrocarburos presentes en este campo.

El estudio se encuentra enfocado principalmente en las unidades H4, H5, H6 y J1 (Formación Oficina) y en las unidades U (formaciones Oficina y Merecure) del Campo Socororo Oeste. Las primeras son de interés para un futuro desarrollo de la explotación de gas por parte de PetroUCV; las segundas son importantes para la empresa, por la presencia de las principales arenas prospectivas de petróleo del Área Mayor de Socororo.

### *1.1.2. Objetivos*

Para lograr la ejecución de este estudio se deben plantear los siguientes objetivos:

*General:*

- Elaborar un modelo sedimentológico y estratigráfico de las Arenas H4, H5, H6, J1 y U (formaciones Oficina y Merecure) del Campo Socororo Oeste, a partir de la correlación de registros de pozos.

*Específicos:*

- Definir las superficies de correlación presentes en los 24 pozos a trabajar.
- Elaboración de secciones estratigráficas, que permitan interpretar la arquitectura de los cuerpos arenosos.
- Construcción de *Mapas de Distribución de Facies*, a partir de la información de los registros de pozos (Curvas de Potencial Espontáneo y Rayos Gamma). Esto permite visualizar espacialmente los distintos ciclos sedimentarios en la zona de estudio.
- Construcción de *Mapas de Arena Neta*, los cuales muestran la distribución de los cuerpos arenosos dentro de cada unidad.

- Construcción de *Mapas* "*Net to Gross"*, donde se podrá apreciar la relación existente entre arena neta versus el espesor total, para cada una de las unidades estudiadas.
- Elaboración de *Mapas de Relación Arena – Lutita*, que muestra la distribución de los ambientes, y niveles de energía en las unidades estudiadas.

### *1.1.3. Ubicación y extensión*

El Campo Socororo Oeste se encuentra en el cuadrante occidental del Área Mayor de Socororo (Ver la figura 1.1), entre las coordenadas UTM:

| | |
|---|---|
| Latitud: | 972.000 y 976.000 Norte |
| Longitud: | 314.500 y 320.000 Oeste |

Es un bloque irregular, que comprende un área aproximada de 25 $Km^2$, y se disponen en éste 24 pozos, tal y como se observa en la figura 1.2.

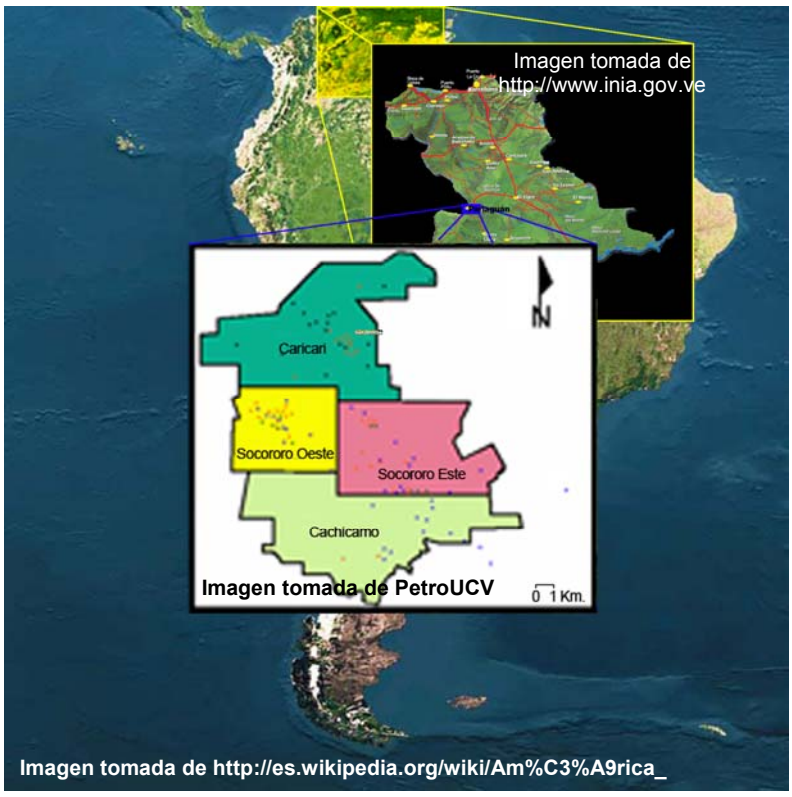



Fig. 1.1: Ubicación Regional del área de estudio (Campo Socororo Oeste)

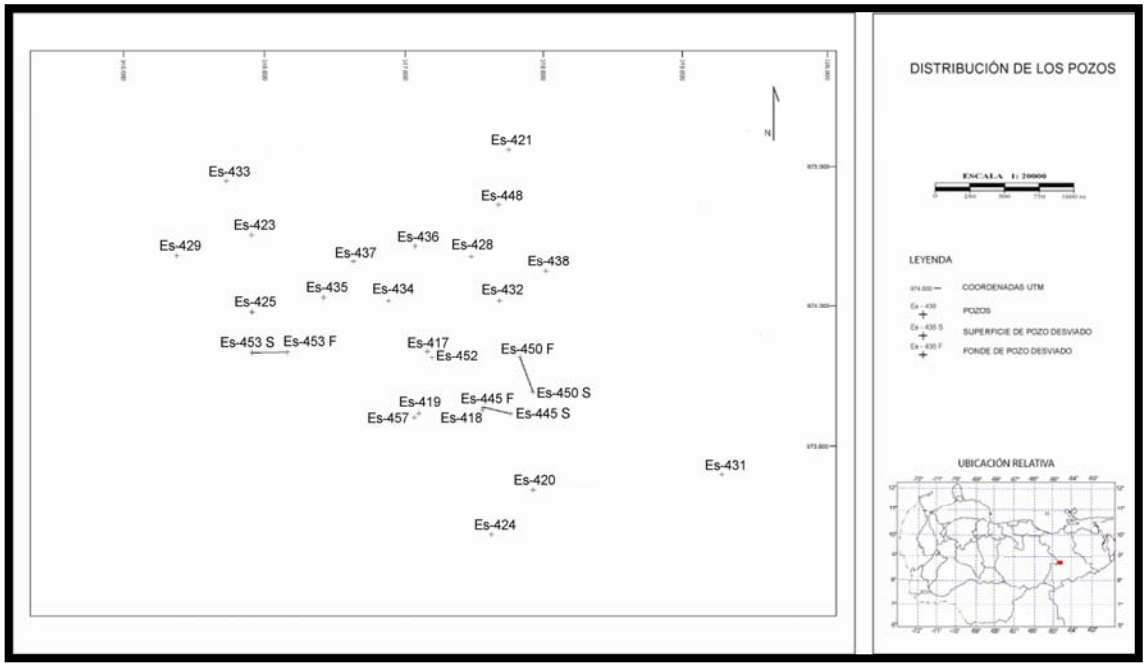


Fig. 1.2: Distribución de los pozos del Campo Socororo Oeste

### *1.1.4. Metodología*

Los pasos a seguir para la realización de éste trabajo consta, esencialmente, de dos partes:

#### *1.1.4.1. Revisión bibliográfica y trabajos previos*

En esta fase se recopiló literatura geológica general, informes previos, tesis y trabajos de investigación, con el fin de obtener un conocimiento general del área, de los ambientes, del marco tectónico, la estratigrafía, principios y funcionamiento de las herramientas utilizadas para la realización del presente trabajo.

#### *1.1.4.2. Recopilación y análisis de los datos estratigráficos*

Esta parte de la investigación se divide en varias fases consecutivas que van encadenándose entre sí. La secuencia a seguir para realizar el modelo estratigráfico se encuentra en el flujograma de la figura 1.3.

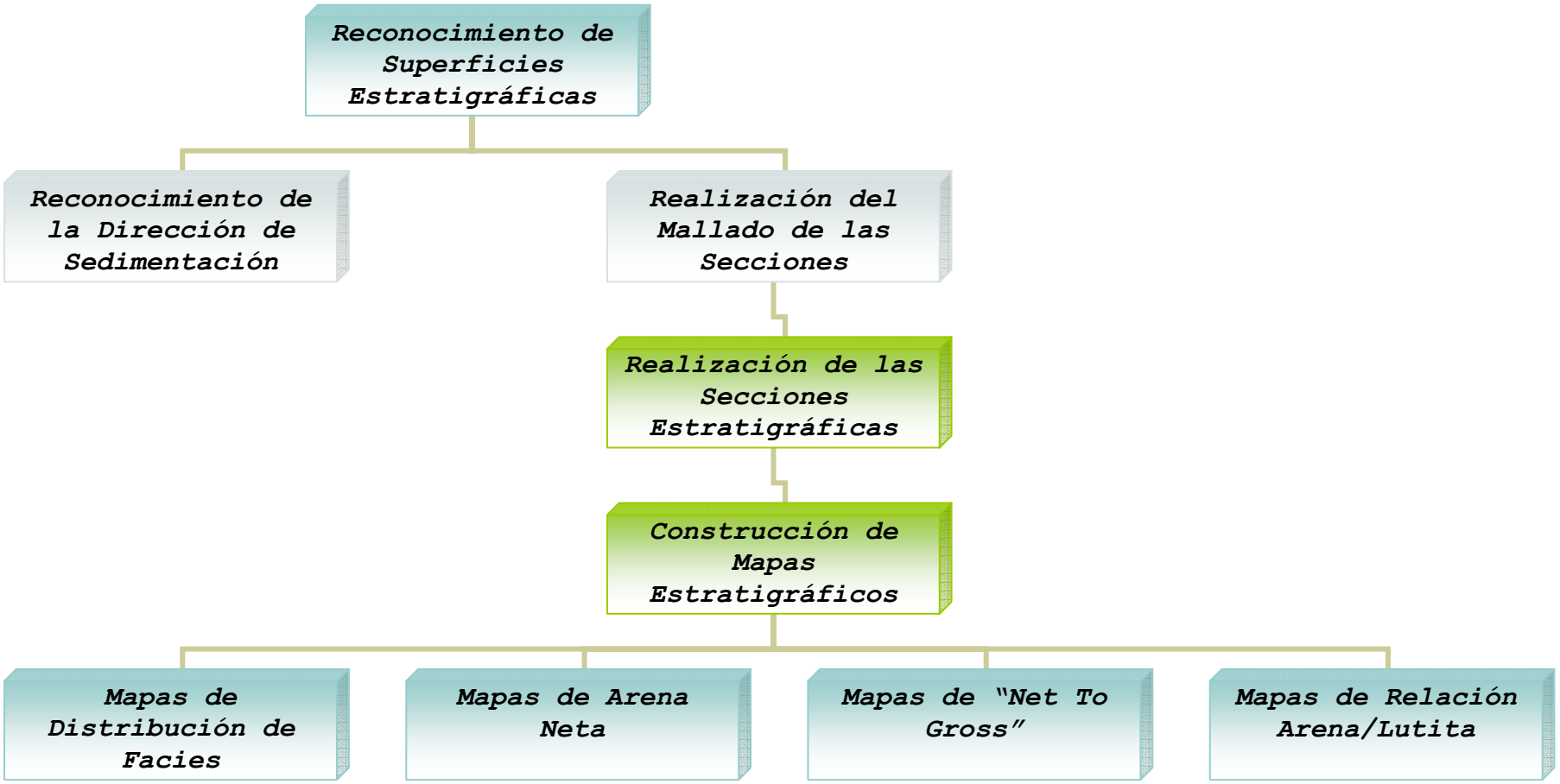



Fig. 1.3: Flujograma de los pasos a seguir para realizar la recopilación y análisis de los datos estratigráficos

*Reconocimiento de superficies estratigráficas*

Se realiza en cada uno de los 24 pozos que conforman el campo asignado; a ellos se les evalúa la continuidad de las superficies estratigráficas y geometría de los cuerpos por medio de correlaciones, utilizando como criterio la forma de las curvas de Potencial Espontáneo (SP), Rayos Gamma (GR), Resistividad (RD) y Densidad (RHOB)

*Reconocimiento de la dirección de sedimentación*

La dirección fue determinada en base a los mapas Isochore utilizados por la empresa PetroUCV. Éstos se construyeron calculando el espesor de las formaciones Oficina y Merecure, determinando la dirección de sedimentación y la ubicación de la cuenca durante la depositación de ambas formaciones.

*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.

*Realización de las secciones estratigráficas*

- Posterior al reconocimiento de las superficies estratigráficas se ubica el dátum, éste debe ser un cuerpo lutítico que tenga extensión regional (aparezca en todos los pozos del campo), no presente variaciones laterales (o muy poca), y muestre propiedades anómalas (como resistividad muy baja o muy alta, que

se salgan del promedio, reflectores sísmicos, entre otros). Pero, necesariamente, deben ser cuerpos que representen un evento isocrónico de gran escala.

Estas pueden ser superficies de inundación, como es el caso del dátum de la secuencia de las unidades U, representado por el tope de U1U, el cual es un cuerpo lutítico de muy baja resistividad. Se reconoce en todos los pozos del campo y no presenta variaciones laterales importantes. Éste se reconoce como un reflector sísmico en el Campo Socororo Este, debido al contraste acústico causado por las características físicas de la lutita. Adicionalmente, el hecho que se observe la presencia de éste dátum en los campos vecinos, confirma su extensión dentro del Área Mayor de Socororo.

Para el caso de las unidades J1 y H4, 5, 6 el dátum escogido es el tope de la unidad N1, representado por una lutita que se encuentra en el tope de un cuerpo anómalamente resistivo (puede pasar los 20 ohm.m), el cual se mantiene, lateralmente, en todo el campo. Al observar la sísmica del campo Socororo Este, se reconoce la unidad como un reflector sísmico, como consecuencia del contraste acústico que tiene el dátum con respecto a las rocas adyacentes; al reconocerse en campos vecinos, confirma su gran extensión dentro del Área Mayor de Socororo.

La figura 1.4 muestra una sección sísmica en donde se pueden observar ambos reflectores sísmicos, es importante observar la continuidad lateral de los cuerpos litológicos y como son distintivos con respecto a los demás cuerpos tomados en la sísmica.

- Los registros de pozos deben ser cargados en la plataforma *"Geoframe"*, de forma tal que el dátum quede como una referencia horizontal, marcando una línea isocrónica. A partir de ella se debe observar las características de las secuencias depositadas.

- Se realiza la correlación cronoestratigráfica entre cada uno de los pozos, siguiendo las direcciones propuestas en el mallado de las secciones, éstas muestran las variaciones laterales de los cuerpos y los contactos entre las facies sedimentarias con el objetivo de mostrar la geometría de los cuerpos arenosos.

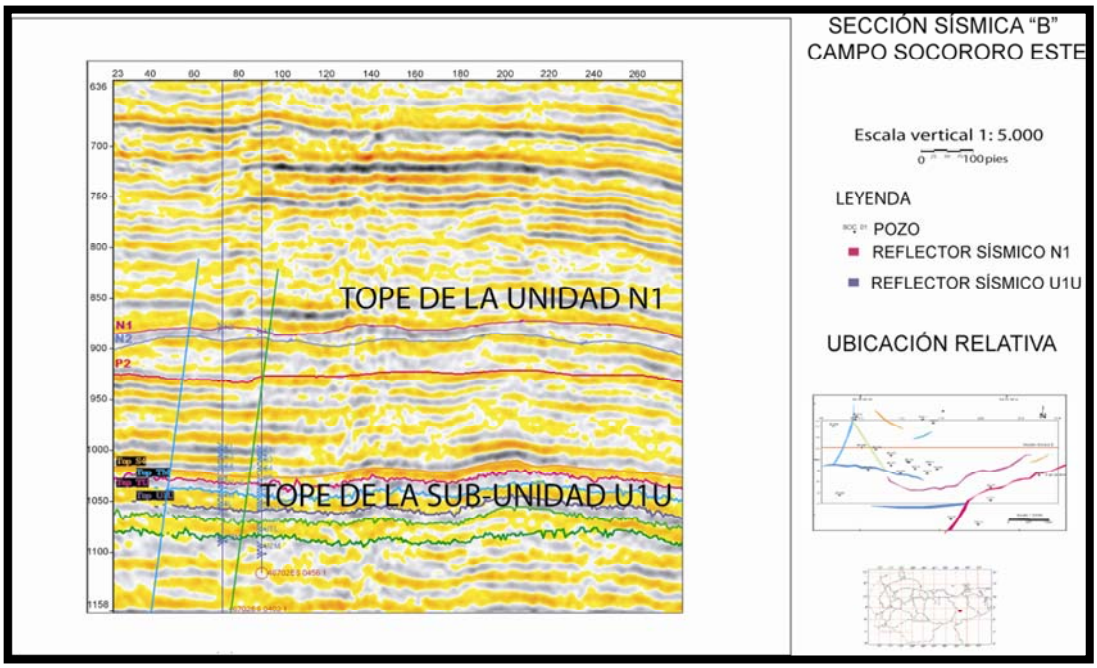



Fig. 1.4: Sección sísmica B, tomada en el Campo Socororo Este. En ella se observan los reflectores sísmicos de los topes de N1 y U1U (Facilitada por Román Paz, PetroUCV)

Cada unidad posee un tope de producción que permite dividir los cuerpos e identificar la facies sedimentaria, mostrando la tendencia de las curvas. Según Walker y James (1992), existen tres métodos principales para realizar la correlación:

*Capas Marcadas:* Se emplea la respuesta de los registros como elemento de diferenciación entre capas o secuencias de ellas (marcadores), sin importar el origen de las mismas. Si los marcadores pueden ser mapeados regionalmente pueden ser correlacionados o incluir superficies alloestratigráficas.

*Ajuste por Patrones:* Implica el reconocimiento de los patrones de respuesta de los registros de pozos y el ajuste en profundidad de las unidades estratigráficas. Las

superficies límite de las unidades escogidas pueden ser transgresivas, sucesiones de facies individuales o separadas y/o discordancias.

*Técnica de la Porción:* Este método se aplica cuando no surgen resultados con los otros dos, en él un intervalo puede ser subdividido en porciones arbitrarias de unidades de espesor constante o en unidades con espesores proporcionales en el intervalo entero. La división en porciones de un intervalo no da correlaciones verdaderas, sólo se utiliza para dividir secciones que no pueden ser subdividida de ninguna otra manera.

### *Construcción de Mapas Estratigráficos*

Para Krumbeim 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.

### *1.1.5. Antecedentes / Trabajos previos*

- HEDBERG. *et al*. (1947). Describen las características sedimentológicas de la Formación Oficina, definiendo que ésta se desarrolla en un ambiente fluvio-deltáico de edad Mioceno, convirtiéndose en el primer trabajo realizado sobre esa unidad.
- FUNKHOUSER, *et al*. (1948). Describen las características sedimentológicas de una nueva unidad, de características principalmente fluviales, a fluvio-deltáico, a la misma la denominan Formación Merecure e introducen éste término en el subsuelo de los campos petrolíferos de Anaco.
- DE SISTO (1960). Basado en las correlaciones realizadas a diversos registros de pozos publica una nomenclatura estratigráfica del subsuelo. Adicionalmente realiza un estudio de la distribución geográfica de arena neta y de los lignitos presentes en la Formación Oficina, indicando que el 70% del área estudiada contiene entre 700 y 1.000 pies de arena neta y otro 21% del área contiene entre 1.000 y 13.000 pies.
- GONZÁLEZ DE JUANA, *et al*. (1980). Reconstruyen la historia geológica de la Cuenca Oriental durante el período Terciario, describiendo el proceso sedimentario y las características distintivas de cada una de las unidades litológicas presentes. Adicionalmente define las características de todas las cuencas petrolíferas de Venezuela.
- ARNSTEIN (1985). Estableció las relaciones estratigráficas en diferentes áreas del subsuelo de la Cuenca Oriental, por medio de pozos exploratorios en Guárico, Anzoátegui y Monagas, permitiendo la revisión geológica de la cuenca. En éste trabajo también se analizan los ciclos sedimentarios por electrofacies y la bioestratigrafía, lo cual establece que los mismos se iniciaron durante el Oligoceno y culminan con la sedimentación de la molasa en el Mio-Plioceno. La correlación de estas secuencias contemporáneas ha permitido establecer las relaciones estratigráficas en diferentes áreas del subsuelo de la cuenca.

- CAMPOS, *et al*. (1985). Definen los límites, las edades y ambientes sedimentarios de las diferentes formaciones realizando el estudio estratigráfico del noreste de Anzoátegui integrando a éste la información existente en el área. La columna estratigráfica obtenida de la región abarca desde el Cretáceo hasta el Pleistoceno, en ella existen dos discordancias mayores: la discordancia pre-Merecure, elimina parte de los sedimentos del Eoceno y Oligoceno Inferior; la discordancia pre-Las Piedras es mucho más intensa, llegando a afectar la Formación Merecure. También muestran que los ambientes sedimentarios varían desde continental hasta batial.
- PARNAUD, *et al*. (1995). Describen dos provincias principales en la parte central de la Cuenca Oriental, para las cuales construyen un modelo geológico integrado usando datos estratigráficos, estructurales, geoquímicos y de yacimientos. De esta manera identifican los sistemas petroleros y definen yacimientos petrolíferos en el área.
- CORPOMENE, C.A. (1999). En esta segunda fase del estudio indican las formaciones de interés comercial por la extracción de petróleo y/o gas en el Área Mayor de Socororo. Éstas son las formaciones Oficina y Merecure, de las cuales se hacen algunos comentarios estratigráficos en base a su columna sedimentaria.
- DI CROCE, *et al*. (1999). Obtienen una visión integrada de la estratigrafía del subsuelo de la subcuenca de Maturín por medio del análisis secuencial, a partir de la data sísmica; en éste trabajo se definen cuatro etapas tectónicas mayores durante el Fanerozoico.
- 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.

- AVENDAÑO y CÁCERES (2002). Evalúan los datos geoestadísticos y petrofísicos para elaborar un modelo geológico que determine la distribución de las arenas-yacimientos del Área Mayor de Socororo, con el objetivo de mostrar posibles prospectos con bajo riesgo exploratorio. Con dicho modelo geológico se evidencia que el sistema de sedimentación de la Formación Oficina es fluvio-deltáico y la configuración de canales de río con dirección predominante norte-sur.
- GHINAGLIA (2004). Describe la evolución tectónica de la Serranía del Interior, en la Cuenca Oriental de Venezuela, específicamente entre los estados Monagas y Anzoátegui y al sur-occidente del estado Sucre; a partir de la restauración sismoestratigráfica, indicando que la geometría de la Cuenca Oriental es el resultado de la superposición de eventos geodinámicos que han afectado la sedimentación de las secuencias que los superponen.
- ORSINI (2004). Desarrolla el modelo geológico de la secuencia de arenas medias P de la Formación Oficina, donde la secuencia P1 a P3 representa la parte basal de las mismas 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 P1U). 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. El modelo geológico propuesto permite determinar que la arena P1U posee 8 yacimientos, propone una nueva localización y 18 recompletaciones

# *CAPÍTULO II:*
# MARCO TEÓRICO Y GEOLOGÍA REGIONAL

| | |
|---|---|
| Marco Teórico | • *Modelo de Facies*<br>• *Interpretación de sistemas depositacionales a partir de registros de pozos*<br>• *Interpretación general*<br>• *Sistema fluvial*<br>• *Sistema deltáico* |
| Geología Regional | • *Generalidades*<br>• *Geodinámica regional*<br>• *Marco estratigráfico regional*<br>• *Marco estructural regional y local* |

*CAPÍTULO II*

# 2.1. MARCO TEÓRICO

## *2.1.1. Interpretación general para el reconocimiento de facies.*

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.

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 otras (Walker y James, 1992). En la tabla 2.1 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.

## *2.1.2. Sistema fluvial*

### *2.1.4.1. Introducción*

Los sedimentos fluviales son altamente variables en muchos aspectos, generando que no puedan ser caracterizados por un solo modelo de facies. Aún cuando existe un amplio espectro de tipos de ríos, pueden ser descritos en un número discreto: rectilíneos, anastomosados, meandriformes y entrelazados (Cant, 1982).

Por ejemplo, las variaciones de energía en el flujo del canal pueden generar distintos tipos de ríos; como es el caso de los ríos entrelazados, los cuales son

evidencia de un régimen de flujo bajo, quedando barras de canal emergidas. En la figura 2.1 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. El sistema fluvial es esencialmente agradacional, sin embargo, en ambientes específicos puede ocurrir progradación localizada o acresión lateral (Galloway y Hobday, 1983).

Tabla 2.1: Identificación de facies por patrones de curvas de Potencial Espontáneo (SP) y de Rayos Gamma (GR). (Tomado de Walker y James, 1992).

| **Cilíndrico** | **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. |

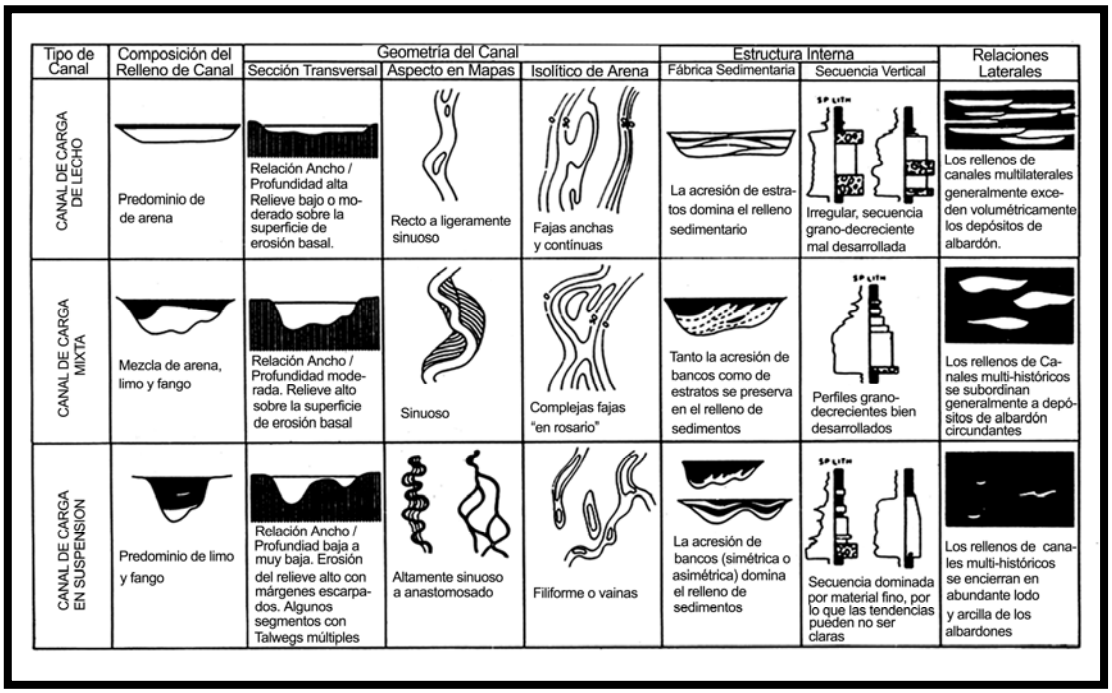



Fig. 2.1: Características sedimentarias y geomorfológicas correspondientes a canales fluviales de carga de fondo, carga en suspensión y de carga mixtas (Modificado de Galloway, 1977; En Serra, s/a).

#### *2.1.4.2. Geometría de facies*

Los sistemas de depositación fluvial consisten en un mosaico de facies genéticas en las que se incluyen los *rellenos de canal*, bordes del mismo y depósitos de *llanura de inundación*. Las facies de *relleno de canal* incluyen tanto depósitos agradacionales, como de acresión lateral, cuya estructura interna está determinada principalmente por la geometría del canal. Las facies de *borde de canal* se originan cuando parte de la carga de fondo y del material en suspensión se depositan en las zonas marginales del canal, originando principalmente diques naturales y *abanicos de rotura*. Por último, las facies de *llanura de inundación* se originan durante los eventos de desborde en el área entre canales, y se caracterizan por la depositación de sedimentos finos de suspensión. Son depósitos de muy baja energía y, bajo condiciones favorables, se encuentran asociados a la presencia de capas de carbón

(Galloway y Hobday, 1983). Según el tipo de río, puede variar la relación espacial entre las facies:

#### *2.1.4.3. Depósitos de ríos entrelazados.*

Estos ríos son lateralmente inestables porque transitan por la *llanura de inundación*, la cual es fácil de erosionar, al ser más delgados y menos cohesivos. Los canales entrelazados migran lateralmente dejando depósitos delgados de canales y complejos de barras que pueden acuñarse, preservándose sólo cantidades menores del material de la *llanura de inundación* (Ver la figura 2.2) (Cant, 1982). La figura 2.2 muestra el modelo depositacional de un sistema de canales entrelazados poco sinuosos, donde se observan los cuerpos que se generan en estos sistemas, la columna sedimentaria, las estructuras que se forman en estos ambientes y la respuesta que arroja la curva de *potencial espontáneo*.

Esta migración lateral, unida a la agradación, origina depósitos gruesos, con algunas intercalaciones de sedimentos de grano fino, delgados y poco persistentes, tal y como está demostrado en la figura 2.3 (a).

Los depósitos de canales entrelazados, se caracterizan por presentar canales amplios los cuales tienden a cambiar de posición debido al transporte rápido y continuo de los sedimentos. Por lo tanto, una unidad individual puede tener entre 0,5 y 8 km de ancho. Su longitud puede variar entre decenas y centenas de kilómetros. El espesor varía de decímetros a poco más de 30 metros, presentando una relación ancho-profundidad alta. La coalescencia de barras y planicies de arena origina mantos arenosos extensos y lateralmente continuos, no confinados por lutitas. (Walker 1979, en: Serra, s/a).

En la figura 2.3 (b) se observa el poder erosivo de los canales, debido al transporte rápido y continuo de los sedimentos. También se puede apreciar el continuo cambio en la posición de los canales, los cuales van siendo abandonados permitiendo la generación de barras longitudinales, una *llanura de inundación* muy amplia y alejada del sistema. Adicionalmente se puede notar que la unidad es muy ancha, dentro de la cual se genera todo el sistema fluvial descrito, permitiendo que las relaciones ancho/profundidad sean altas.

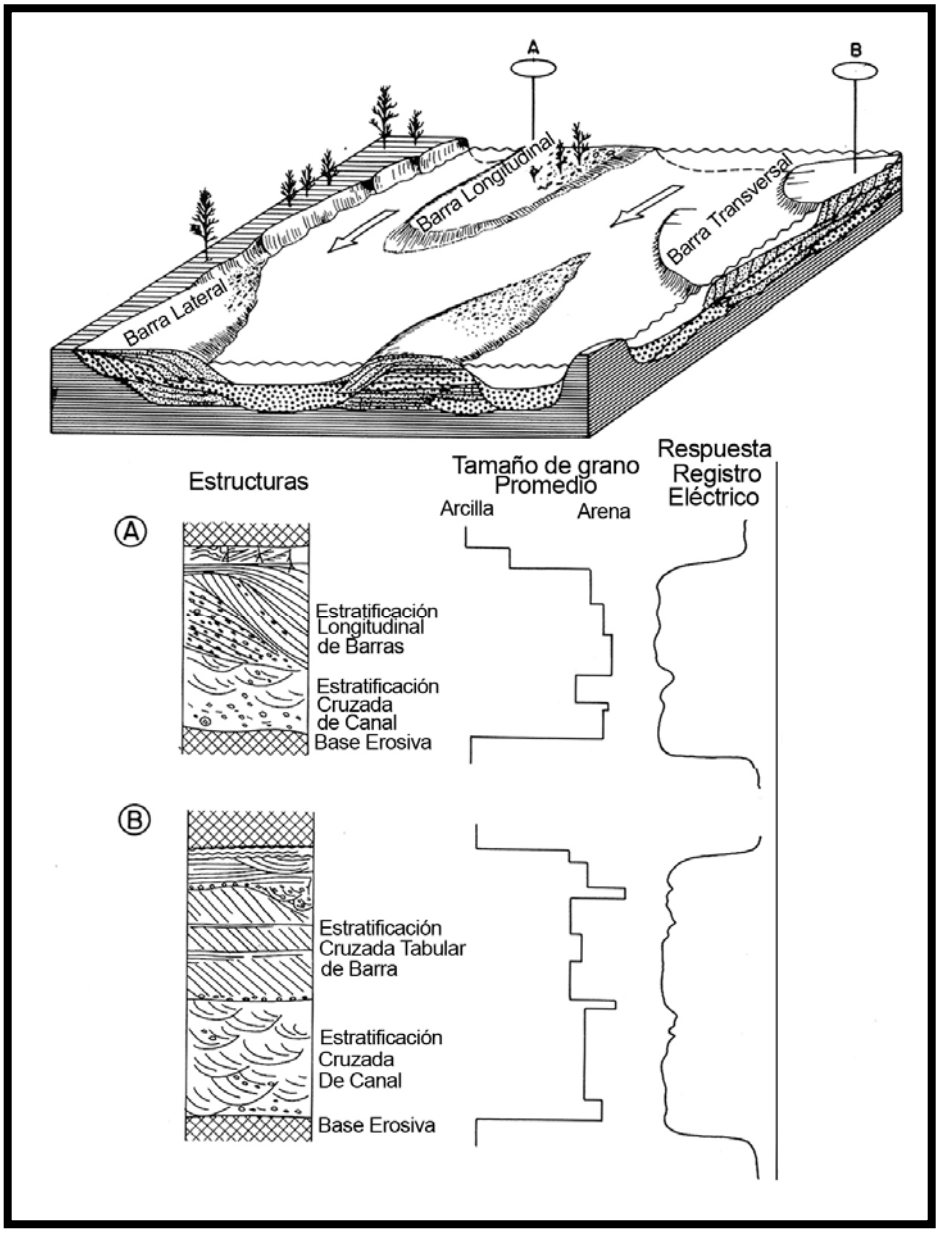



Fig. 2.2: Modelo depositacional generalizado de una secuencia vertical, producido por un sistema fluvial de canales entrelazados poco sinuosos (Modificado de Galloway y Hobday, 1983).

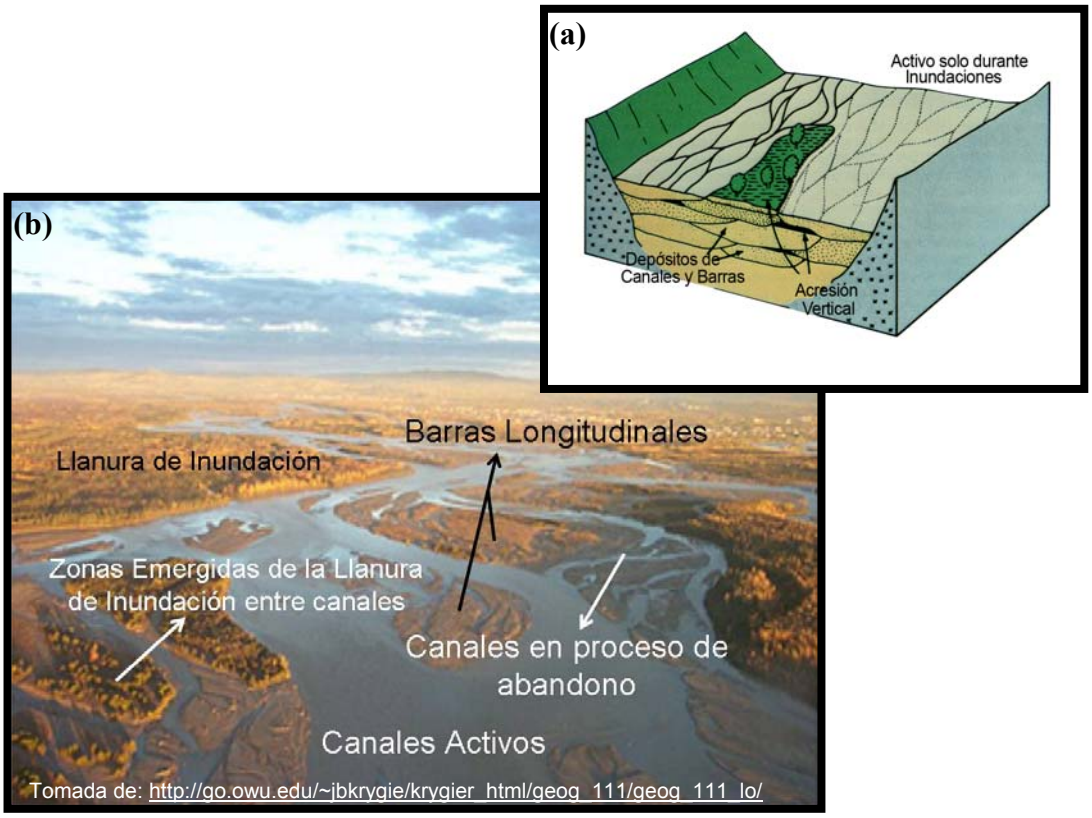



Fig. 2.3: (a) Bloque diagramático de depósitos de canales entrelazados, en el que se puede observar que las lutitas que se preservan son delgadas e impersistentes. (Modificado de Cant, 1982)
(b) Sistema de canales entrelazados en ambientes modernos. (Tomado y modificado de: Ohio Wesleyan University, Department of geology & geography 2005

#### *2.1.4.4. Depósitos de ríos meandriformes*

Se presentan principalmente en zonas de bajas pendientes, y son favorecidos por la abundancia de sedimentos de grano fino tanto en el dique natural como en la carga total de sedimento. Muestran en general un patrón de procesos fluviales, y una separación más marcada entre las facies de canal, y las externas. La figura 2.4 esquematiza las principales facies que se deberían encontrar en un sistema meandriforme (Reading, 1986).

Son bastante estables lateralmente, ya que poseen una *llanura de inundación* gruesa, más cohesiva, y con una capa vegetal importante. Estos ríos se encuentran confinados lateralmente por canales de meandros abandonados (denominados "Oxbow lakes"), comunes en las *llanuras de inundación* de muchos ríos

meandriformes. La presencia de muchos de estos tapones de arcilla en la *llanura de inundación* restringe la tendencia que tiene el cinturón de meandros a migrar lateralmente. Los canales migran libremente dentro del cinturón, pero no pueden expandirlo fácilmente.

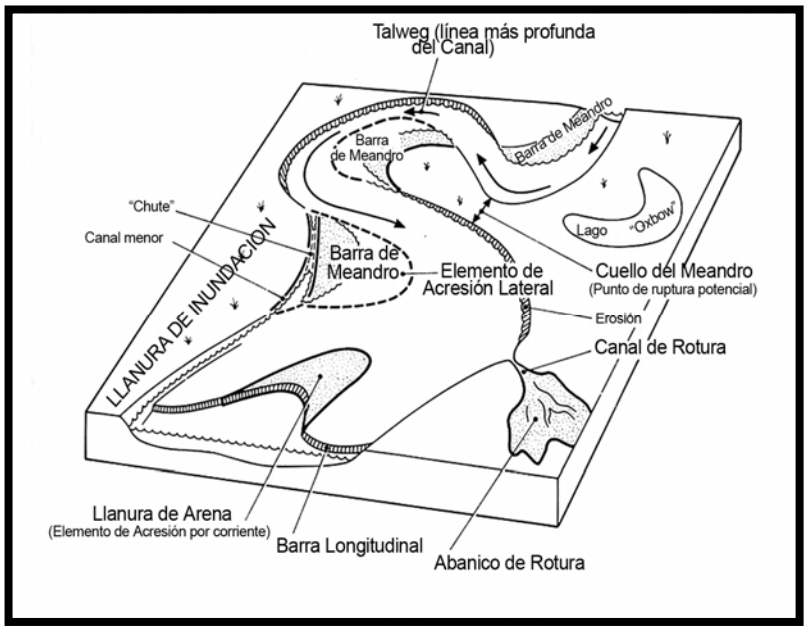



Fig. 2.4: Bloque diagramático de un río meandriforme hipotético. (Modificado de Walker y James, 1992)

Los depósitos que se generan en los sistemas fluviales meandriformes pueden estar representados por secuencias típicas de canal y las variaciones que se reflejan al borde del mismo. La figura 2.5 es un modelo depositacional generalizado, donde se puede observar la secuencia vertical de tamaños de grano, estructuras sedimentarias y registros eléctricos (*potencial espontáneo*), producido por un sistema fluvial meandriforme. En ella (A) puede observarse la secuencia típica del canal al borde del mismo, detallando como cambia el registro **SP** de un comportamiento cilíndrico (*relleno de canal*) hasta una tendencia irregular (*bordes del canal*). También se describe la columna (B) del dique natural, que es parte del borde del canal; en él se detalla el comportamiento cilíndrico del lecho del canal hasta el tapón de lutita que representa el abandono del mismo

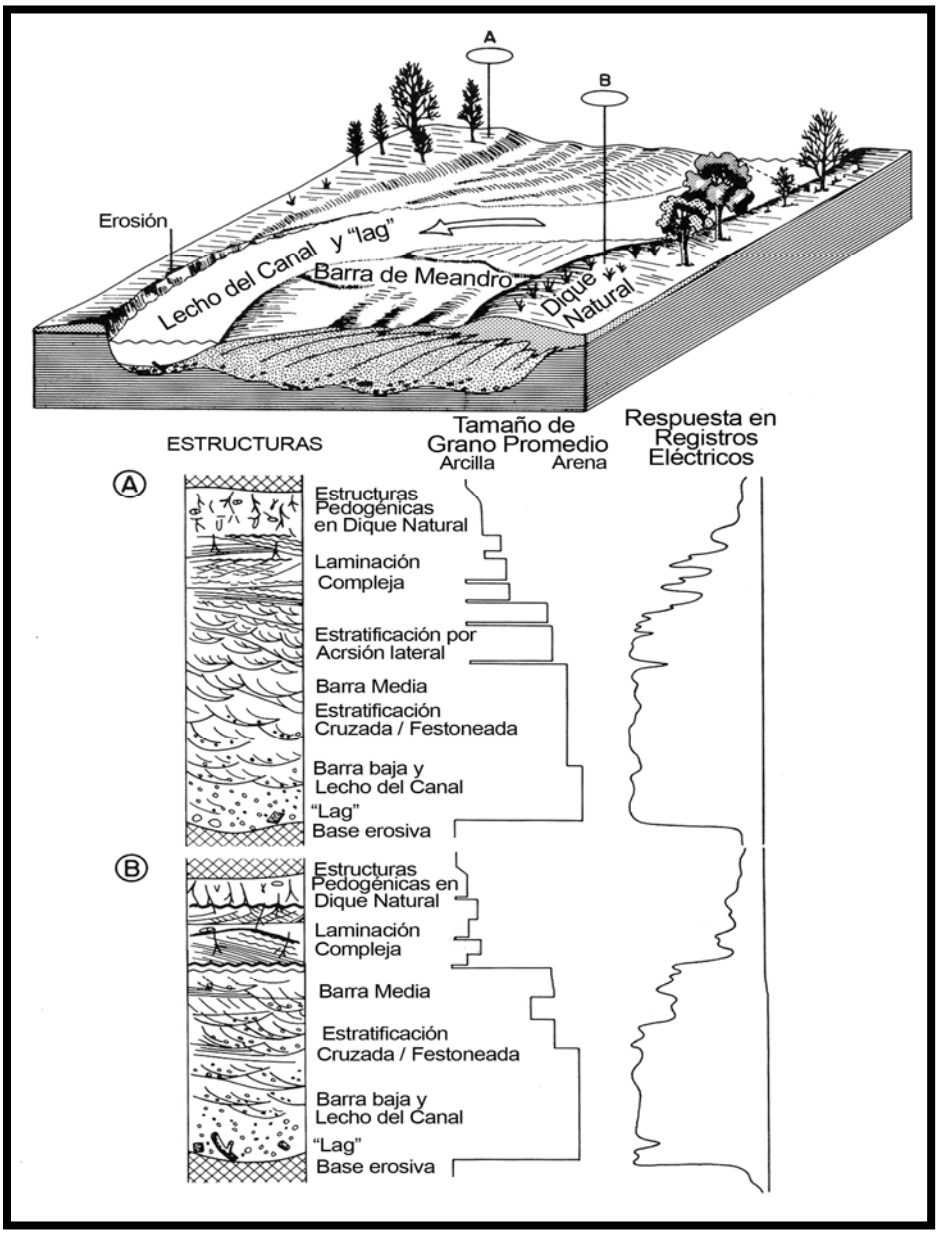



Fig. 2.5: Modelo depositacional generalizado de los depósitos generados por un sistema fluvial meandriforme. (Modificado de Galloway y Hobday, 1983).

Mientras el canal agrada, puede colmarse de sedimentos hasta el nivel de su propia *llanura de inundación*, creando una situación inestable. Eventualmente una rotura de un dique natural, durante una inundación, puede originar el abandono del cinturón de meandro, y la creación de uno nuevo. Este proceso es conocido como avulsión y genera una serie de cuerpos de arena, orientados según el buzamiento de la sedimentación, dentro de una matriz impermeable, de los depósitos de la *llanura de inundación*. El grado de interconexión entre los cuerpos de arena de este sistema depende de varios factores, tales como, la tasa de agradación, frecuencia y distancia de la avulsión y la profundidad del río. (Cant, 1982).

La figura 2.6 (a) muestra un bloque diagramático con el desarrollo de los depósitos de canales en este sistema, apreciándose la orientación de los cuerpos lineales en dirección del buzamiento de la sedimentación. (b) Los elementos que conforman los meandros (barras de meandros, dique natural, chute o canales secundarios, etc.), la generación de lagos "Oxbow" por abandono del canal y el proceso de Avulsión están representados en el sistema de meandros al sureste de Alaska.

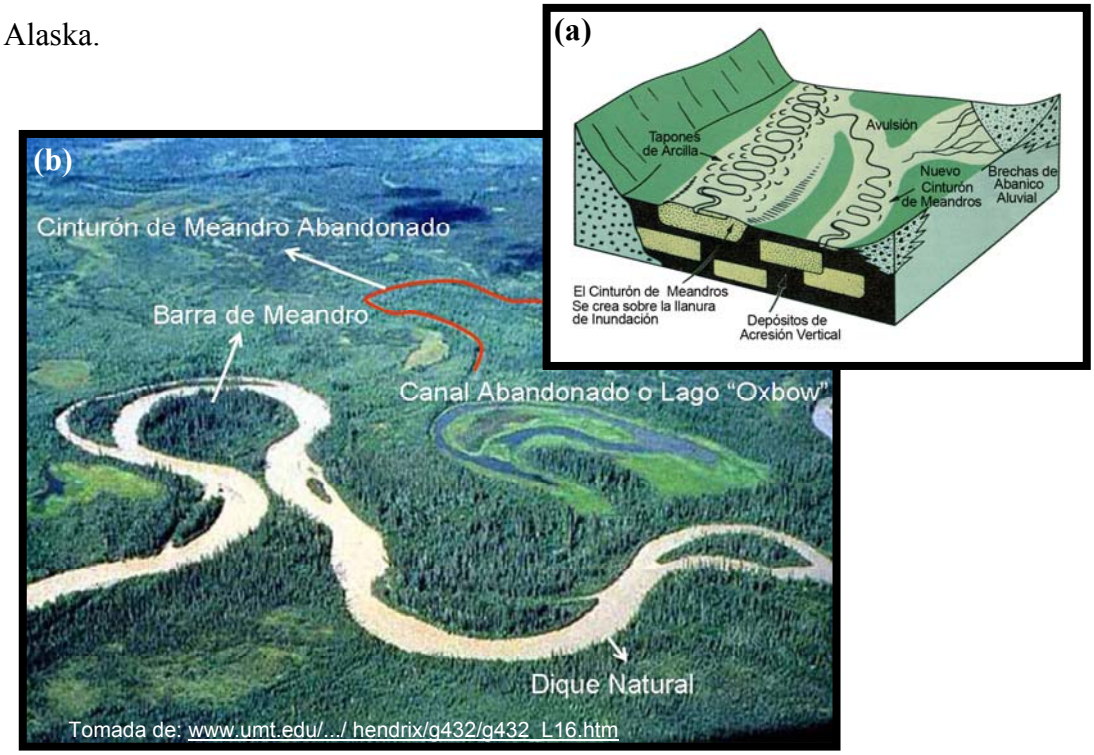



Fig. 2.6: Sistema fluvial meandriforme. (a) Modelo esquemático (Modificado de Cant, 1982); (b) Sistema meandriforme al sureste de Alaska (Tomado y modificado de: University of Montana, Department of geology 2005 www.umt.edu/.../ hendrix/g432/g432_L16.htm ).

La curvatura del meandro aumenta con el ensanchamiento del canal y con el radio medio de la curvatura del mismo. El ancho de los cuerpos arenosos tiende a ser 10 veces mayor que el ancho del canal y hasta 200 veces mayor que su espesor. Éste último se vincula con la profundidad del agua durante la inundación, que oscila típicamente entre 3 y 30 metros (Serra, s/a).

#### *2.1.4.5. Depósitos de ríos anastomosados*

Estos ríos presentan islas semi-permanentes que dividen el flujo, *llanuras de inundación* bien desarrolladas y áreas pantanosas que se extienden lejos del río. Debido a la naturaleza cohesiva de los sedimentos y a la alta cantidad de raíces presentes, estas islas y *llanuras de inundación* son muy estables, cambiando lentamente de posición y tamaño, por lo que se presentan facies individuales que se apilan verticalmente en secciones muy gruesas (Cant, 1982; Galloway y Hobday, 1983).

El bloque diagramático de la figura 2.7 (a) muestra los depósitos de canales anastomosados, en el mismo se detalla el apilamiento vertical como consecuencia de la estabilidad de los canales. Al sureste de Saskatchewan se desarrolla el sistema fluvial anastomosado mostrado en la figura 2.7 (b), en él se observa el buen desarrollo de la *llanura de inundación*, islas semi-permanentes y zonas pantanosas, permitiendo que los canales no sean abandonados con facilidad.

La figura 2.8 representa un modelo depositacional generalizado, en donde se muestra la secuencia vertical de tamaños de grano y estructuras sedimentarias, y el comportamiento de las curvas de *potencial espontáneo*, producido por un sistema fluvial anastomosado. Se muestra la acresión lateral (A) y el relleno simétrico de canal (B). Es importante observar la diferencia de la lectura del **SP** para cada uno de los sub-ambientes descritos en los ríos anastomosados.

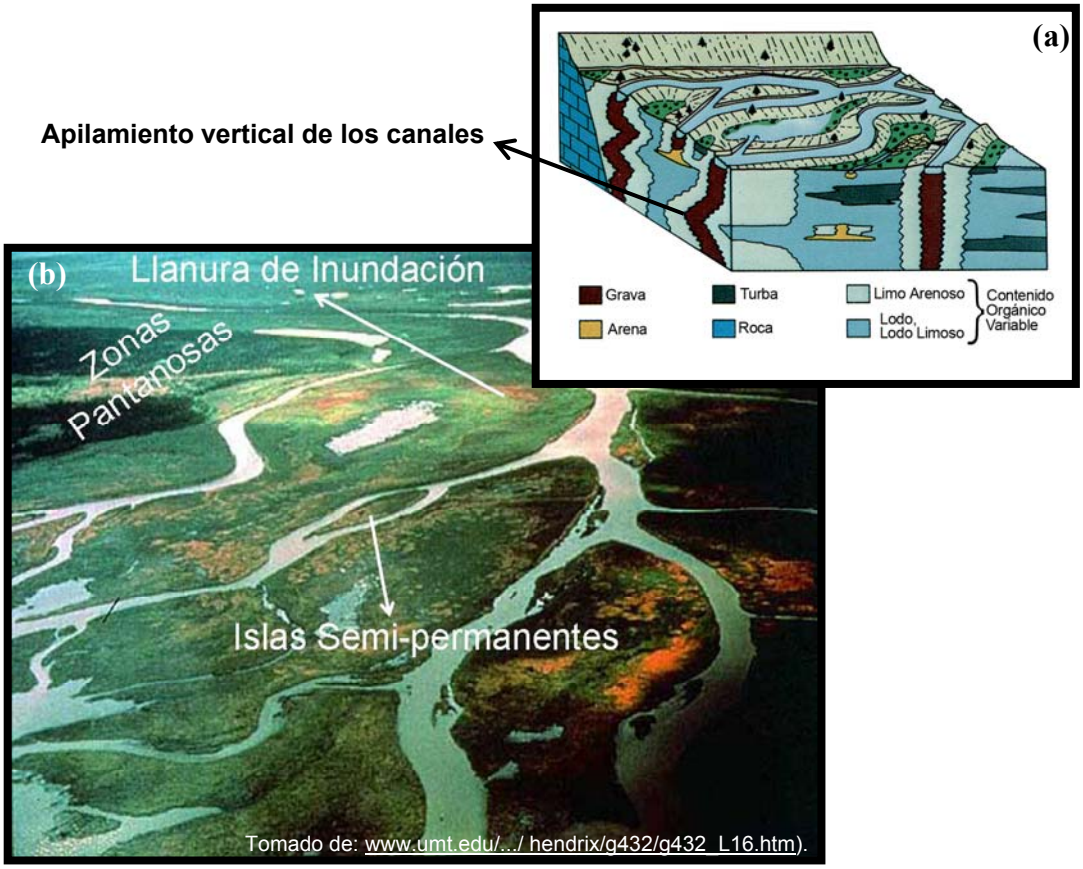



Fig. 2.7: Sistema fluvial anastomosado. (a) Bloque diagramático, se muestra el apilamiento vertical (Modificado de Cant, 1982). (b) Sistema anastomosado al sureste de Saskatchewan, Alaska (Tomado y modificado de: University of Montana, Department of geology 2005.

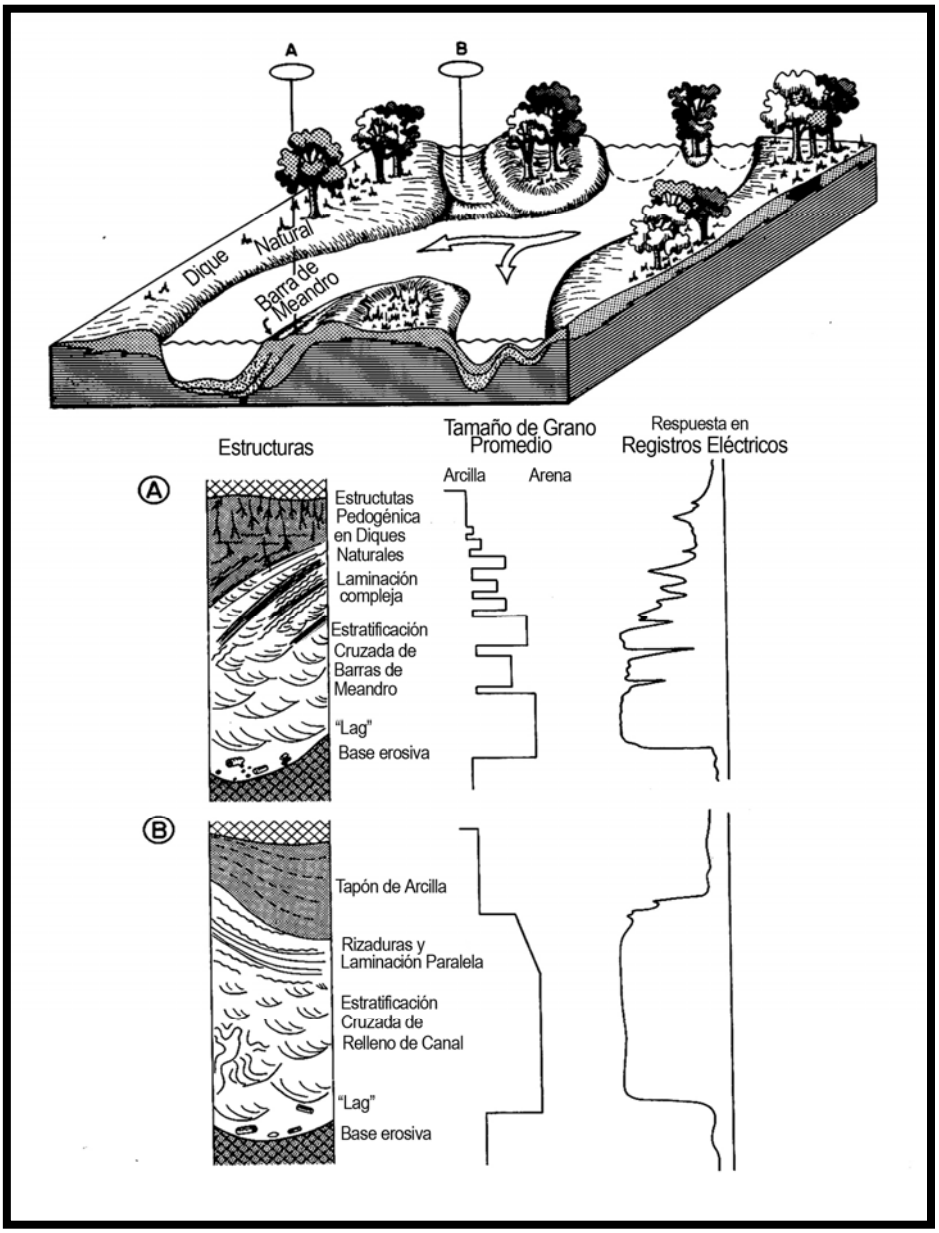



Fig. 2.8: Modelo depositacional generalizado producido por un sistema fluvial anastomosado (Modificado de Galloway y Hobday, 1983).

### 2.1.5. Sistema deltáico

#### 2.1.5.1. Introducción

Un delta es considerado como un sistema depositacional alimentado por ríos, que produce una progradación irregular en la línea de costa hacia un cuerpo de agua. En éstos se incluye toda la masa de sedimentos asociados, ya sean subaéreos, como subacuáticos. Los deltas son el producto de la interacción de dos procesos de depositación, los constructivos, generados por los sistemas fluviales, y los destructivos, como el retrabajo y redistribución de estos sedimentos (Galloway, W., 1975; Reading, H., 1986)

Los tipos de delta pueden ser diferenciados inicialmente por el reconocimiento del origen específico de las facies arenosas de margen deltáico. Los factores fundamentales incluyen la geometría y orientación de los cuerpos de arena progradantes, su relación espacial con el sistema de canales distributarios y, en menor medida, con la geometría del relleno de estos canales (Galloway y Hobday, 1983). Estos factores se resumen en la tabla 2.2:

Tabla 2.2: 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 | Elongado a lobulado | Arqueado | Estuarino a irregular |
| Composición Predominante | De lodoso a mixto | Principalmente arenoso | De lodoso a arenoso |
| Facies Arenosas | Barras de desembocadura de distributarios y arenas de frente deltáico; relleno de canales distributarios | Islas de barreras; arenas de canales distributarios | Barras de marea; relleno de canales estuarinos |
| Orientación de las Facies | Muy variable, pero tiende a ser paralela al buzamiento de la sedimentación | La dirección dominante es paralela al rumbo de la sedimentación. Presenta algunas tendencias subsidiarias | Paralela al buzamiento de la sedimentación, con cambios locales debidos a la geometría de la cuenca |
| Tipo Común de Canales | De carga en suspensión, a carga mixta, principalmente fina | De carga mixta a carga de fondo. | Variable, con geometría modificada por las mareas |

### *2.1.5.2. Deltas dominados por aporte fluvial*

Según Galloway y Hobday (1983) este tipo de delta se origina cuando la tasa y volumen de aporte de sedimentos excede el flujo de energía disponible en la cuenca para retrabajar y modificar sustancialmente el margen activo de un delta. En éste predominan los procesos constructivos, por lo que los lóbulos del delta adquieren geometrías elongadas o digitadas, a redondeadas y lobuladas (Ver la figura 2.9) (Fisher, B. *et al,* 1969; En: Reading, H., 1986).

#### *Ambientes constructivos y facies genéticas*

En los sistemas deltáicos dominados por aporte fluvial, las principales facies arenosas reconocidas son los depósitos de canales distributarios y las barras de desembocadura y, junto a ellas, algunas facies subsidiarias de arenas deltáicas retrabajadas y *abanicos de rotura*. Adicionalmente se reconocen como facies no arenosas los depósitos interdistributarios de prodelta y de margen deltáico, pantanos de planicie deltáica, *llanuras de inundación*, diques naturales y cuencas lacustrinas (Ver la figura 2.9) (Galloway y Hobday, 1983; Reading, H., 1986).

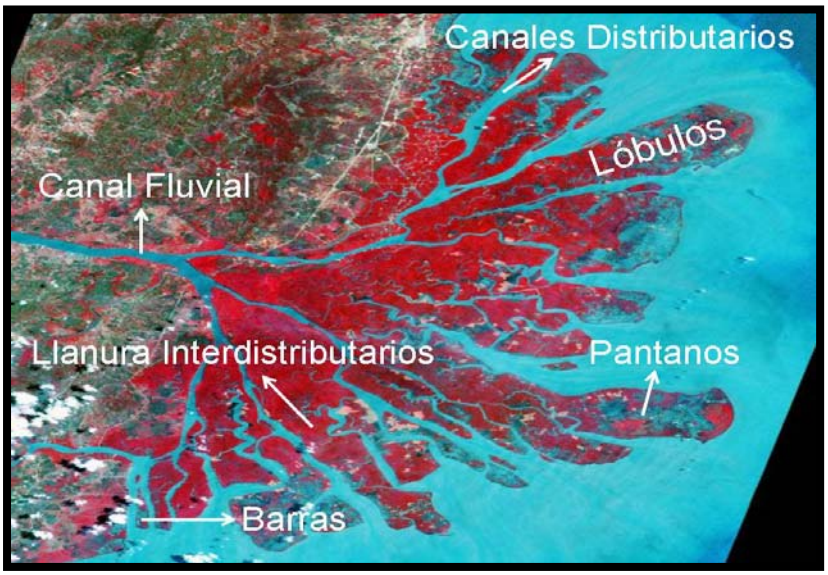



Fig. 2.9: Delta de Mahakam (Indonesia) (Tomado y modificado de: Darman, 1999).

Las altas tasas de depositación en este tipo de ambientes originan un enterramiento rápido, que permite la preservación de estructuras sedimentarias de origen fluvial. Las variaciones en la descarga en el sistema fluvial pueden producir una secuencia grano-creciente, con intercalaciones de intervalos de grano fino dentro de la secuencia (Walker y James, 1992).

La carga de sedimentos es, principalmente, de origen fluvial, éstos se depositan en barras de desembocadura, en las que el tamaño de grano se hace más fino hacia la cuenca; a medida que la progradación continúa, la pendiente del río se suaviza y el flujo se hace menos competente. En este estado pueden colapsar los diques naturales y ceder como consecuencia de una gran descarga sedimentaria del canal, éste fenómeno ocurre aguas arriba en el río. El recorrido más corto hacia el mar, vía una bahía interdistributaria, es generalmente la causa de una importante desviación del flujo, generándose el desarrollo rápido de depósitos de *abanicos de rotura*. Eventualmente, los canales que resultan de esta rotura pueden convertirse en distributarios principales, y el proceso repetirse, propiciando la migración del delta (Serra, s/a)

Las secuencias de barras de desembocadura son grano-crecientes, por la super-imposición de los depósitos de cresta de barra de desembocadura, de frente de barra, de la barra distal y de la parte superior del prodelta. Este engrosamiento se puede reflejar en el tamaño de grano promedio, pero es más aparente en el aumento de la proporción de arena y limo/lodo, en el espesor de las capas de arena, y por la escala de las estructuras sedimentarias contenidas dando como resultado una columna sedimentaria característica de éste tipo de secuencias (como se muestra en la figura 2.10). Estas unidades arenosas de barras de desembocadura se forman como parte integral de la progradación general de la secuencia de facies (Galloway y Hobday, 1983).

Los lodos del prodelta forman una de las unidades más homogéneas y continuas lateralmente de los sistemas deltáicos dominados por aporte fluvial, pudiendo servir como sellos regionales para el entrampamiento de hidrocarburos.

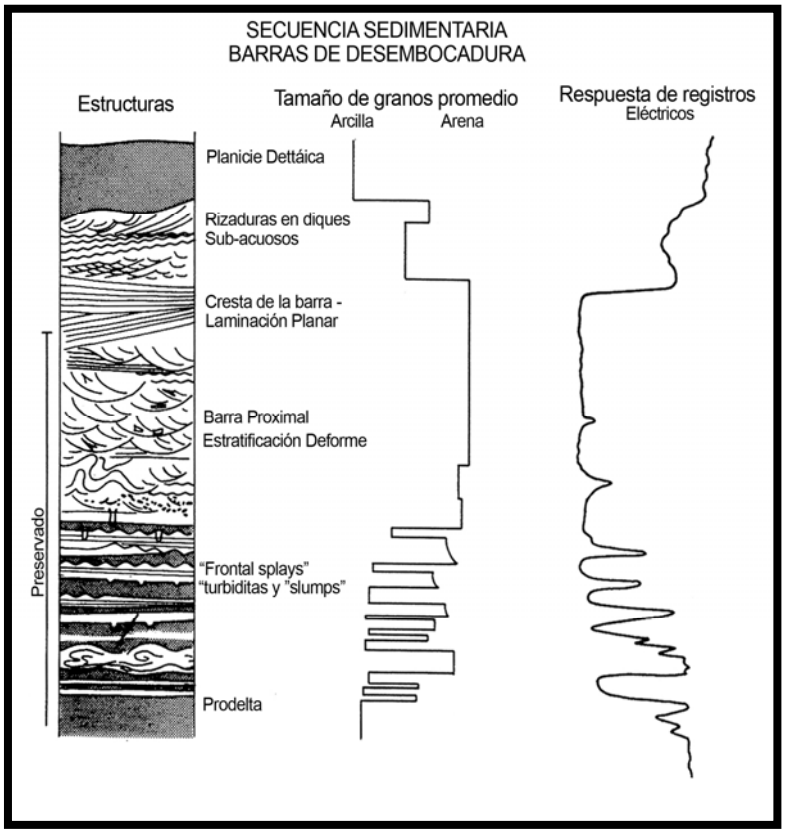



Fig. 2.10: Perfil vertical generalizado de una barra arenosa de desembocadura (Tomado de Galloway y Hobday, 1983).

*Ambientes destructivos y facies.*

Los principales procesos destructivos en los deltas dominados por aporte fluvial son el abandono de lóbulos de delta, su hundimiento, procesos transgresivos y retrabajo marino. Estos originan facies volumétricamente menores, pero distintivas (Coleman, J., y Wright, L., 1975).

Reading (1986) reconoce depósitos de grano grueso originados por el retrabajo marino y depósitos originados por la inundación (bahías someras y pantanos salados), como consecuencia del abandono del delta. Según Galloway y Hobday (1983) la importancia estratigráfica de estas unidades radica en su continuidad espacial y lo predecible de sus relaciones laterales de facies, lo que favorece su uso en la correlación y mapeo de las facies.

*Arquitectura de facies*

Los cuerpos arenosos principales en deltas dominados por acción fluvial, presentan geometría lobulada, con un mecanismo importante de acreción lateral que da lugar a unidades lenticulares. En las barras de desembocadura se reconocen cuerpos tabulares a lenticulares, que tienden a poseer la geometría de arenas meandriformes. En la cercanía de las facies fluviales predominan formas digitadas o cuerpos filiformes. La geometría de este tipo de deltas puede cartografiarse fácilmente en el subsuelo, midiendo el contenido total de arena, o la relación entre arena y lutita en la unidad estratigráfica dada. Las zonas de alto contenido de arena pueden indicar el contorno de las áreas lobuladas perpendiculares al margen de la cuenca, lo que corresponde a la dirección principal de la progradación del delta (Serra, s/a).

Adicionalmente Galloway y Hobday (1983), plantean las siguientes generalidades para este tipo de deltas:

(a) La mayoría de las secuencias verticales en la planicie deltáica, revelan un carácter progradacional, por secuencias que texturalmente se engrosan hacia el tope.

(b) La sección superior, o incluso toda la sección progradacional, es cortada y reemplazada localmente por una red compleja de *rellenos de canales* distributarios.

(c) Las barras de desembocadura y las arenas de canales distributarios originan cuerpos arenosos permeables, éstos tienden a estar orientados según el buzamiento de la sedimentación.

(d) La acumulación de sedimentos es cíclica, mostrando la alternancia entre períodos constructivos y períodos de destrucción transgresiva.

(e) La continuidad lateral de las facies arenosas es limitada.

### *2.1.5.3. 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 (Ver la figura 2.11) (Walker y James, 1992)

#### *Ambientes de depositación y facies*

Las principales facies arenosas encontradas en este sistema son cadenas de playas e *islas de barreras*, depositadas en el frente y a los márgenes de lóbulos activos del delta, el desarrollo de estas facies se ve reflejada en la figura 2.11 (Reading, H., 1986). Igualmente se pueden reconocer facies no arenosas de depósitos de prodelta, de cuencas costeras entre barreras, diques naturales, lagos y pantanos interdistributarios. El aporte clástico principal en estos sistemas proviene de un episodio fluvial cercano (Walker y James, 1992; Reading, H., 1986)




Fig. 2.11: Delta Nilo (Egipto), de dominio por oleaje (Tomado y modificado de: Iowa University, Department of civil and environmental engineering, 2005).

Los depósitos de *islas de barrera* tienen un comportamiento grano-creciente, como es típico de cuerpos arenosos producidos por la progradación de la línea de costa. Adicionalmente se observa la transición de estos depósitos, hacia la cuenca y estratigráficamente hacia abajo, a depósitos de prodelta y depósitos normales de plataforma (Galloway y Hobday, 1983).

La figura. 2.12 muestra el perfil vertical generalizado de una *isla de barrera*, en el margen de un delta de influencia de oleaje. En la secuencia se observa la evolución de la *isla de barrera* desde el prodelta hasta la planicie deltáica. Al igual que las barras de desembocadura, el registro **SP** posee una tendencia grano-creciente (forma de embudo), mostrando la distribución de los sedimentos dentro del cuerpo.

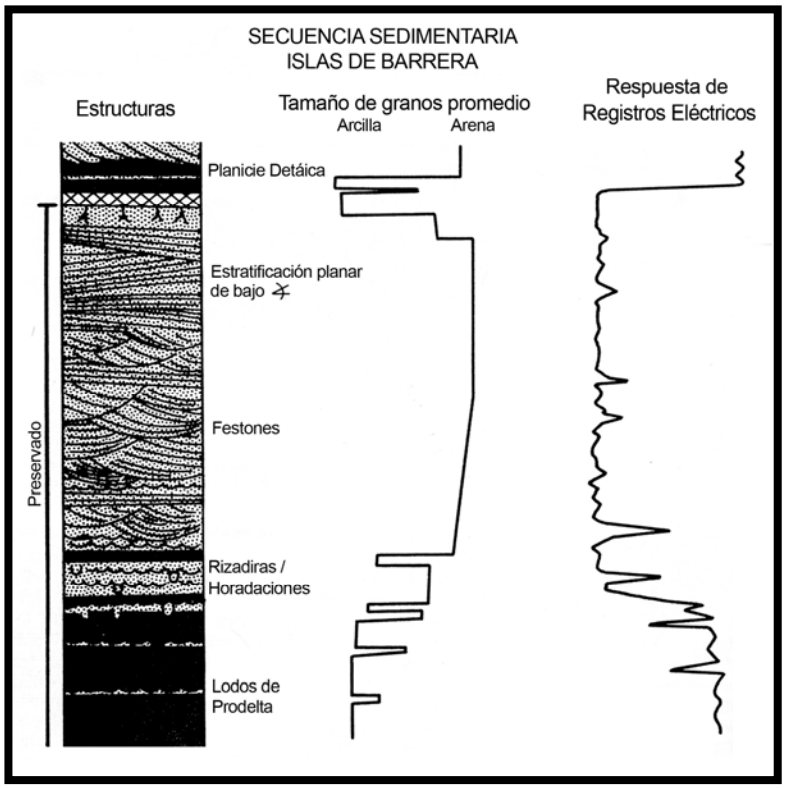



Fig. 2.12: Perfil vertical generalizado de una isla de barrera (Modificado de Galloway y Hobday, 1983)

Serra (s/a) indica que la geometría de este tipo de deltas es bastante distintiva. Los cordones de playas constituyen masas lineales subparalelas al margen de la cuenca, dando lugar, idealmente, a cuerpos convexos hacia ésta; estos cuerpos desarrollan geometrías distintivas según las condiciones del medio, tal y como se observa en la figura 2.13. Las arenas fluviales asociadas se orientarán en una dirección subperpendicular al margen de la cuenca.

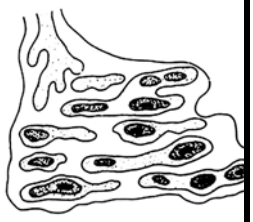
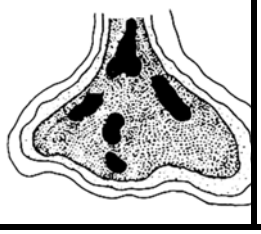
| | |
|---|---|
|  | *Delta Tipo 1:*<br>Condiciones: Energía intermedia de las olas, mareas altas, baja deriva litoral, cuenca somera estable.<br>Características: Arenas de canales normales a la línea de costa, conectadas lateralmente por arenas de barrera-playa<br>Ejemplos: Deltas de Burdekin, Irrawedy y Mekong |
|  | *Delta Tipo 2:*<br>Condiciones: Energía intermedia de las olas, baja pendiente costa afuera, bajo aporte de sedimentos.<br>Características: Coalescencia de canales y arenas de barra de boca con un frente de islas-barrera (costa afuera)<br>Ejemplos: Deltas de Apalachicola y Brazos |
|  | *Delta Tipo 3:*<br>Condiciones: Energía de las olas alta y persistente, baja deriva litoral, alta pendiente costa afuera.<br>Características: arenas de playa-barrera en manto, las cuales pasan a arenas de canal pendiente arriba.<br>Ejemplos: Deltas de San Francisco y Grijalva |
|  | *Delta Tipo 4:*<br>Condiciones: Energía de las olas bajas, alta deriva litoral, baja pendiente costa afuera.<br>Características: arenas de barreras de mareas, las cuales tienen formas elongadas.<br>Ejemplos: Delta Rhone |

Fig. 2.13: Geometría de cuerpos arenosos en deltas modernos dominados por oleaje. (Modificado de Coleman y Wrigth, 1975; En: Serra, s/a)

Las secuencias cíclicas, apiladas y progradacionales de secuencias de *islas de barrera* son típicas en estos tipos de deltas. Sin embargo la contemporaneidad de procesos constructivos y destructivos, así como de una progradación más lenta, y en presencia de un alto flujo de energía marino, pueden inducir el apilamiento y amalgamiento de las unidades de arena de *islas de barrera*, incrementándose en gran medida el espesor de estas unidades. La progradación del sistema deltáico genera que los canales distributarios corten la parte superior de las *islas de barrera*, así como de las facies de planicies deltáicas (Ver la figura 2.14) (Galloway y Hobday, 1983).

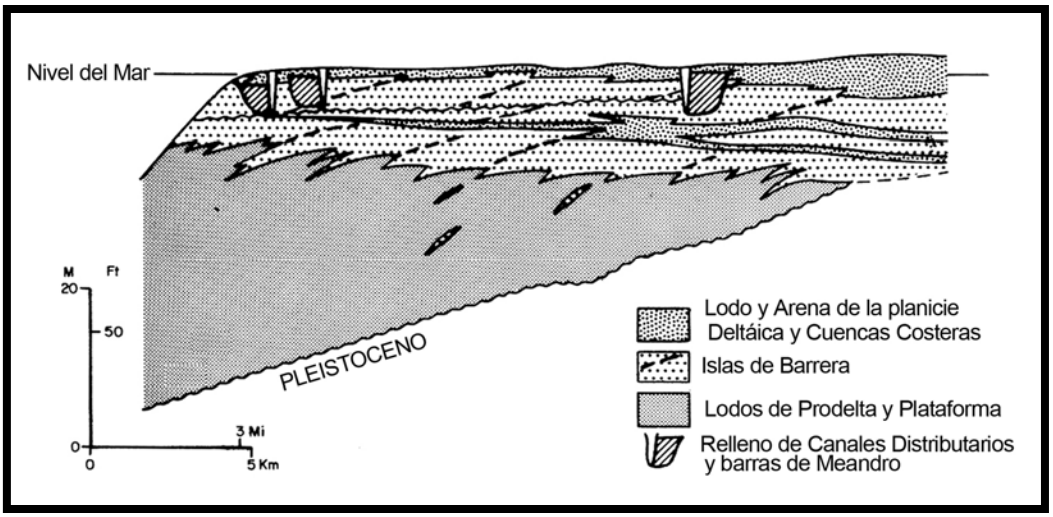



Fig. 2.14: Sección orientada según el buzamiento de la sedimentación, mostrando la distribución de facies del delta Rhode (Modificado de Galloway y Hobday, 1983).

### *2.1.5.4. 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 (Ver la figura 2.15). 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).




Fig. 2.15: Delta dominado por mareas (Tomado y modificado de University Texas, Department of geology, 2005).

*Ambientes constructivos y facies genéticas*

Las investigaciones realizadas por Coleman y Wright (1975) indican que la mayoría de los cuerpos de arena de deltas dominados por mareas son el producto de la depositación en canales distributarios estuarinos y en zonas de barras mareales. Galloway y Hobday (1983) muestran que las facies arenosas subsidiarias incluyen *abanicos de roturas* y canales de marea subsidiarios, que no se encuentran conectados directamente al canal fluvial. Según Reading (1986) los canales distributarios estuarinos que muestran este tipo de deltas se caracterizan por desembocaduras anchas en forma de embudo, y partes superiores delgadas y sinuosas (Ver la figura 2.16).

La figura 2.16 muestra el Delta Betsiboka (Madagascar), el cual está dominado por mareas, en ella se observa la formación de estuarios con desembocadura ancha (en forma de embudo) y el desarrollo de canales estuarinos. Nótese la distribución de los cuerpos generados por los canales de mareas, la tendencia de generar zonas de pantanos salobres por el abandono constante de los canales estuarinos.



Fig. 2.16: Delta Betsiboka (Madagascar). (Tomado y modificado de: http://www.buddycom.com/space/earth/enviro/ .)

En este tipo de deltas, el frente deltáico y los distributarios son definidos por la ocurrencia del aporte fluvial y su distribución por acción de las mareas, generando *islas de barrera*, que se extienden a considerables distancias costa afuera, frente a la plataforma deltáica (Reading, 1986)

Los depósitos de *relleno de canal* se encuentran compuestos de múltiples unidades sedimentarias grano-decrecientes, superimpuestas, y con distintos grados de preservación. Estas unidades se interpretan como el producto de la migración lateral de las líneas de "talweg" y de las barras presentes en la parte baja de los distributarios. Las arenas bien escogidas constituyen el grueso del *relleno de canal*, pero se presentan intervalos discontinuos de mantos, láminas y clastos de lodo y limo, generando tendencias poco regulares en los registros eléctricos, como se observa en la figura 2.17. El sedimento en suspensión queda atrapado preferentemente en los márgenes del delta, originando facies lodosas de prodelta, al contrario de los deltas dominados por aporte fluvial, u oleaje (Galloway y Hobday, 1983).

*Arquitectura de facies*

La estratigrafía de deltas de dominio de mareas, consiste esencialmente en secuencias transgresivas grano-crecientes de prodelta, subyacentes a secuencias agradacionales de planicie deltáica mareal, canales de marea y depósitos de pantanos salobres. Las facies progradacionales y los dominios superiores de las agradacionales son cortadas por *rellenos de canales* distributarios estuarinos, orientados según el buzamiento de la sedimentación. (Galloway y Hobday, 1983; Coleman y Wright, 1975).

En cuanto a los principales rasgos geométricos de este tipo de deltas, Serra (s/a), reconoce cuerpos de relativo espesor y adquieren formas elongadas en la dirección de las mareas; constituidos por arenas y diques de los cordones de corrientes de mareas. Igualmente señala que los canales de marea juegan un doble papel: las corrientes de bajamar y pleamar originan una distribución bimodal, pero la influencia de los ríos, que refuerza la acción de las mareas, tiende a generar corrientes de bajante más fuertes que las de creciente, permitiendo al sistema progradar hacia el mar.

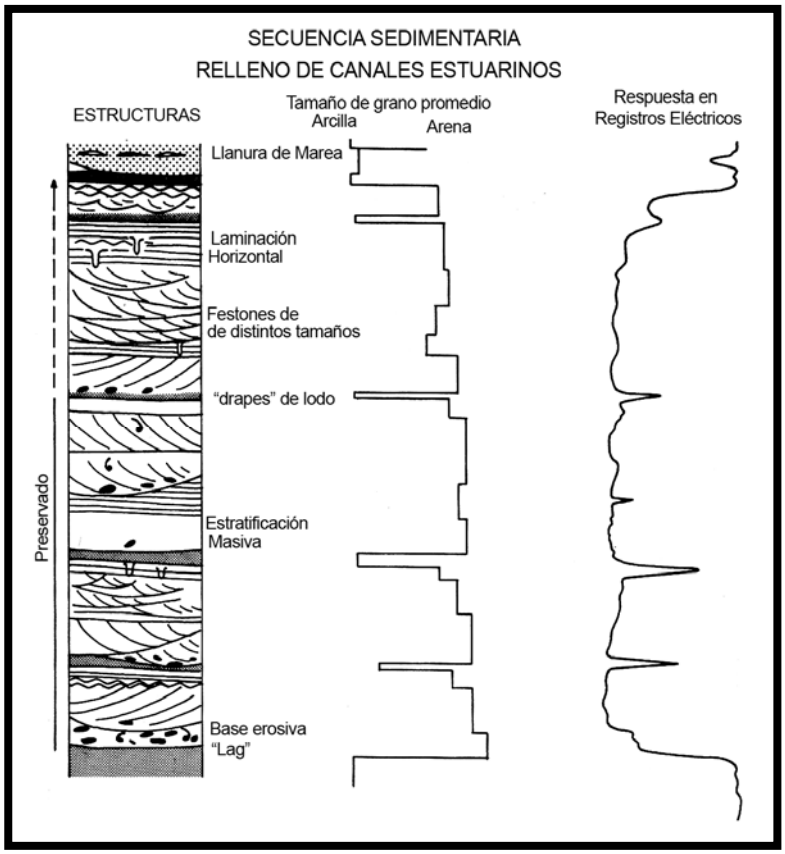



Fig. 2.17: Perfil vertical generalizado de un cuerpo de arena de rellenos de canal estuarino. (Tomado de Galloway y Hobday, 1983).

## 2.2. GEOLOGÍA REGIONAL

### *2.2.1. Generalidades*

La Cuenca Oriental de Venezuela comprende los estados Guárico, Anzoátegui y Monagas, la extensión meridional del estado Sucre y el Delta Amacuro, prolongándose mar adentro hacia la Plataforma Deltana y el sur de Trinidad (CEPET, 1989). Según Chevalier *et al* (1995) la misma representa una depresión topográfica y estructural compuesta por una secuencia sedimentaria principalmente clástica que abarca estratos mesozoicos y cenozoicos. Cubre un área de 170.000 km$^2$, limitada por el río Orinoco al sur, al oeste por el Arco El Baúl, al norte por la Serranía del Interior Central-Oriental (González de Juana *et al*., 1980) (Ver la figura 2.18).

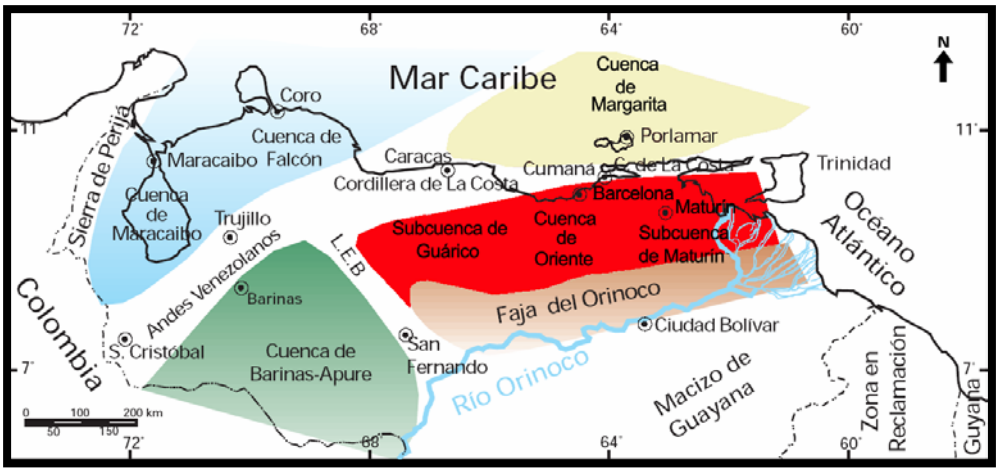



Fig. 2.18: Mapa de las principales cuencas de Venezuela, basadas en sus provincias sedimentarias. En el mismo se muestra la ubicación y extensión de la Cuenca Oriental y las dos subcuencas operacionales (Guárico y Maturín) (Tomado de Schlumberger, 1997).

Avendaño y Cáceres (2002) indican que dicha depresión es asimétrica, con su flanco sur ligeramente inclinado hacia el norte y un flanco norte que, según Reina (2002), muestra mayores evidencias de procesos tectónicos causados por su evolución dinámica, observándose, principalmente, pliegues, fallas y sobrecorrimientos. Estas diferencias estructurales permiten dividir la Cuenca Oriental en dos subcuencas: la de Guárico, asociada al flanco de deformación hacia el norte, evidenciando una gran

complejidad tectónica que ya no se observa al sur porque la estructura es más sencilla. Por otro lado, la subcuenca de Maturín constituye la principal unidad petrolífera, presenta acuñamientos de las unidades estratigráficas y deformaciones estructurales que definen dos dominios, uno al norte y otro al sur del Corrimiento de Pirital (Schlumberger, 1997) (Ver la figura 2.19).

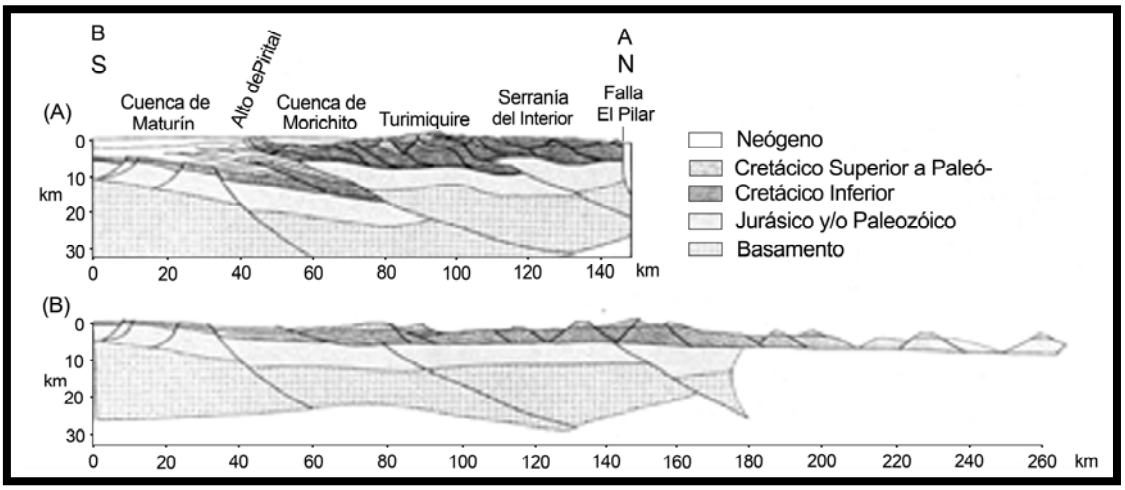



Fig. 2.19: Sección estructural de la subcuenca de Maturín desde la Serranía del interior Oriental hasta la Faja del Orinoco, nótese las diferencias entre las deformaciones que se observan al norte del alto de Pirital y al sur del mismo. Tomado de Parnaud *et al*., 1995

Reina (2002) indica que por su contenido de hidrocarburos, la Cuenca Oriental es la segunda en América del Sur, después de la Cuenca del Lago de Maracaibo. Adicionalmente, CEPET (1989) explica que las acumulaciones de hidrocarburos más importantes pertenecen a las formaciones del Terciario, centrando un mayor interés en el Oligoceno-Mioceno.

### *2.2.2. Geodinámica regional*

La evolución geodinámica de la Cuenca Oriental de Venezuela se desarrolla en cuatro episodios principales (Eva *et al*., 1989, En: Parnaud *et al*., 1995):

*Megasecuencia de Etapa "Prerift":*

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).

*Megasecuencia de Etapa "Rift":*

Se desarrolla durante el Jurásico Tardío hasta el Cretácico Temprano, se caracteriza por la generación de estructuras "horst" y "graben", creación de corteza oceánica protocaribe al norte y una discordancia regional hacia el Cratón cuya separación ocurre a lo largo de fallas transformantes (Reina, 2002). Esta secuencia está representada por la Formación La Quinta, al oeste, en el Graben de Espino, la cual fue depositada en ambientes continentales (Hedberg, 1950; Bartok, 1993 En: Parnaud, 1995). El equivalente en la zona oriental de esta secuencia está representado por la Formación Ipire, depositados en el Graben de Altamira (Moticska, 1985 En: LEV, 2004).

*Megasecuencia de "Margen Pasivo":*

Caracterizado por una plataforma continental estable, limitada al sur por el Cratón de Guayana y un océano abierto hacia el norte. La sedimentación se desarrolla con la ocurrencia de tres fases transgresivas Cretácico-Paleógeno, que inundan el continente de norte a sur. Éstas ocurren durante el Turoniense, Paleoceno Temprano-Eoceno y Oligoceno, respectivamente, y son generadas por cambios eustáticos del nivel del mar (Parnaud *et al*., 1995).

La primera fase trangresiva que se reconoce ocurre durante el Turoniense con la depositación de la Formación Barranquín, durante éste período se depositan la mayoría de las rocas madres que generaron los hidrocarburos de la Cuenca Oriental.

El fin de esta transgresión lo marca la depositación de la plataforma carbonática (Parnaud *et al*., 1995).

Durante el Paleoceo-Eoceno ocurre la siguiente transgresión importante, posterior a la regresión Maestrichtiense, representada por la Formación San Juan, la cual contiene facies regresivas de abanicos submarinos (Parnaud *et al*., 1995).

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).

*Megasecuencia de "Colisión Oblicua":*

Parnaud *et al*. (1995) explica que ésta etapa marca el final del margen pasivo durante el Oligoceno como consecuencia de la colisión de la Placa Caribe contra la Placa Suramericana generando una cuenca antepaís. La colisión migra progresivamente hacia el este desde el Oligoceno hasta el Mioceno Tardío (Erlich y Barret, 1992), dividiendo la cuenca antepaís en tres áreas principales:

- Una al sur correspondiente a la zona de plataforma (desde Cerro Negro hasta Oritupano).
- Una zona central correspondiente al "foredeep" (desde Acema-Casma a Pirital).
- Una al norte correspondiente al corrimiento (norte de la Falla de Pirital).

Como consecuencia de la colisión la forma de la cuenca cambia, generando que los sedimentos adquieran una distribución diferente, dando lugar a ambientes más continentales. En el "foredeep" se depositaron las formaciones Oficina y Freites durante el Mioceno (Orsini, 2004) y la Formación Carapita que actúa como sello de las rocas reservorio. Durante el Plioceno-Pleistoceno los depósitos del "foredeep" pertenecen a las formaciones La Pica y Las Piedras, de ambientes marinos someros (Parnaud *et al*., 1995).

La evolución tectónica y estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela desde el Mesozóico hasta el presente, se puede observar en la figura 2.20, en la cual se desarrollan perfiles geológicos NO-SE en donde es bastante notable el desarrollo y la inversión de la cuenca antepaís ("foreland"), como consecuencia de la colisión oblicua entre las placas Caribe y Suramericana

Por otra parte, la figura 2.21 muestra una sección geológica regional con dirección N-S, la cual exhibe la geometría de la cuenca y la depositación durante el Oligoceno y Mioceno Temprano. Nótese que la Formación Merecure se deposita durante el Margen Pasivo, el cual culmina con el levantamiento de la Serranía del Interior Oriental; es en ésta fase de la Colisión Oblicua cuando comienza a depositarse, hacia el sur, la Formación Oficina

La migración hacia el este del "foredeep" permite que el cinturón de deformación que se está desarrollando al norte de Venezuela sea diacrónico (Parnaud *et al*., 1995). Como consecuencia de éste movimiento se desarrollan sucesivos eventos orogénicos que van marcando diversas discordancias en la sedimentación, dividiendo varias formaciones (Ghinaglia, 2004) que, según Parnaud *et al*. (1995) se desarrollaron en ambientes batiales (excepto Morichito):

- La Formación Naricual del Mioceno inferior, indica el inicio del levantamiento de la Serranía del Interior.
- El Miembro Chapapotal tiene la misma edad relativa del Corrimiento de Pirital (Mioceno medio).
- La Formación Morichito corresponde a los depósitos continentales de la cuenca "Piggy-back" del Corrimiento de Pirital.
- Depósitos turbidíticos de la Formación Carapita inferior

Según Ghinaglia (2004), los eventos tectono-estratigráficos ocurridos durante la migración de la cuenca "foreland", producen efectos en la sedimentación y el sistema petrolero, generando estructuras complejas, tal y como se muestra en la tabla 2.3

Tabla 2.3: Resumen de los eventos tectónicos y estratigráficos al SE del Caribe y Sur América (Tomado y modificado de Ghinaglia, 2004)

| Fase | Evento | Edad | Efectos | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Sedimentación | Estructura | Hidrocarburos |
| IV | Colisión del arco de Panamá | Mioceno tardío al presente | Discontinuidades del Mioceno tardío al NO de Sur América | Levantamiento de las cordilleras Colombianas, Andes de Mérida y Serranía del Interior Oriental de Venezuela | |
| | | | Cambios en la sedimentación (de marina a continental) al NO de Sur América | Fuerte plegamiento y fallamiento en cuencas marginales | Formación de trampas estructurales |
| | | | Sedimentación marina rápida en las área de costa afuera | | Migración de hidrocarburos |
| III | Movimiento de las fallas rumbo deslizantes | Oligoceno al presente | Rápida sedimentación marina en cuencas "Pull-apart" cuando son activas por un corto período de tiempo | Los procesos de levantamiento y subsidencia son rápidos, el tiempo es variable. Las cuencas tienen un gradiente termal variante | Depositación de rocas fuentes, reservorios y sello. Generación de petróleo en algunas áreas |
| | | | | Plegamiento con rumbo NE-SE, Serranía del Interior Oriental de Venezuela | Formación de trampas estructurales |
| II | Desarrollo del arco de islas y colisión | Cretácico al Eoceno temprano | Flysch paleógeno y olistolitos. Sedimentos volcaniclásticos en las asociaciones de rocas alóctonas | Emplazamiento en la dirección SE de sistemas de corrimiento | |
| | | | Sedimentos de plataforma en las asociaciones de rocas autóctonas | | Depositación de rocas fuentes, reservorios y sellos |
| I | Expansión continental | Jurásico temprano a tardío | Depositación de capas rojas y delgados espesores de evaporitas en algunas localidades | Formación de grabenes. Las cuencas experimentan un alto gradiente termal | Potencial limitado de reservorios, se encuentran donde se preserven los sedimentos lacustres |

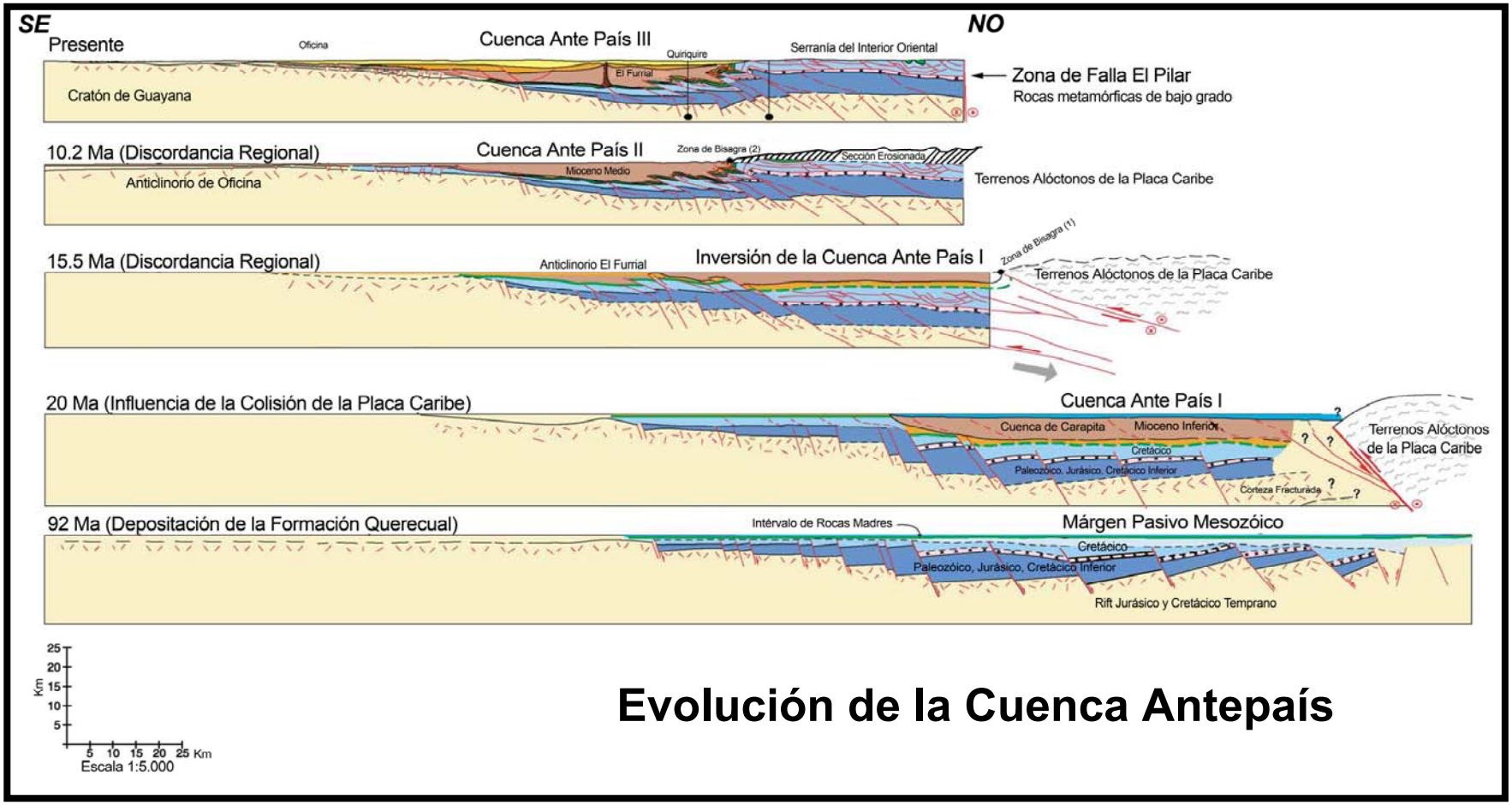



Fig. 2.20: Perfiles Geológicos con dirección NO-SE que muestran la evolución tectónica y estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela desde el Mesozóico hasta el presente (Tomado y modificado de Summa *et al*., 2003).

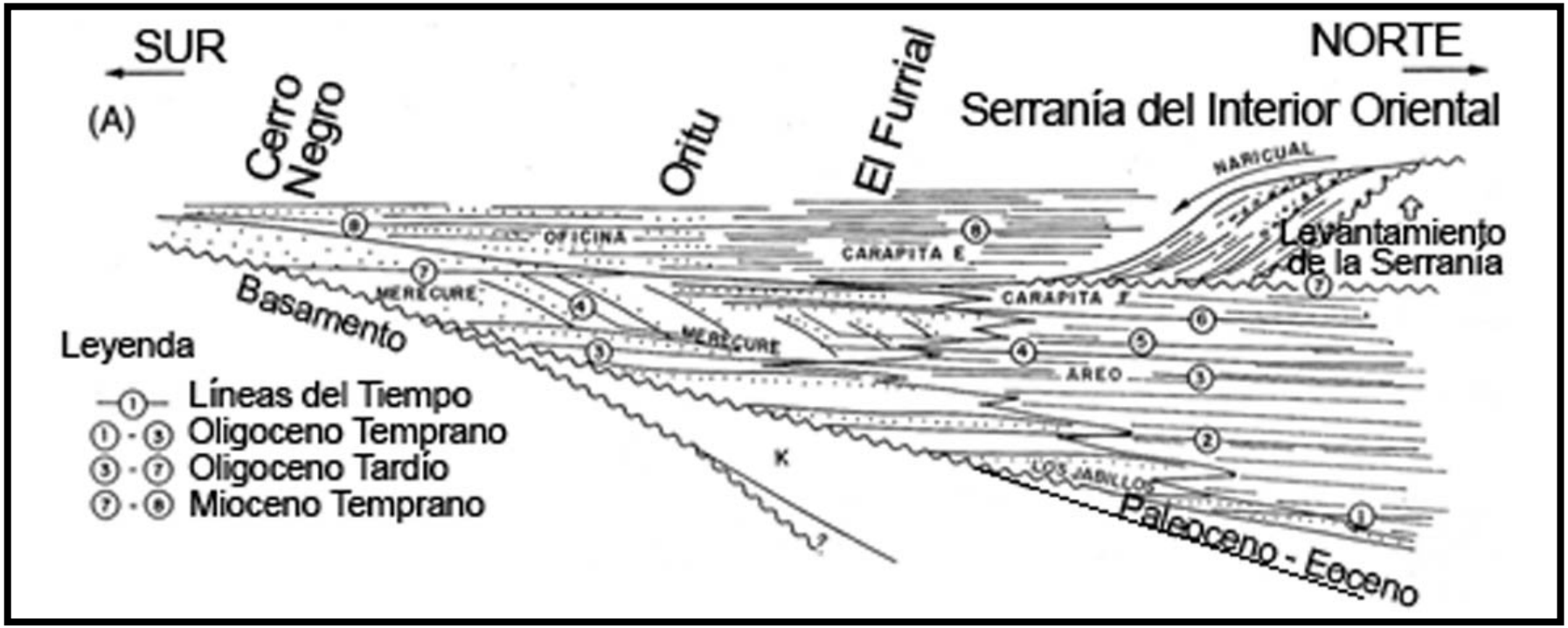



Fig. 2.21: Sección Geológica Regional con dirección N-S que muestra la geometría de la cuenca y la depositación durante el Oligoceno y Mioceno (Tomado de Parnaud *et al*., 1995)

### *2.2.3. Marco estratigráfico regional*

La columna estratigráfica regional se extiende desde el Basamento Ígneo Metamórfico del complejo basal de Guayana (de edad Precámbrico) hasta el Pleistoceno con la depositación de la Formación Mesa (PetroUCV, 2005).

La figura 2.22 muestra la columna estratigráfica regional de la Cuenca Oriental, en ella se pueden observar los equivalentes laterales para cada Formación, el período tectónico en el que se depositan las unidades sedimentarias, la edad y el nivel relativo del mar.

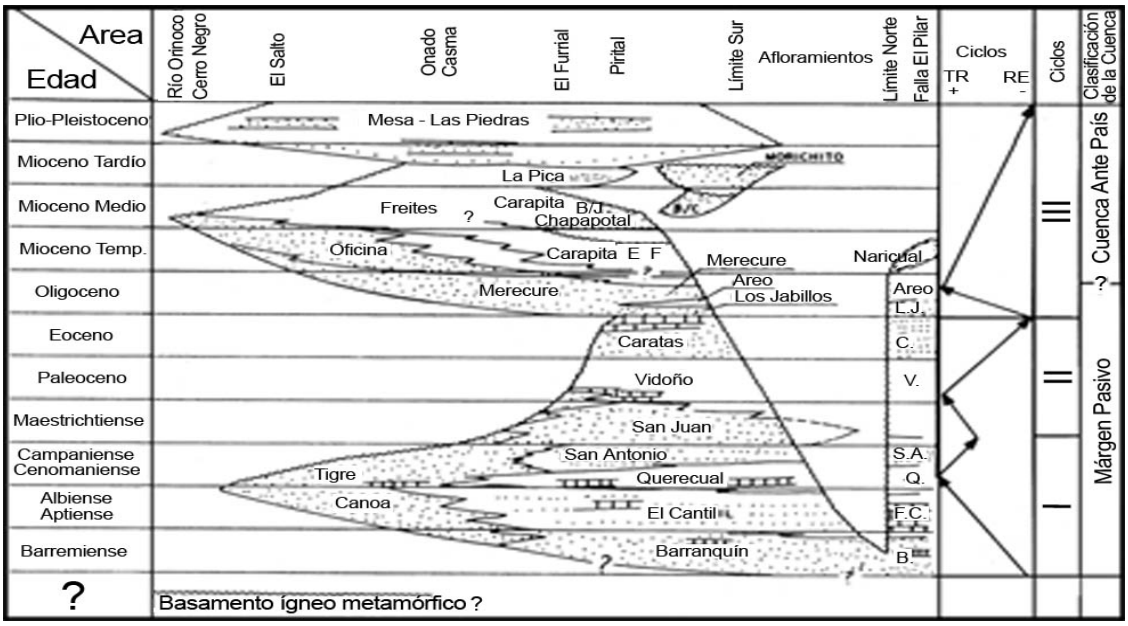



Fig. 2.22: Columna estratigráfica regional de la Cuenca Oriental (Tomado y modificado de Parnaud *et al*., 1995

Para efectos de este trabajo se deben tomar con mayor relevancia los eventos sedimentarios que permitieron la depositación de las formaciones Merecure y Oficina entre el Oligoceno-Mioceno. Schlumberger (1997) indica que ambas formaciones son de gran importancia como yacimientos de hidrocarburos y representan ambientes transicionales del tipo deltáico a marino somero, donde la Formación Merecure es principalmente arenosa del tipo fluvial y Oficina representa un sistema principalmente deltáico, lo cual se encuentra representado en la figura 2.23.

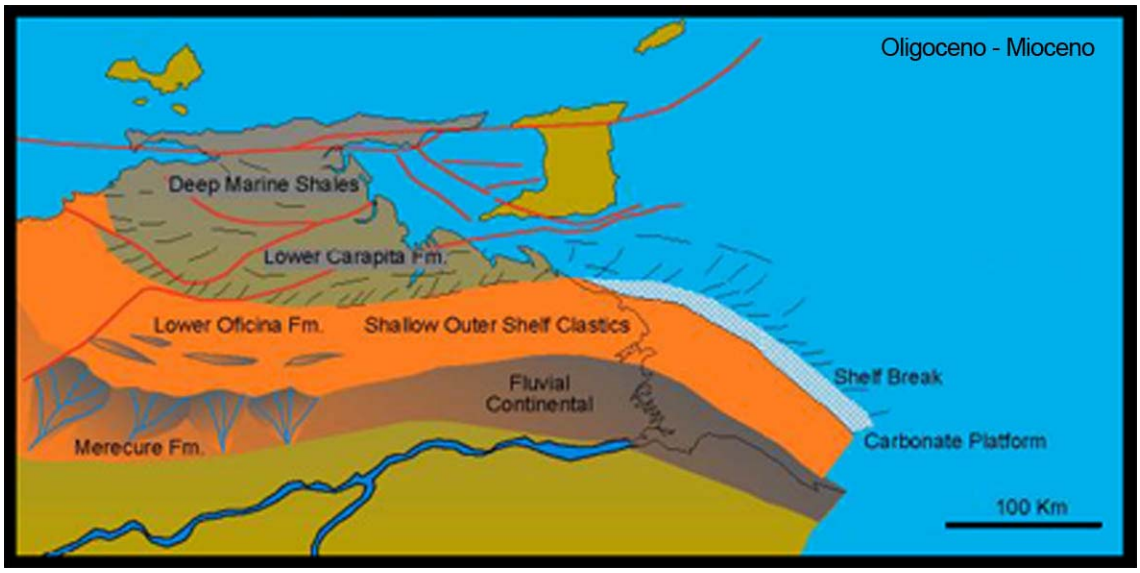



Fig. 2.23: Configuración de la Cuenca Oriental durante el Oligoceno-Mioceno. Detállese la distribución de facies de las formaciones Merecure y Oficina (Tomado de Di Croce, 1995)

A continuación se realiza una descripción estratigráfica detallada de la secuencia sedimentaria perteneciente a la Subcuenca de Maturín, en la misma se hace mayor énfasis en las formaciones Merecure y Oficina, las cuales son de gran interés debido a su gran potencial productor de hidrocarburos.

### Basamento (Precámbrico)

En Soto *et al.* (2003) se describe como un complejo de rocas ígneas y metamórficas intensamente deformadas y erosionadas.

### Formación Hato Viejo (Cámbrico)

Descrita en el Pozo Hato Viejo (a unos 50 km al sur de Pariaguán, en el distrito Monagas), son esencialmente areniscas de grano fino a grueso, colores gris-rosado a gris oscuro, duras, macizas y friables; los granos son redondeados y muy bien cementados (Hedberg, 1947; citado en Soto *et al*., 2003).

Las características de la unidad indican que el ambiente de sedimentación es continental, y sus sedimentos son de relleno de cuenca (facies fluvial y/o piedemonte)

de una fase erosiva, contemporánea o subsiguiente a un período de intensa actividad tectónica (LEV, 2004)

Formación Carrizal (Cámbrico Temprano)

Son espesas secuencias de arcilitas verdosas a gris oscuro, duras, compactas, masivas y densas, posee algunas capas de limolita y areniscas. La unidad se presenta intensamente bioturbada. La misma fue descrita en el Pozo Carrizal 1, situado en el distrito Monagas (Hedberg, 1947; citado en Soto *et al*., 2003). Esta formación fue depositada en condiciones de ambiente marino (nerítico), en aguas someras y condiciones de corriente típicas de llanuras de marea, lo cual se evidencia en las estructuras sedimentarias (LEV, 2004)

Formación Canoa (Aptiense – Albiense)

Descrita en el Pozo Tigre-1, como una intercalación de conglomerados de grano fino, areniscas, limolitas blanquecinas y arcilitas gris azulada que presentan manchas grises a gris verdoso, amarillo y marrón con restos de plantas (Hedberg, 1947; citado en Soto *et al*., 2003). 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 (Cenomaniense – Campaniense)

En el Pozo Tigre-1, la formación es una secuencia variable de areniscas y limolitas que se encuentran irregularmente estratificadas, son de grano fino, glauconíticas, gris a gris verdoso; con areniscas gruesas friables y espesas, limolitas gris a gris verdoso y lutitas carbonosas y fosfáticas. También se observan capas blanquecinas y delgadas de calizas dolomíticas y dolomías que se presentan glauconíticas y frecuentemente fosilíferas (Hedberg, 1947; citado en Soto *et al*., 2003). La fauna encontrada en esta unidad indica un ambiente de plataforma que varía hacia arriba desde plataforma exterior a talud (LEV, 2004).

### Formación Merecure (Oligoceno – Mioceno Temprano)

Esta unidad fue descrita en el Campo Santa Ana en la región de Anaco 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).

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, explica Reina (2002), 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.

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 (LEV, 2004).

Esta formación junto con Oficina son las de mayor importancia económica en la zona, debido a su alto potencial en la producción de hidrocarburos (Menevén, 1985).

### Formación Oficina (Mioceno Temprano – Medio)

Hedberg (1947) describe esta unidad en el Pozo Oficina Nº 1 (OG-1) en el distrito Freites, la misma se caracteriza por una alternancia de lutitas gris a gris oscuro y gris marrón que se encuentran intercaladas e interestratificadas con areniscas y limolitas de color claro de grano fino a grueso. Esta misma unidad presenta capas de lignito y lutitas ligníticas, arcilitas verde y gris claro, esférulas de siderita, areniscas siderítico-glauconíticas y calizas delgadas con estructuras cono en cono,

estas últimas características litológicas se presentan como componentes menores de la formación, sin embargo, su ocurrencia es muy importante.

Según Funkhouser *et al* (1948), la Formación Oficina se encuentra concordante sobre la Formación Merecure, sin embargo, Hedberg (1947) aclara que la misma está discordante sobre unidades cretácicas. El contacto superior de Oficina está definido como concordante con la Formación Freites y la Formación Quimare, pero es discordante con la Formación Las Piedras (LEV, 2004). Lateralmente la Formación Oficina pasa a la Formación Carapita y a la parte media-superior de la Formación Chaguaramas (González de Juana *et al*., 1980).

Para Hedberg (1947) las evidencias litológicas y el contenido faunal de la unidad indican que la sedimentación se inicia en condiciones de aguas dulces a salobres que se van transformando en alternancias de ambientes marinos someros, salobres y pantanosos. González de Juana *et al.* (1980) y Méndez (1985) aclaran que la presencia de arenas lenticulares y de *relleno de canales* de ríos puede estar indicando la presencia de un gran complejo fluvio-deltáico. En General, las condiciones de sedimentación de la Formación Oficina se hacen más marinas de oeste a este y de sur a norte (Hedberg, 1947), mostrando ciclos caracterizados por transgresiones marinas asociadas a períodos de caídas del nivel del mar y progradaciones de la plataforma (Campos *et al.*, 1985; citado en LEV, 2004)

Menevén (1985) asegura que las arenas de esta formación son consideradas como las principales rocas reservorio de la Cuenca Oriental debido a su cuantiosa producción petrolífera.

### Formación Freites (Mioceno Medio – Tardío)

Está descrita en los pozos del campo Oficina en el distrito Freites, la misma consiste en lutitas físiles 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)

### Formación Las Piedras (Mioceno Tardío – Plioceno)

La sección tipo se encuentra en el Pozo Las Piedras Nº 1. Presenta areniscas gris claro a gris verdoso, micáceas, friables y de grano fino; éstas se encuentran interlaminadas con lutitas gris-verdoso, arcilitas sideríticas grises y lignitos (González de Juana *et al.*, 1980). Esta unidad se desarrolla en condiciones de aguas dulces a salobres, posiblemente en ambientes deltáicos a marino somero (Hedberg, 1947).

### Formación Mesa (Plioceno – Pleistoceno)

Esta unidad consiste en arenas de grano grueso y gravas muy duras con cemento ferruginoso. Los conglomerados son rojos a negros, las arenas blanco-amarillenta, rojo y púrpura que presentan estratificación cruzada y lentes discontinuos de arcilla y limo (González de Juana *et al.*, 1980). La sedimentación de la Formación Mesa es del tipo fluvio-deltáica y paludal con desarrollo de abanicos aluviales y la existencia de ciénagas, incluso los depósitos de esta unidad pueden ser del tipo torrenciales y aluviales. El contacto con la Formación Las Piedras es concordante y transicional (González de Juana *et al.*, 1980).

En la figura 2.24 se observa el corte geológico N-S de la subcuenca de Maturín, éste muestra la configuración estructural y estratigráfica de la misma. En él se puede observar la complejidad tectónica hacia el norte, con presencia de corrimientos y múltiples fallas. Adicionalmente se aprecia la sedimentación que descansa sobre el basamento precámbrico hasta las formaciones pertenecientes al terciario

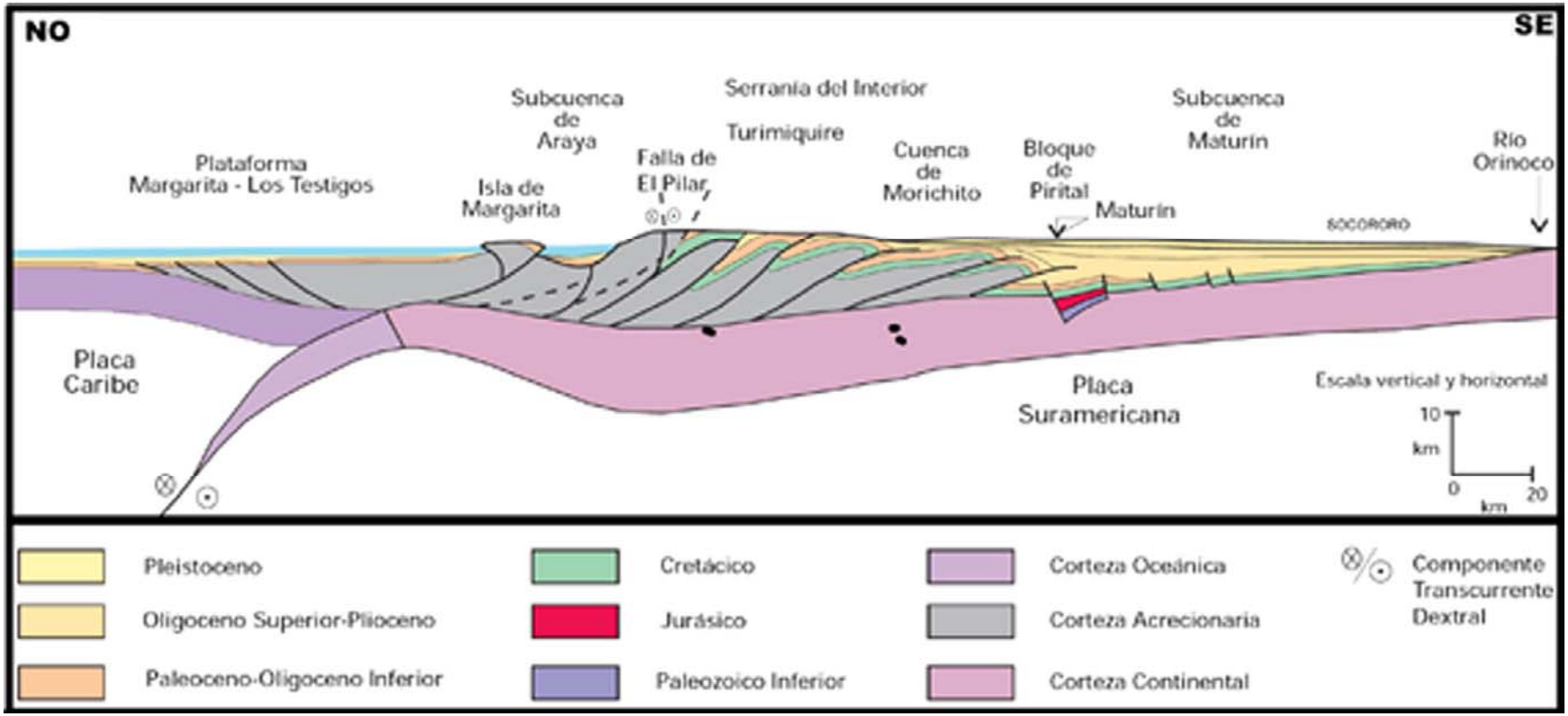



Fig. 2.24: Corte geológico N-S de la subcuenca de Maturín (Tomado y modificado de Schlumberger, 1997)

### *2.2.4. Marco estructural regional y local*

CEPET (1989) indica que los rasgos estructurales mayores que se encuentran en la Cuenca Oriental son: el Corrimiento Frontal de Guárico, en el cual existe un contacto tectónico entre formaciones cretácicas metamorfizadas y paleocenas sobre formaciones Oligo-Miocenas; el Corrimiento de Anaco, caracterizado por la serie de domos con acumulaciones de hidrocarburos y el Sistema de Corrimientos al sur de la Serranía del Interior Oriental, en donde se encuentra el Corrimiento de Pirital. Éste último es el que divide la subcuenca de Maturín en dos dominios importantes, el del norte, con una gran complejidad tectónica (Serranía del Interior Oriental) y hacia el sur una zona tectónicamente menos compleja, dominada por fallas normales, la cual es muy importante por su contenido en hidrocarburos y donde se encuentran la mayoría de los campos petroleros, incluyendo el Área Mayor de Oficina (Ver la figura 2.25).

Según PetroUCV (2005) el Área Mayor de Socororo es interpretada como un monoclinal fallado con rumbo NO-SE y buzamiento regional entre dos a tres grados hacia el norte. Morales (2002) indica que dentro del área se observa un sistema de fallas normales aproximadamente paralelas al rumbo regional, las mismas son consecuencia de un régimen de esfuerzos distensivos; dentro de este mismo sistema se encuentra la Falla de Cachicamo, la cual, por la magnitud de su salto (120'-180') es la estructura principal del campo, al combinarse la estructura principal con fallas de ajuste secundarias generan barreras efectivas para el entrampamiento de hidrocarburos. Morales (2002) y PetroUCV (2005) describen otro sistema de fallas presente en el área que tiende a ser perpendicular al otro, por lo tanto posee una dirección NO-SE y es el responsable de la mayor parte de las acumulaciones de hidrocarburos en los campos Socororo y Caricari. Sin embargo, en éste sistema las fallas son de menor magnitud, mostrando saltos que se encuentran en el rango entre 20'-100' (Ver las figuras 2.26 y 2.27).

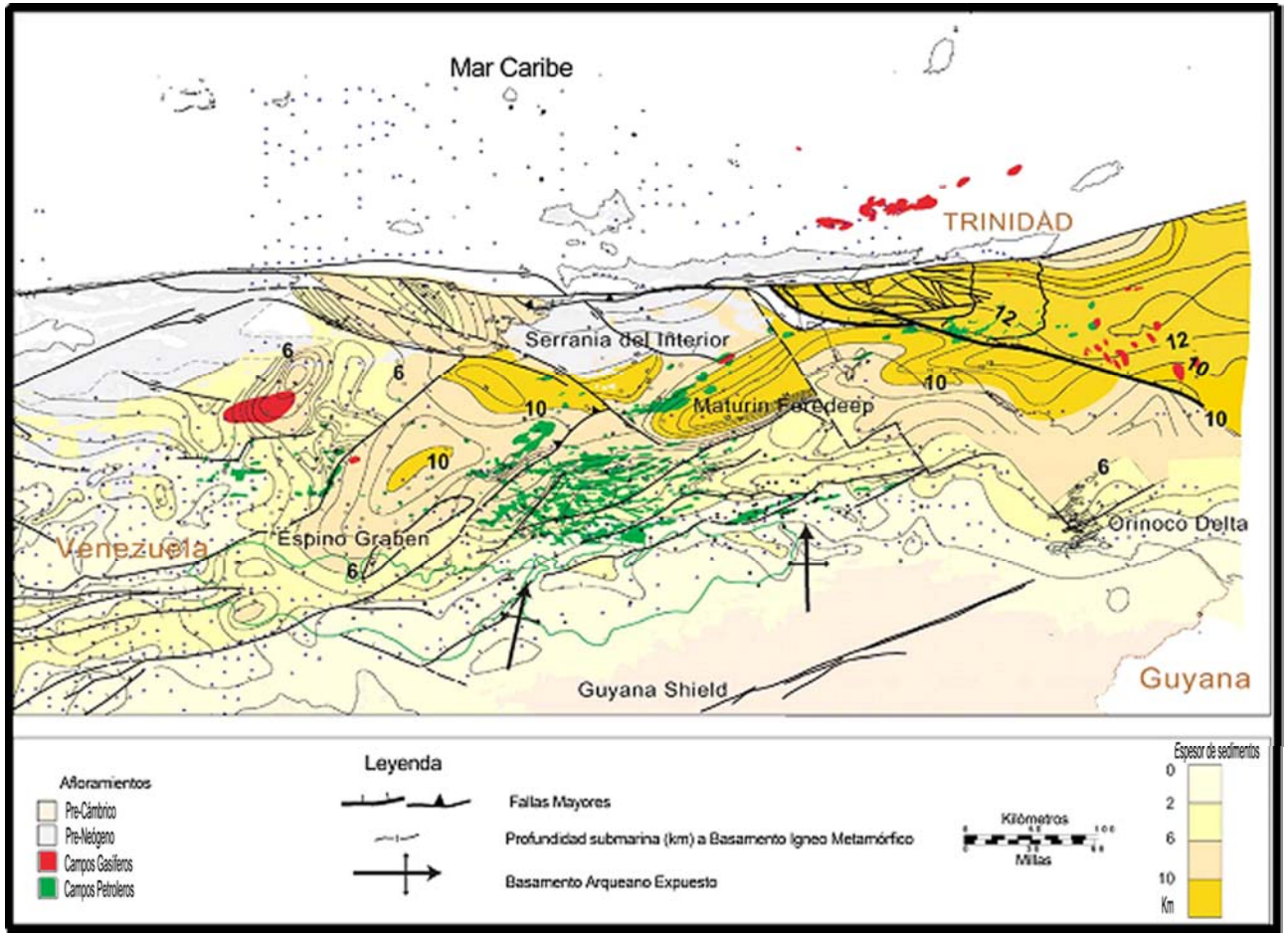



Fig. 2.25: Configuración estructural de la Cuenca Oriental de Venezuela y distribución de los sedimentos. Nótese la geometría general de los cuerpos de arena dentro del "foredeep" de Maturín (Tomado y modificado de Summa *et al*., 2003).

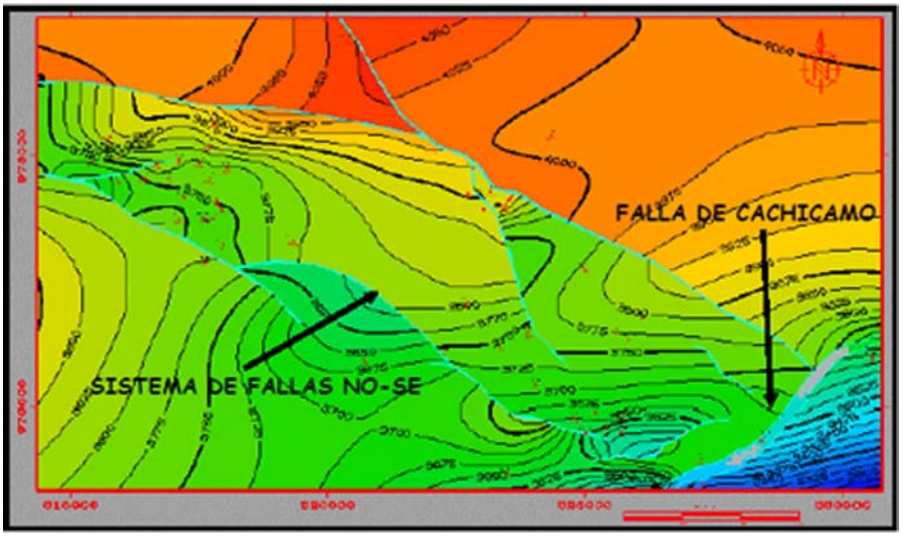



Fig. 2.26: Mapa estructural del tope de la arena U2U (Tomado de Morales, 2002)

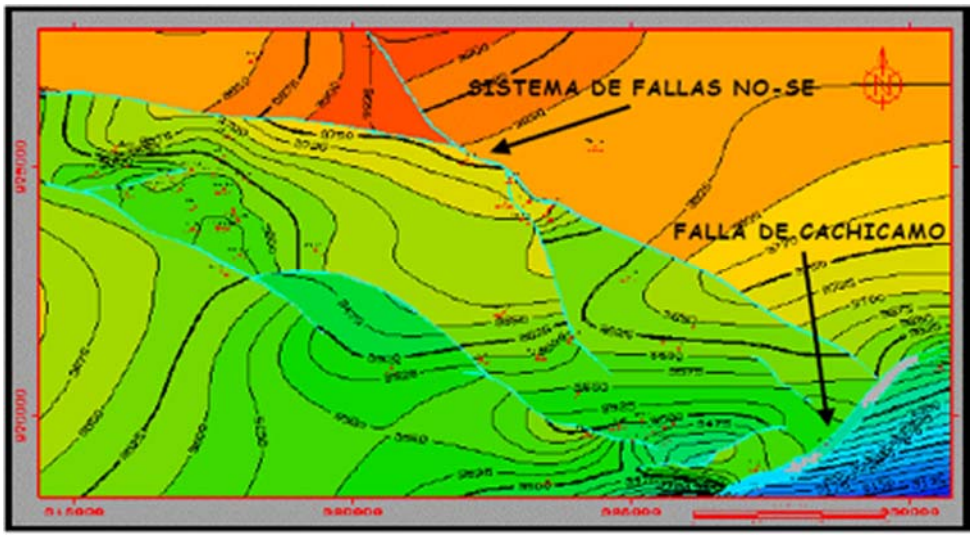



Fig. 2.27: Mapa estructural del tope de la arena TU (Tomado de Morales, 2002)

Las figuras 2.26 y 2.27 muestran los mapas estructurales al tope de dos arenas de interés productor, los cuales se obtuvieron por la integración de datos sísmicos 2D y 3D. En ellas se observan los dos sistemas de fallas principales descritos, donde las fallas de rumbo NO-SE y buzamiento sur poseen continuidad en todo el campo; igualmente se puede ver como se mantiene el monoclinal plegado de rumbo NO-SE buzando hacia el NE

Particularmente, en el Campo Socororo Oeste se observa la misma estructura monoclinal con un rumbo aproximadamente E-O; hacia el sur del campo se interpretó una falla con dirección NO-SE, buzamiento al sur y un salto de 80', la cual es representativa de la tendencia del sistema general de fallas del Área Mayor de Socororo. También se reconoce una falla menor, posiblemente de ajuste, con dirección NO-SE, buzamiento al sur y aproximadamente 50' de salto (PetroUCV, 2005)

# *CAPÍTULO III:*
# ESTRATIGRAFÍA LOCAL

- *Generalidades*
- *Descripción de facies*
- *Descripción por cada unidad*
- *Evolución estratigráfica*

*CAPÍTULO III*

## 3.1 ESTRATIGRAFÍA LOCAL

### *3.1.1 Generalidades*

La secuencia U ha sido subdividida en varias unidades operacionales, denominadas U1 (U, M, L), U2 (U, M, L), U3 y U4 (U, M, L). La columna estratigráfica está caracterizada, de base a tope, por secuencias de areniscas que van disminuyendo de espesor, intercalaciones de cuerpos lutíticos con lentes de areniscas e intervalos de lutitas cuyo comportamiento en las curvas de potencial espontáneo y de rayos gamma es bastante uniforme. Por otra parte, en la zona media de la formación Oficina las unidades J1 y H4, 5, 6 muestran cuerpos de depósitos de sedimentos arenosos con espesor considerable (hasta de 60 pies), limitados por lutitas espesas (pueden alcanzar los 35 pies de espesor), algunas con presencia de lignitos. En la figura 3.1 se observa el registro tipo del Campo Socororo Oeste, en donde se puede apreciar el ciclo sedimentario de la unidad U y el comportamiento de las unidades J1 y H4, 5, 6; adicionalmente se distinguen las relaciones verticales existentes entre las secuencias sedimentarias que conforman la columna estratigráfica del campo.

Para obtener la columna representativa del Campo Socororo Oeste descrita, se realizaron 12 secciones estratigráficas distribuidas en la zona (ver la figura 3.2). En ellas se desarrolló la correlación para verificar las relaciones laterales entre los pozos del campo, obteniendo así las relaciones de facies y, como consecuencia, los eventos depositacionales que dieron origen a las secciones de las formaciones Merecure y Oficina (ver la figura 3.3).

La base de la secuencia U está definida por una superficie de inundación representada por una lutita de espesor variable entre 6 pies (en el pozo Es-423) y 13 pies (pozo Es-428). La misma posee valores de resistividad promedio de 5 ohm.m, y una densidad promedio de 2,4 g/cm$^3$. En el tope de la lutita se aprecia la presencia de una capa de lignito de poco espesor (aproximadamente 1 pie), con cierta continuidad lateral, definiendo el final del evento de inundación (ver la figura 3.3).

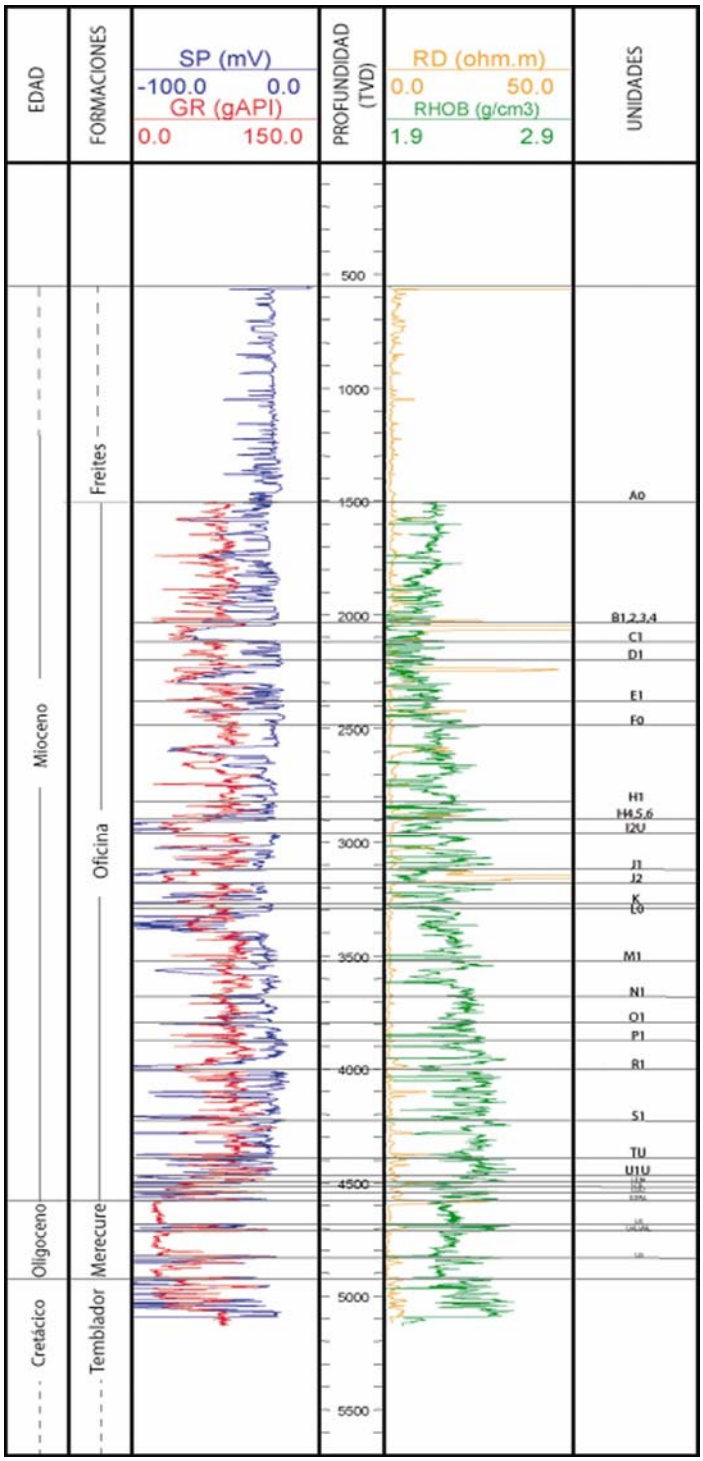
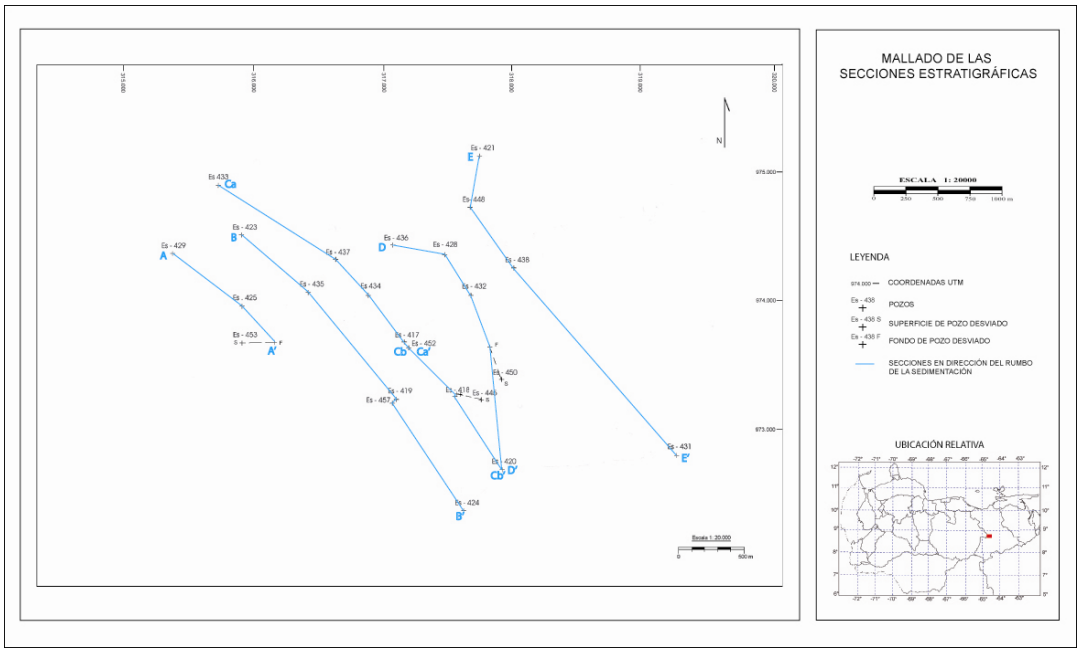



Fig. 3.1: Registro tipo del campo Socororo Oeste (Pozo Es-428). En él se muestra las edades y formaciones de la columna sedimentaria perforada, además de las divisiones estratigráficas y operacionales del campo.

(A)




(B)

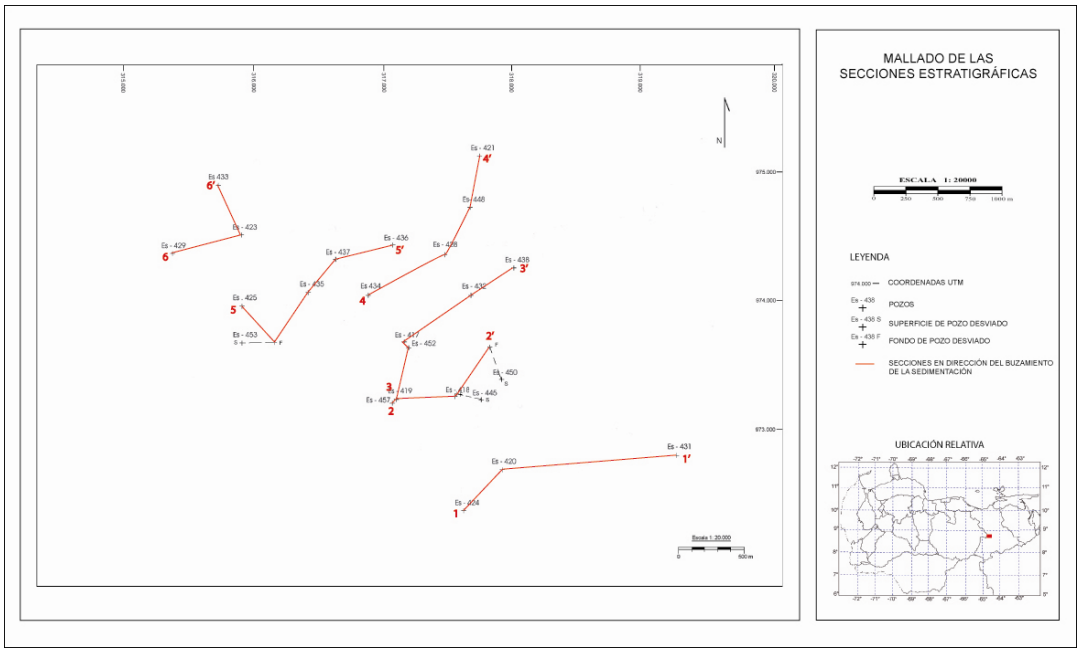



Fig. 3.2: Mapas de correlaciones del campo Socororo Oeste. En ellos puede observarse las 24 secciones realizadas, en dos direcciones preferenciales: 12 en dirección del rumbo (A) y 12 en dirección del buzamiento de la sedimentación (B). Nótese que todos los pozos del campo pertenecen, al menos, a cada una de las secciones en ambas direcciones

El tope del ciclo está definido por una lutita cuyo espesor varía entre 8 pies (en el pozo Es – 457, al sur del campo) y 14 pies (al noroeste del campo, en el pozo Es – 433). Este cuerpo se caracteriza por poseer valores de resistividad muy bajos, poco mayores a 0 ohm.m y una densidad promedio próxima a 2,4 g/cm$^3$. Debido a que esta lutita mantiene constantes sus características físicas a lo largo del campo, se define como una superficie de inundación (ver la figura 3.3).

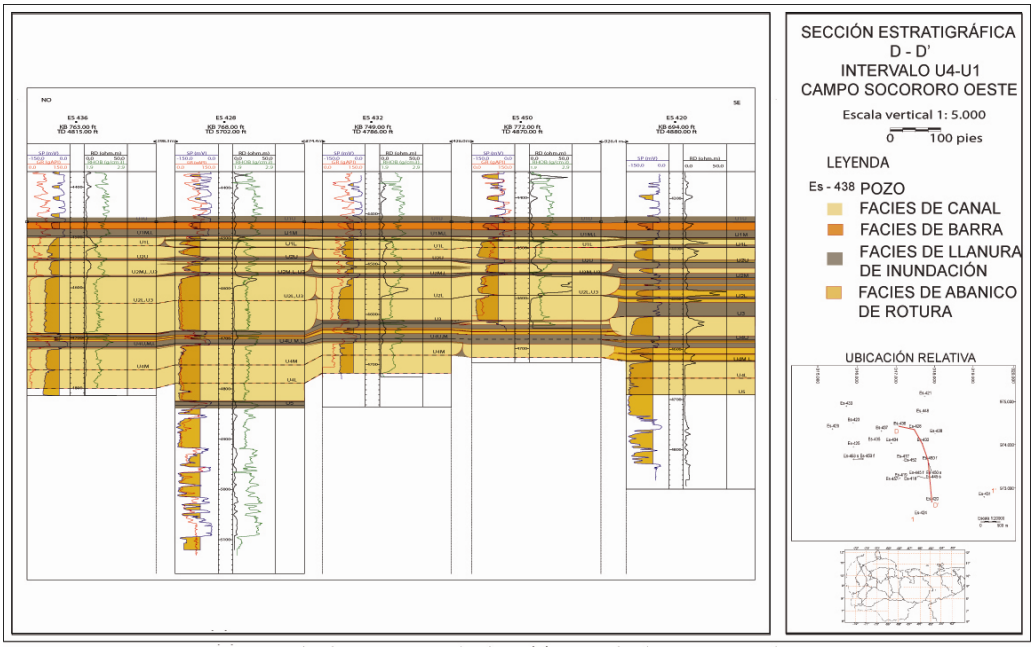



Fig. 3.3: Sección Estratigráfica D-D', realizada en dirección del rumbo de la sedimentación. Muestra las relaciones laterales y verticales del ciclo sedimentario completo, desde la base (U5), hasta el tope (U1U).

Por otra parte, la unidad J1 posee espesores importantes de depósitos de sedimentos arenosos de comportamiento cilíndrico y está limitada por lutitas que pueden llegar a tener 35 pies de espesor y capas de carbón. En cambio, la unidad de producción H4, 5, 6 posee espesores de unos 20 pies de arenas depositadas, que son producto del apilamiento vertical como consecuencia de la coalescencia de éstas; al igual que J1 se encuentra limitada por lutitas que pueden tener capas de carbón (ver la figura 3.4).

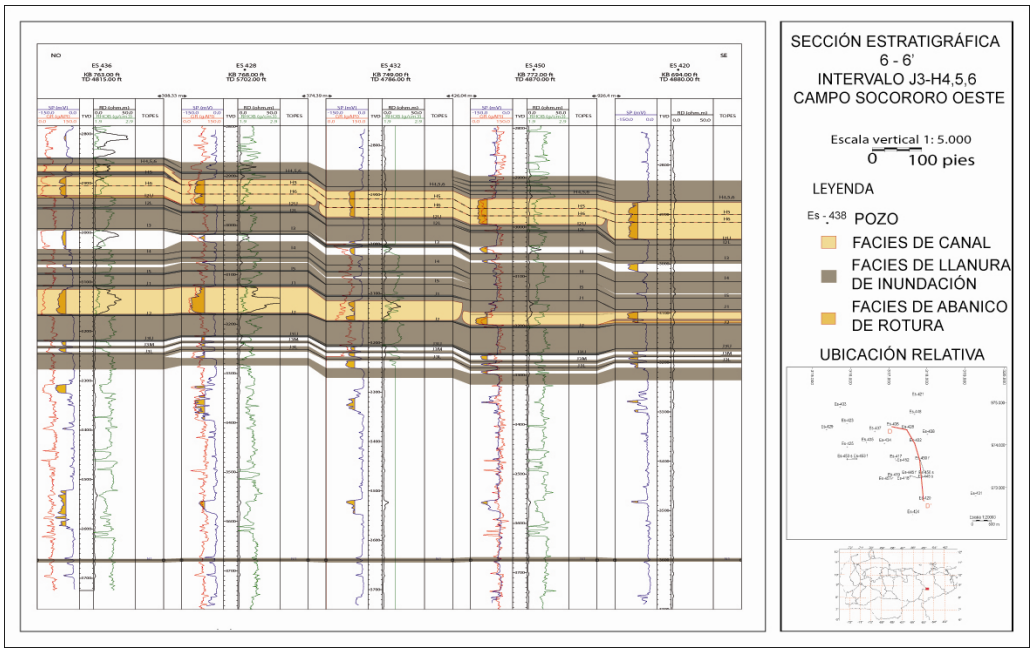



Fig. 3.4: Sección Estratigráfica D-D', realizada en dirección del rumbo de la sedimentación. Muestra las relaciones laterales y verticales del ciclo sedimentario de las unidades J1 y H4,5,6.

### *3.1.2 Descripción de facies*

A continuación se describen las facies encontradas en los registros del Campo Socororo Oeste, que fueron definidas según el comportamiento de las curvas de Potencial Espontáneo y Rayos Gamma. La tabla 3.1 muestra la tendencia, la facies, la litología asociada, las observaciones generales y la representación gráfica del registro para cada una de las curvas.

Tabla 3.1: Patrones de las curvas de Potencial Espontáneo y Rayos Gamma para clasificar las facies encontradas en los registros del campo Socororo Oeste correspondientes a la secuencia U y las unidades J1 y H4,5,6

| Litología | Tipo de Facies | Tendencia | Potencial Espontáneo (mV) | | | Rayos Gamma (gAPI) | | | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | -150 | 0 | Evaluación | 0 | 150 | Evaluación | |
| Arena ↑ Arcilla | Canal | Cilíndrica |  | | Muy bajo |  | | Muy bajo | Arenas muy limpias, por lo general se presentan como cuerpos homogéneos y con gran espesor que poseen contactos abruptos en la base y el tope de la secuencia. |
| | | Campana |  | | Bajo |  | | Bajo a int. | Secuencias arenosas que se vuelven grano decrecientes hacia el tope, mostrando cuerpos más heterogéneos. El contacto de la base es abrupto. |
| | Barra | Embudo |  | | Bajo |  | | Bajo | Secuencias arenosas con contacto abrupto en el tope, como consecuencia de su tendencia grano creciente. La distinción entre ambos tipos de facies se basa en la evaluación de las facies circundantes. |
| | Abanico de Rotura | | | | | | | | |
| | Llanura de Inundación | Irregular |  | | Int. a alto |  | | Alta a muy alta | Secuencias con intercalación de pequeños espesores de arenas entre cuerpos más importantes de sedimentos finos. Pueden reconocerse capas de carbón que se evalúan por lecturas altas, en potencial espontáneo y resistividad, y bajas en rayos gamma y densidad. La distinción entre ambos tipos de facies se basa en la evaluación de las facies circundantes |

### *3.1.3 Descripción de cada unidad*

#### *3.1.3.1 Unidad U4*

La base de esta unidad está representada por una lutita de espesor variable entre 6 pies (en el pozo Es-423) y 13 pies (pozo Es-428). Presenta valores de resistividad promedio de 5 ohm.m, y una densidad promedio cercana a 2,4 g/cm$^3$. Se aprecia la presencia de una capa de lignito de poco espesor (aproximadamente 1 pie), con cierta continuidad lateral, lo que indica la presencia de una superficie de inundación.

El tope de esta unidad se encuentra representado por una lutita de espesor variable entre 8 (en el pozo Es-421) y 15 pies (en el Es-417), con valores de resistividad menores a 5 ohm.m., y densidad promedio 2,4 g/cm$^3$. Ésta presenta variaciones laterales, principalmente de espesor, pero se reconoce en todos los pozos del campo que alcanzan esta unidad.

La unidad completa está representada por una secuencia espesa que varía entre 94 pies (Es-431) y 123 pies (Es-428), en la que se reconocen dos tipos principales de facies (relleno de canal y depósitos de llanura de inundación). Éstas son el resultado de la superposición de eventos diferentes, consecuencia de la acción erosiva característica de la sedimentación en sistemas de canales entrelazados, generando tres sub-unidades principales: U4L, U4M y U4U.

##### *Sub-unidad U4L*

- Descripción

La base de esta sub-unidad coincide con la de la unidad U4. En el pozo Es-433 se observa la presencia de dos capas de lignito, menores a 1 pie, a los cuales no se les puede evaluar su continuidad lateral, posiblemente por que han sido borradas por efecto de la erosión.

El tope de esta sub-unidad corresponde a una lutita de espesor muy variable, entre 3 pies (pozo Es-418) hasta 11 pies (pozo Es-417). Se reconoce en pocos pozos del campo (en los pozos Es-417, Es-418 y Es-419 en la zona central del campo, en los pozos Es-421 y Es-433 al norte, y en el pozo Es-431 al sureste), debido a la acción erosiva previa a la depositación de la sub-unidad superior, originando la coalescencia

entre éstas. Posee una resistividad promedio de 6 ohm.m y valores de densidad cercanos a 2,5 g/cm$^3$.

Las figuras 3.5 y 3.6 (ver anexos 1 y 9) muestran la secuencia de la sub-unidad, mostrando la base y el tope de la misma, las zonas de coalescencia y las variaciones laterales entre las facies.

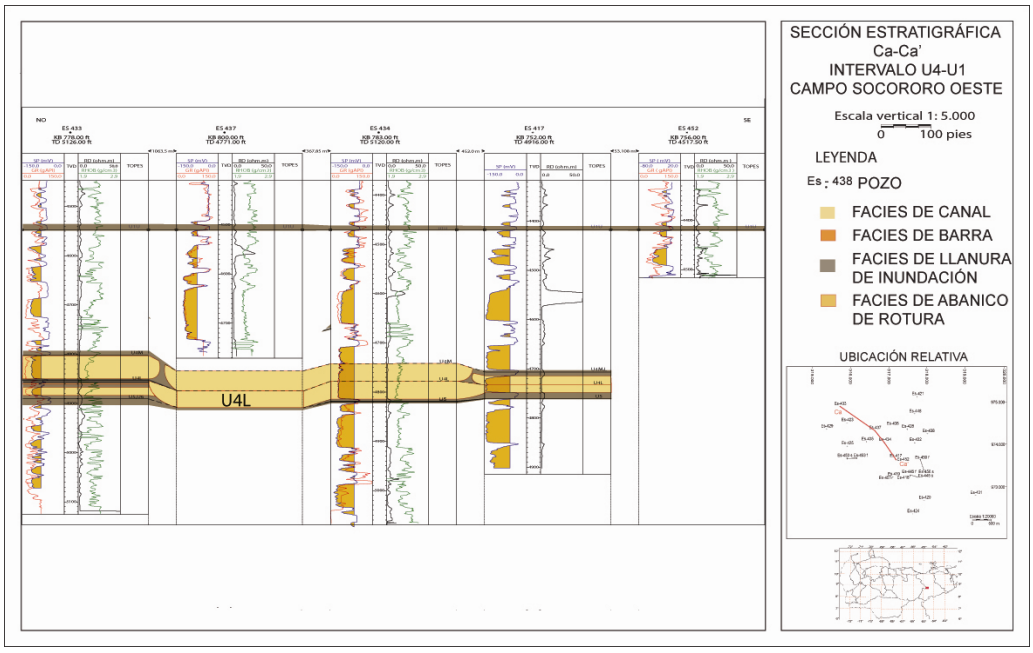



Fig. 3.5: Sección Estratigráfica Ca-Ca', muestra las variaciones laterales de U4L. Nótese como coalescen las sub-unidades, generando cuerpos masivos de arena.

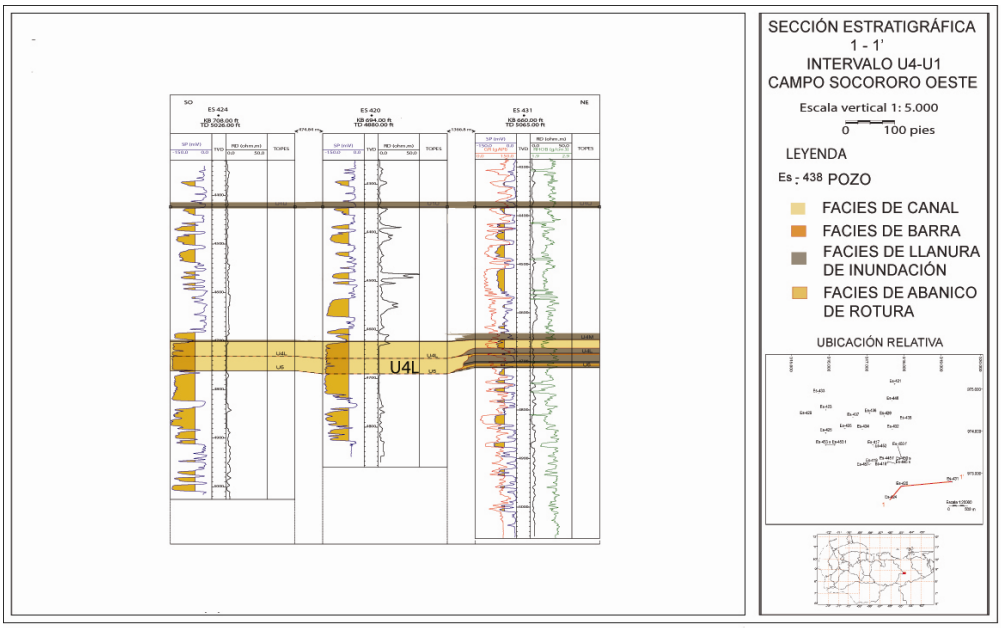



Fig. 3.6: Sección Estratigráfica 1-1', donde se observa el cambio de facies que ocurre a lo largo de la dirección de sedimentación.

Esta sub-unidad posee espesores que se encuentran entre 17 pies (Es-417) y 43 pies (Es-428), y en ella se reconocen dos tipos principales de facies (ver la figura 3.7 y los anexos 25 y 39):

(a) Facies de canal, que muestran un comportamiento principalmente cilíndrico, correspondiendo con depósitos de arenas limpias. Esta zona ocupa alrededor del 50% del área del mapa, y posee valores de sedimentos arenáceos entre 17 pies (en el pozo Es-417, ubicado en la zona central del campo) y 38 pies (en el pozo Es-434, ubicado al noroeste del pozo Es-417). Estas facies se reconocen en la mayoría de los pozos que logran perforar esta sub-unidad, excepto en los pozos Es-419, Es-421 y Es-431.

(b) Facies de llanura de inundación, que muestran una tendencia irregular, como consecuencia de la intercalación de espesos cuerpos de lutita, con pequeños lentes de arenisca. Esta facies ocupa el 50% restante del área del mapa, y es reconocida en los pozos Es-419 (en la parte central del campo), Es-421 (al norte) y Es-431 (al sureste). Posee espesores de arena entre 2 pies (Es-421) y 7 pies (Es-431).

Se puede observar que la relación de los espesores de depósitos de arena con la sub-unidad completa, o con los espesores de lutita indican la presencia de dos zonas de areniscas limpias, una dispuesta en una franja de dirección aproximada N45°E, con valores de relación "net to gross" mayores a 90% y una relación arena/lutita mayor a 8, y una segunda franja al sureste de la primera, con orientación relativa N20°E, valores de "net to gross" de 90% y una relación arena/lutita mayor a 16. Ambas se unen al noreste del campo (ver las figuras 3.8 y 3.9 y los anexos 53 y 67)

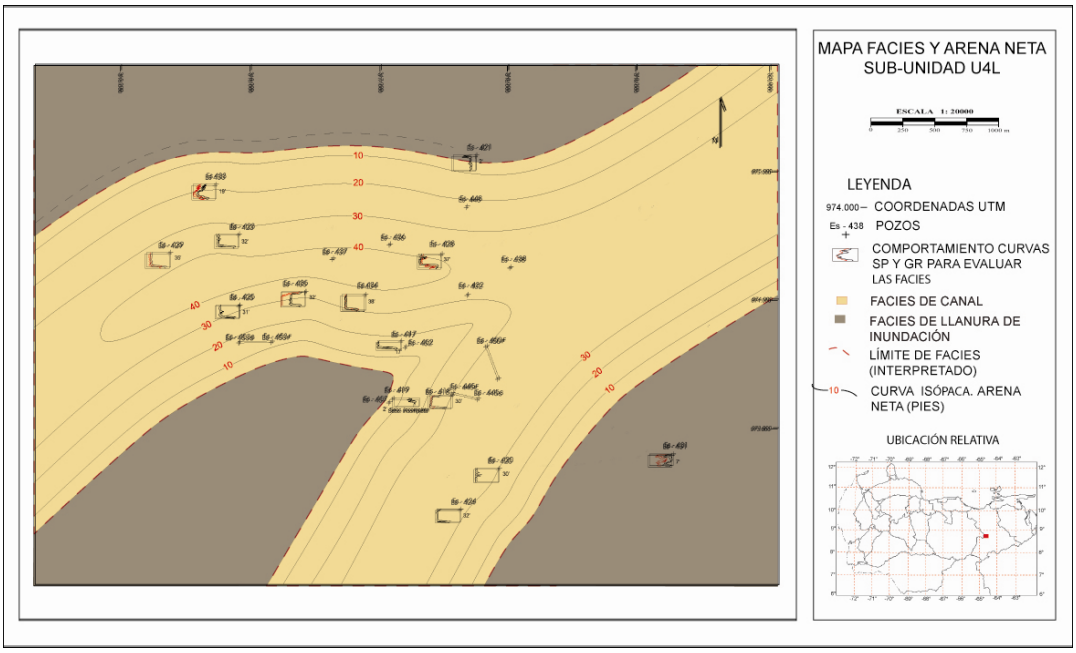



Fig. 3.7: Mapa de Facies y Arena Neta de la sub-unidad U4L, donde se observa la distribución de las facies dentro del campo y sus relaciones laterales. Nótese como se generan cuerpos de arena alargados.

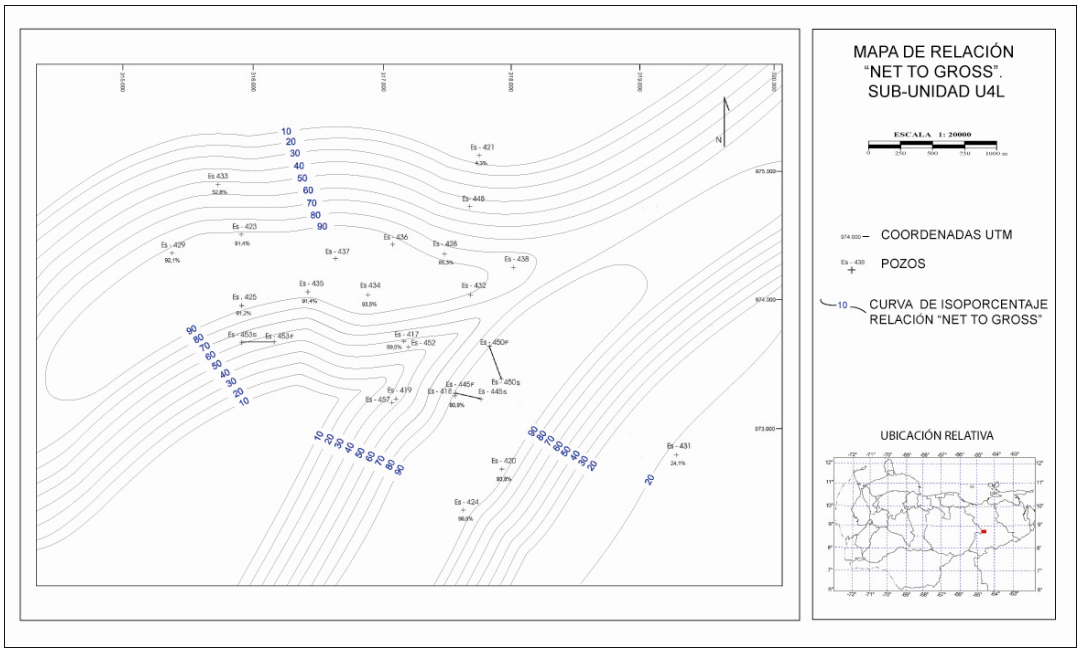



Fig. 3.8: Mapa de "Net to Gross", que muestra el porcentaje de arena que hay dentro de la unidad completa, determinando la geometría del cuerpo, separando las zonas más con mayor contenido en sedimentos arenosos.

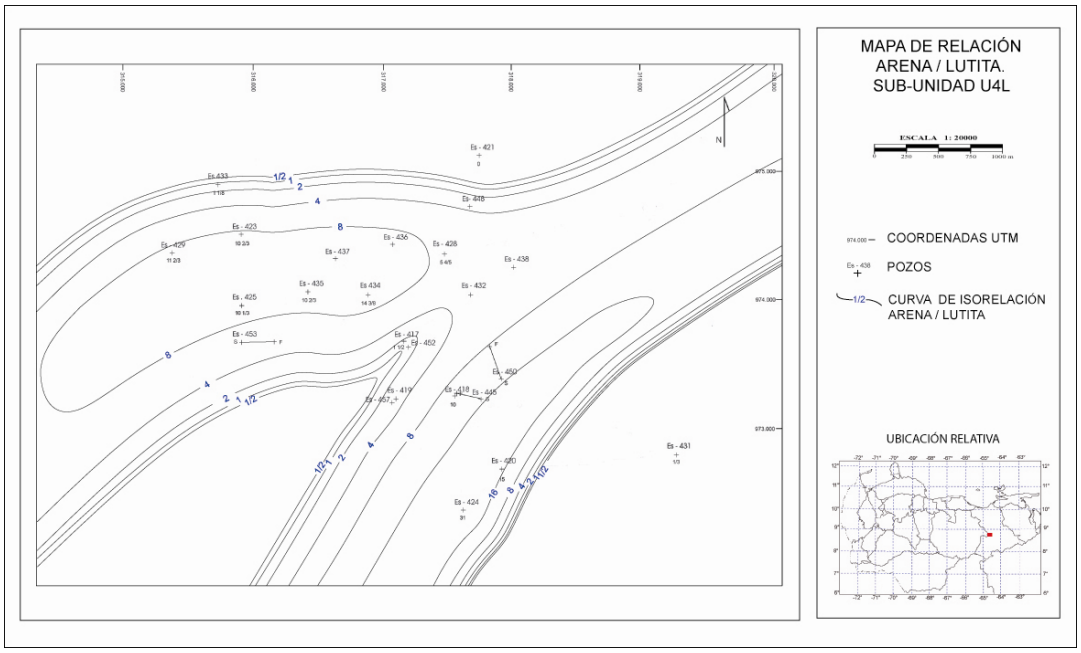



Fig. 3.9: Mapa de Relación Arena/Lutita. Los valores más altos se encuentran en las zonas de mayor erosión, disminuyendo progresivamente hacia los bordes de los canales y la llanura de inundación.

El propósito de la representación gráfica de la secuencia es mostrar la dinámica del ambiente de depositación (dirección de las corrientes), desarrollo y ubicación de los espesores de arena acumulados (mapa de arena neta), distribución de las facies y relaciones laterales entre las mismas, para indicar el ambiente en donde se está desarrollando la depositación (mapa de distribución de facies), geometría de los depósitos de arena y proporción de la misma dentro de la sub-unidad sedimentaria (mapa de relación "net to gross") y la distribución de los sedimentos en relación al tamaño de grano dentro del ambiente (mapa de relación arena/lutita). En base a esto, se plantea que dichos mapas guardan correspondencia entre ellos, como consecuencia de la distribución de facies y de las características de la secuencia sedimentaria de la sub-unidad U4L.

- Análisis ambiental

La distribución de la facies para esta sub-unidad en el campo, indica un ambiente de sedimentación fluvial desarrollado en un sistema de canales entrelazados, en este caso se logran reconocer dos canales fluviales: uno al noroeste, con aproximadamente 1,5 km de ancho y hasta 40 pies de profundidad, indicando la zona de mayor erosión, por lo que su relación ancho/profundidad es media (ver Apéndice III). Posee una dirección que tiende a ser N45°E. El segundo canal, al sureste del primero, posee aproximadamente 1 km de ancho, y alcanza una profundidad de hasta 34 pies, presentando también una relación ancho/profundidad media (ver Apéndice III). Su dirección preferencial es N20°E. Ambos canales se unen al noreste del campo.

En el pozo Es-433, ubicado al noroeste del campo, se observa el proceso de abandono del canal por la presencia una zona de grano más fino, con presencia de capas de lignito.

Las facies de llanura de inundación reconocidas para esta sub-unidad, se encuentran asociadas a estos canales fluviales. Poseen espesores de arena muy bajos, cuyo origen es el desbordamiento del sistema fluvial, y se observa la presencia aislada de una capa de lignito, en el pozo Es-431, al sureste del campo. Al norte se

observa la ausencia de arena en los depósitos de llanura de inundación, interpretado como un límite de roca.

*Sub-unidad U4M*

- Descripción

La base de esta sub-unidad la representa una lutita de espesor comprendido entre 3 pies (pozo Es-418) y 11 pies (pozo Es-417). Ésta se reconoce en pocos pozos del campo (en los pozos Es-417, Es-418 y Es-419 en la zona central del campo, en el Es-421 y Es-433 al norte, y en el pozo Es-431 al sureste), debido a la coalescencia con la sub-unidad superior. Presenta una resistividad promedio de 6 ohm.m y valores de densidad cercanos a 2,5 g/cm$^3$.

El tope de esta sub-unidad coincide con una lutita de espesores comprendidos entre 2 (pozo Es-419) y 11 pies (Es-429). Por la coalescencia existente entre ésta y la sub-unidad superior, se reconoce esta lutita únicamente en los pozos Es-421 al norte, Es-429 y Es-433 al noroeste, Es-417, Es-418 y Es-419 en la zona central y al sureste, en los pozos Es-420, Es-424 y Es-431. Exhibe valores de densidad comprendidos entre 2,4 y 2,7 g/cm$^3$, y resistividad relativamente baja: 2 ohm.m en promedio. Las figuras 3.10 y 3.11 (y los anexos 6 y 8) muestran dos de las secciones estratigráficas realizadas, en las que se puede observar el comportamiento de las facies y sus relaciones laterales.

La sub-unidad completa presenta entre 15 pies (Es-431) y 48 pies (Es-433) de espesor, en los que se reconocen facies de canal, principalmente, que muestran un comportamiento cilíndrico, excepto en el pozo Es-429, al oeste del campo, donde el comportamiento exhibido es grano-decreciente. Estas facies abarcan, aproximadamente, un 80% del área del mapa, y muestran espesores de arena entre 15 pies (en el pozo Es-431) y más de 50 pies (en el pozo Es-436) (ver la figura 3.12 y los anexos 26 y 40).

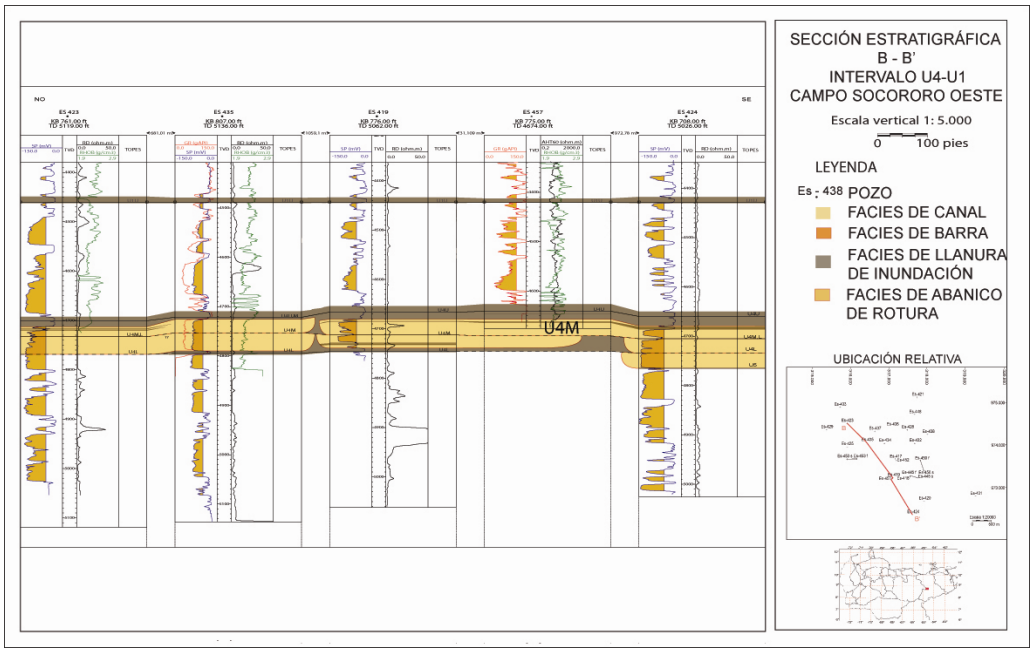



Fig. 3.10: Sección estratigráfica B-B', realizada en dirección de la sedimentación para obtener las relaciones laterales entre las facies.

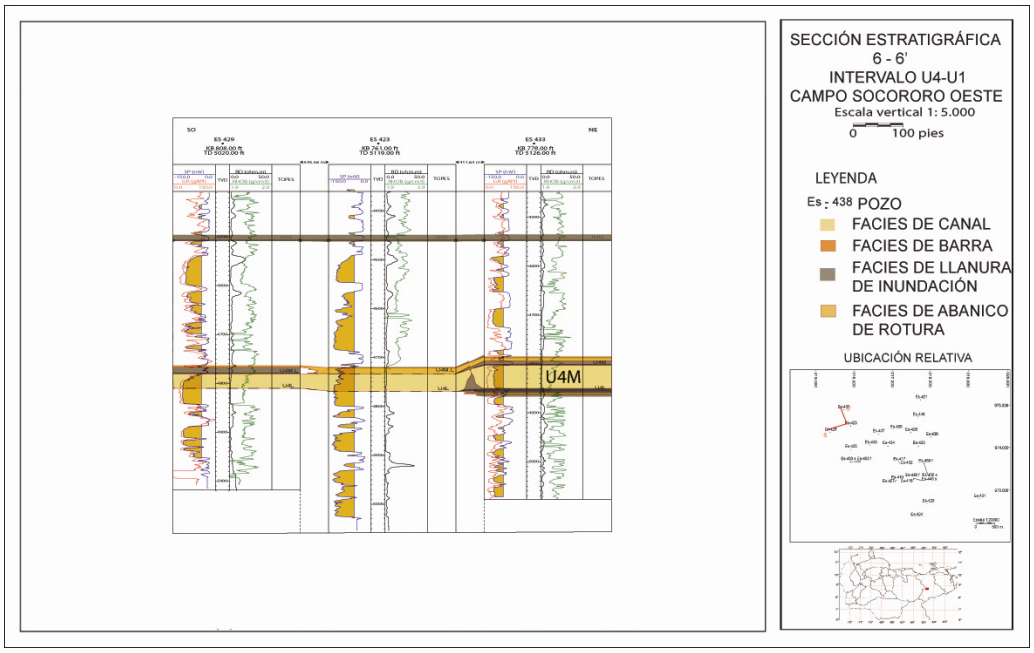



Fig. 3.11: Sección estratigráfica 6-6'. Muestra las características de la sedimentación, observándose cómo la secuencia se va espesando al NE.

Se reconocen tres cuerpos arenosos principales, pseudo-paralelos, con orientación preferencial N60°E. El primero de ellos se dispone al norte del campo, y presenta valores de arena máximos de 50 pies, una relación de "net to gross" y arena/lutita de 90% y 8 respectivamente. Un segundo cuerpo, en la zona central del campo, posee espesores de arena un poco mayores a 50 pies, relación de "net to gross" que alcanza el 100% y arena/lutita mayores a 16. Por último, se reconoce un tercer cuerpo al sur, cuyos valores de arena alcanzan hasta 32 pies, y muestra una relación de "net to gross" y arena/lutita de hasta 100% y 32 respectivamente (ver figuras 3.13 y 3.14, anexos 54 y 68).

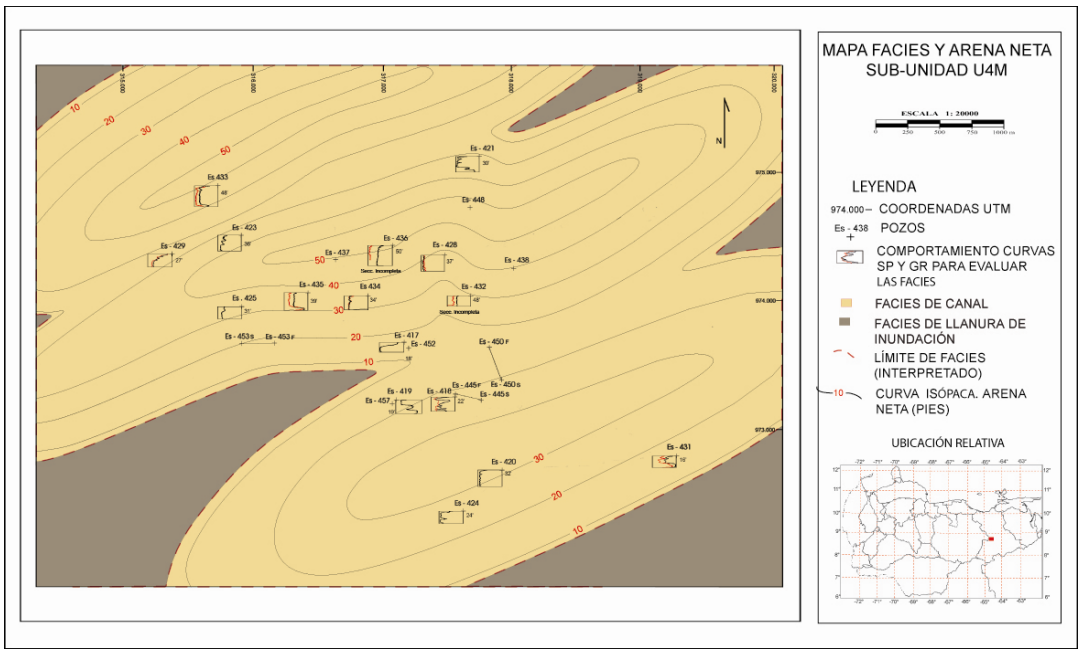



Fig. 3.12: Mapa de Facies y Arena Neta de la sub-unidad U4M. En el cual se observa la distribución de las facies dentro del campo, mostrando una zona dominada por canales y otra de llanura de inundación.

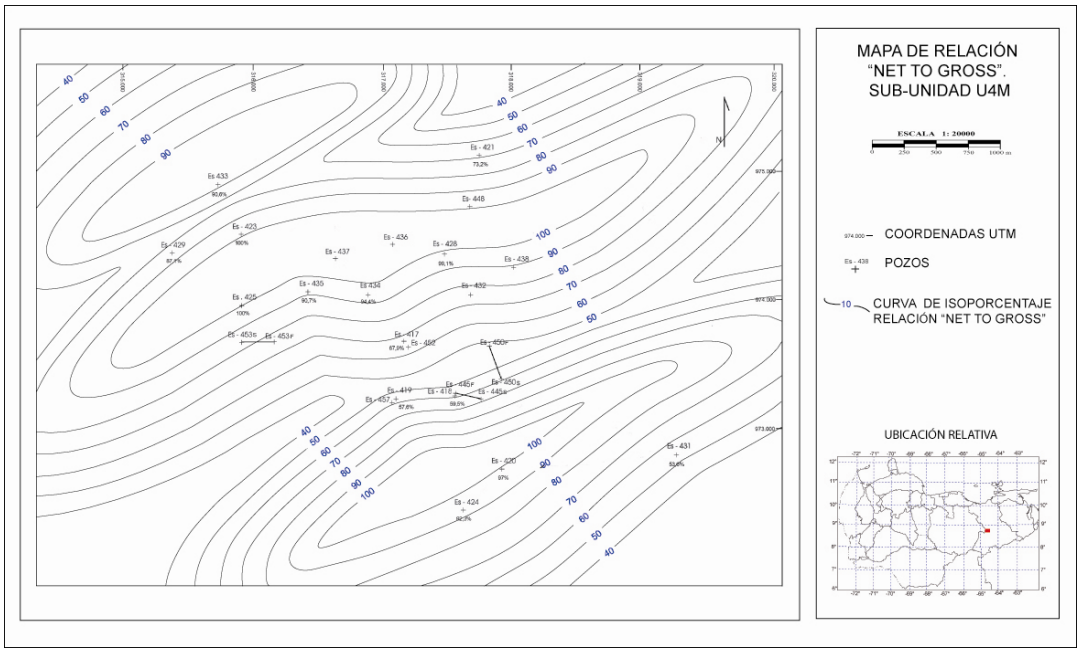



Fig. 3.13: Mapa de "Net to Gross", en el que se observa la geometría de los cuerpos de arena desarrollados dentro de la sub-unidad.

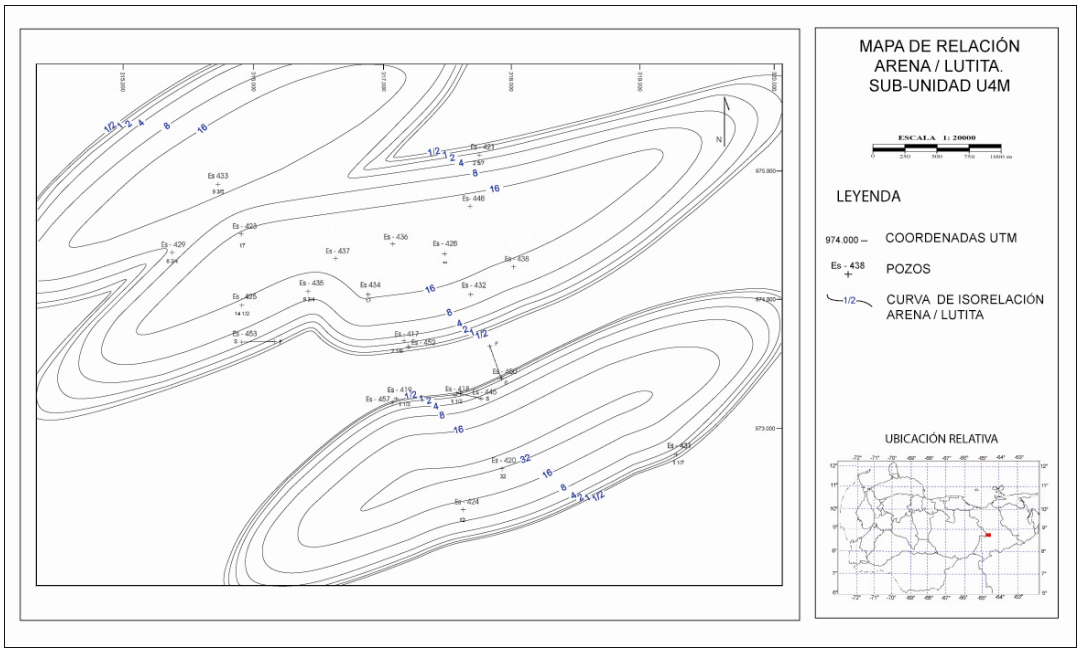



Fig. 3.14: Mapa de Relación Arena/Lutita. Nótese como se distribuyen los sedimentos, desde la zona de mayor erosión (con relaciones altas de arena), disminuyendo hacia la llanura de inundación.

Las características de la secuencia sedimentaria y la distribución de facies permiten la correspondencia observada en los mapas de la sub-unidad. La dirección de la corriente se determina por la orientación de los depósitos de arena, permitiendo describir el sistema de canales entrelazados para U4M.

- Análisis ambiental

El ambiente en que se genera la sub-unidad U4M es fluvial. Éste se reconoce por la disposición espacial de las facies reflejadas en los pozos del campo. Los cuerpos arenosos reconocidos corresponden a un sistema de canales entrelazados, con orientación preferencial N60°E, un ancho aproximado de 4,5 km, y profundidad ligeramente superior a 50 pies, por lo que relación ancho/profundidad es alta (ver Apéndice III).

En este sistema se reconocen 3 líneas de "talweg", que coinciden con las zonas de arenas más limpias y de mayor espesor del sistema, consistente con los tres cuerpos arenosos descritos. La disminución de arena que se observa en los pozos Es-417, Es-418, Es-419 (en la zona central del campo) y en el Es-429 (al noroeste), son consecuencia de zonas emergidas de la antigua llanura de inundación que ha sido invadida por la presencia de múltiples líneas de "talweg" dentro del sistema, característica común de los canales entrelazados.

*Sub-unidad U4U*

- Descripción

La base de esta sub-unidad corresponde a una lutita de espesor variable entre 2 pies (Es-419) y 11 pies (Es-429). Se reconoce esta lutita solo en los pozos Es-421 al norte, Es-429 y Es-433 al noroeste, Es-417, Es-418 y Es-419 en la zona central y al sureste, en los pozos Es-420, Es-424 y Es-431. Presenta valores de densidad entre 2,4 y 2,7 g/cm$^3$, y resistividad relativamente baja, aproximadamente 2 ohm.m.

El tope de ésta sub-unidad corresponde al de la unidad U4, descrito como una lutita que posee entre 8 pies (en el pozo Es-421) y 15 pies (en el Es-417) de espesor. La misma exhibe valores de resistividad menores a 5 ohm.m., y densidad promedio es 2,4 g/cm$^3$.

Las figuras 3.15 y 3.16 (ver anexos 6 y 9) muestran las secciones estratigráficas con las relaciones y la geometría de la sub-unidad:

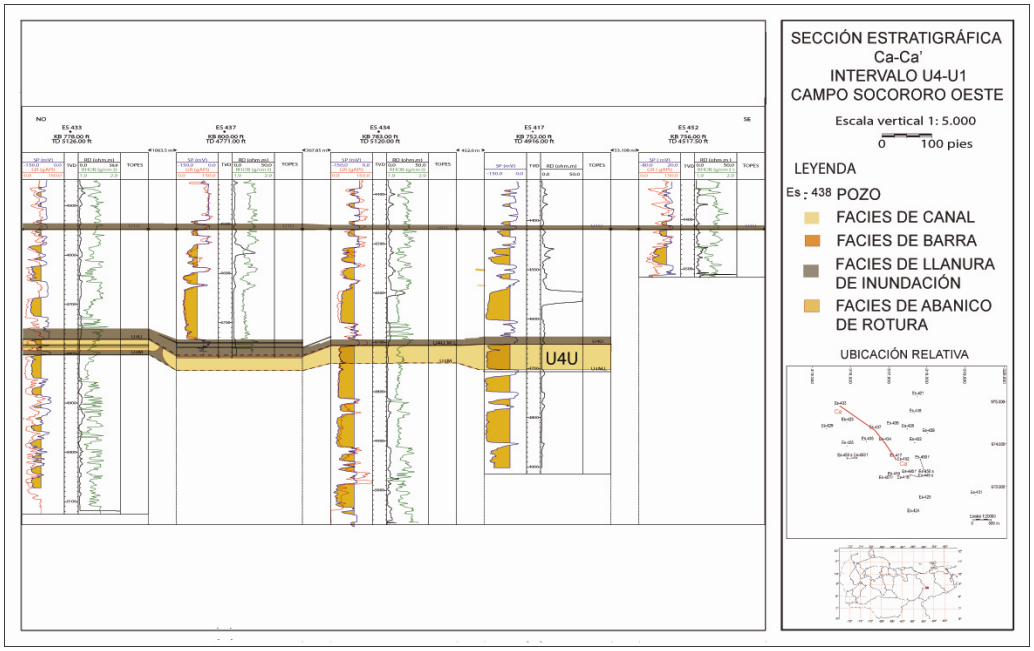



Fig. 3.15: Sección estratigráfica Ca-Ca', realizada en dirección de la sedimentación para obtener las relaciones laterales entre las facies.

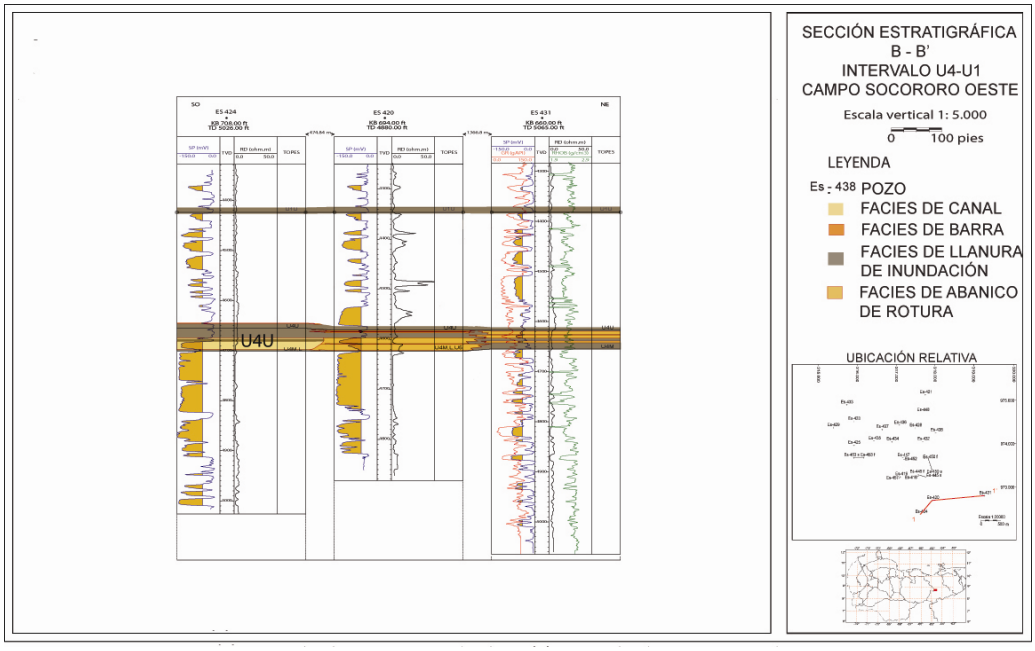



Fig. 3.16: Sección estratigráfica 6-6', realizada a lo largo del buzamiento de la sedimentación, obsérvese el desarrollo de abanicos de rotura asociados a los canales

La sub-unidad completa muestra espesores entre 31 pies (Es-433) y 55 pies (Es-417), y se reconocen dos tipos principales de facies que la caracterizan tal y como se muestra en la figura 3.17 y en los anexos 27 y 41:

(a) Facies de canal que poseen una tendencia principalmente cilíndrica, y en menor medida en forma de campana. Abarcan aproximadamente un 75% del área del mapa. Se reconocen tres cuerpos arenosos principales, seudo-paralelos, con orientación preferencial N10°E. El primero de ellos se dispone al oeste del campo, y presenta valores de arena máximos de 34 pies, una relación de "net to gross" y arena/lutita de 94,4% y 16 respectivamente. Un segundo cuerpo, en la zona central del campo, posee espesores de arena de hasta 52 pies, relación de "net to gross" que alcanza el 97% y arena/lutita mayores a 32. Por último se reconoce un tercer cuerpo al este, cuyos valores de arena alcanzan hasta 47 pies, y muestra relaciones de "net to gross" y arena/lutita de hasta 91,5% y mayores a 8 respectivamente (ver mapas 3.18 y 3.19).

(b) Las facies de llanura de inundación muestran una tendencia irregular, como consecuencia de la intercalación de espesos cuerpos de lutita, con pequeños lentes de arena. Esta facies ocupa un 25% del área total, y presenta espesores de arena entre 2 (pozo Es-429, al oeste) y 14 pies (pozo Es-431 al sureste). En esta se reconocen valores de relación de "net to gross" entre 5,6% (Es-429) y 37,8% (Es-431), y una relación arena/lutita menor a 1(ver mapas 3.18 y 3.19, anexos 55 y 69).

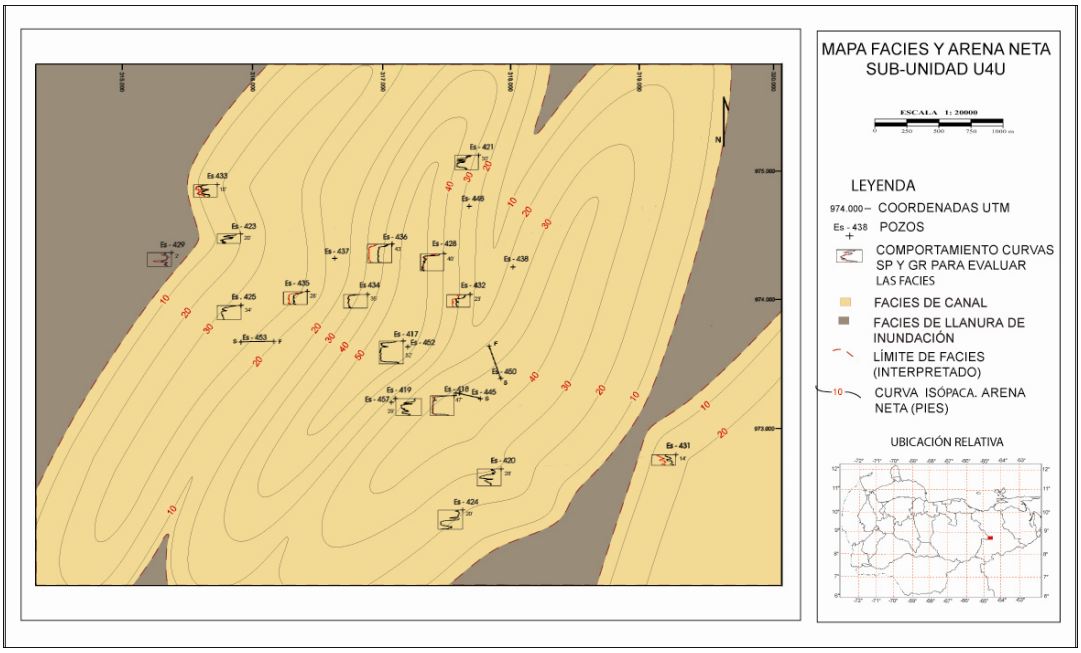



Fig. 3.17: Mapa de Facies y Arena Neta de la sub-unidad U4U, donde se observan los cuerpos asociados a los canales y la llanura de inundación.

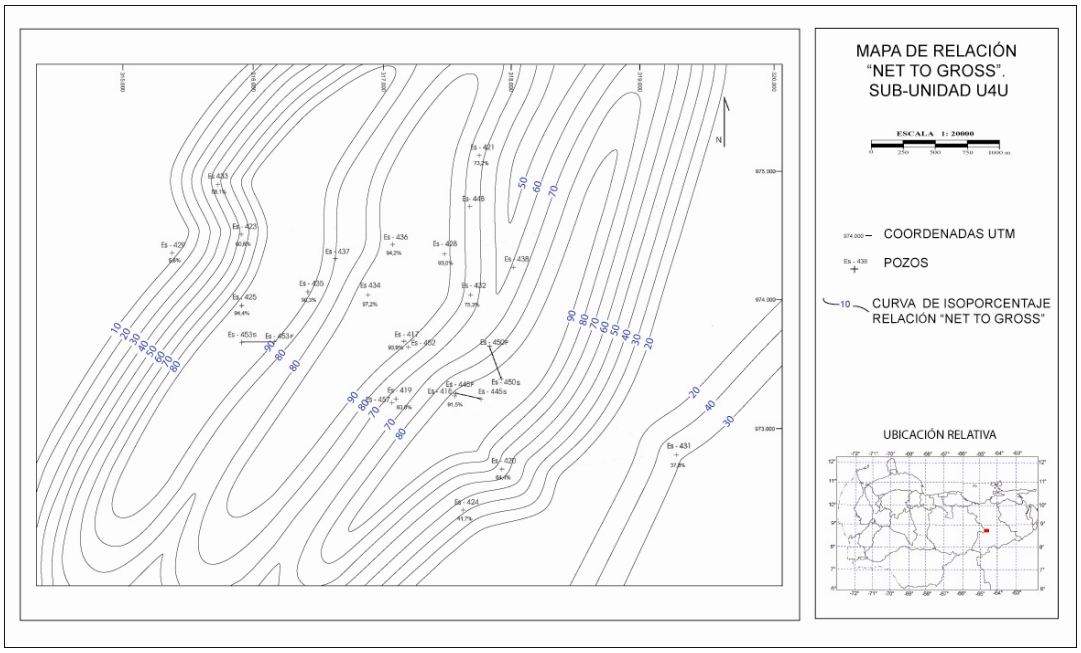



Fig. 3.18: Mapa Relación "Net to Gross", en el que se observa la geometría de los cuerpos de arena desarrollados dentro de la sub-unidad. Asimismo, muestra las zonas donde hubo mayor erosión dentro de los canales.

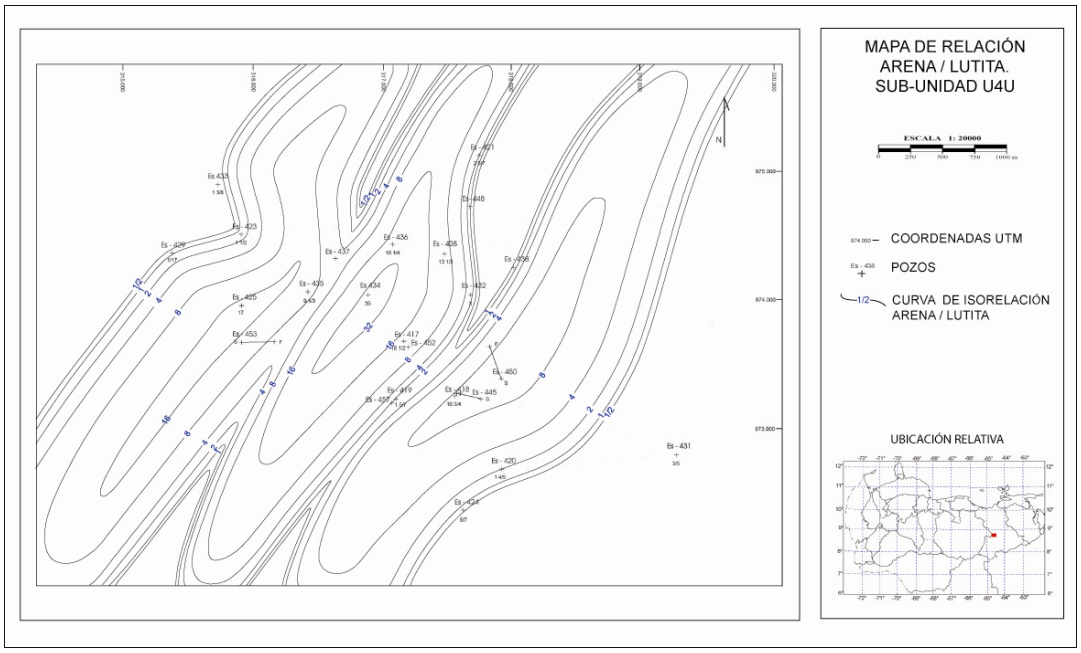



Fig. 3.19: Mapa Relación Arena/Lutita, en el que se observan las variaciones laterales de los cuerpos de arena por el incremento de sedimentos finos dentro de la secuencia, lo cual ocurre hacia los bordes de los canales, alejándose de la línea de "talweg".

Como consecuencia de la distribución de facies y las características de la secuencia sedimentaria, se observa correspondencia entre los tres tipos de mapas de U4U. La interpretación de estos mapas y las secciones estratigráficas permiten describir el ambiente en el cual se formó esta unidad.

- Análisis ambiental

La disposición espacial de las facies muestra un ambiente de sedimentación fluvial, en el que se reconoce un sistema de canales entrelazados, caracterizado por la presencia de tres zonas de mayor erosión, que generan los cuerpos arenosos anteriormente descritos, y espacios de menor espesor entre ellos, que corresponden a zonas emergidas y preservadas de la antigua llanura de inundación que se encuentra afectada por constantes inundaciones de los canales que la rodean, permitiendo que la secuencia sea más arenosa, pero con menor espesor. El sistema presenta una dirección preferencial N10°E, un ancho aproximado de 3,5 km, y una profundidad

máxima de 52 pies, por lo que muestra una relación ancho/profundidad alta (ver apéndice III).

Las facies de llanura de inundación reconocidas para esta sub-unidad, se encuentran asociadas a este sistema de canales entrelazados. Al oeste, en el pozo Es-429, se presenta un espesor de arena muy bajo (2 pies), cuyo origen es el desbordamiento del sistema. En cambio el pozo Es-431 muestra un espesor de arena más importante (14 pies), y una tendencia grano-creciente, lo cual lo asocia a la zona distal de un abanico de rotura asociado a su vez a otro canal al este, que no se aprecia dentro de los límites del campo.

#### *3.1.3.2 Unidad U3*

La base de esta unidad está representada por una lutita de gran extensión geográfica, con un espesor variable entre 8 pies (en el pozo Es-421) y 15 pies (en el Es-417), y con valores de resistividad menores a 5 ohm.m. y densidad promedio 2,4 $g/cm^3$.

Por otra parte, el tope de esta unidad es igualmente una lutita persistente en los pozos del campo, con un espesor promedio de 10 pies. Presenta valores de resistividad que tienden a ser bajos, menores a 5 ohm.m, y densidad relativamente alta, con valores poco mayores a 2,4 $g/cm^3$. Localmente puede no reconocerse el tope por la coalescencia con la unidad U2L, como ocurre en los pozos Es-423, Es-428, Es-436 y Es-437, ubicados al norte del campo.

Las secciones estratigráficas de las figuras 3.20 y 3.21 (ver los anexos 1 y 11), muestran las características de la unidad descrita y las relaciones entre facies. Además, el comportamiento de la secuencia, y los contactos con las unidades superior e inferior.

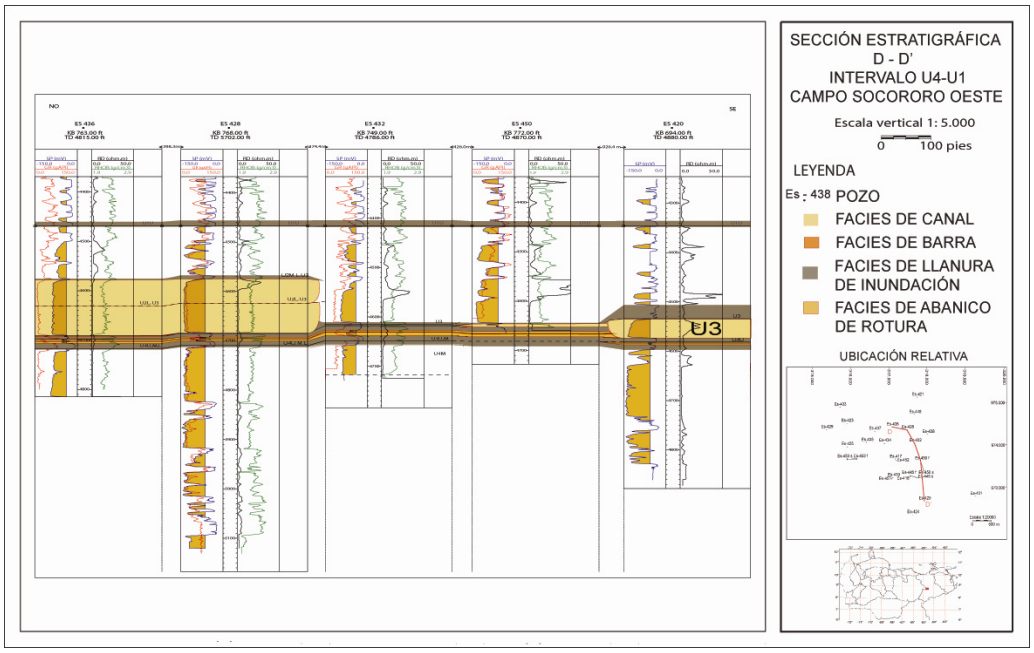



Fig. 3.20: Sección estratigráfica D-D', muestra las relaciones entre las facies y la continuidad lateral de los cuerpos litológicos. Obsérvese como las facies de abanicos de rotura se encuentran asociados a los bordes del canal

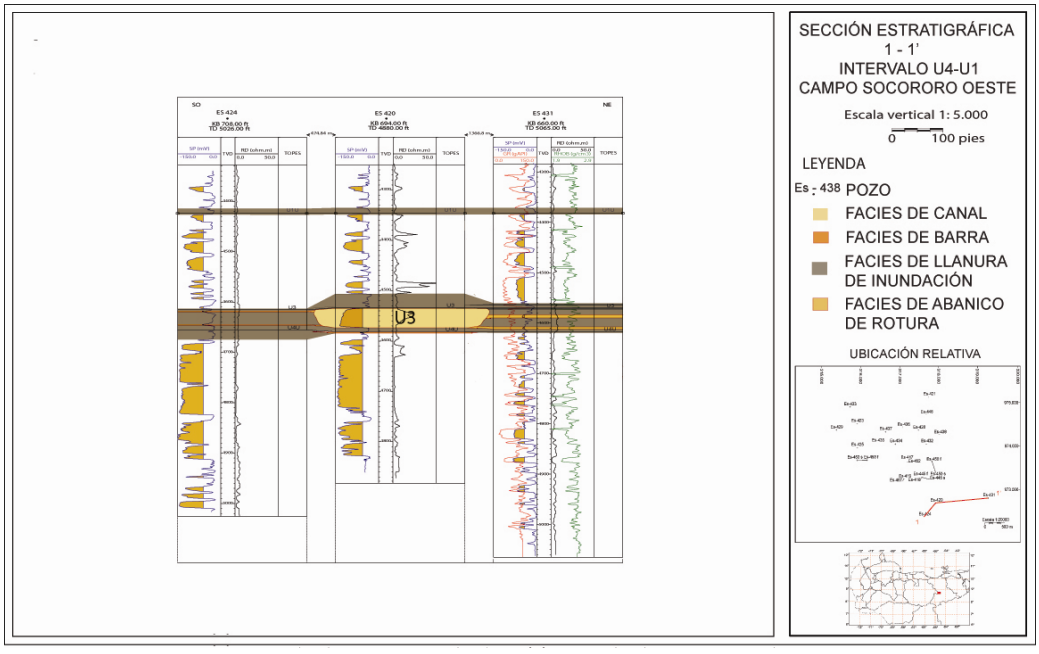



Fig. 3.21: Sección estratigráfica 1-1', realizada a lo largo del buzamiento de la sedimentación. En ella se puede observar que parte de la sub-unidad se pierde debido a la erosión por un evento posterior.

Para la unidad U3 se reconocen dos tipos de facies que se apilan verticalmente con un espesor variable entre 17 pies (Es-423) y 48 pies (es-431). Las relaciones entre ellas son descritas a continuación y se pueden observar en la figura 3.22 y en los anexos 28 y 42):

(a) Facies de canal, mostrando una tendencia en forma de campana, consistente en depósitos de arenas limpias, grano-decreciente hacia el tope. En el pozo Es-420 (al sur del campo) la arena U3 posee un espesor importante (36 pies). Posee una dirección promedio N20°E, cubriendo poco más del 20% del área del mapa. Esta dirección se determina por la relación espacial que guarda ésta con las otras facies.

(b) Facies de llanura de inundación, que muestran una tendencia irregular en las curvas de potencial espontáneo y de rayos gamma, debido a la intercalación de espesos cuerpos de lutita con pequeños lentes de arenisca. Se aprecia la ocurrencia de hasta 3 capas de lignito de poco espesor (menores a 2 pies) y aparente continuidad lateral, intercaladas dentro de esta unidad. Se extiende en el 80% del área restante del campo.

Se puede observar que la distribución de las relaciones de "net to gross" y arena/lutita, indica que las zonas de arenas más limpias se encuentran asociadas a la facies de canal reconocida, con valores de 80% y 4 respectivamente, que coinciden con la zona de máxima erosión de los meandro, y disminuyen considerablemente en los pozos donde se reconocen facies de llanura de inundación, desapareciendo completamente los valores de arena hacia el noroeste, en el pozo Es-433 (ver mapas 3.23 y 3.24 y los anexos 56 y 70).

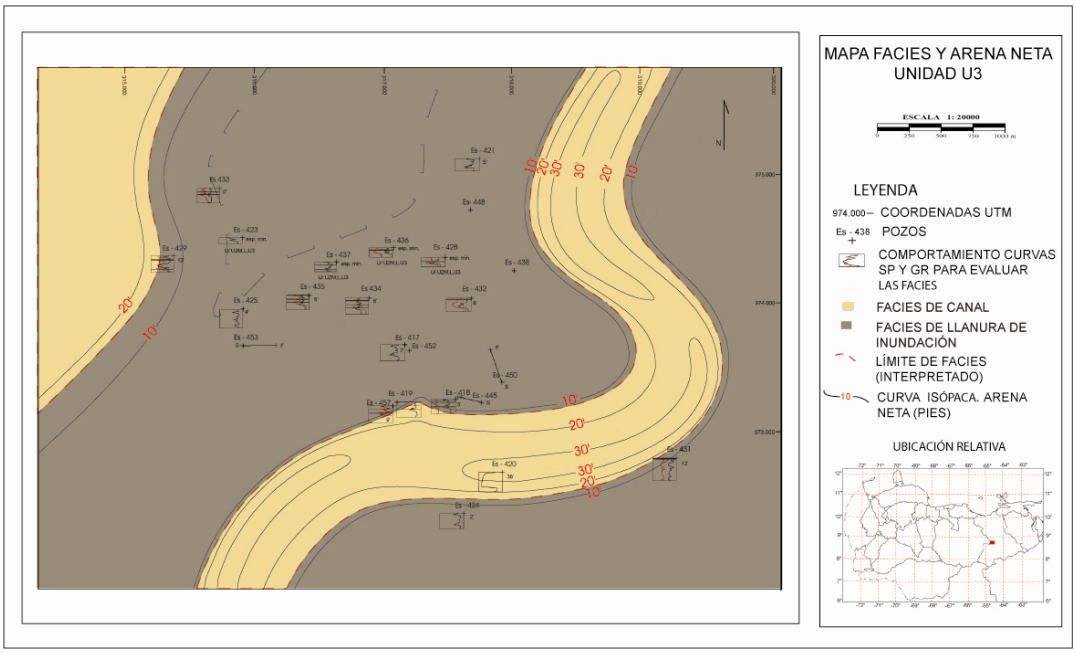



Fig. 3.22: Mapa de Facies y Arena Neta para la unidad U3. En él se representan las facies descritas, observándose un desarrollo importante de la llanura de inundación y la presencia de canales de menor extensión.

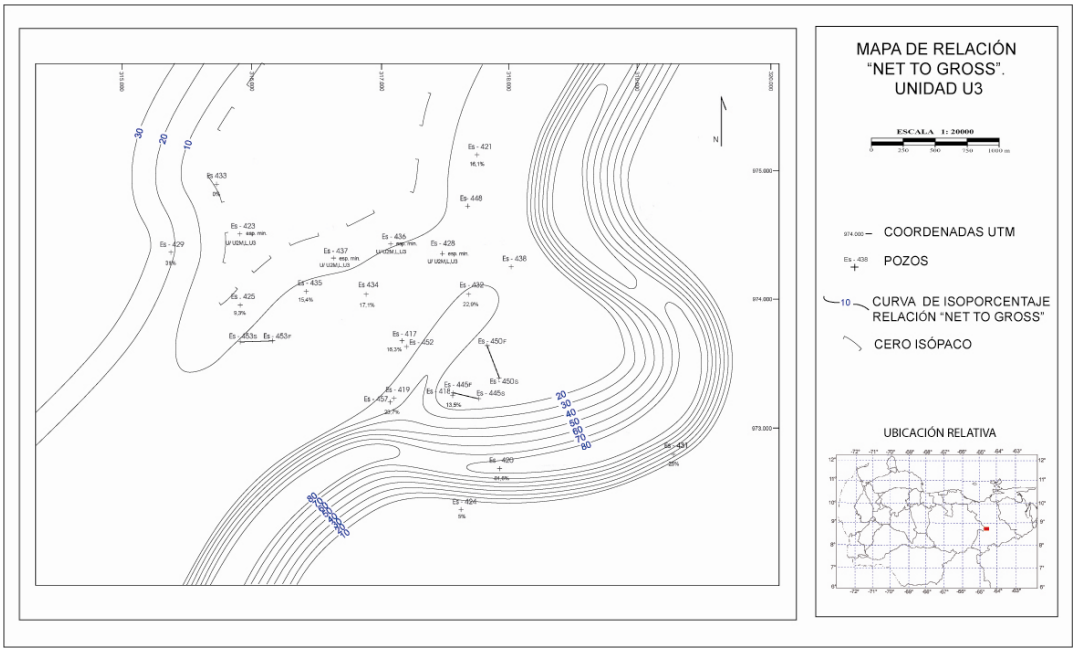



Fig. 3.23: Mapa Relación "Net to Gross", donde se observa la geometría de las diferentes facies descritas para la unidad U3.

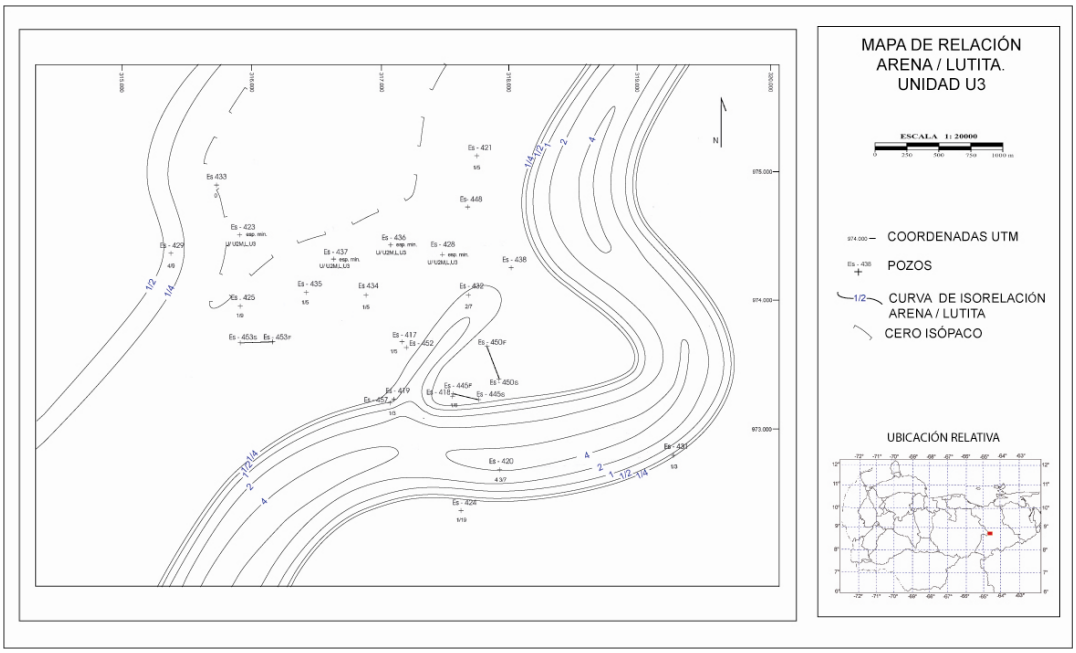



Fig. 3.24: Mapa Relación Arena/Lutita de la unidad U3. Obsérvese cómo las variaciones laterales de los cuerpos de arena mantienen la geometría adquirida durante la depositación.

Los mapas realizados para la unidad U3 presentan correspondencia entre ellos, mostrando la distribución de las facies, el desarrollo de las mismas según las características del ambiente, la geometría de los cuerpos mostrados y cómo cambian lateralmente por la transición entre la zona de mayor erosión del canal hasta la llanura de inundación, considerando los eventos que pueden ocurrir entre las dos zonas (los cuerpos de arena observados en la llanura de inundación pueden interpretarse como depósitos de abanicos de rotura).

- Análisis ambiental

En la unidad U3 se reconocen facies de llanura de inundación y una de canal. Al asociar estos datos con la geometría interpretada para el canal se puede observar que los depósitos de la secuencia de U3 se desarrollaron en un ambiente de depositación fluvial en el que se presentan llanuras de mayor extensión y se pueden observar canales meandriformes. Al SE del campo se encuentra un canal fluvial, de aproximadamente 1 km de ancho y 36 pies de profundidad. Su relación

ancho/profundidad es moderada. La dirección preferencial de este canal es N45°E y su comportamiento tiende a ser meandriforme.

Las facies de llanura de inundación reconocidas en la zona central del campo, se encuentran asociadas al canal reconocido. Sin embargo las facies que se reconocen en los pozos Es-423, Es-429 y Es-433 (al noroeste del campo) parecen estar asociadas a otro canal. Este último no se observa dentro del campo, pero se infiere por el incremento de la cantidad de sedimentos arenosos de estas facies de llanura de inundación.

Las arenas encontradas en los depósitos de llanura de inundación tienen su origen en períodos de desborde del canal, en los que tanto la carga de fondo y el sedimento en suspensión rebasan los bordes del canal, y se depositan a sus márgenes. Esto es más evidente en el pozo Es-432, en el que se reconoce la geometría del abanico de rotura. Por otra parte, las capas de lignito tienen su origen en las zonas marginales del canal donde se generan zonas pantanosas con una tasa de sedimentación baja o nula.

#### *3.1.3.3 Unidad U2*

La base de la unidad es una lutita persistente en los pozos del campo, sólo se pierde su continuidad lateral hacia el norte, en los pozos Es-423, Es-428, Es-436 y Es-437, como consecuencia de la acción del evento que origina esta unidad, generando coalescencia con U3. Los valores de resistividad que muestra la base tienden a ser bajos (menores a 5 ohm.m) y densidad relativamente alta (valores poco mayores a 2,4 g/cm3).

El tope de la unidad U2 lo representa una lutita de baja resistividad, con valores cercanos a 3 ohm.m, y densidad entre 2,4 y 2,6 g/cm$^3$. El espesor de esta lutita varía entre 1 pie (pozo Es-453, al oeste del campo) y 12 pies (pozo Es-433, al noroeste), perdiéndose su continuidad lateral en los pozos Es-423, Es-425 y Es-429 (al oeste del campo), debido a que está coalesciendo con la unidad U1.

La unidad completa está representada por dos tipos de facies, una de canal, que muestra en las curvas de potencial espontáneo y rayos gamma una tendencia cilíndrica y en campana; y la de llanura de inundación, con una tendencia irregular en éstas. Las facies de canales se encuentran concentradas hacia la zona media del campo y se extienden hacia los bordes del mismo, por otra parte, las facies de llanura de inundación se encuentran asociadas a estos canales.

### *Sub-unidad U2L*

- Descripción

La base de ésta sub-unidad es una lutita que coincide con el límite inferior de la unidad U2. En los pozos Es-423, Es-428, Es-436 y Es-437 se pierde la continuidad lateral de esta lutita, generando coalescencia con la unidad U3.

El tope está representado por una lutita de espesor variable entre 1 (pozo Es-421, al norte) y 8 pies (pozo Es-424, al sur), el comportamiento resistivo de la roca es bajo, ya que los valores son menores a 4 ohm.m, mientras que la densidad se mantiene en valores intermedios entre 2,1 y 2,5 g/cm$^3$.

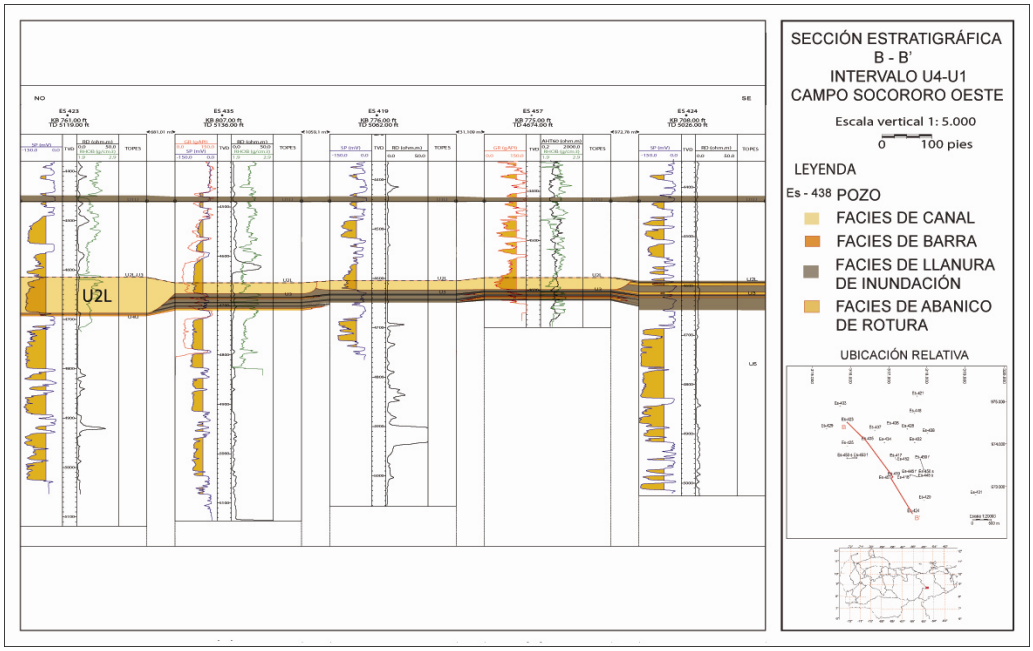



Fig. 3.25: Sección estratigráfica B-B'. Muestra las relaciones entre las facies, la continuidad lateral y la geometría de los cuerpos litológicos.

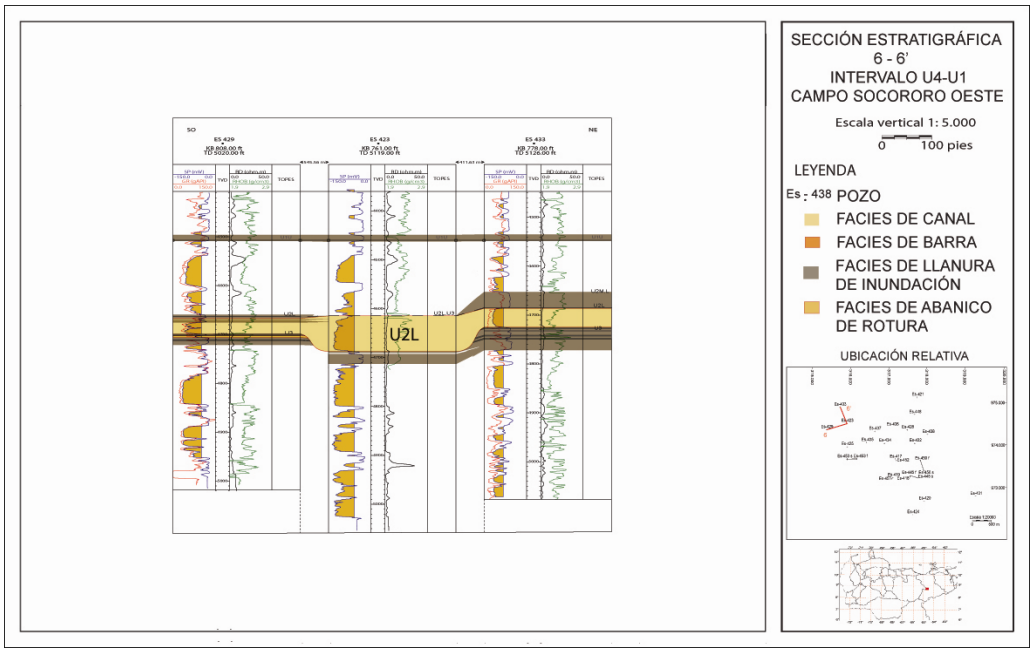



Fig. 3.26: Sección estratigráfica 6-6', realizada a lo largo del buzamiento de la sedimentación. En ella se puede observar como varían los espesores de las unidades descritas

En las secciones estratigráficas de las figuras 3.25 y 3.26 se puede observar un engrosamiento anómalo de la sub-unidad U2L, dislocando la relación de los topes en la secuencia de los cuerpos subyacentes (Ver los anexos 6 y 8).

La sub-unidad U2L posee espesor variable entre 28 pies (Es-435) y 68 pies (Es-423). En esta sub-unidad se puede observar que existen dos tipos principales de facies (ver la figura 3.27, anexos 29 y 43):

(a) Las facies de canal se reconocen por su tendencia cilíndrica y en forma de campana. Abarcan el 80% del área del mapa y se distribuyen en la formación de 3 cuerpos arenosos, con dirección preferencial casi E-O. El cuerpo principal se encuentra al oeste del campo, inicialmente tiene una dirección preferencial N45°E, pero luego cambia, para tomar una orientación prácticamente E-O. Exhibe valores de arena máximos de 65 pies, relación de "net to gross" de 96,3% y arena/lutita poco mayor a 26; al oeste del campo, en el pozo Es-429, se observa un comportamiento diferente de las curvas que muestran dos tendencias,

la inferior en forma de embudo (grano-creciente) y la superior de campana (grano-decreciente). Esta zona se encuentra asociada a los bordes del canal descrito. En este pozo se registran 23 pies de arena, relación de "net to gross" igual a 60,5% y arena/lutita de 1 ½. Ubicado en la zona central del campo se reconoce un segundo canal, que toma una orientación pseudo-paralela al anterior, presenta espesores de arena menos importantes (hasta 30 pies), pero con relaciones "net to gross" que alcanzan el 86,7% y arena/lutita menores a 8. El tercer cuerpo se interpreta como la zona marginal de un canal ubicado al sureste del campo. Está representado por el pozo Es-431, en el que se registra un espesor de arena igual a 21 pies, relaciones de "net to gross" y arena/lutita de hasta 65,6% y 2, respectivamente (ver el comportamiento de las relaciones en las figuras 3.28 y 3.29 y en los anexos 57 y 71).

(b) Las facies de llanura de inundación se reconocen por la tendencia irregular que muestran las curvas de potencial espontáneo y de rayos gamma en los pozos Es-420 y Es-424 (al sur). Éstas ocupan un 20% del área total, y en ella se reconocen espesores promedios de arena igual a 8 pies, relaciones de "net to gross" entre 19 % y 36%, mientras que arena/lutita varía entre 1/4 y 4/7 (ver las figuras 3.28 y 3.29, anexos 57 y 71).

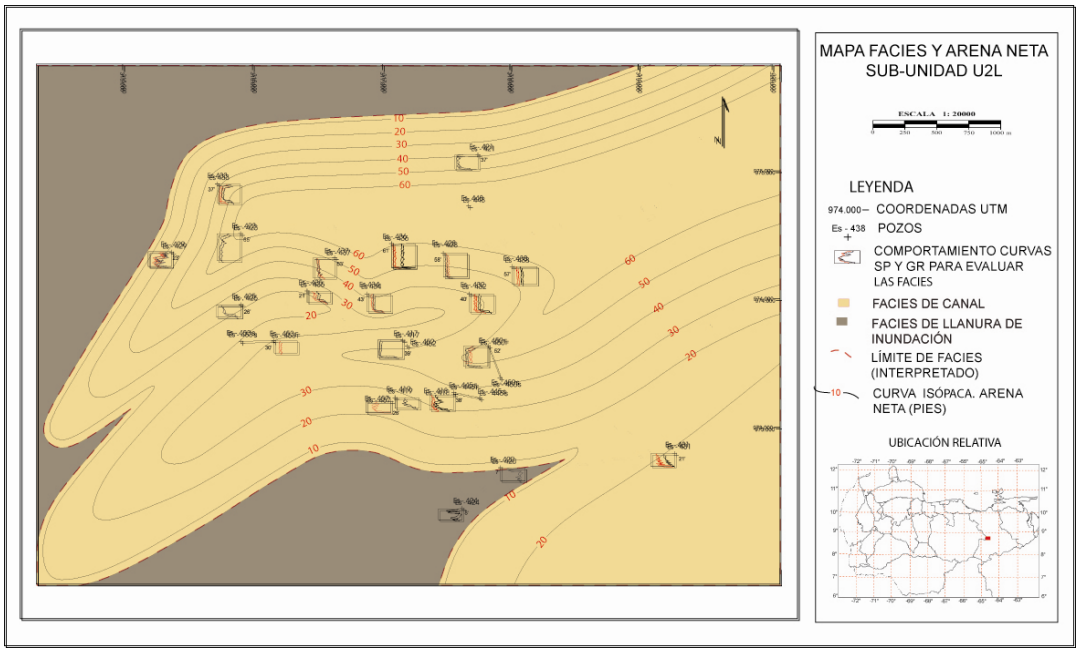



Fig. 3.27: Mapa de Facies y Arena Neta para la unidad U2L. Se observan las relaciones entre las facies y la presencia de cuerpos de arena muy espesos que se orientan de forma preferencial E-O

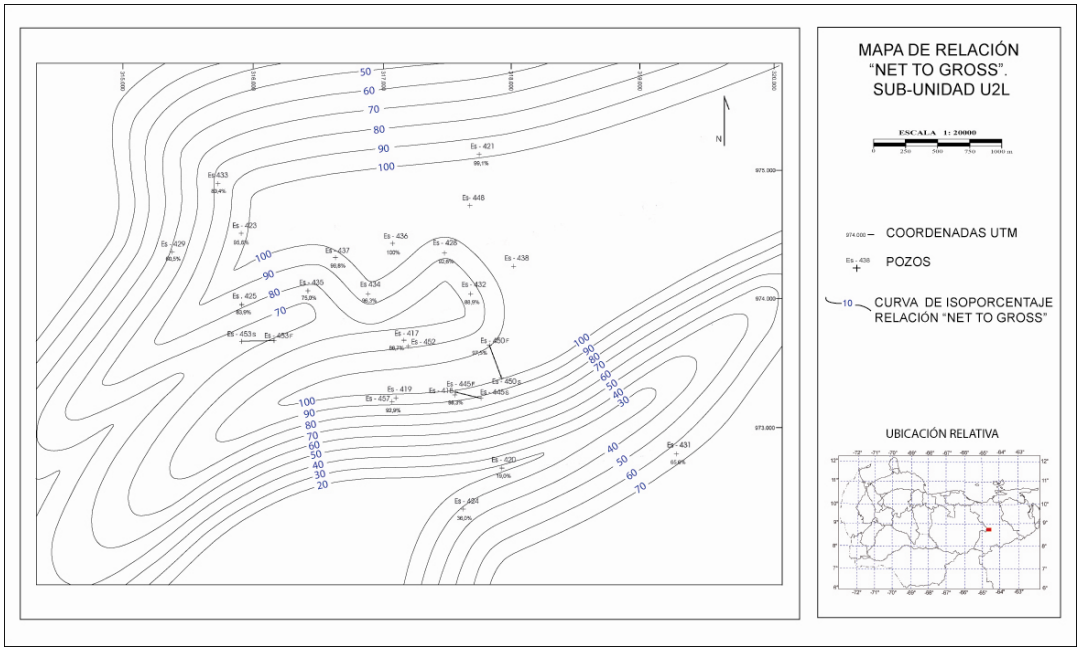



Fig. 3.28: Mapa Relación "Net to Gross" para U2L. En éste el cambio de la geometría de los cuerpos de arena es mucho más importante, notándose una fuerte influencia E-O hacia el norte del campo

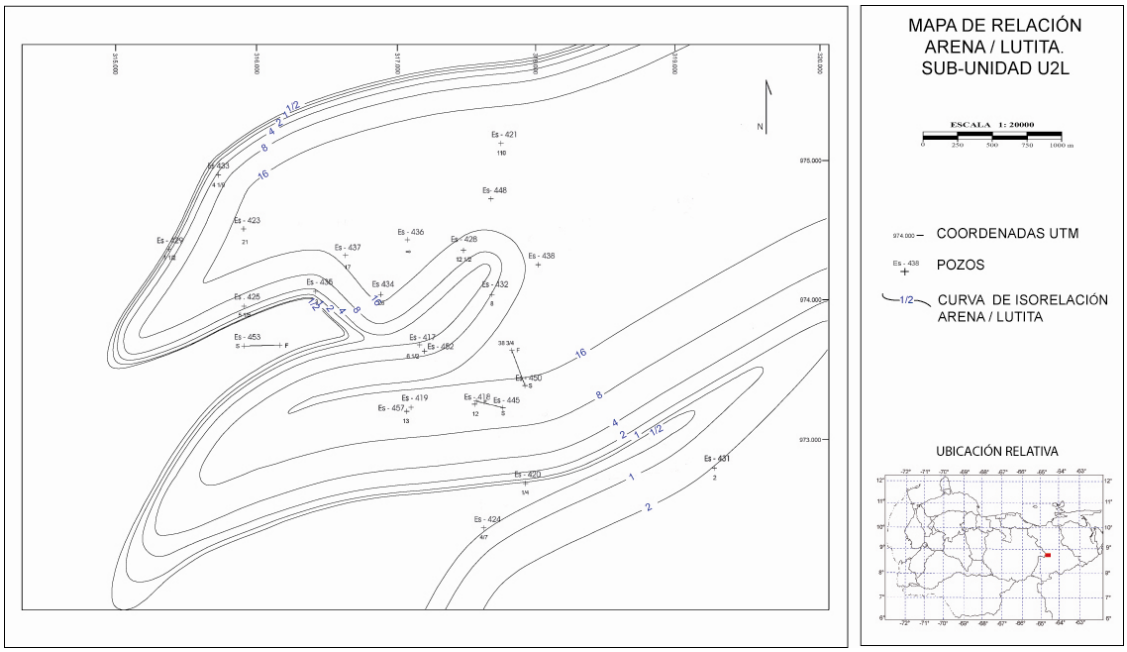



Fig. 3.29: Mapa Relación Arena/Lutita U2L, en la que se sigue observando la tendencia E-O en la distribución de los sedimentos que conforman la sub-unidad.

Al comparar los mapas realizados en la sub-unidad U2L se puede observar que existe similitud entre ellos, debido a la correspondencia entre las relaciones de facies, la geometría de los cuerpos y la distribución de los sedimentos. Al norte del campo se observa un incremento en el espesor de la sub-unidad, mostrando una alineación E-O, al igual que los cuerpos generados por la depositación de sedimentos arenáceos, los cuales tienden a depositarse en la misma dirección, mostrando un control externo. En el mapa estructural del tope de la unidad de producción U2M, L (ver la figura 3.30) se observa la presencia de una falla E-O al norte del campo, la cual pudiese estar provocando esta alineación durante la sedimentación de U2L. Se interpreta que la falla es sin-sedimentaria ya que existe correspondencia entre los espesores anómalos y la distribución de los sedimentos, generándose una geometría característica en los depósitos que se desarrollan durante este tipo de episodios depositacionales.

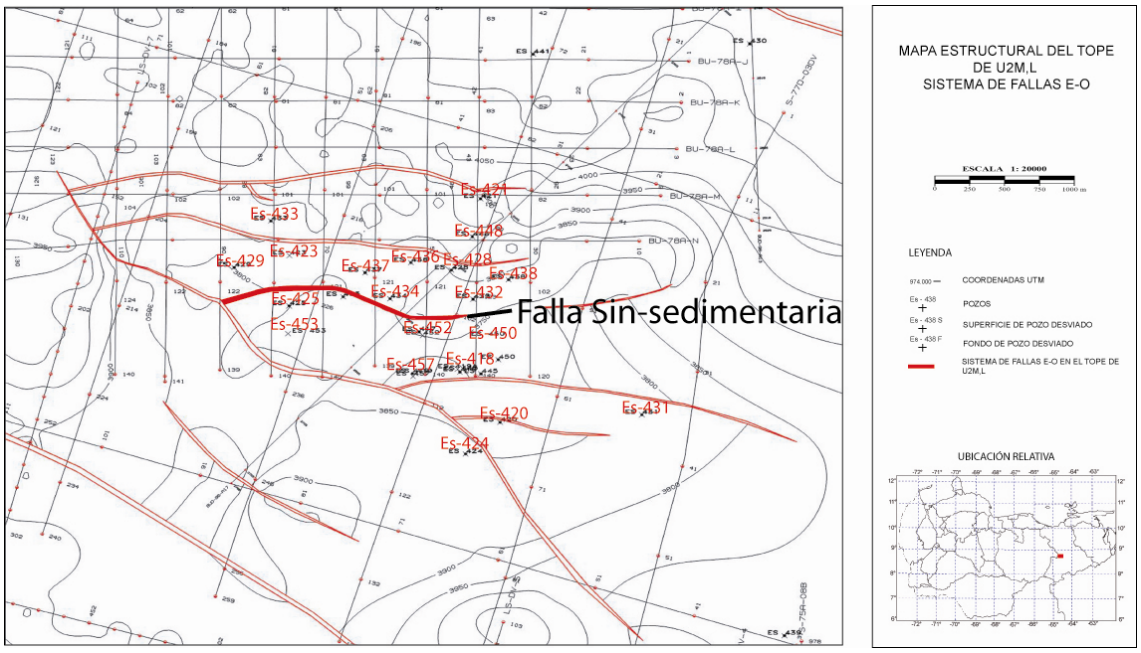



Fig. 3.30: Mapa Estructural del Tope de la sub-unidad U2L del Campo Socororo. Se logra observar al noroeste la presencia de fallas con orientación E-O, que pueden estar controlando la distribución de sedimentos en el campo.

- Análisis ambiental

La distribución de las facies dentro de los límites del campo y la relación lateral que se observa entre ellas permite, tomando en consideración el cambio en la geometría producto del control estructural reinante, identificar un ambiente de depositación fluvial en el que se desarrolla un sistema de canales meandriformes, caracterizado por la presencia de tres cuerpos generados por la erosión característica de ellos, y en el cual se pueden desarrollar islas entre las zonas de mayor erosión como consecuencia de la interrupción de la barra de meandro por la ocurrencia de canales ahorcados ("chute").

Al oeste del campo se encuentra el origen de uno de los canales con orientación preferencial N30ºE. Posee geometría alargada y perfil simétrico, permitiendo que la zona de mayor erosión afecte su parte media. Presenta 0,75 km de ancho y una profundidad máxima de 65 pies (como consecuencia, la relación ancho/profundidad es baja, tal y como se observa en el Apéndice III). En la zona central del campo se

observa el desarrollo de un segundo canal. Éste varía su orientación entre N60ºE hasta casi E-O. También posee geometría alargada con perfil simétrico y línea de "talweg" en la zona media del canal; presenta un ancho de 0,75 km y profundidad variable entre 30 y 52 pies, mostrando una relación ancho/profundidad baja (ver Apéndice III). Un tercer cuerpo interpretado al sureste del campo, cuya geometría no es observable por la baja densidad de datos de esa zona, presenta sin embargo una orientación aparente que se acerca a N65ºE.

Hacia el norte del campo se observa que los canales tienden a unirse. Sin embargo, el cambio drástico de orientación del sistema y el engrosamiento anómalo de la secuencia con orientación preferencial E-O (evidenciado en los pozos Es-423, Es-428, Es-436) permiten inferir un control adicional en la disposición de las facies durante la depositación de la sub-unidad U2L en esta parte del campo. Tomando los datos de los modelos estructurales realizados en el Campo Socororo Oeste, existe la evidencia de una falla con orientación E-O, que coincide espacialmente con esta zona donde hay aumento anómalo del espesor, por su condición de falla sin-sedimentaria. Estas estructuras son características de la transición entre la formación Merecure y la formación Oficina (U2L), que marcan el desarrollo de una cuenca antepaís ("foreland"), como consecuencia de la colisión oblicua entre la Placa Caribe y la Suramericana.

Entre los canales quedan evidencias de la llanura de inundación, la cual ha sido aislada por el continuo movimiento del sistema fluvial (avulsión). En estas llanuras aisladas se observan depósitos de borde de canal por la inundación continua de estos sobre las zonas emergidas, las cuales tienden a ir desapareciendo por el dinamismo que hay en el sistema.

### *Sub-unidad U2M*

- Descripción

La base de U2M coincide con el tope de la sub-unidad inferior (U2L). Sin embargo, por la acción erosiva del evento que da lugar a esta sub-unidad, la lutita del

tope sólo se puede observar en los pozos Es-421, Es-429 (al oeste del campo), Es-420, Es-424 y Es-450 (al sur del campo).

El tope de esta sub-unidad lo representa una lutita de espesor variable entre 2 pies (en el pozo Es-436, al norte del campo) hasta los 25 pies (en el pozo Es-425, al oeste), exhibe valores de resistividad baja, entre 0,5 – 3 ohm.m y densidad intermedia entre 2,4 - 2,6 g/cm$^3$. La presencia de cuerpos limosos a arenosos en la lutita, le proporciona un comportamiento heterogéneo.

Las figuras 3.31 y 3.32 (ver anexos 1 y 7) muestran las relaciones entre las facies, la geometría de los cuerpos y la secuencia de la sub-unidad. Es importante resaltar que en ésta no se observan cuerpos de depósitos de arenas más espesos.

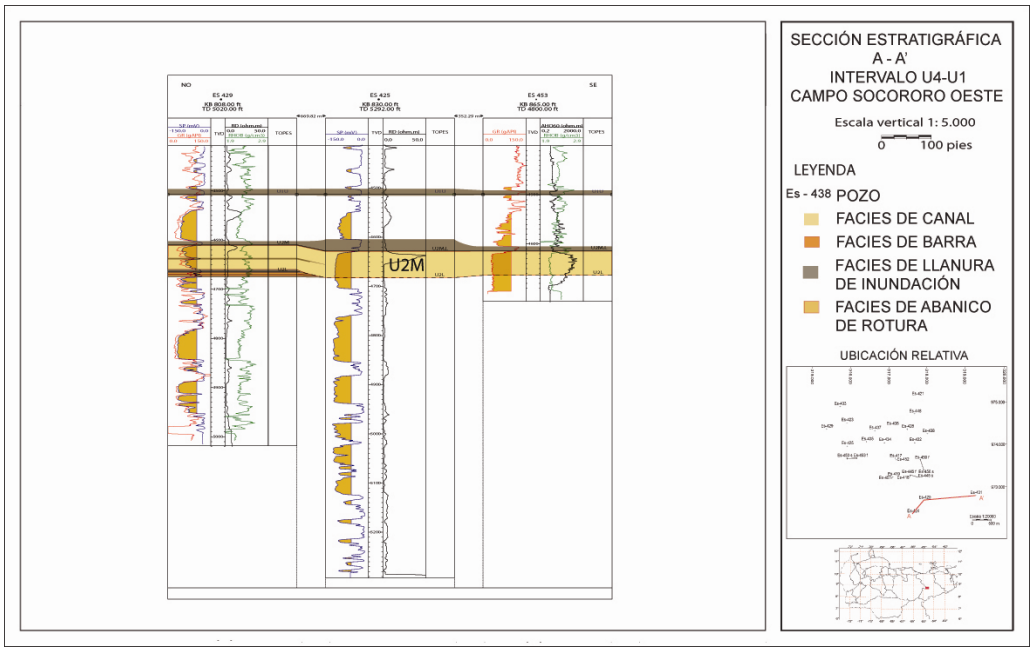



Fig. 3.31: Sección estratigráfica A-A'. En ella se observan los espesores anómalos de ésta unidad.

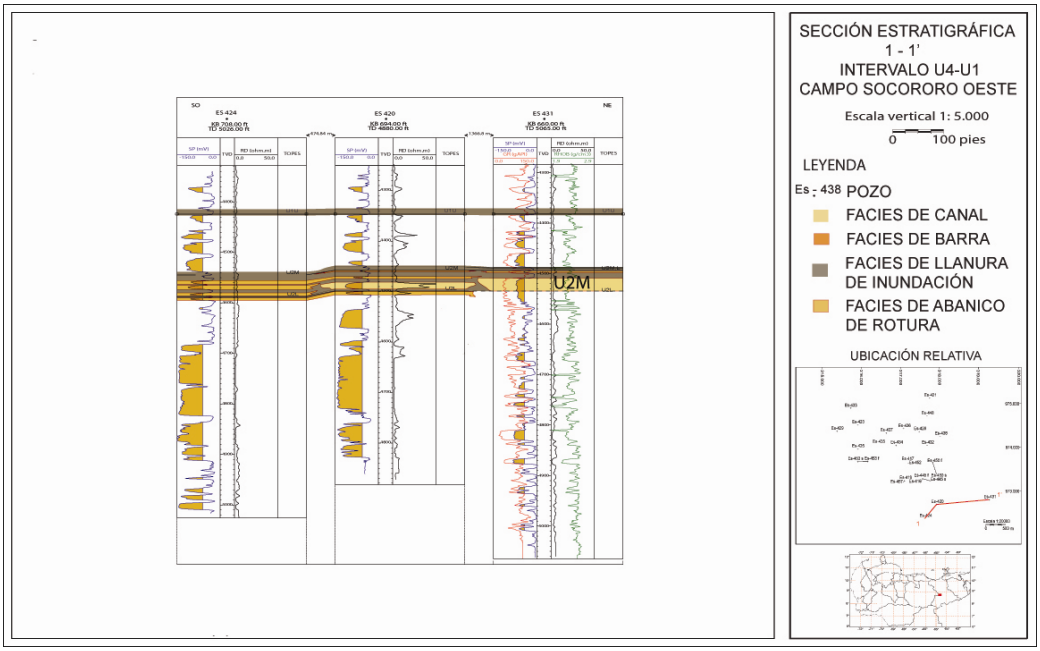



Fig. 3.32: Sección estratigráfica 1-1', realizada a lo largo del buzamiento de la sedimentación. Se puede observar las relaciones laterales entre las facies y el desarrollo de cuerpos con menor espesor.

El espesor de la unidad varía entre 28 a 55 pies (en los pozos Es-433 y Es-437, respectivamente). En esta sub-unidad se logra reconocer dos tipos principales de facies, cuya distribución se observa en la figura 3.33 (anexos 30 y 44):

(a) Las facies de canal están representadas, principalmente, por curvas con tendencia cilíndrica y, en menor cantidad, por tendencia en forma de campana. Abarcan el 80% del área del mapa, y adquieren una orientación preferencial N60°E, pudiéndose reconocer tres cuerpos arenosos. Al oeste del campo se ubica el cuerpo principal, que se desarrolla en una dirección igual a la general (N60°E), alcanza valores de arena iguales a 53 pies, relación "net to gross" de 98,1% y arena/lutita igual a 53; el pozo Es-429 muestra una zona limosa-lutítica, que pudo ser generada durante un evento de disminución en la energía del ambiente. Sin embargo, aún se preservan espesores de arena importantes (43 pies de espesor). El segundo cuerpo se reconoce en la

zona central del campo. Posee una dirección preferencial N30°E, los valores de arena que exhibe llegan hasta los 43 pies, las relaciones de "net to gross" alcanzan los 95,2% y arena/lutita mayor a 16. El tercer cuerpo se reconoce en el pozo Es-431. Posee un espesor de arena igual a 27 pies, relaciones de "net to gross" de 60% y arena/lutita igual a 1 ½ (ver las figuras 3.34 y 3.35, anexos 58 y 72).

(b) Las facies de llanura de inundación ocupan un 20% del área del mapa y se reconocen en los pozos Es-420 y Es-424 (al sur del campo) por el comportamiento irregular de las curvas. En estas facies se reconocen espesores promedios de arena igual a 17 pies, relaciones de "net to gross" entre 40,7% y 46,2%, mientras que arena/lutita varía entre 2/3 y 6/7 (ver las figuras 3.34 y 3.35, anexos 58 y 72).

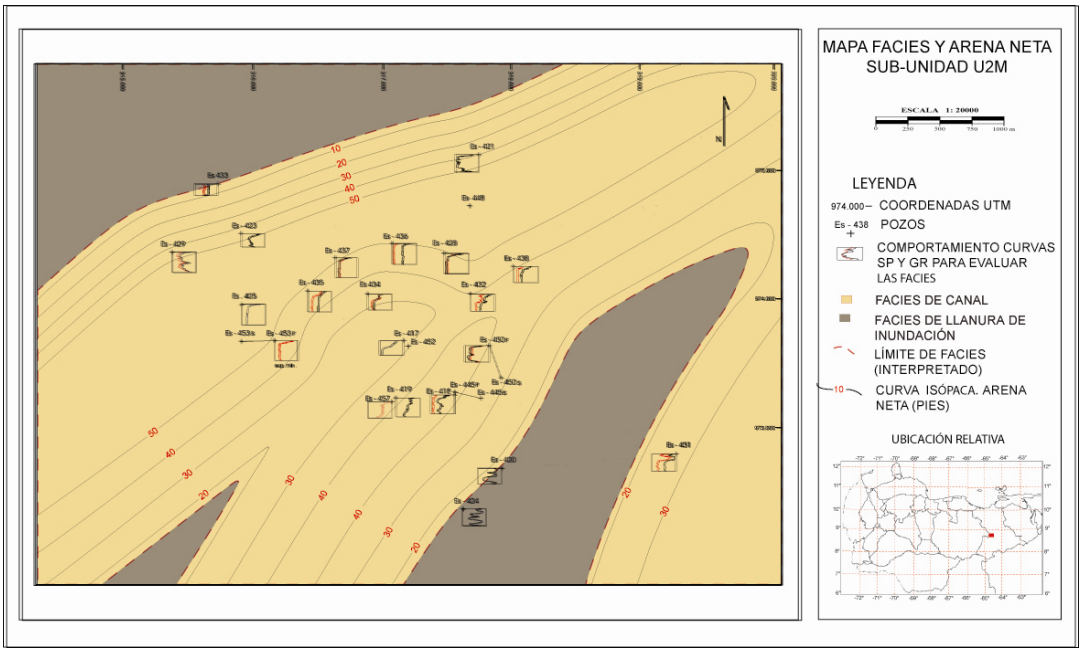



Fig. 3.33: Mapa de Facies y Arena Neta, que muestra la distribución de las facies reconocidas en U2M mostrando el desarrollo de cuerpos orientados en dirección de la sedimentación

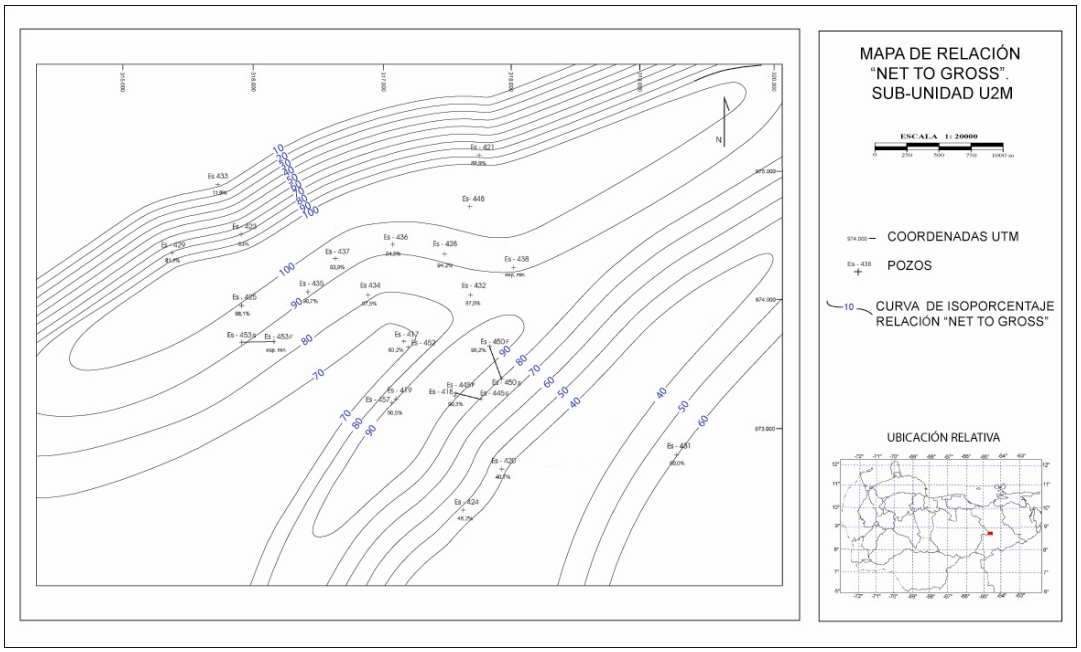



Fig. 3.34: Mapa Relación "Net to Gross". Muestra la geometría de los cuerpos arenosos y las relaciones que guardan éstos con la distribución de las facies.

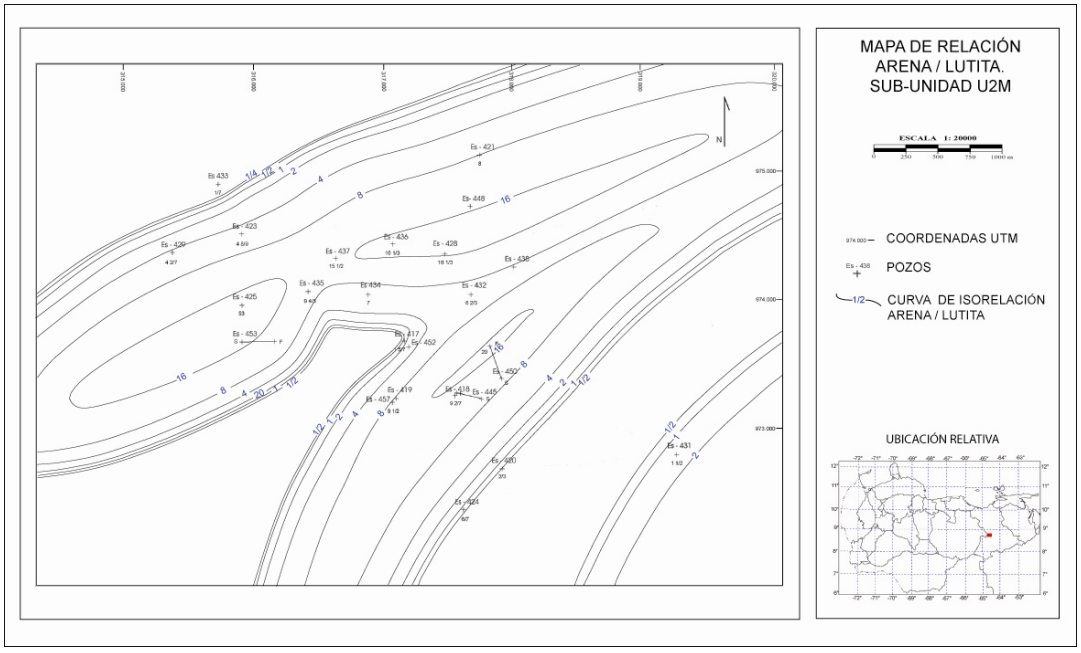



Fig. 3.35: Mapa Relación Arena/Lutita de U2M, donde se observa la tendencia en la distribución de los sedimentos desde la llanura de inundación hasta los canales

Los mapas que se muestran para la sub-unidad U2M presentan una fuerte correspondencia, indicando que la distribución de los sedimentos, la geometría que adquieren dentro del ambiente y la distribución de facies realizada por las relaciones verticales y laterales entre ellas señalan las zonas de mayor erosión y el comportamiento del sistema ambiental en las zonas adyacentes a los canales.

La interpretación de estos mapas y las secciones estratigráficas permiten describir el ambiente en el cual se formó U2M:

- Análisis ambiental

La disposición espacial de las facies en esta sub-unidad muestra un ambiente de sedimentación fluvial de meandros, en el que se desarrollan canales distributarios entre los cuales se reconocen facies de llanura interdistributaria, consecuencia de la inundación de la zona entre canales.

El canal de mayor jerarquía se encuentra al oeste del campo. Presenta una dirección preferencial N70°E, exhibe 2,2 km de ancho, y alcanza una profundidad máxima de erosión de 53 pies otorgándole una relación ancho/profundidad media (ver Apéndice III); la zona de mayor erosión indica la ubicación de la línea de "talweg"; adicionalmente la disposición de las curvas indica que el canal posee perfil asimétrico, donde la zona con mayor pendiente se encuentra al norte.

Un segundo canal distributario se dispone en la zona central del campo, presentando una dirección que tiende a ser N45°E, aproximadamente 1,4 km de ancho, y un espesor que alcanza los 43 pies. Muestra una relación ancho/profundidad entre media y baja (ver Apéndice III). Hacia la zona central del campo se unen los canales distributarios, dando origen a un sistema de mayor jerarquía que posee 2 km de ancho y 50 pies de profundidad.

Hacia el extremo sureste del campo, en el pozo Es-431, se registra la presencia de un tercer canal, que no puede ser descrito en su totalidad debido a que sale de los límites del campo; sin embargo, por el espesor de arena encontrado y la tendencia general de la sedimentación pareciera que este canal se uniera al sistema principal hacia el este. Se interpreta para este cuerpo una orientación sub-paralela a la de los otros cuerpos descritos

Al noroeste de éste (en el pozo Es-433) se puede evidenciar el proceso de abandono de un canal, por el gran espesor de lutita preservado. Hacia esta zona, en los pozos Es-423 y Es-429, se aprecia la ocurrencia de abanicos de rotura de gran espesor, pero su geometría no puede ser indicada, debido a la ausencia de información hacia esta zona.

Las llanuras de inundación se reconocen en los pozos Es-420 y Es-424, en la zona sur del campo, corresponde con la zona de inundación del delta, donde la carga de fondo y los sedimentos en suspensión se depositan de forma caótica durante las inundaciones de los canales, generando el comportamiento irregular de las curvas.

*Sub-unidad U2U*

- Descripción

La base de ésta sub-unidad es una lutita de resistividad y densidad variables, entre 0,5 - 3 ohm.m y 2,4 - 2,6 g/cm$^3$ respectivamente. El comportamiento es heterogéneo debido a la presencia de cuerpos limosos a arenosos dentro de ella. El espesor es muy variable, desde los 2 pies (en el pozo Es-436, al norte del campo) hasta los 25 pies (en el pozo Es-425, al oeste).

El tope lo representa una lutita también heterogénea con valores de resistividad cercanos a 3 ohm.m y de densidad entre 2,4 - 2,6 g/cm$^3$. Posee espesores que varían entre 1 pie (en el pozo Es-453, al oeste del campo) y 12 pies (en el pozo Es-433, al noroeste), perdiéndose su continuidad lateral hacia el oeste del campo, en los pozos Es-423, Es-425 y Es-429, debido a eventos erosivos.

En las figuras 3.36 y 3.37 (anexos 3 y 11) se muestran las correlaciones realizadas para esta sub-unidad, exhibiendo la geometría de los canales, las relaciones espaciales que guarda con otras unidades y cómo varían lateralmente.

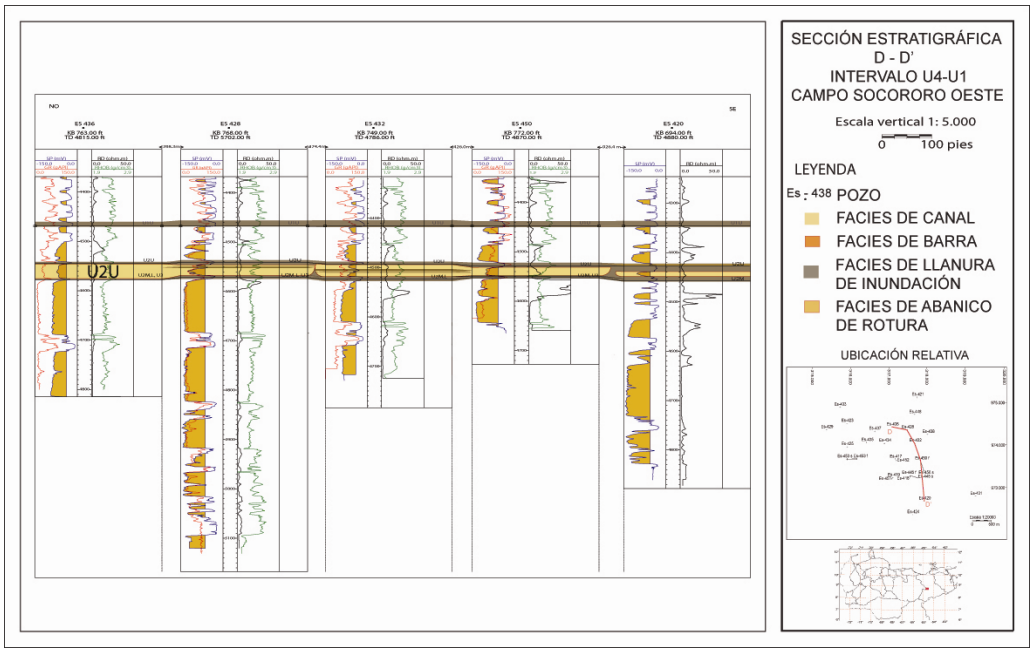



Fig. 3.36: Sección estratigráfica D-D' en la que se observan las relaciones entre las facies, la continuidad lateral y la geometría de los cuerpos litológicos.

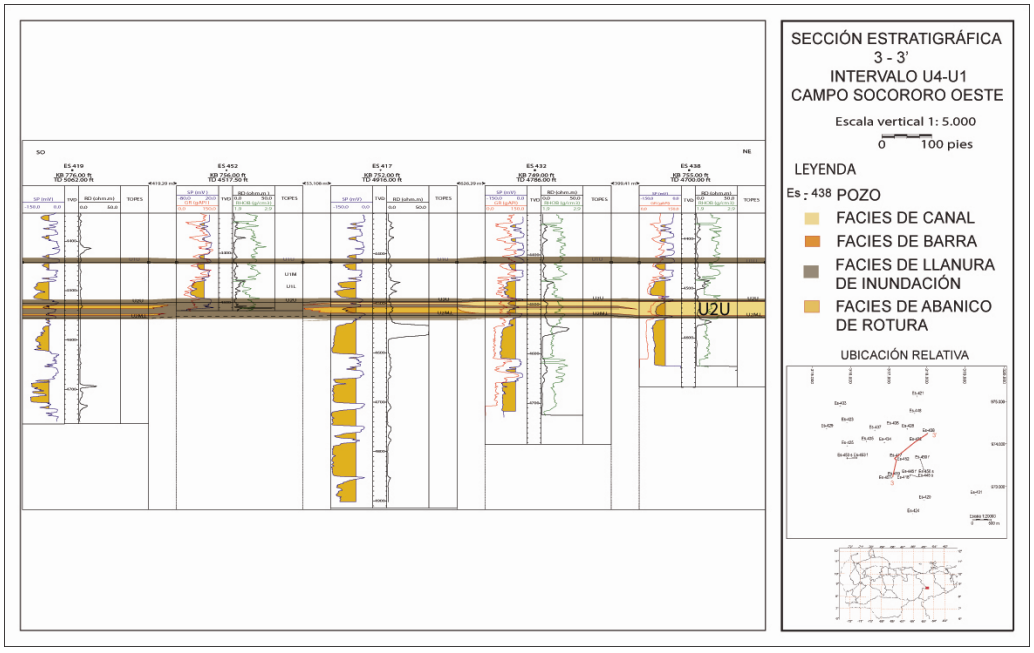



Fig. 3.37: Sección estratigráfica 3-3', realizada a lo largo del buzamiento de la sedimentación, en ella se observa las relaciones entre los canales y la llanura de inundación

La sub-unidad completa varía entre los 24 pies (en el pozo Es-418, en la zona central) y los 38 pies de espesor (en el pozo Es-433, al noroeste). En ella se observan dos tipos principales de facies (ver la figura 3.38, anexos 31 y 45):

(a) Las facies de canal que poseen una tendencia, principalmente, en forma de campana, de características grano-decreciente hacia el tope, indican depósitos de arenas limpias. Esta zona ocupa el 70% del área del mapa, y comprende 3 cuerpos arenosos principales, de orientación preferencial N50°E. En el primero de estos, al norte, se evidencian espesores de arena de hasta 32 pies, relaciones de "net to gross" de 80% y de relación arena/lutita mayor a 4, en la zona de mayor erosión. El segundo, en la zona central, alcanza espesores de hasta 30 pies, y exhibe valores máximos de relación de "net to gross" y de arena/lutita de 90% y 8, respectivamente. El tercer cuerpo arenoso reconocido, al sur, presenta hasta 26 pies de arena, relación de "net to gross" de hasta 80% y valores máximos de relación arena/lutita ligeramente mayores a 2 (ver las figuras 3.39 y 3.40, anexos 59 y 73).

(b) 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 30% del área total, y presenta espesores de arena de 3 pies. Se reconoce hacia el norte del campo, en el pozo Es-421, y se aprecian valores de relación de "net to gross" de 10%, y de arena/lutita iguales a 1/4 (ver las figuras 3.39 y 3.40, anexos 59 y 73).

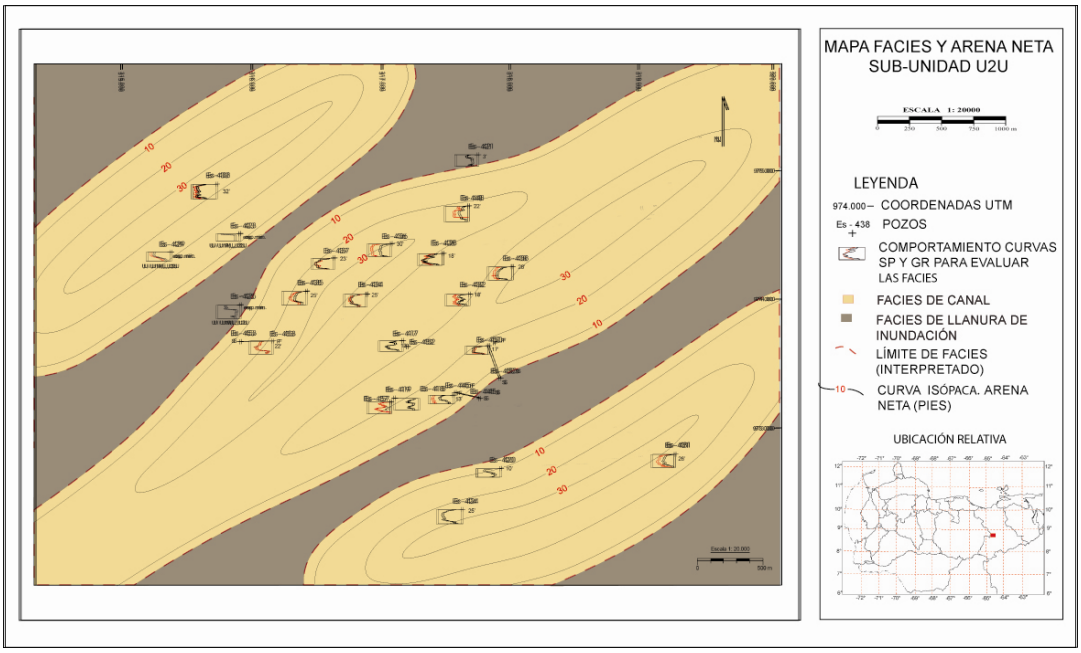



Fig. 3.38: Mapa de Facies y Arena Neta de U2U. Se muestra la distribución de las facies reconocidas, mostrando el desarrollo de cuerpos orientados según la dirección de sedimentación.

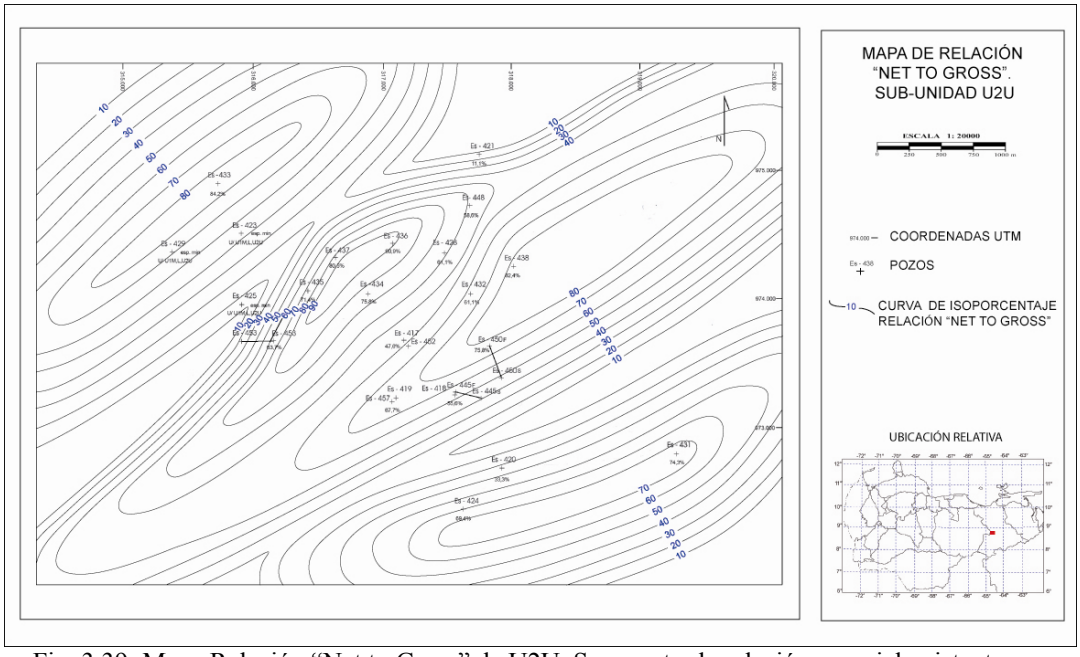



Fig. 3.39: Mapa Relación "Net to Gross" de U2U. Se muestra la relación espacial existente entre los valores de arena y el espesor total de la sub-unidad.

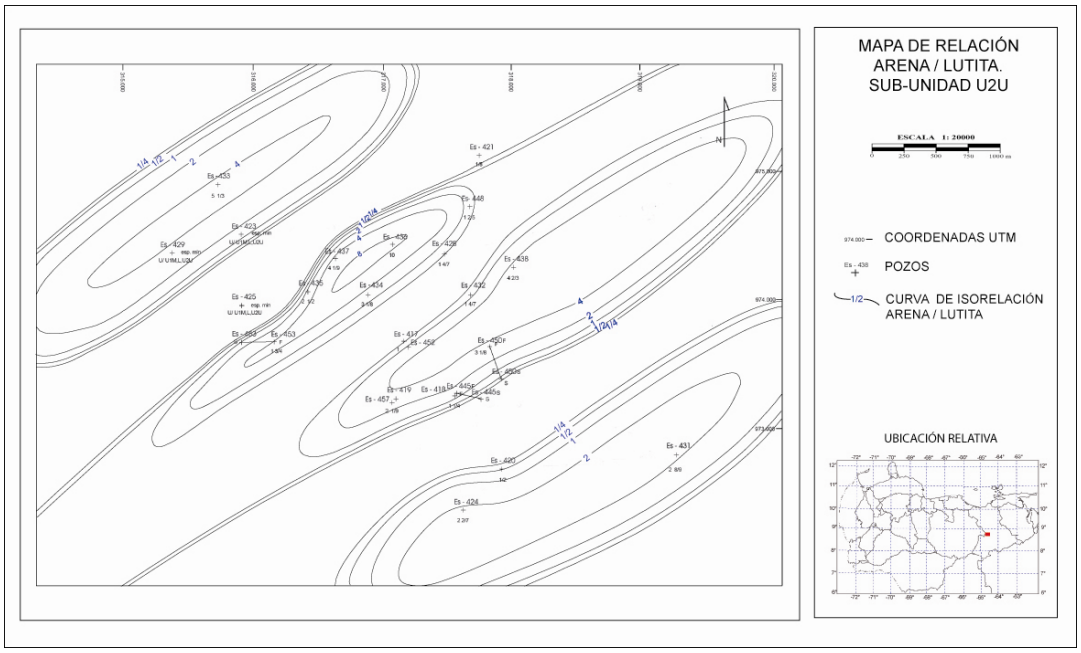



Fig. 3.40: Mapa Relación Arena/Lutita para U2U. Muestra la distribución de los sedimentos en la sub-unidad.

La correspondencia observada entre los mapas de la sub-unidad U2U indican que la distribución de las facies es consecuente al ambiente depositacional, produciendo una distribución lógica de los sedimentos, los cuales adquieren una geometría alargada cuya orientación sigue la dirección de la corriente. Las relaciones laterales muestran que los cuerpos de arenas limpias se encuentran hacia la zona de mayor erosión, disminuyendo las relaciones entre arena/lutita y "net to gross" hacia la llanura de inundación, la cual corresponde a la zona de depósitos de sedimentos finos.

- Análisis ambiental

La disposición espacial de las facies dentro del campo indica que la sub-unidad se desarrolló en un ambiente de sedimentación de planicie deltáica, en donde se reconocen facies de depósitos de canales distributarios y llanura de inundación.

En la zona central del campo se observa un canal distributario de mayor jerarquía, que posee 1,8 km ancho y un espesor máximo de 30 pies, presentando una relación ancho/profundidad media (ver Apéndice III). En la parte central de este canal se aprecia una disminución en los espesores de arena (pozos Es-417, Es-428 y Es-432), y la ocurrencia de dos líneas de máxima erosión, sugiriendo la presencia de

zonas emergidas que son generadas por la preservación de la llanura de inundación entre dos canales después del proceso de avulsión. Estas islas presentan depósitos de arena de cierto espesor debido a las inundaciones de los canales distributarios

Tanto al norte como al sur del campo, se reconocen dos canales distributarios de menor jerarquía, cercanos a 1 km de ancho y espesores máximos de 30 pies, con relación ancho profundidad media (ver Apéndice III).

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.

#### *3.1.3.4. Unidad U1*

La base de esta unidad está representada por una lutita, que posee valores de resistividad cercanos 3 ohm.m y de densidad entre 2,4 - 2,6 g/cm$^3$. Posee espesores que varían entre 1 pie (pozo Es-453, al oeste del campo) y 12 pies (pozo Es-433, al noroeste), perdiéndose su continuidad lateral hacia el oeste del campo, en los pozos Es-423, Es-425 y Es-429, debido a que está coalesciendo con la sub-unidad inferior.

El tope lo representa una lutita persistente en todos los pozos del campo. Posee un espesor promedio de 11 pies, y exhibe valores de resistividad muy bajos, menores a 1 ohm.m, y valores de densidad poco mayores a 2,4 g/cm$^3$.

En la unidad completa se observan varios tipos de facies: en las sub-unidades inferior y media (U1L Y U1M), se reconocen dos tipos de comportamiento en las curvas, una con tendencia de campana asociada a facies de canales, y otra en forma de embudo para las facies asociadas a abanicos de rotura. En la sub-unidad superior (U1U) las curvas presentan una tendencia de embudo, debido a su comportamiento grano-creciente, a la cual se le asocian facies de barras litorales.

*Sub-unidad U1L*

- Descripción

La base de ésta sub-unidad coincide con la base de la unidad U1. Hacia el oeste del campo (en los pozos Es-423, Es-425 y Es-429) se pierde la continuidad lateral de esta lutita, debido a la coalescencia con la sub-unidad inferior.

Por otra parte, el tope de esta sub-unidad es igualmente una lutita, con un espesor que oscila entre 3 pies (pozo Es-457) y 10 pies (Es-424). Presenta valores de resistividad que tienden a ser bajos, menores a 2 ohm.m, y densidad cercana a 2,4 g/cm$^3$. Debido a la acción erosiva de la sub-unidad superior, esta lutita solo se conserva en los pozos Es-420 y Es-424, al sur del campo, y en el Es-457 en la zona central.

Las figuras 3.41 y 3.42 (anexos 1 y 9) son las secciones estratigráficas realizadas para esta sub-unidad, en éstas se observa el comportamiento de las facies y sus relaciones laterales.

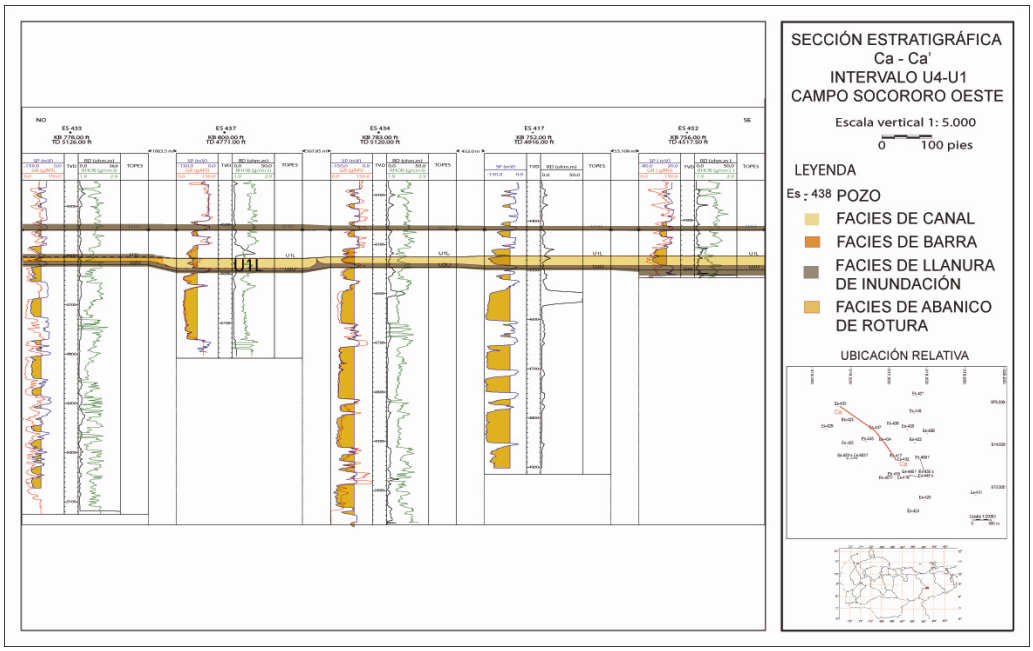



Fig. 3.41: Sección estratigráfica Ca-Ca'. Muestra las relaciones entre las facies de canales y llanura de inundación, en la misma se observa que los cuerpos mantienen la continuidad lateral.

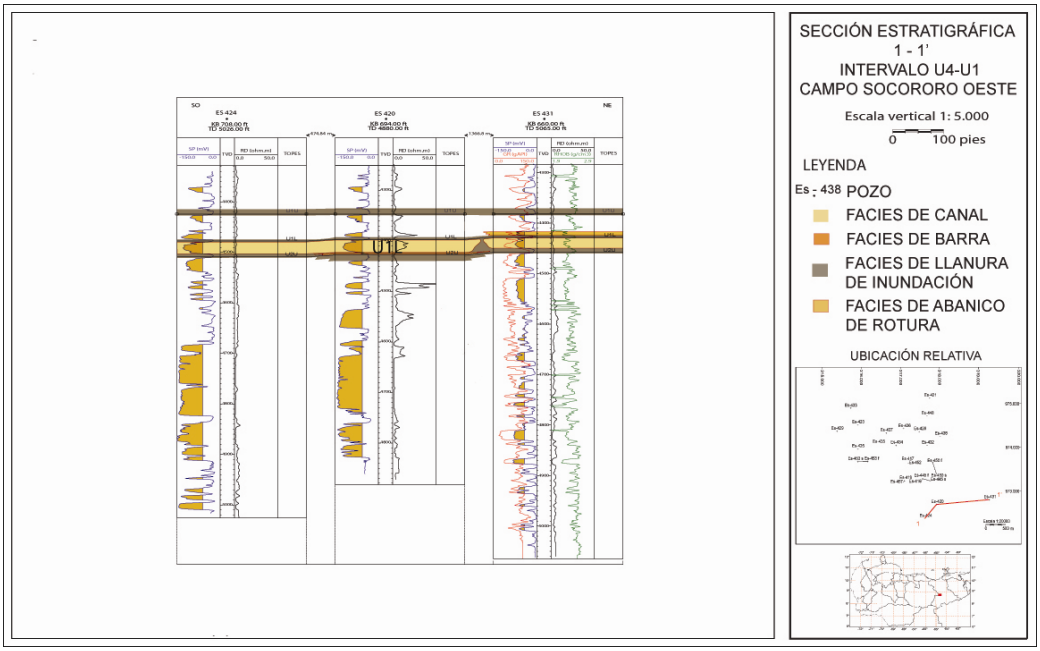



Fig. 3.42: Sección estratigráfica 1-1', realizada a lo largo del buzamiento de la sedimentación con el fin de observar las relaciones entre las facies

Para esta sub-unidad se reconocen facies de canal, mostrando principalmente una tendencia en forma de campana, y en menor medida comportamiento cilíndrico (al norte en el pozo Es-421, y al oeste en los pozos Es-423, Es-425 y Es-429). Ella ocupa aproximadamente un 80% del área del mapa, representada por dos cuerpos arenosos principales (ver la figura 3.43, anexos 32 y 46): el más importante ubicado al noroeste, con orientación preferencial N60°E, y espesores de hasta 40 pies, y alcanza una relación de "net to gross" del 100% y de arena/lutita mayor a 16. El otro muestra una dirección aproximada N20°E, espesores de hasta 26 pies, y una relación de "net to gross" máxima de 80%, y de arena/lutita ligeramente mayor a 4 (ver las figuras 3.44 y 3.45, anexos 60 y 74). Ambos cuerpos se unen hacia el noreste del campo, tomando la dirección del canal principal (N60°E). Adicionalmente se aprecia en el pozo Es-431 facies de canal, con un espesor de arena de 19 pies, que permite sugerir la presencia de un tercer cuerpo arenoso al sureste del campo.

Asociado a esta facies, se reconoce una secuencia en forma de embudo, en el pozo Es-433 al noroeste, que corresponde a un abanico de rotura, asociado al canal principal. Este alcanza un valor de arena igual a 7, una relación de "net to gross" que

llega a 40,2% y una relación arena/lutita ligeramente menor a 1 (ver las figuras 3.44 y 3.45, anexos 60 y 74). A pesar de que no se observan facies características de la llanura de inundación, ésta puede ser interpretada hacia los márgenes de los canales por la disminución de los depósitos de arena hacia esa zona.

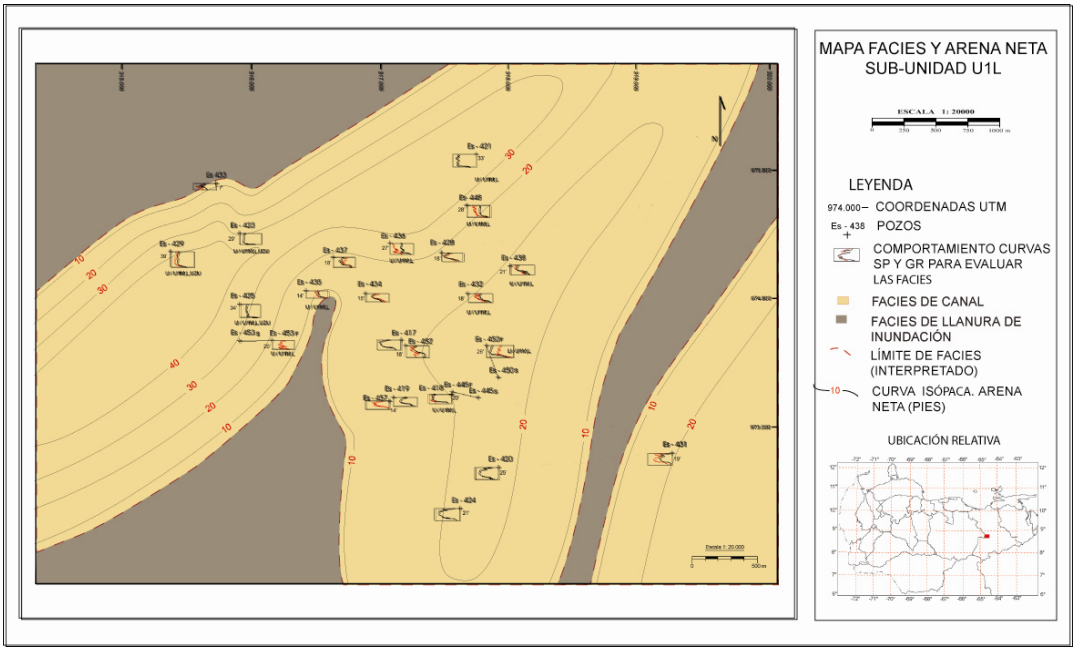



Fig. 3.43: Mapa de Facies y Arena Neta, en el que se muestra la dirección de la sedimentación para la formación de U1L.

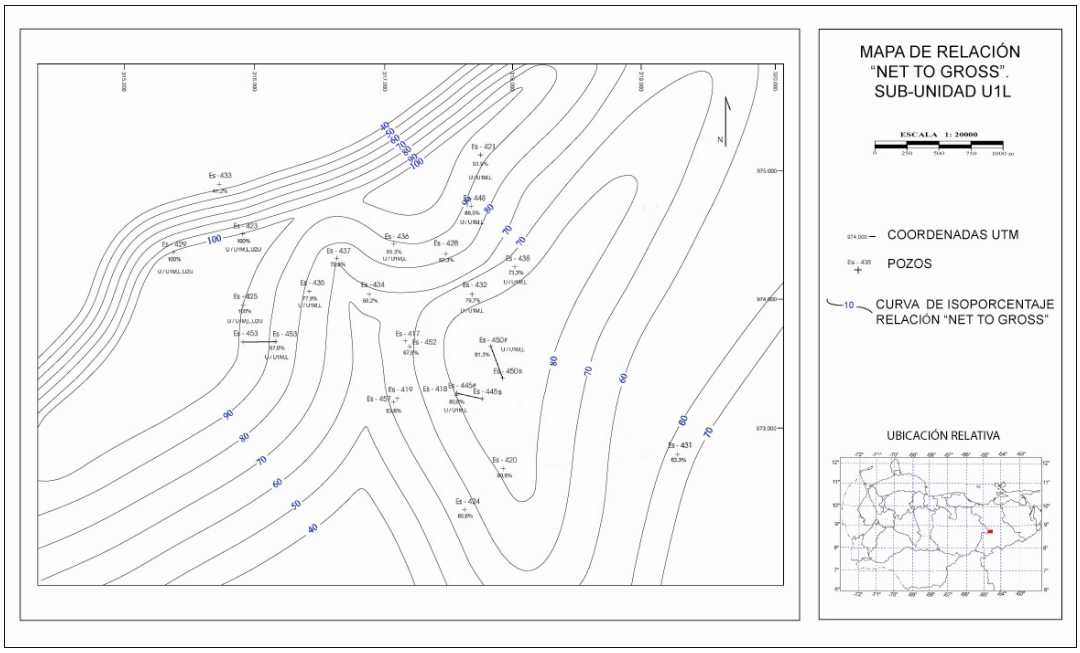



Fig. 3.44: Mapa Relación "Net to Gross" de U1L

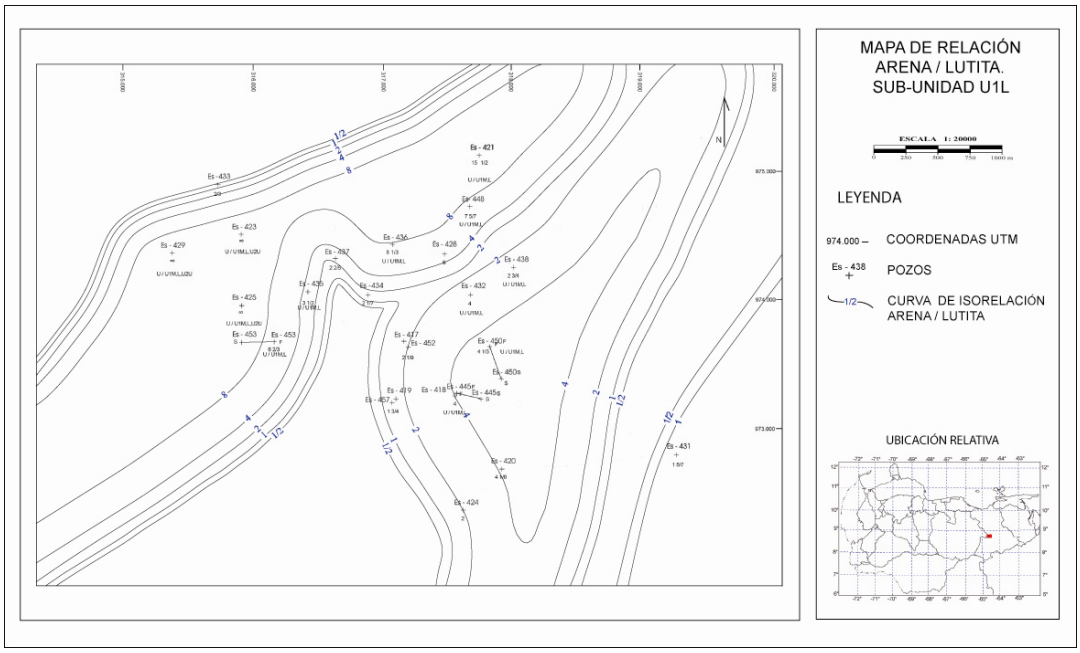



Fig. 3.45: Mapa Relación Arena/Lutita donde se observa la distribución de los sedimentos para la sub-unidad.

Al observar los mapas de U1L puede notarse la tendencia de los cuerpos a presentar una dirección aproximada N45°E, debido a la distribución de los sedimentos por la influencia fluvial. La orientación de los depósitos de arena indica la zona de mayor erosión del canal, y en las zonas marginales a éste se comienzan a depositar los sedimentos finos.

- Análisis ambiental

La relación espacial de las facies para esta sub-unidad muestra una sedimentación de planicie deltáica, que permite observar el desarrollo de dos canales principales, e inferir un tercer canal al sureste, por el comportamiento mostrado por el pozo Es-431. El canal principal se observa al noroeste con un ancho aproximado de 1,5 km y hasta 40 pies de profundidad, generando una relación ancho/profundidad baja (ver Apéndice III). El segundo canal se encuentra al sureste del anterior; posee un ancho promedio de 1,6 km, y profundidad de hasta 26 pies, cuya relación ancho/profundidad también es baja (ver Apéndice III). Ambos canales presentan una zona de mayor erosión en su parte central y muestran un perfil simétrico. Al noreste del campo se observa la unión de ambos canales, generando uno solo que posee un ancho aproximado de 2,2 km y una profundidad similar a la de los canales tributarios.

Al noroeste del campo se observa un abanico de rotura asociado al desbordamiento del canal principal, como consecuencia de la colmatación de sedimentos dentro del mismo. Las dimensiones de este cuerpo no se pueden observar en el campo; sin embargo, tienden a ser muy variables ya que dependen de la extensión de la llanura de inundación y de la carga sedimentaria del canal principal.

### *Sub-unidad U1M*

- Descripción

La base de esta sub-unidad es una lutita que muestra un espesor que varía entre 3 pies (pozo Es-457) y 10 pies (Es-424). La misma posee valores de resistividad bajos (menores a 2 ohm.m), y la densidad se mantiene muy cercana a los 2,4 g/cm$^3$. Como consecuencia de la acción erosiva de esta sub-unidad, la lutita desaparece en los

pozos del campo, conservándose únicamente en los pozos Es-420 y Es-424, al sur del campo, y en el Es-457 en la zona central.

El tope de la sub-unidad es una lutita que posee buena continuidad lateral, preservándose en todos los pozos del campo. Presenta un espesor constante de 15 pies, aproximadamente; los valores de resistividad son cercanos a 5 ohm.m, y la densidad promedio es menor a 2,5 g/cm$^3$.

Las secciones estratigráficas realizadas en esta sub-unidad muestran las relaciones verticales y laterales entre los cuerpos rocosos. Las figuras 3.46 y 3.47 (anexos 1 y 12) muestran una sección en cada una de las direcciones para observar cómo es el comportamiento de U1L en dirección de la sedimentación y la geometría de los cuerpos de arena.

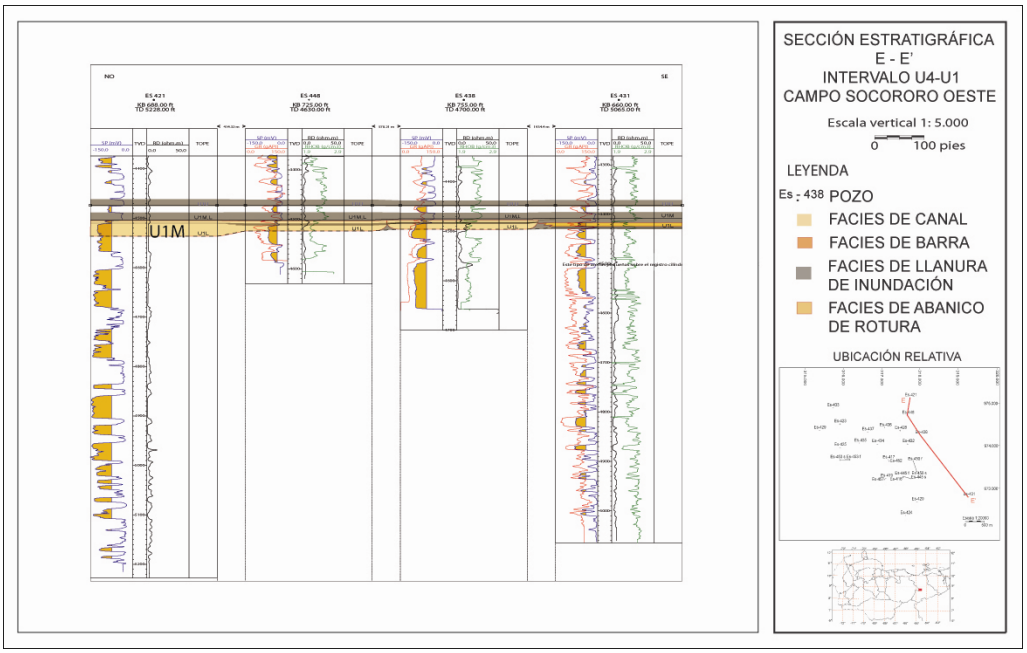



Fig. 3.46: Sección estratigráfica E-E'. Muestra las relaciones entre las facies, la continuidad lateral y la geometría de los cuerpos litológicos.

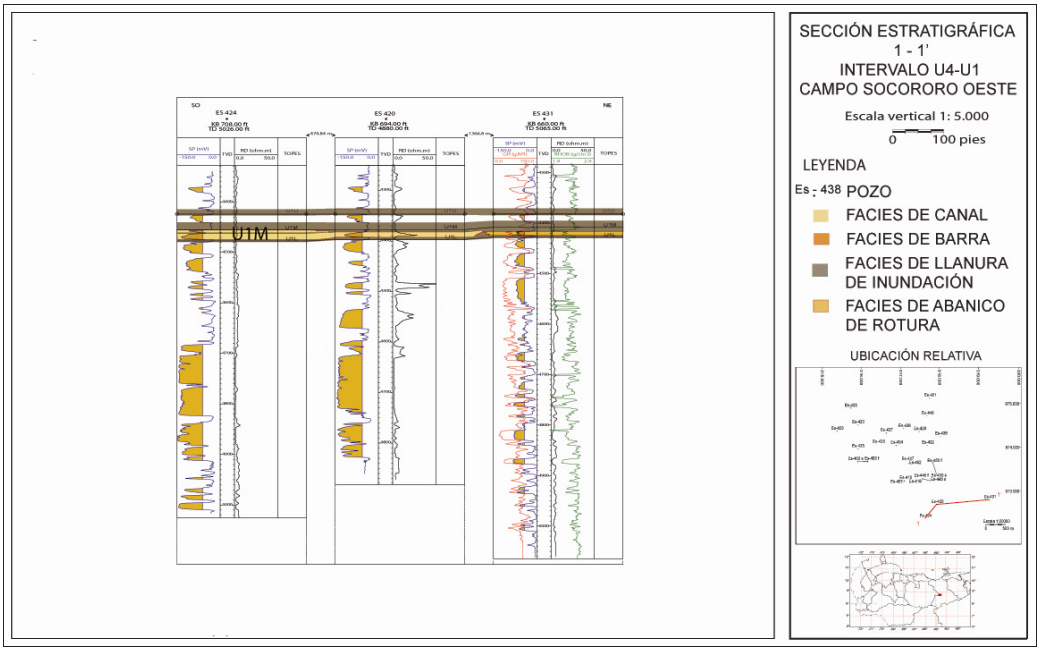



Fig. 3.47: Sección estratigráfica 1-1', realizada a lo largo del buzamiento de la sedimentación, en la cual puede observarse depósitos de abanicos de rotura dentro de la llanura de inundación, asociados a borde de canal

Para esta sub-unidad se reconocen facies de canal, mostrando una tendencia en forma de campana. Ellas se extienden en el 60% del área del mapa y se disponen en dos cuerpos arenosos principales: al noroeste del campo se encuentra el más importante, con orientación preferencial N60°E, y espesores de hasta 32 pies, alcanza una relación de "net to gross" cercana al 100% y de arena/lutita un poco mayor a 13. El segundo cuerpo muestra una dirección aproximada N20°E, espesores menores a 30 pies, una relación de "net to gross" máxima de 90%, y de arena/lutita igual a 8. Ambos cuerpos se unen hacia el noreste del campo, tomando una dirección preferencial similar a la del canal principal (N60°E). En los pozos Es-431 y Es-433 se observa un comportamiento en forma de embudo, reconociéndose facies de abanico de rotura, el del pozo Es-433 (al noroeste del campo) está asociado al desbordamiento del canal principal. El mismo posee 18 pies de arena, una relación "net to gross" de 78,3% y arena/lutita igual a 3 3/5. Por otra parte, el abanico de rotura del pozo Es-431 (al sureste) se presume que está asociado a un tercer canal, el cual no puede apreciarse dentro de los límites del campo. Dicho abanico posee 7 pies de arena, relaciones de "net to gross" y arena/lutita iguales a 36,8% y 3/5 respectivamente.

A pesar de que no se observan facies de llanura de inundación, ésta puede ser interpretada en las zonas adyacentes a los bordes del canal, debido a que en las zonas marginales se reducen los espesores de arena y las relaciones "net to gross" y arena/lutita, indicando el incremento en el material fino dentro de la secuencia.

La figura 3.48 (anexos 33 y 47) muestra el mapa de facies y de arena neta, en el que se puede observar los límites que fueron interpretados para cada facies, la extensión areal de cada una y la orientación de los cuerpos arenosos. Por otra parte, las figuras 3.49 y 3.50 (anexos 61 y 76) muestran la geometría de los cuerpos y la relación de distribución de las arenas con respecto al espesor de la sub-unidad ("net to gross") y con respecto a la cantidad de sedimentos finos depositados (relación arena/lutita)

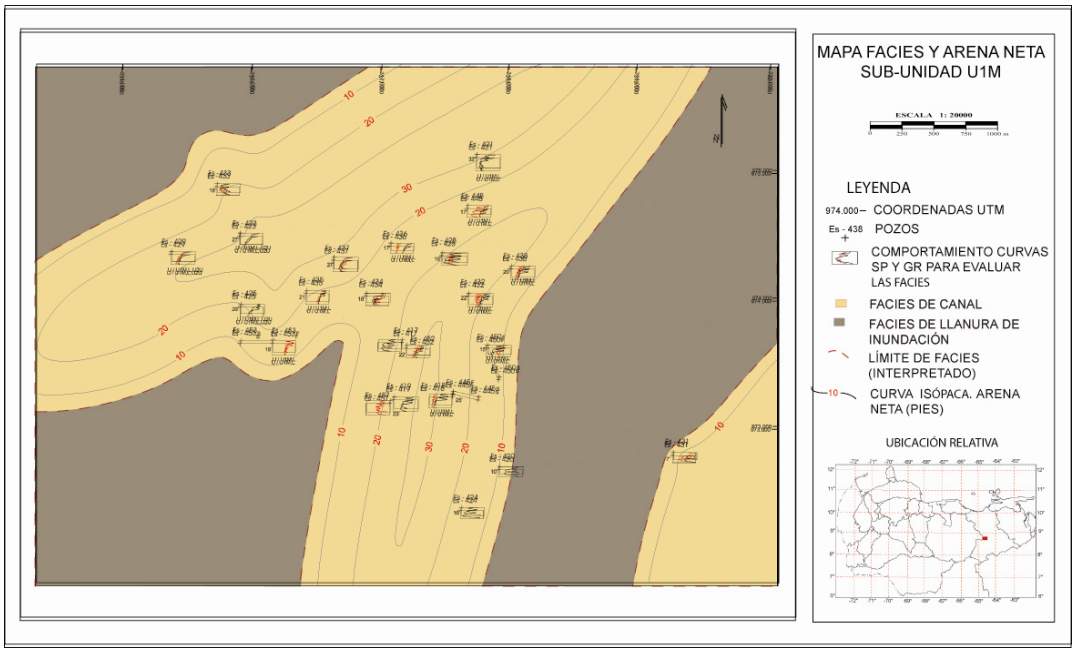



Fig. 3.48: Mapa de Facies y Arena Neta de la sub-unidad U1M, en el cual se observa un buen desarrollo de los canales

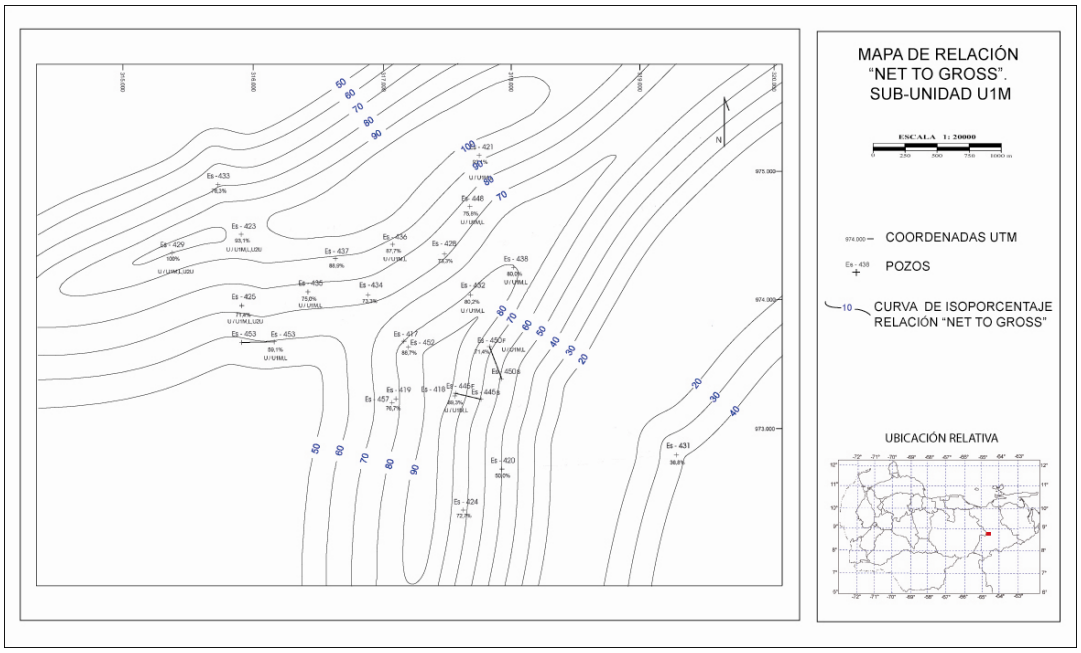



Fig. 3.49: Mapa Relación "Net to Gross" de U1M. Los cuerpos de arena son alargados y orientados en dirección de la corriente

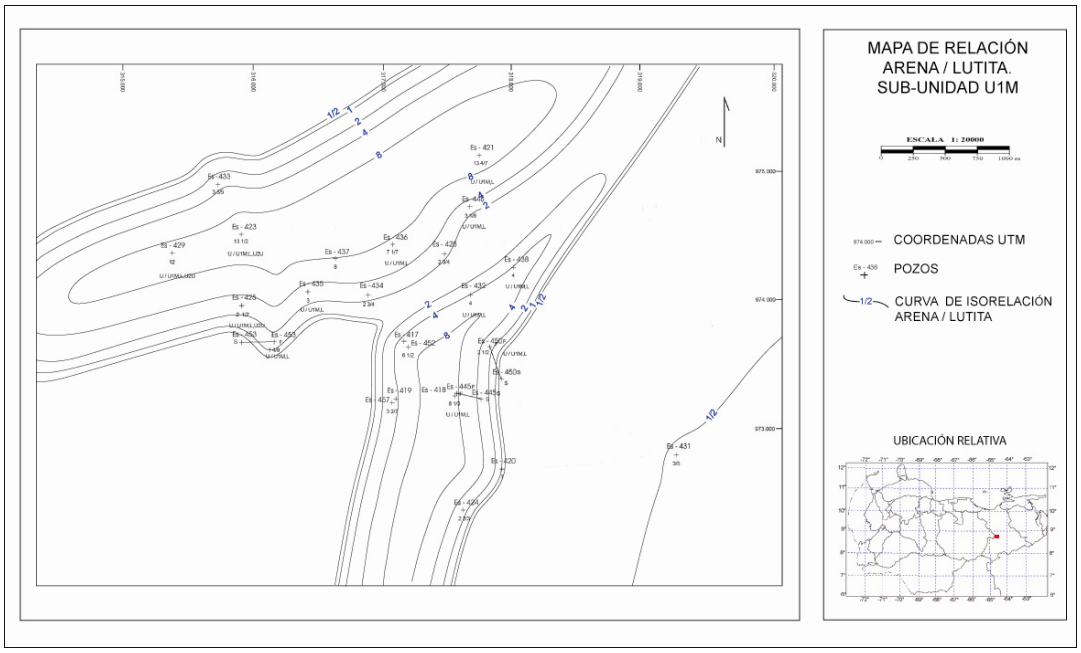



Fig. 3.50: Mapa Relación Arena/Lutita, donde se observan las variaciones laterales de la distribución de los sedimentos entre los canales y la llanura de inundación.

La correspondencia observada en los mapas de la sub-unidad U1M se debe a la relación que guardan los ambientes de depositación con la distribución de los sedimentos y la geometría que adquieren dentro de ellos. En este caso, la relación es visible, ya que la interpretación ambiental dada para la sub-unidad genera cuerpos orientados con geometría alargada. La distribución de los sedimentos muestran los mayores espesores hacia la zona de mayor erosión del canal, y en las zonas marginales a éste se depositan los sedimentos finos.

La interpretación de estos mapas y las secciones estratigráficas permiten describir el ambiente para U1M.

- Análisis ambiental

La distribución que presentan las facies dentro de esta sub-unidad permite reconocer una sedimentación de planicie deltáica, en la cual se desarrollan dos canales. Uno de ellos se encuentra al noroeste, tiene 1,3 km de ancho aproximadamente, y una profundidad de hasta 32 pies, con una relación ancho/profundidad media (ver Apéndice III). El segundo canal se encuentra al sureste del anterior, posee un ancho aproximado de 1,2 km y una profundidad cercana a 30 pies, generando una relación ancho/profundidad media (ver Apéndice III). Ambos canales son muy parecidos, mostrando una zona central de mayor erosión, lo que genera un perfil simétrico en ambos canales. Al noreste se unen en uno solo, que posee de 2 km de ancho y una profundidad similar a la de los canales distributarios.

Al noroeste del campo se observa un abanico de rotura que se genera por el desbordamiento del canal principal. Análogamente, al sureste se aprecia la presencia de otro abanico de rotura, asociado a otro canal que no se observa dentro de los límites del campo, pero cuyo desbordamiento afecta la zona perforada por el pozo Es-431.

*Sub-unidad U1U*

- Descripción

La base de la sub-unidad es una lutita que presenta bajos valores de resistividad, cercanos a 5 ohm.m, y una densidad promedio menor a 2,5 g/cm$^3$. Su espesor aproximado es de 15 pies, y muestra la presencia esporádica de lentes limosos a arenosos. Esta lutita se reconoce en todos los pozos del campo.

El tope de esta sub-unidad, lo representa una lutita persistente en todos los pozos del campo. Posee un espesor promedio de 11 pies, y exhibe valores de resistividad muy bajos, menores a 1 ohm.m, y valores de densidad poco mayores a 2,4 g/cm$^3$. Éste representa el fin del ciclo sedimentario de la secuencia U, perteneciente a las formaciones Merecure Superior y Oficina Inferior.

Las figuras 3.51 y 3.52 (anexos 5 y 10) muestran este cuerpo como una sub-unidad muy constante, el tope y la base están bien definidos por dos cuerpos de lutitas asociados a eventos de inundación.

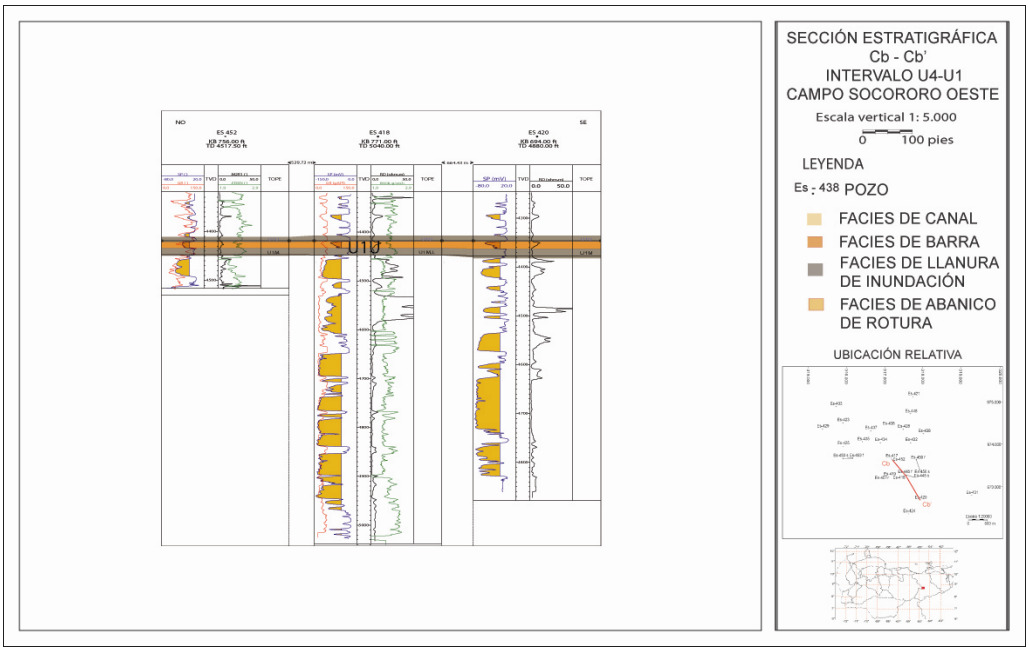



Fig. 3.51: Sección estratigráfica Cb-Cb'. Muestra la relación entre las facies, particularmente para esta unidad se observa como la barra está delimitada por dos cuerpos de lutitas espesas y continuas lateralmente.

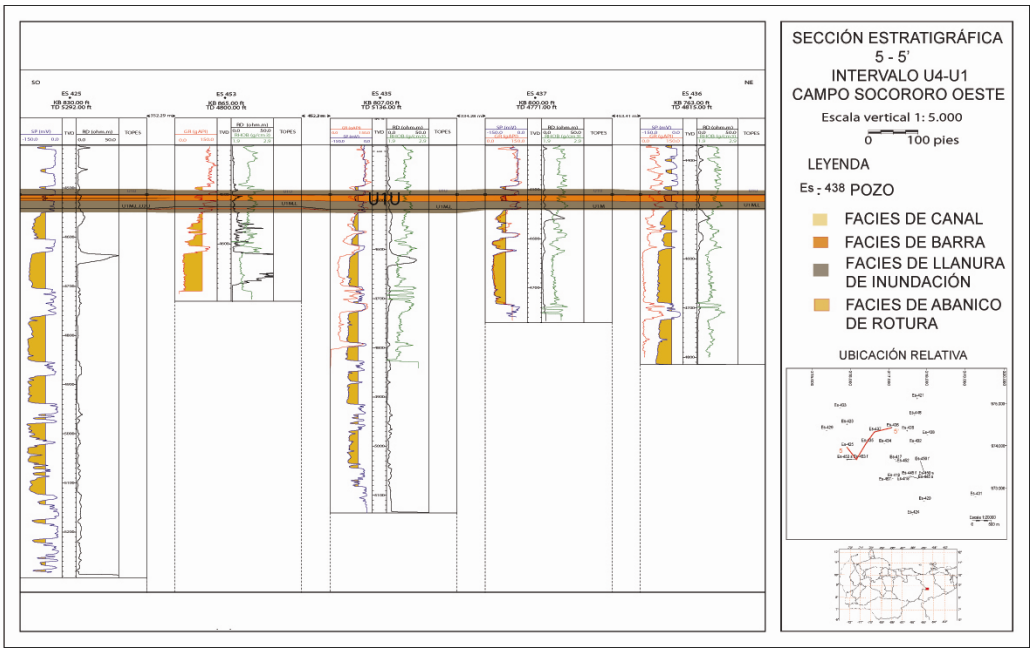



Fig. 3.52: Sección estratigráfica 5-5', En la que se sigue observando la continuidad de los cuerpos de esta unidad

La tendencia en forma de embudo, reconocida en las curvas de esta sub-unidad, indica la presencia de una barra, con una orientación preferencial espesores de arena que varían entre 8 pies (Es-425 al oeste del campo) y 13 pies (Es-450 en la zona central del campo), valores de relación "net to gross" entre 26,67% (Es-425) y 44,83% (Es-450) y de arena/lutita entre 1/3 (Es-425) y 4/5 (en los pozos Es-432 y Es-450). Estas facies se disponen en un cuerpo de 3,5 km de ancho, el cual se delimita por la disminución de los valores de arena neta, desde la parte central del cuerpo hasta sus bordes.

El mapa de facies y arena neta, representado en la figura 3.53 (anexos 32 y 48), muestra la forma alargada de la isla de barrera, cuya orientación es casi perpendicular a los cuerpos descritos anteriormente. Por otra parte, la distribución de los sedimentos y la geometría del cuerpo están representadas en las figuras 3.54 y 3.55 (anexos 62 y 77)

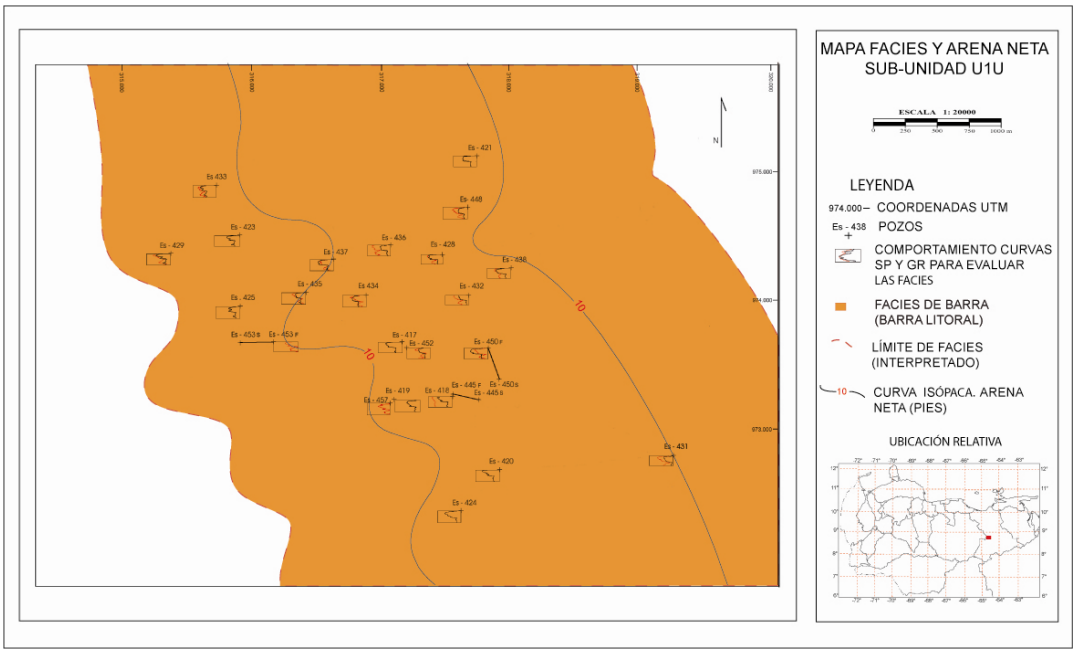



Fig. 3.53: Mapa de Facies y Arena Neta de la sub-unidad U1U. Nótese que sólo se interpreta una facies pues el comportamiento de las curvas es muy parecido.

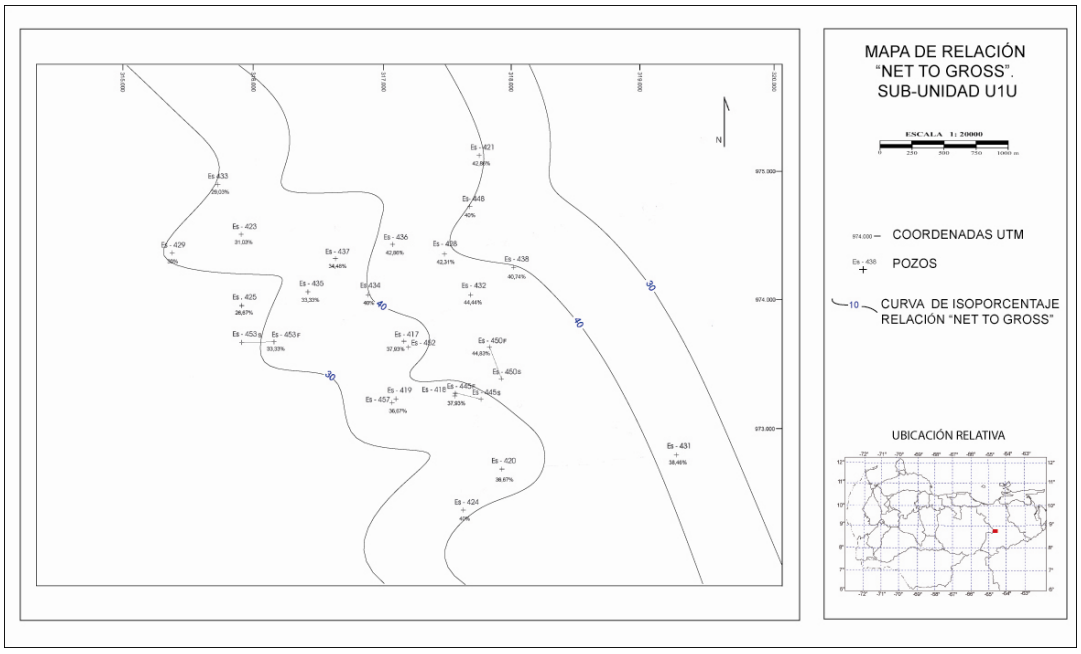



Fig. 3.54: Mapa Relación "Net to Gross". Obsérvese cómo la geometría del cuerpo muestra dos tendencias casi perpendiculares, indicando la influencia de dos tipos de corriente.

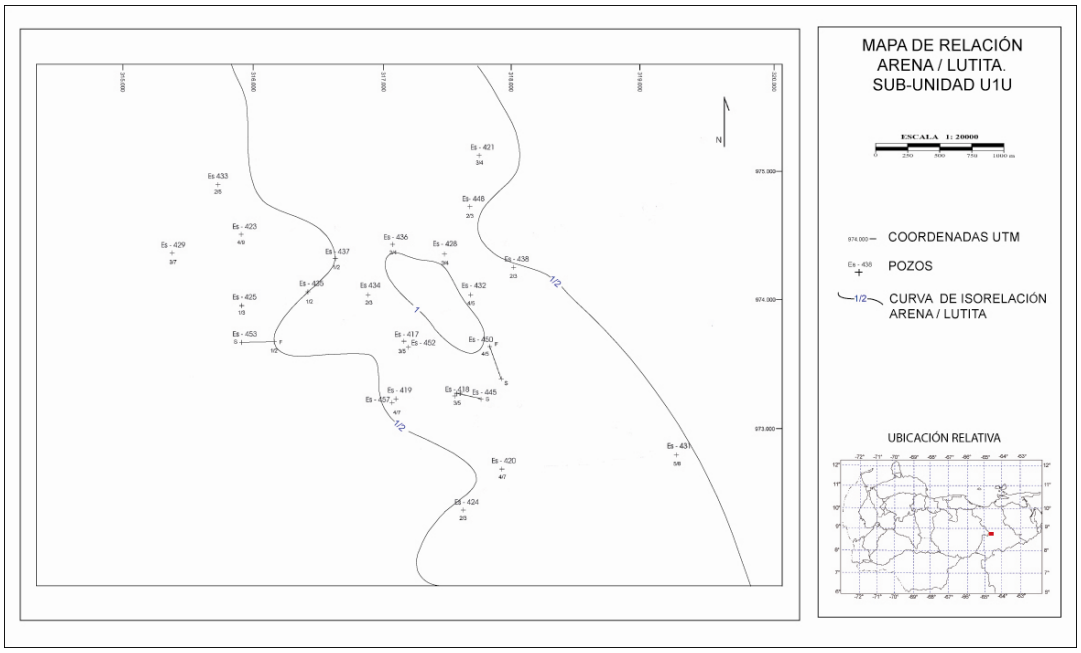



Fig. 3.55: Mapa de Relación Arena/Lutita para la sub-unidad U1U, en la que se observa que la distribución de los sedimentos es constante.

Al analizar los mapas de la sub-unidad U1U se puede encontrar correspondencia entre ellos, ya que la geometría de los depósitos de arena observados coincide con la distribución de los sedimentos. Este tipo de cuerpos se desarrolla por la redistribución de los sedimentos en los deltas dominados por oleaje, generando cuerpos alargados perpendiculares a la corriente, denominados barras litorales. La geometría de las barras puede ser modificada por eventos de tormenta, que se encargan de redistribuir los sedimentos de las barras, modificando su geometría al formar cuerpos elongados en dirección de la desembocadura, denominados abanicos de tormenta ("washover fans"). Procesos similares afectan las barras de desembocadura y litorales de diferentes deltas en la actualidad. La figura 3.56 muestra la geometría de una barra litoral con presencia de abanicos de tormenta, que se extienden perpendicularmente a la dirección de las corrientes, generando formas elongadas que se desarrollan desde la barra hasta la desembocadura. En la esquina inferior izquierda se encuentra el mapa de facies de U1U, en el cual se observa la correspondencia de la geometría entre el mapa y el modelo moderno




Fig. 3.56: Desarrollo de abanicos de tormenta en barras litorales que se extienden perpendicularmente a la dirección de las corrientes. (Tomada de www.capecodchronicle.com/. ../chat030305_2.htm.).

- Análisis ambiental

El comportamiento de las facies de la sub-unidad U1U permite observar la distribución de cuerpos perpendiculares a la dirección de la sedimentación, tomando una orientación preferencial N45°O. Las barras litorales se generan por la depositación y redistribución de sedimentos, característica de los deltas de oleaje, en el cual se desarrollan cuerpos de arena alargados que muestran un aumento de espesor hacia su zona central. El comportamiento irregular de las curvas en los mapas estratigráficos, son consecuencia de la acción de agentes de geodinámica externa, generando formas lobuladas que están orientadas hacia la desembocadura (al suroeste del campo). Como consecuencia se generan los abanicos de tormenta ("washover fans"), que modifican la geometría de la barra litoral de la sub-unidad U1U.

### 3.1.3.5. Unidad J1

La base está representada por la unidad J2. Ésta es una lutita de gran espesor (50 pies en promedio). En algunos casos presenta intercalaciones de limos, ocasionando que las curvas presenten un comportamiento irregular. Muestra valores de resistividad menores a 3 ohm.m. Por otra parte, la densidad se mantiene alrededor de 2,4 g/cm$^3$. Dentro de este cuerpo se reconocen 2 capas de lignitos con cierta continuidad lateral, que no poseen más de 3 pies de espesor y se ubican en la base y en el tope de J2.

El tope de J1 está limitado por la unidad I5, la cual es una lutita de 22 pies de espesor promedio, que exhibe baja resistividad (alrededor de 2 ohm.m), mientras que la densidad se mantiene entre 2,2 y 2,4 g/cm$^3$ (en los pozos Es-450 y Es-448, respectivamente). Esta unidad presenta hasta 2 capas de lignito de aparente continuidad lateral y poco espesor (menores a 36 pies), los cuales se encuentran en la base y en el tope de I5.

Las figuras 3.57 y 3.58 (anexos 14 y 21) muestran las secciones estratigráficas donde se resalta esta unidad, en ellas se puede observar las relaciones laterales que se observan entre los canales y la llanura de inundación.

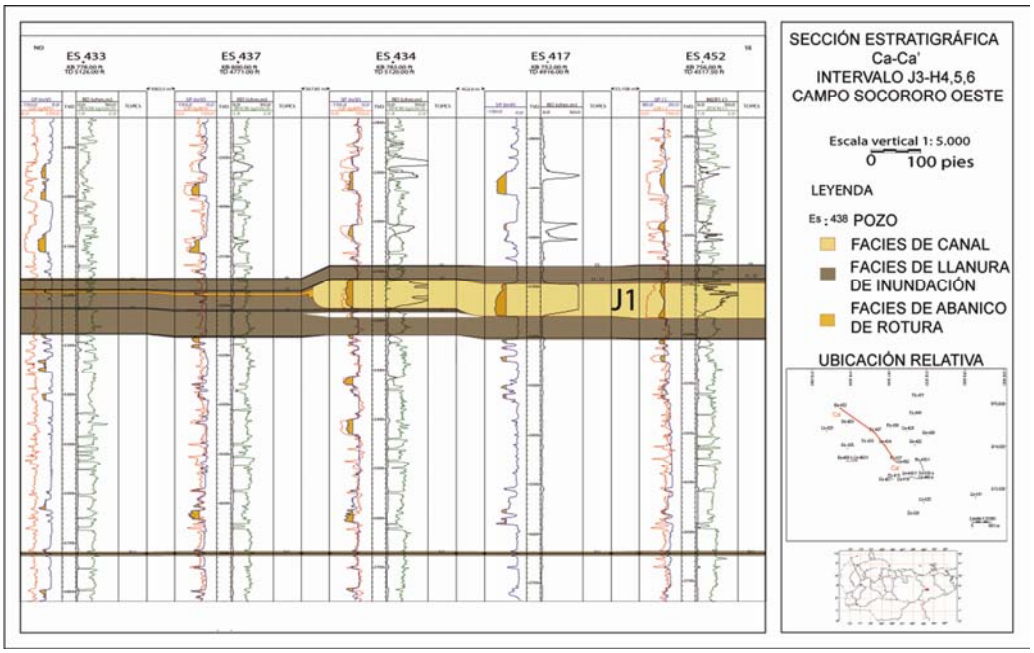



Fig. 3.57: Sección estratigráfica Ca-Ca'. Muestra las relaciones entre las facies de canales y la llanura de inundación, ésta última tiene un buen desarrollo dentro de la unidad.

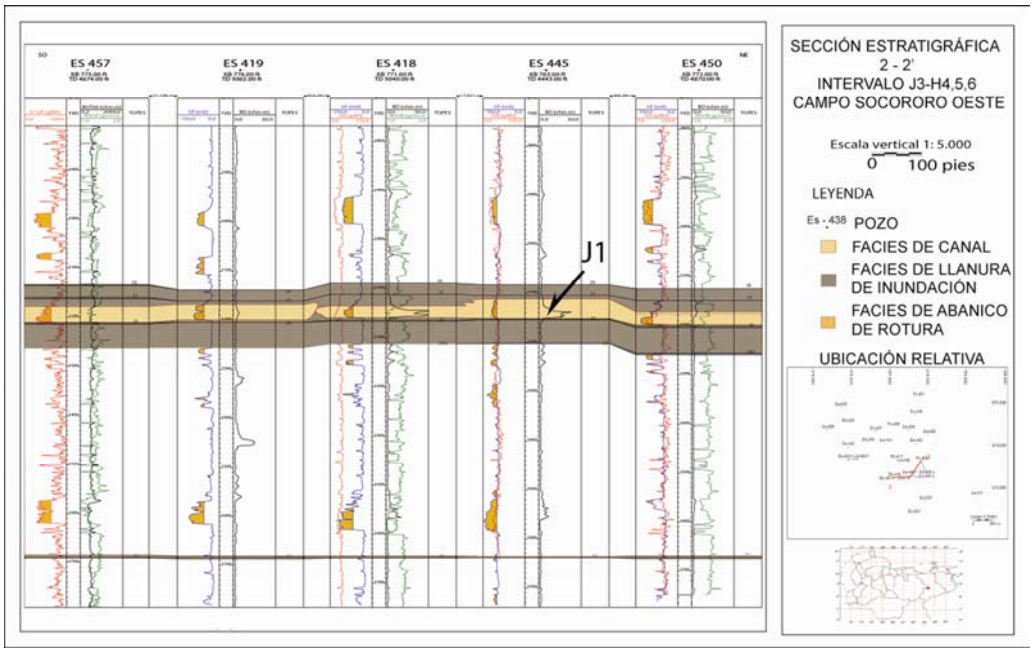



Fig. 3.58: Sección estratigráfica 2-2'. Muestra las relaciones que tienen las facies en dirección de la sedimentación.

La unidad varía su espesor entre 28 pies (Es-453) y 78 pies (Es-452), en la cual se reconocen dos tipos de facies, como consecuencia del comportamiento de las curvas:

(a) El comportamiento cilíndrico y grano-decreciente observado en la zona central del campo muestra la presencia de facies de canal que ocupan el 50% del área del mapa, distribuidos en dos cuerpos de arena con geometría alargada de orientación preferencial N15°E. Uno de estos cuerpos se ubica al oeste del campo. Exhibe valores máximos de 65 pies de arena, relaciones "net to gross" y relación arena/lutita de 90% y 9 2/7 respectivamente. Al este se desarrolla otro cuerpo que alcanza 48 pies de espesor de arena, 80% de relación "net to gross" y arena/lutita igual a 4.

(b) Al oeste y sureste del campo se observan pozos cuyos registros presentan curvas de comportamiento irregular (Es-423, Es-431 y Es-433). Esta tendencia es característica de zonas afectadas por eventos de

inundación y están asociadas a los márgenes de los canales, ocupando el otro 50% del área total. Hacia el oeste se delimita el cuerpo de arena como consecuencia de la total ausencia de ésta dentro de la unidad (pozo Es-425). Las relaciones "net to gross" y arena/lutita también son muy bajas hasta desaparecer en la zona donde ya no hay la presencia de arena. Las capas de lignito aparecen dentro de estos cuerpos irregulares, mostrando que en las zonas adyacentes a los canales se generan condiciones favorables para preservar la materia orgánica.

La figura 3.59 (anexos 35 y 49) muestra la distribución de facies para esta unidad y los espesores de arena que se depositaron durante la generación de los canales. Por otra parte, las figuras 3.60 y 3.61 (anexos 63 y 77) muestran las relaciones de depósitos sedimentarios de arena con respecto a la unidad ("net to gross") y con la cantidad de lutita (arena/lutita)

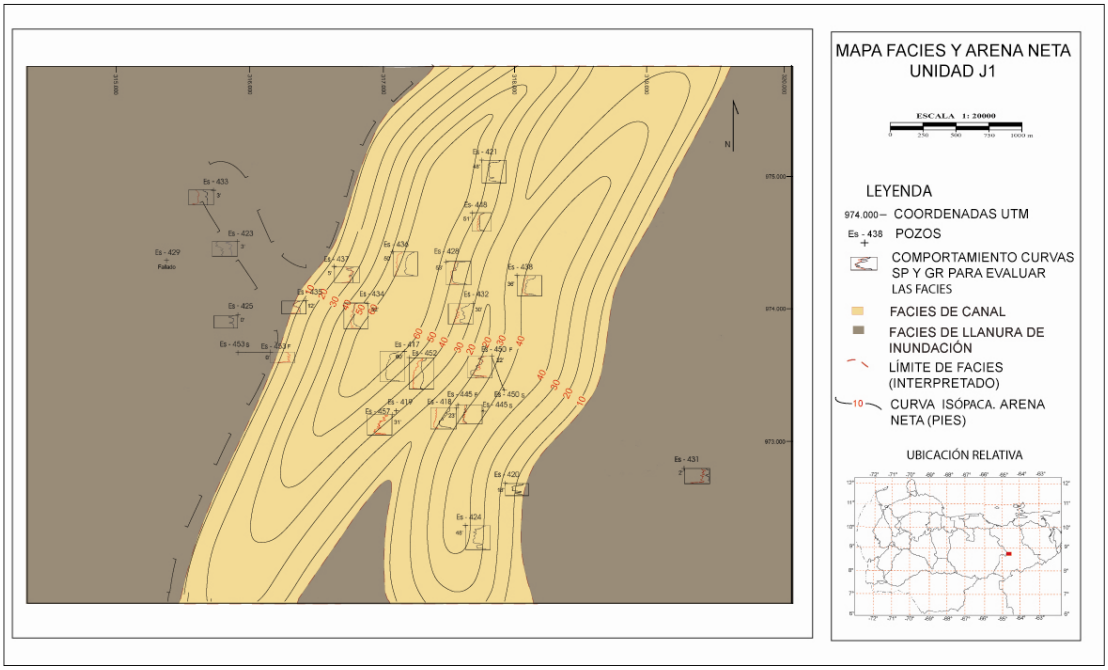


Fig. 3.59: Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad J1. Se observa el desarrollo de canales delgados que tienden a converger entre ellos.

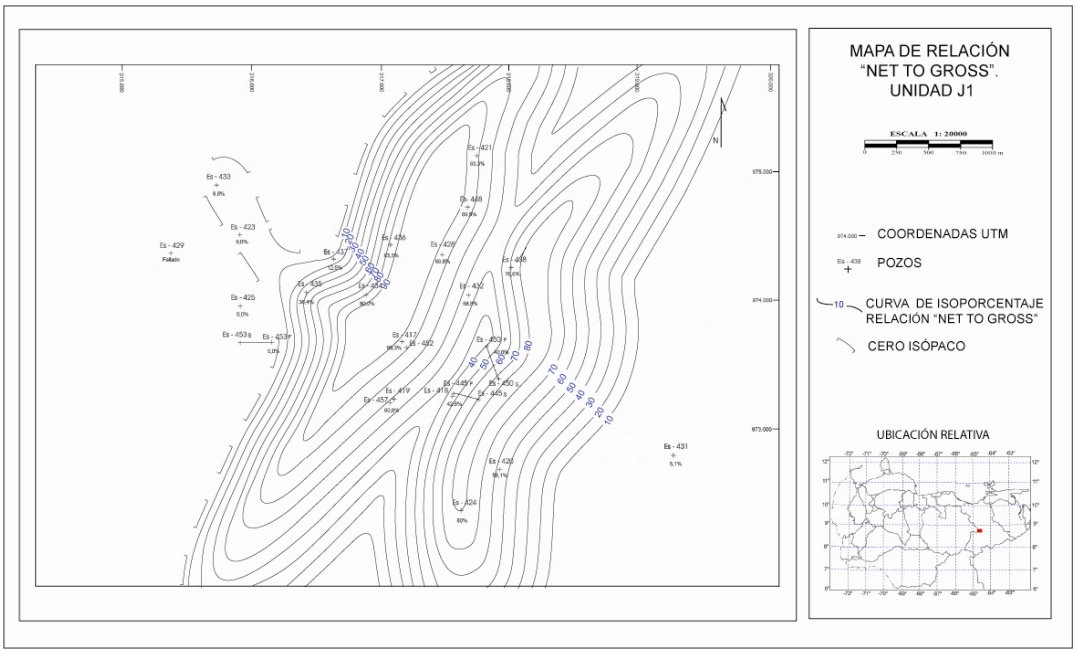



Fig. 3.60: Mapa Relación "Net to Gross", en el cual se observa la geometría de los distributarios por la tendencia que tienen los cuerpos de unirse y separarse continuamente por el movimiento de los canales.

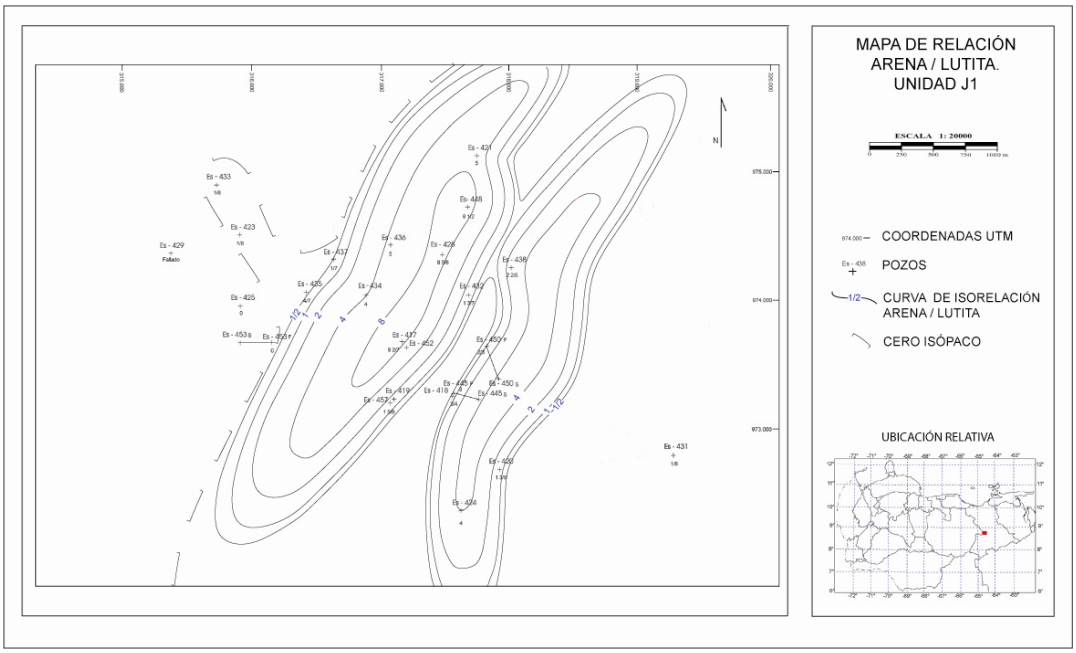



Fig. 3.61: Mapa de Relación Arena/Lutita para la unidad J1, donde se observa la distribución de los sedimentos de los canales distributarios

- Análisis ambiental

La distribución de las facies en la unidad J1 indica que la depositación ocurre en ambientes con desarrollo de canales. Sin embargo, la presencia de capas de lignito y lutitas de espesor importante hacia la base y el tope indican que estamos en presencia de un ambiente que está afectado por eventos de inundación importantes, con espacios de exposición sub-aérea. Estas características son propias de la planicie deltáica donde la influencia fluvial de los distributarios generan esos cuerpos con geometría alargada y orientados en dirección de la sedimentación; la avulsión constante de los distributarios deja zonas inundadas donde la sedimentación es escasa y permite que se creen las condiciones óptimas para que se preserve la materia orgánica. La llanura interdistributaria sufre de la invasión de sedimentos gruesos debido al desbordamiento de los canales distributarios activos, depositando secuencias donde es normal la intercalación de sedimentos gruesos y finos.

En base a esto, las facies de la sub-unidad J1 representan el desarrollo de dos canales distributarios; uno de ellos se encuentra al oeste del campo, tiene 1 km de ancho, alcanza los 60 pies de profundidad y muestra un perfil simétrico. Al este se ubica el otro canal. Éste posee 0,5 km de ancho y la profundidad máxima puede llegar a los 50 pies; también posee perfil simétrico.

A los bordes se desarrollan las llanuras de inundación, donde se depositan secuencias en las que se alternan pequeños cuerpos de arenisca, lutita y limo. Por último, la ausencia de lignitos indica que hubo sedimentación durante los eventos de inundación, ya que de todas formas se generan espesos cuerpos de lutita, desapareciendo el contenido de arena dentro de la unidad.

#### *3.1.3.6. Unidades de producción H4, 5, 6.*

La base de H4, 5, 6 está definida por la sub-unidad I2U, la cual está representada por un cuerpo de lutita que posee un espesor promedio de 15 pies; la resistividad tiende a ser baja (menor a 3 ohm.m) y la densidad es menor a 2,3 g/cm$^3$. Es muy común la presencia de una o dos capas de lignito dentro de la sub-unidad, las

cuales poseen un espesor de entre 2 pies (pozo Es-450, al centro del campo) y 5 pies (pozo Es-429, al oeste). Se puede inferir la continuidad lateral de los lignitos ya que varios pozos del campo exhiben su presencia.

El tope lo representa una lutita de espesor variable entre 10 y 30 pies (en los pozos Es-429 y Es-417, respectivamente); la resistividad y la densidad tienden a ser bajas, mostrando valores menores a 2 ohm.m y 2,3 g/cm$^3$, respectivamente. En algunos pozos no se puede diferenciar el tope de ésta con respecto a la unidad superior (H3), debido a que son cuerpos de lutitas formados durante una fase de inundación, lo que explica la presencia de capas de lignito en la parte superior (pozos Es-418, Es-452, Es-457).

La unidad completa exhibe un espesor mínimo de 44 pies y un máximo de 82 pies (en los pozos Es-437 y Es-421). En ella se observan dos tipos de tendencias bastante marcadas: una caracterizada por el comportamiento cilíndrico y en forma de campana característico de facies de canales (pozos Es-420 al sur, Es-425 al oeste y Es-452 en la zona central), y otra con tendencia irregular que se asocia a llanuras de inundación, donde se depositan secuencias de grano fino con intercalaciones de cuerpos delgados de arenisca y limo; además representan ambientes óptimos para la generación de lignito, según la tasa de sedimentación dentro del sistema.

*Unidad H6*

- Descripción

La base de H6 está definida por la sub-unidad I2U, que está descrita por la base de H4, 5, 6. Es importante resaltar la presencia de lignitos en ella, ya que se reconocen en algunos de los pozos del campo, e indican la posible continuidad lateral de ellos.

El tope se reconoce en los pozos Es-421 (al norte), Es-423, Es-429 (ambos al oeste) y Es-431 (sureste del campo), debido a la coalescencia con la unidad superior. El espesor de la lutita varía entre 5 pies (Es-429) y 9 pies (Es-421), los valores de resistividad están cercanos a 2 ohm.m, mientras que la densidad varía entre 2,1 (Es-450) y 2,3 (Es-434) g/cm$^3$.

Las figuras 3.62 y 3.63 (anexos 18 y 24) muestran el comportamiento de los registros de pozos para esta unidad, además las correlaciones realizadas para mostrar las relaciones laterales y determinar la facies presentes.

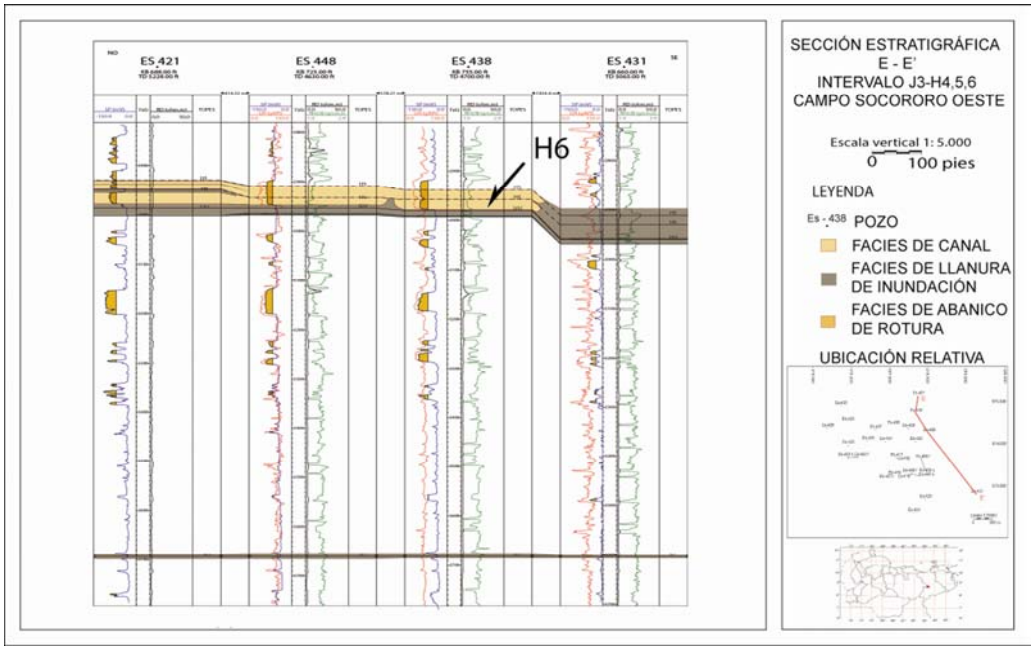



Fig. 3.62: Sección estratigráfica E-E'. Muestra las relaciones entre las facies, la geometría de los cuerpos litológicos y la coalescencia entre las unidades.

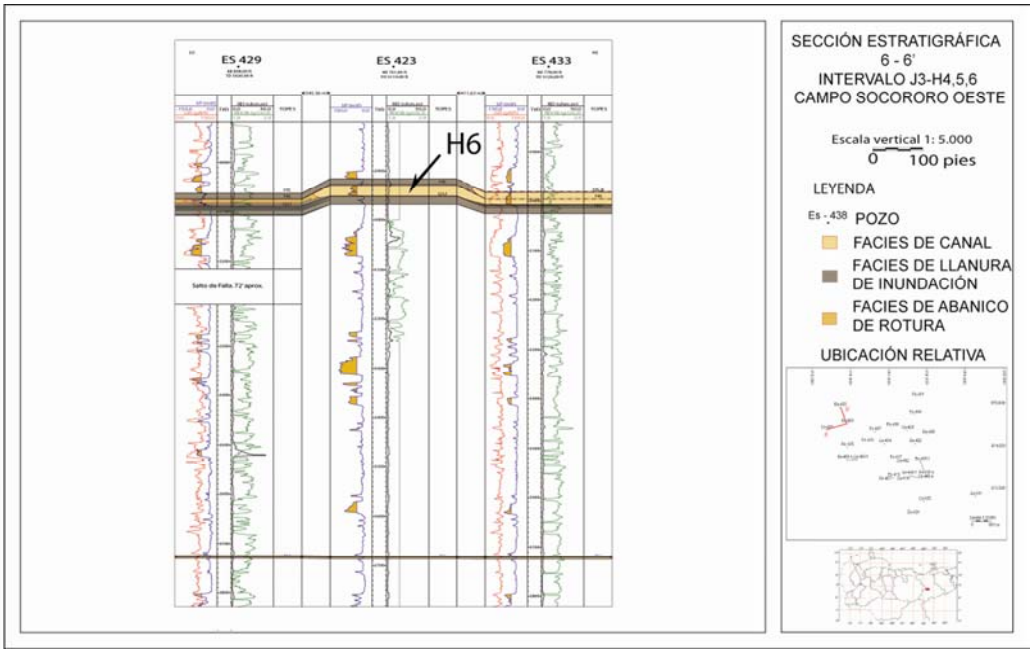



Fig. 3.63: Sección estratigráfica 6-6'. Nótese la presencia de espesos cuerpos de lutitas por encima de la unidad, indicando el posible abandono del mismo.

Esta unidad posee un espesor comprendido entre 13 y 36 pies (Es-452 y Es-421). Dentro de ella se observan dos facies importantes:

(a) Las facies de canales se reconocen por el comportamiento cilíndrico y en forma de campana que muestran las curvas. Estas facies ocupan el 60% del área total del campo distribuidas en 4 cuerpos arenosos que divergen de uno principal; la orientación de éstos se encuentra entre N30°E y N60°E, en promedio. Al este se halla el más importante de estos cuerpos, ya que posee espesores de arena que llegan a los 30 pies, las relaciones de "net to gross" alcanzan el 85% y arena/lutita es menor a 8. Por otra parte, en la zona central del campo se encuentran dos cuerpos muy parecidos; ambos logran una profundidad no mayor a los 20 pies, las relaciones de "net to gross" llegan a 80% y arena/lutita son mayores a 4. Al oeste se observa un cuerpo de arena que llega a 18 pies, relación "net to gross" igual a 64% y arena/lutita baja (menor a 2); asociado a este canal se observa una tendencia grano-creciente en el pozo Es-429, representando un abanico de rotura generada por el desbordamiento del canal. Este abanico exhibe 7 pies de arena, 46,67% en "net to gross" y la relación arena/lutita es poco menor a 1.

(b) En los pozos Es-431, Es-433 y Es-453 se observan curvas con tendencia irregular, características de facies de depósitos de llanuras de inundación y capas de lignito asociadas a éstas. En estos pozos no se registran espesores de arena, excepto en el Es-433 donde se conservan 10 pies de arena; por lo tanto, las relaciones "net to gross" y arena/lutita son iguales a cero, excepto para el último pozo mencionado, cuyas relaciones son del 58,8% y mayor a 1, respectivamente

La figura 3.64 (anexos 36 y 50) muestra la distribución de las facies y los espesores de arena neta de cada la unidad. Respectivamente, las figuras 3.65 y 3.66

(anexos 64 y 78) representan la distribución de arena con respecto a la unidad completa ("net to gross") y con respecto a la cantidad de sedimentos (arena/lutita)

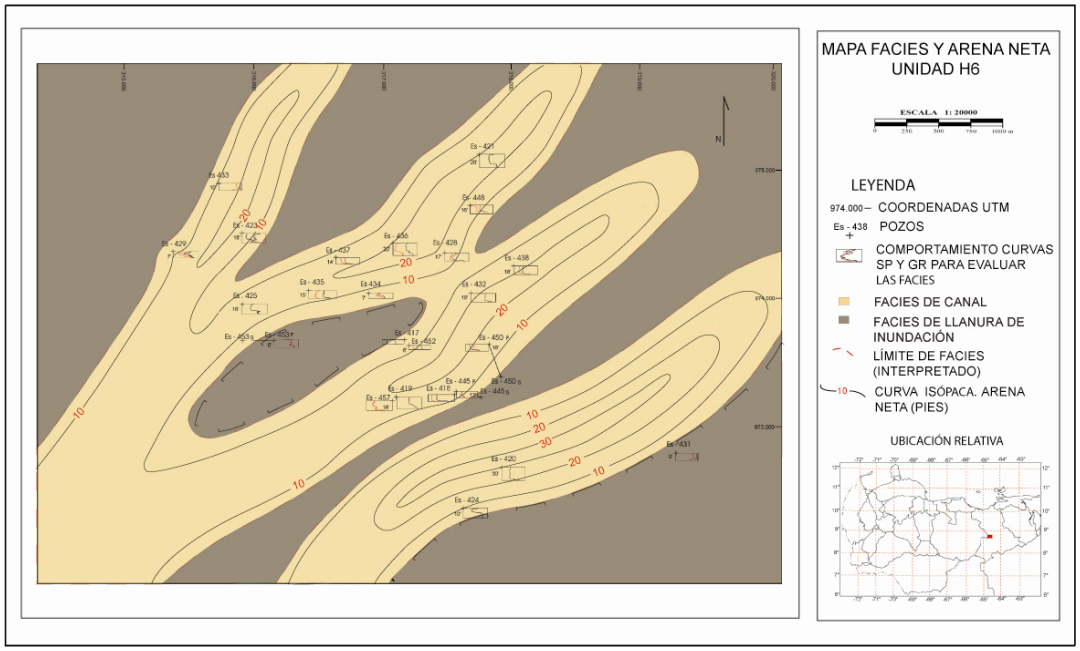



Fig. 3.64: Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad H6. En donde se puede observar la presencia de cuerpos alongados que tienden a divergir entre ellos.

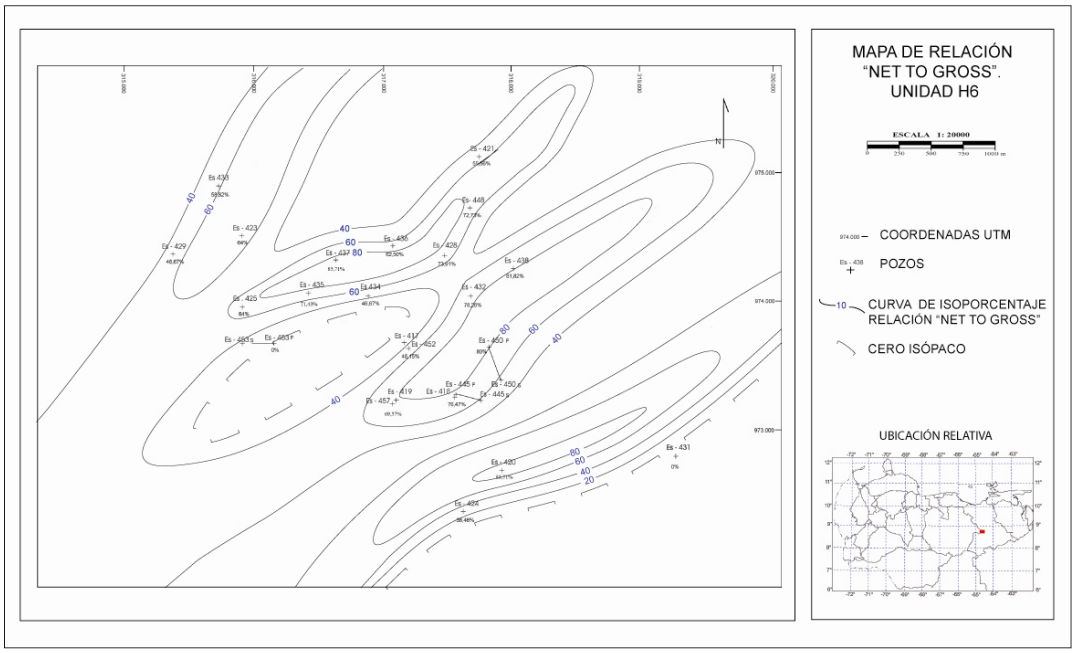



Fig. 3.65: Mapa Relación "Net to Gross", en el cual se observa la geometría de los distributarios y la tendencia de divergir entre ellos.

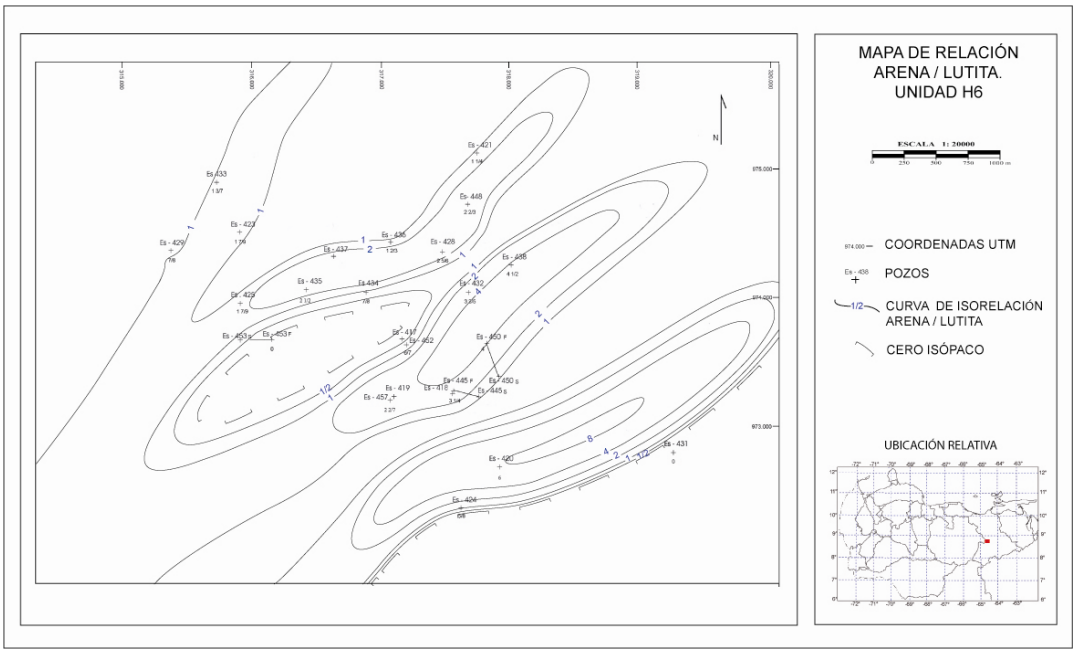



Fig. 3.66: Mapa de Relación Arena/Lutita para la unidad H6, obsérvese como los depósitos de sedimentos se adaptan a la forma de los canales

- Análisis ambiental

La distribución espacial de las facies y las relaciones laterales entre ellas indican que el ambiente sedimentario se encuentra en la planicie deltáica, es por ello que es normal que se generen facies de grano grueso asociadas a los distributarios, abanicos de rotura por el desbordamiento de los canales y zonas de llanuras de inundación, donde se depositan los sedimentos finos.

El canal distributario principal se encuentra al este del campo, extendiéndose hacia el norte con una orientación preferencial N60ºE, desarrollando un canal de 0,8 km de ancho, aproximadamente, y profundidad máxima de 30 pies. Este canal posee perfil simétrico, mostrando una zona de mayor erosión ubicada en su parte media. En la zona central se observan dos distributarios; el primero es un cuerpo rectilíneo cuya orientación es N50°E, posee perfil simétrico desarrollando un canal de 0,6 km de ancho y poca profundidad (18 pies). El otro proviene del suroeste del campo; se caracteriza por mostrar un ancho menor a 0,5 km, 20 pies de profundidad, perfil simétrico y orientación preferencial N45°E. Al oeste se desarrolla otro distributario

de menor importancia; posee orientación preferencial N30°E, profundidad de 18 pies, y su ancho es, aproximadamente, 0,5 km.

En estos ambientes, la zona de mayor erosión va socavando el fondo. Sin embargo, la variación de la intensidad del flujo de agua permite la presencia de canales secundarios con relaciones ancho/profundidad altas, por el poco desarrollo que poseen éstos dentro del sistema. Adicionalmente, en las zonas adyacentes a los canales se desarrollan pantanos.

Los pantanos representan un ambiente óptimo para depositar sedimentos finos (lutitas) y capas de lignito, debido a la humedad presente en ellos, una tasa de sedimentación casi inexistente y un contenido orgánico muy alto. El desarrollo de los canales divergentes para esta unidad y la presencia de las capas de lignito son elementos característicos de la planicie deltáica.

*Unidad H5*

- Descripción

La base de la unidad se reconoce en los pozos Es-421 (al norte), Es-423, Es-429 (ambos al oeste) y Es-431 (sureste del campo), debido a la erosión previa a su depositación sobre la unidad H6. La lutita posee espesor variable entre 5 pies (Es-429) y 9 pies (Es-421), los valores de resistividad están cercanos a 2 ohm.m, mientras que la densidad varía entre 2,1 (Es-450) y 2,3 (Es-434) g/cm$^3$.

El tope está representado por una lutita que no posee continuidad lateral, como consecuencia de la coalescencia entre H5 y H4 (como se observa en los pozos Es-438, Es-450, entre otros). El espesor varía entre 3 pies (Es-453) y 12 pies (Es-436), sigue manteniendo un comportamiento resistivo bajo (menor a 3 ohm.m), excepto en el pozo Es-436, donde la resistividad aumenta considerablemente (aproximadamente 15 ohm.m). Por su parte, la densidad varía entre 2,2 (Es-453) y 2,4 g/cm$^3$ (Es-457).

Las figuras 3.67 y 3.68 (anexos 17 y 20) muestran las facies encontradas en los pozos, resaltando las variaciones laterales de la unidad.

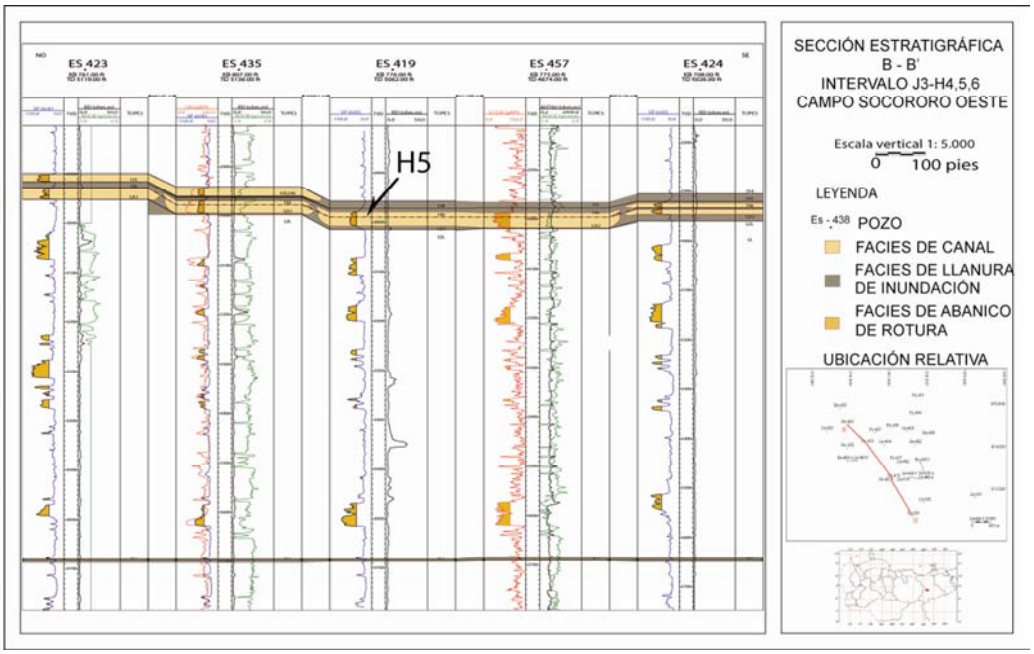



Fig. 3.67: Sección estratigráfica B-B'. Muestra las relaciones entre las facies y la geometría de los cuerpos litológicos.

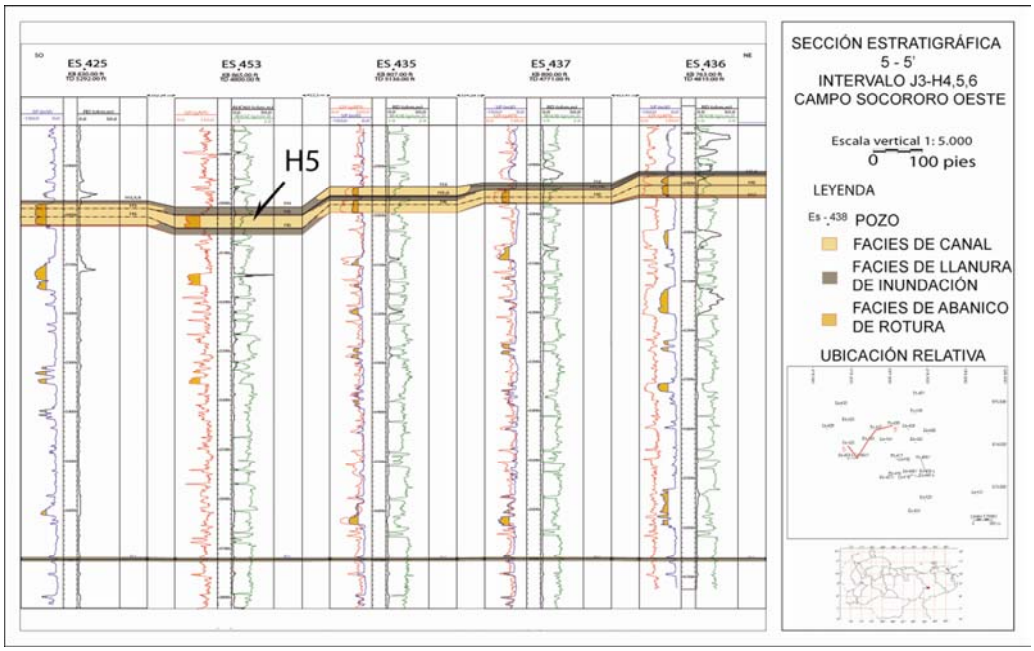



Fig. 3.68: Sección estratigráfica 5-5'. Muestra los cambios ocurridos durante la sedimentación, registrados en las características de la unidad.

La unidad exhibe espesores entre 11 y 27 pies, observados en los pozos Es-423 y Es-453. En ella se reconocen dos tipos de facies (ver la figura 3.69, anexos 37 y 51):

(a) Facies de canales que poseen un comportamiento cilíndrico ocupando el 45% del área del mapa; en él se disponen tres cuerpos arenosos. El primero de ellos está al este del campo, posee una orientación preferencial casi N-S, registra hasta 22 pies de arena, y genera relaciones "net to gross" de 100% y arena/lutita poco mayor a 16. El segundo cuerpo está ubicado al centro del campo; su orientación inicial es N30°E y al norte se une con el canal principal. Posee espesores de arena iguales a 22 pies, "net to gross" alcanza el 90% de las arenas y la relación arena/lutita es un poco mayor a 16. Al noroeste se interpreta un tercer cuerpo de arena, reconocido en el pozo Es-433 en el cual se registra 12 pies de arena, 80% "net to gross" y 4 de arena/lutita (ver las figuras 3.70 y 3.71, anexos 65 y 79).

(b) La tendencia irregular de las curvas exhibidas en los pozos Es-423, Es-429 y Es-431, y la ausencia de arena indican que éstos se encuentran ubicados en las facies de depósitos de llanura de inundación. La falta de arena en estos registros trae como consecuencia que las relaciones "net to gross" y arena/lutita sean iguales a cero.

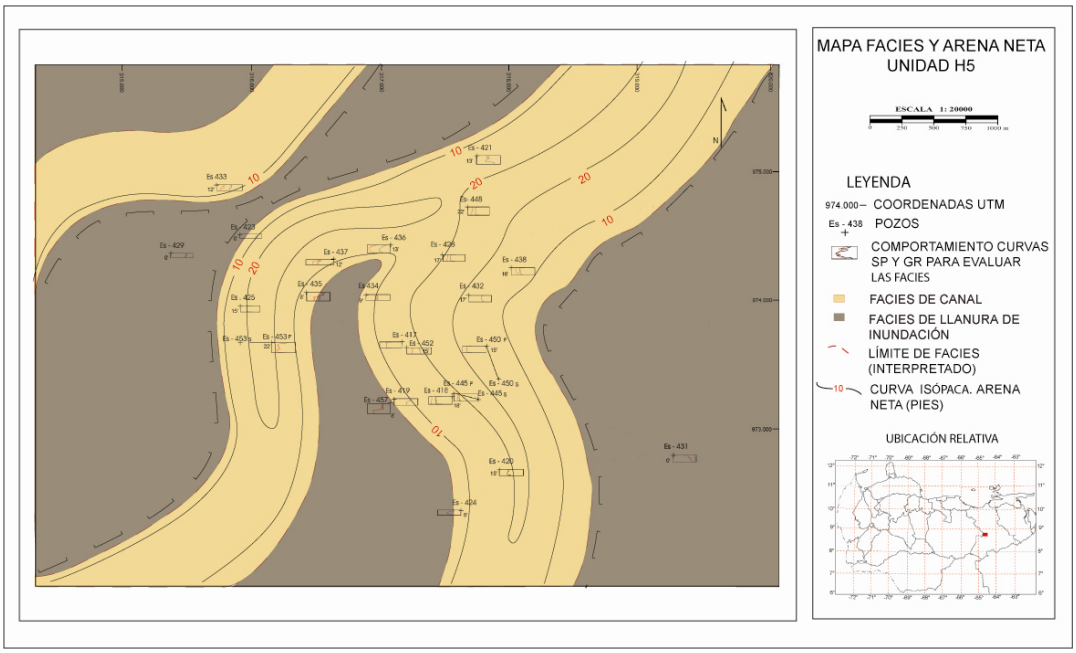



Fig. 3.69: Mapa de Facies y Arena Neta de H5. Aquí se observa que los canales tienden a ser meandriformes

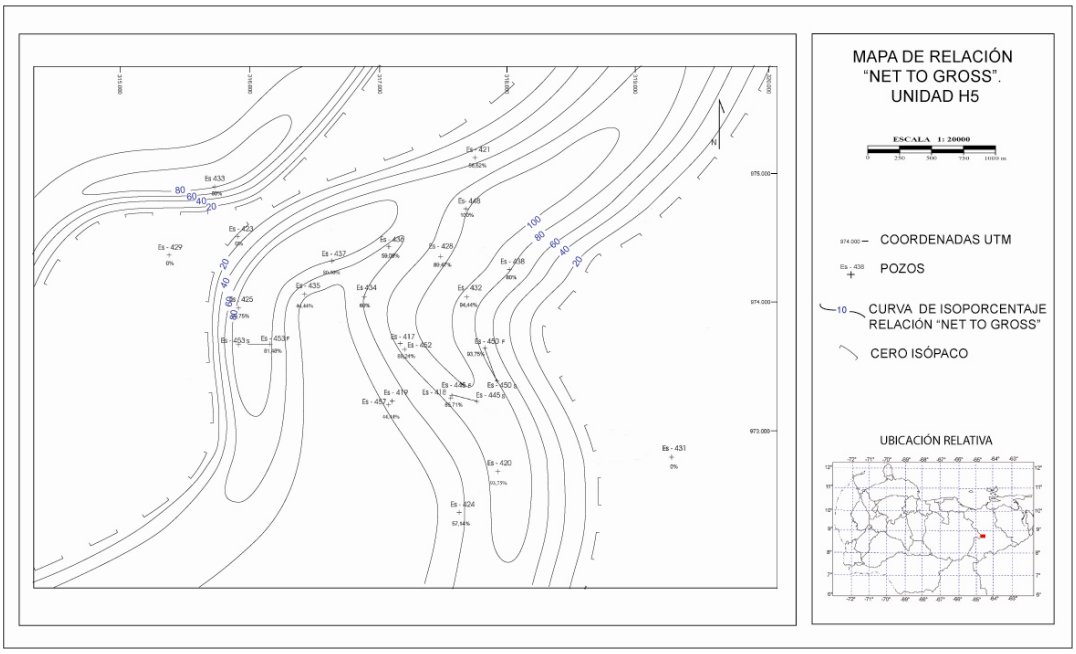



Fig. 3.70: Mapa Relación "Net to Gross", en el cual se observa la geometría de los canales

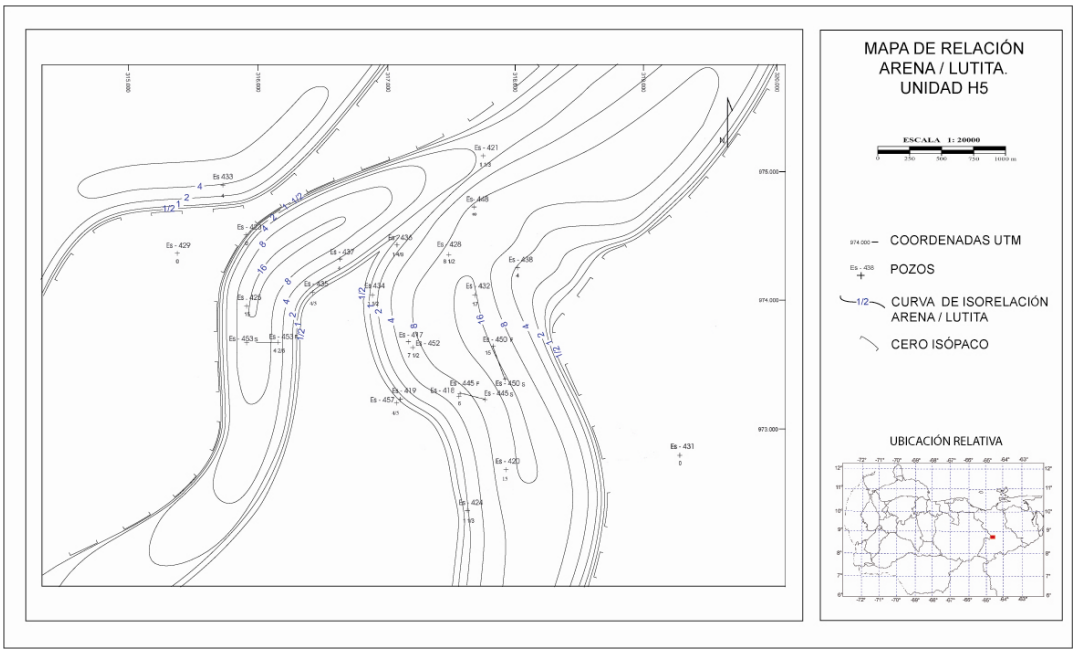



Fig. 3.71: Mapa de Relación Arena/Lutita de H5, en el cual se observan depósitos característicos de sistemas meandriformes, mostrando mayor erosión en la zona externa del meandro

- Análisis ambiental

La relación observada entre las facies de la unidad H5 indica que el ambiente de depositación pertenece a un sistema fluvial de canales meandriformes, los cuales desarrollan amplias llanuras de inundación adyacentes a ellos.

Se puede apreciar que al este se desarrolla el canal principal, el cual presenta una geometría meandriforme y perfil asimétrico, orientado casi N-S, de 1 km de ancho y 22 pies de profundidad. Al norte se une con otro canal, que posee una orientación preferencial N30ºE, 0,6 km de ancho y una profundidad máxima igual a 22 pies. Ambos se unen y forman un solo canal que se ensancha hacia el noreste (1,3 km, aproximadamente), y tiene una orientación preferencial N45ºE. Entre estos canales se observa un buen desarrollo de la llanura de inundación con depósitos de sedimentos finos y lignito (pozo Es-435). Al noroeste se encuentra la evidencia de un tercer canal; sin embargo, la descripción del mismo no puede realizarse por la falta de datos hacia esa zona.

*Unidad H4*

- Descripción

La base la representa una lutita que no posee continuidad lateral, debido a la coalescencia con la unidad inferior (como se observa en los pozos Es-438, Es-450, entre otros). Posee un espesor variable entre 3 pies (Es-453) y 12 pies (Es-436), exhibe una resistividad promedio menor a 3 ohm.m, y su densidad mantiene un valor promedio de 2,3 g/cm$^3$.

El tope es una lutita que varía entre 10 y 30 pies de espesor (en los pozos Es-429 y Es-417, respectivamente), exhibe valores de resistividad menores a 2 ohm.m, y su densidad no alcanza los 2,3 g/cm$^3$. En algunos pozos no se puede diferenciar el tope de ésta con respecto a la unidad superior (H3), que es predominantemente lutítica (ver las figuras 3.72 y 3.73, anexos 14 y 20).

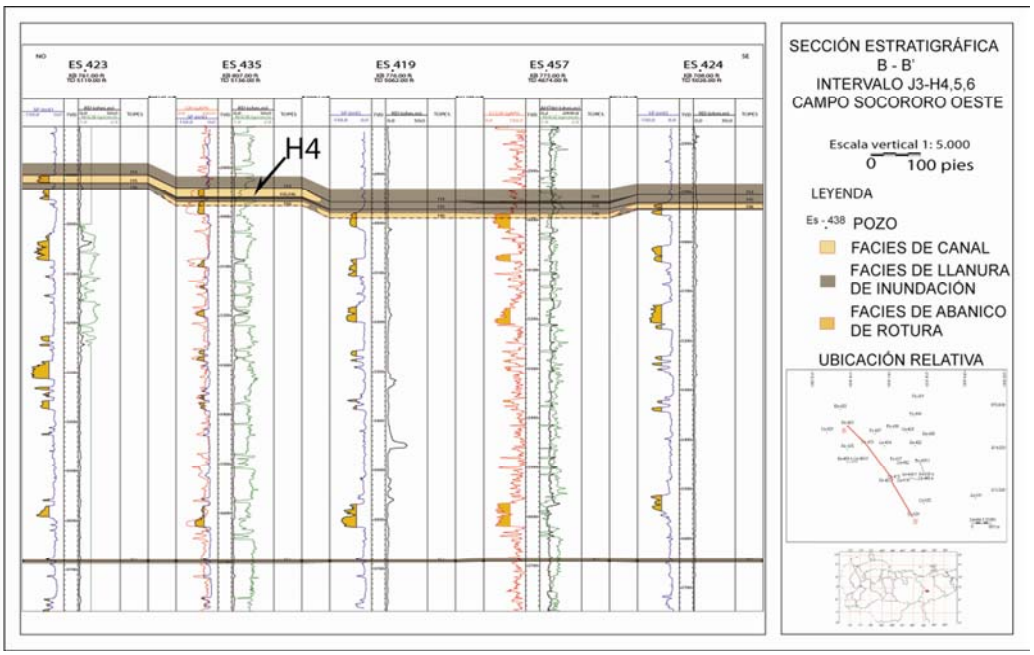



Fig. 3.72: Sección estratigráfica B-B'. Muestra el comportamiento de canal y de abandono en la unidad H4.

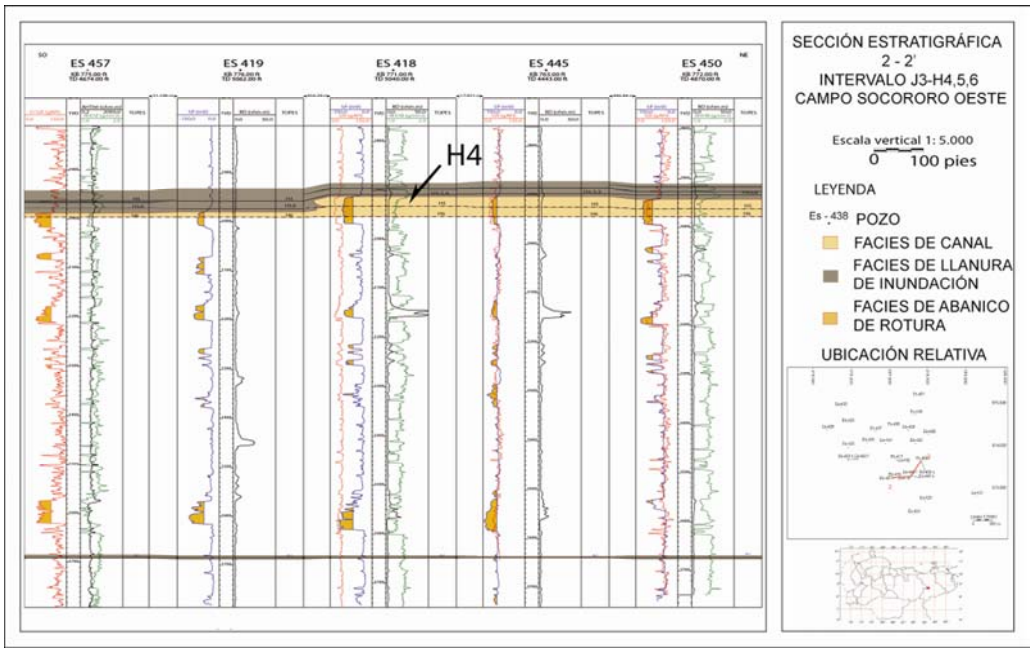



Fig. 3.73: Sección estratigráfica 2-2'. Muestra el abandono de canales y las relaciones con la llanura de inundación.

Se desarrolla en esta unidad una secuencia de espesor variable entre 11 y 29 pies (en los pozos Es-457 y Es-450, respectivamente), dentro de la cual se generan dos tipos de facies, descritas a continuación (ver la figura 3.74, anexos 36 y 52):

(a) En la unidad H4 se observan curvas de comportamiento cilíndrico o grano decreciente, indicando la presencia de facies de canal, éstas se disponen formando dos cuerpos arenosos que ocupan el 60% del área del mapa. El primero se encuentra al sureste, presenta una orientación preferencial aproximadamente N-S, espesores de arena que alcanzan los 20 pies, y valores de la relaciones "net to gross" y de arena/lutita cercanas a 70% y mayores a 2 (Es-420), respectivamente (ver las figuras 3.75 y 3.76, anexos 66 y 80). El segundo cuerpo se encuentra al oeste del campo con orientación O-E, los espesores de arena alcanzan los 21 pies, permitiendo mostrar valores de "net to gross" cercanos a 84% y la relación arena lutita es mayor a 5.

(b) En los pozos Es-419, Es-424, Es-431, Es-437 y Es-453 se observan curvas de tendencia irregular, que registran valores de arena muy bajos

o nulos, ocasionando así que las relaciones se igualen a cero o sean muy cercanas a este valor, indicando la presencia de facies de depósitos de llanura de inundación. Se reconoce presencia de capas de lignito muy localmente, en el pozo Es-437 en la zona central del campo (ver las figuras 3.75 y 3.76, anexos 66 y 80).

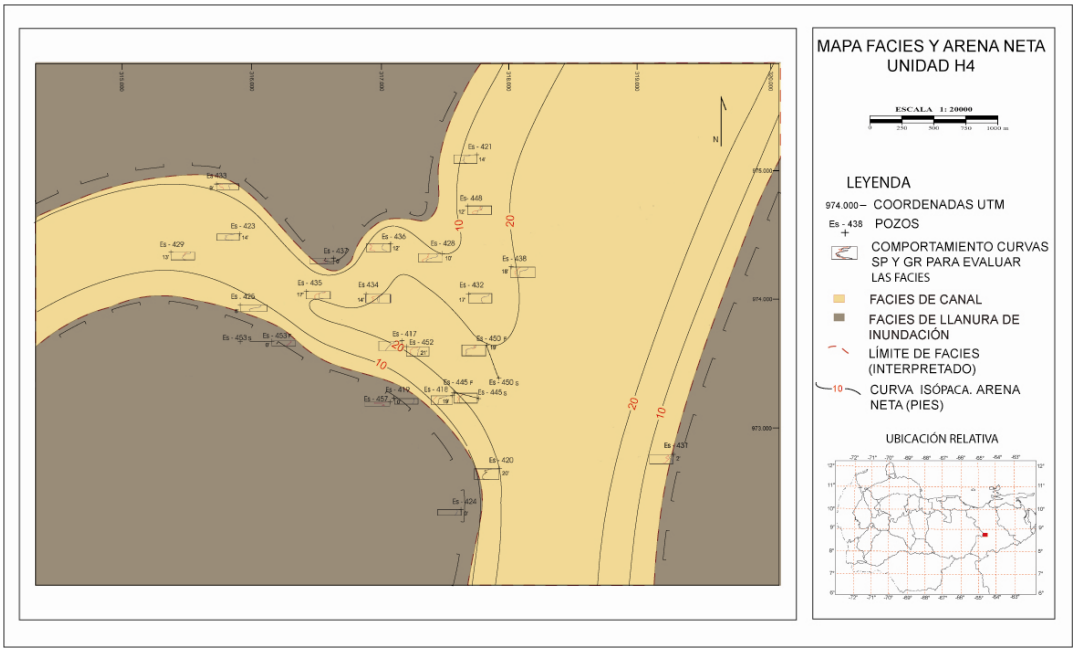


Fig. 3.74: Mapa de Facies y Arena Neta de la unidad H4. En la cual se observa el comportamiento de los canales distributarios

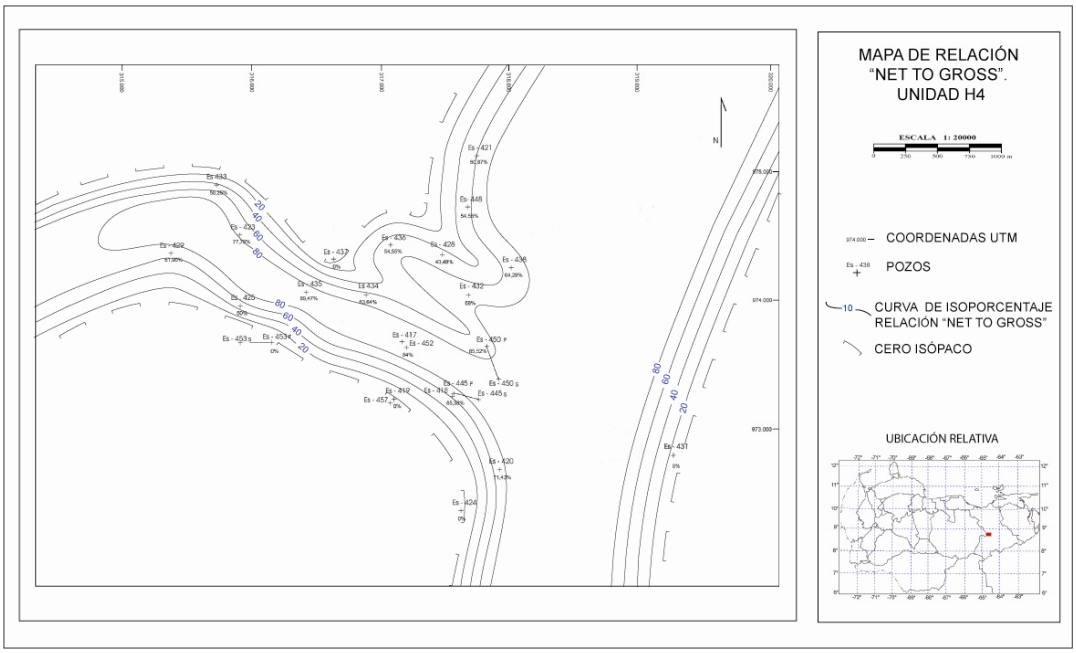



Fig. 3.75: Mapa Relación "Net to Gross", en el cual se observa la geometría de los depósitos sedimentarios

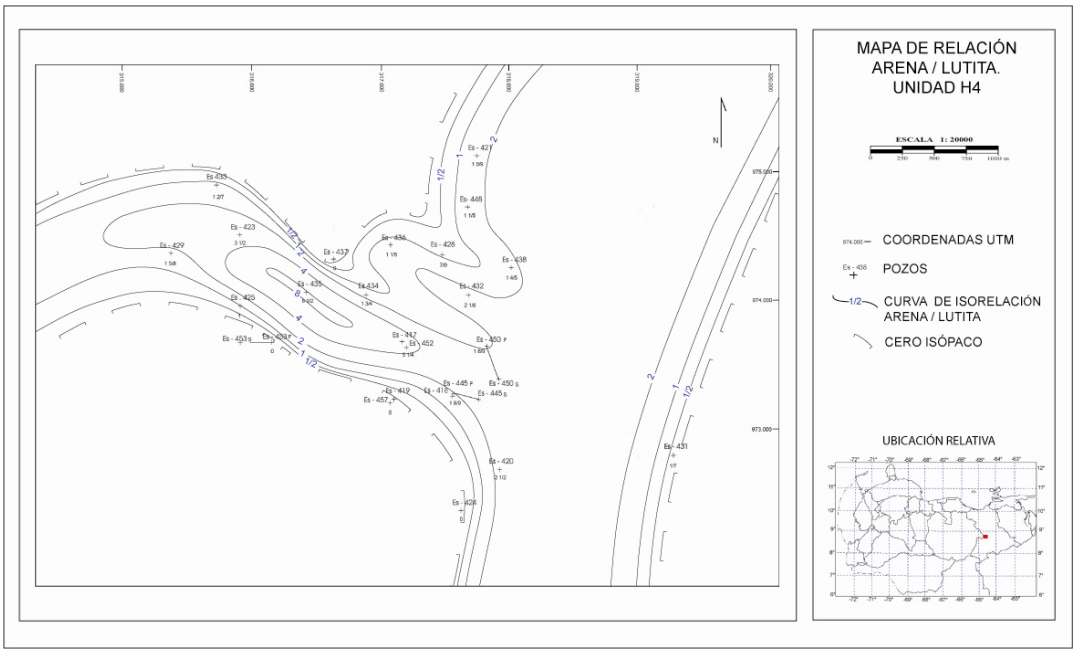



Fig. 3.76: Mapa de Relación Arena/Lutita, el cual muestra la distribución de los sedimentos dentro del sistema, afectados estos por el encuentro de dos corrientes en direcciones distintas, característico de los canales distributarios

Al observar el grupo de mapas generados para la unidad H4, se puede observar que los tres se corresponden al mostrar canales cuya tendencia es la de generar dos cuerpos que tienden a unirse al este del campo. Éste tipo de canales son característicos de la planicie deltáica, donde se generan canales secundarios que pueden ser ortogonales a otro principal, e incluso comunicar dos canales principales.

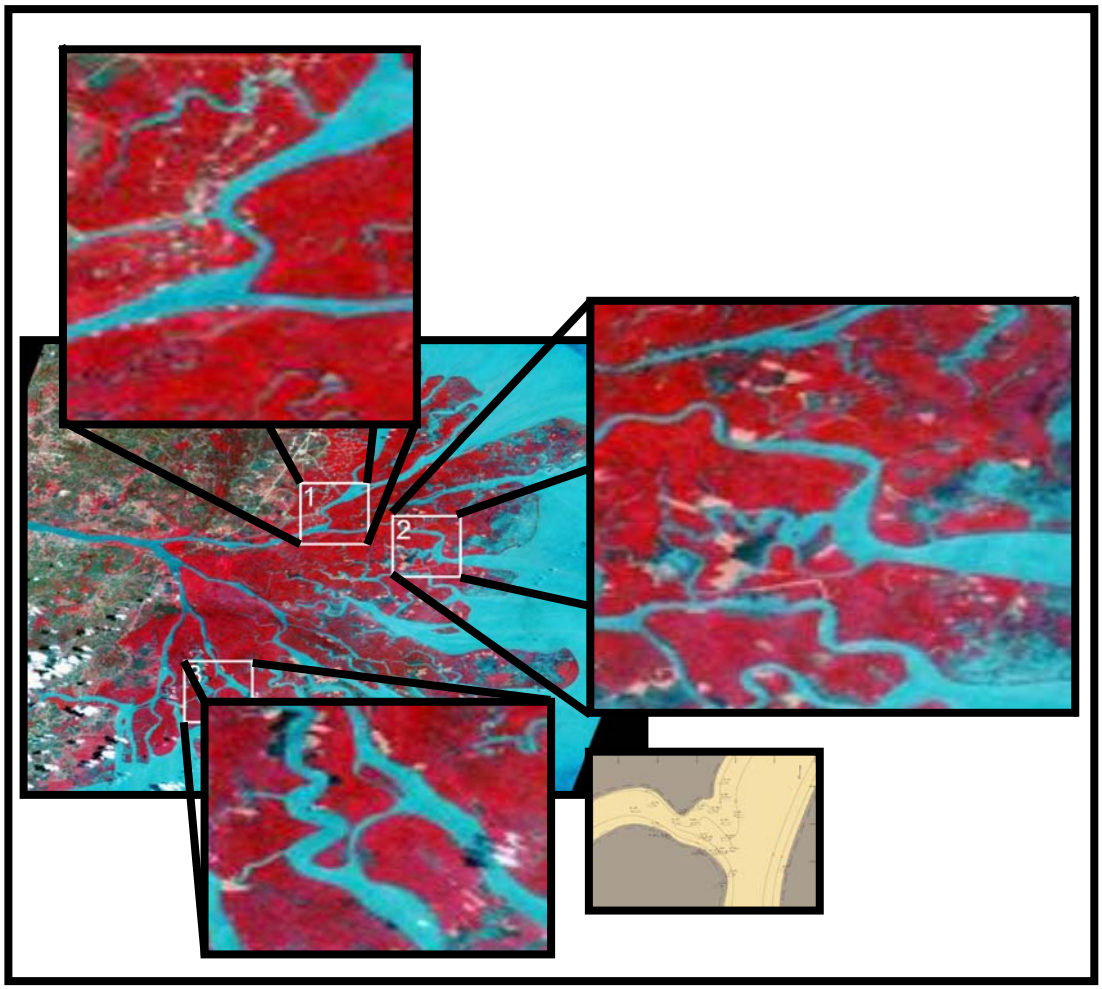



Fig. 3.77: Desarrollo de un sistema deltáico, en el cual se puede observar como es el comportamiento de los canales distributarios, los cuales pueden unirse y ensanchar un canal común (Delta de Mahakam, Indonesia. Tomado y modificado de: Darman, 1999)

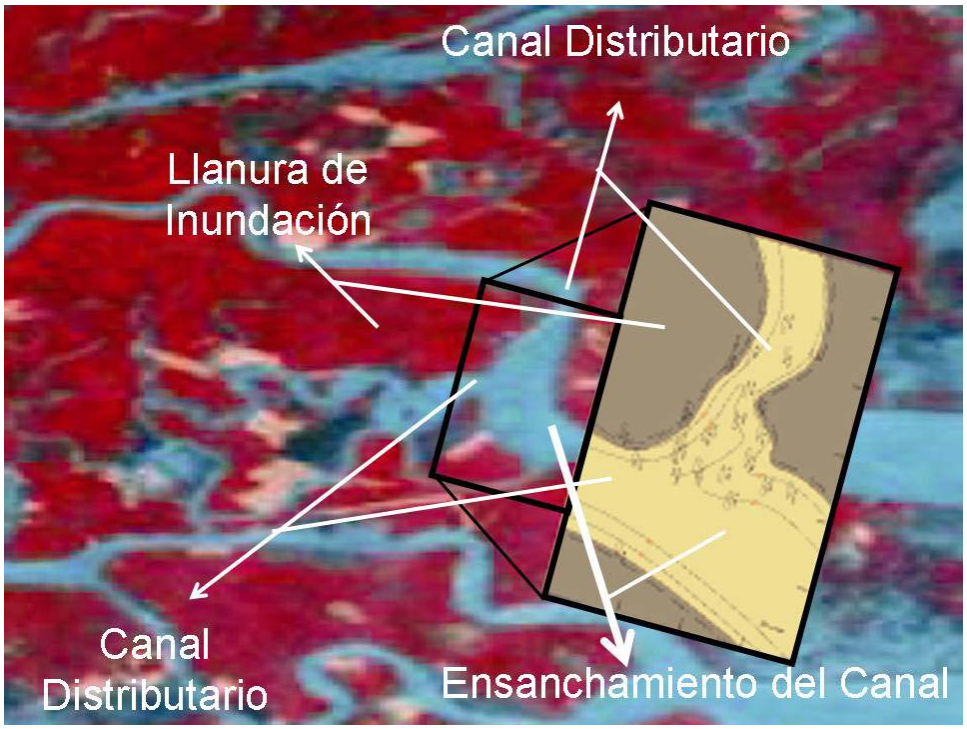



Fig. 3.78: Comparación del mapa de distribución de facies de la unidad H4 con el desarrollo de canales distributarios en un delta moderno (Delta de Mahakam, Indonesia. Tomado y modificado de: Darman, 1999)

- Análisis ambiental

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 deltáica, 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 genere un canal más ancho pero de poca profundidad. El canal principal presenta 1,5 km de ancho y hasta 20 pies de profundidad, el mismo presenta perfil asimétrico donde la zona de mayor erosión se encuentra hacia el este del mismo. El segundo canal posee 1,2 km de ancho y 21 pies de profundidad, pero con perfil simétrico. Ambos canales se unen hacia el noreste del campo, generando un cuerpo con 2,5 km de ancho y la profundidad es cercana a los 20 pies.

En las zonas marginales de este canal se desarrolla la llanura de inundación en donde hay poca sedimentación, generando ambientes de muy baja energía, que permiten que los sedimentos en suspensión precipiten al fondo y se conserve la materia orgánica, originando así las capas de lignitos reconocidas en esta unidad.

### *3.1.4. Evolución estratigráfica*

A continuación se desarrolla la evolución estratigráfica, de base a tope, de la secuencia U.

Sobre la superficie de inundación que define el tope de U5 se desarrolla un sistema fluvial de canales entrelazados, entre los cuales quedan zonas emergidas, al preservarse parte de la llanura de inundación. Ésta es invadida por diversos eventos de desborde, que evolucionan en canales que se van uniendo a una corriente principal (sub-unidad U4L).

Estos canales son muy inestables, cambiando su curso constantemente por el proceso de avulsión. Como consecuencia se generan cinturones de canales bastante anchos y de poca profundidad (sub-unidad U4M).

En el registro geológico se observa un apilamiento de cuerpos arenosos que se comunican entre sí. A veces, pueden preservarse espesores pequeños de lutitas, sin embargo esto no es común debido a la erosión causada por los sistemas, que generan coalescencia entre cuerpos de edades diferentes. Es muy común el cambio de orientación de los cuerpos de arena (sub-unidad U4U).

Cuando el sistema fluvial es menos competente, la tasa de erosión y sedimentación en la cuenca disminuye, permitiendo que se generen depósitos de sedimentos finos (lutitas) y, si las condiciones son favorables, capas de lignito. En estos períodos de inundación pueden persistir algunos episodios fluviales, que erosionan parte de la llanura de inundación; ésta es más estable y permite el desarrollo de sistemas meandriformes (unidad U3).

En los ambientes fluviales meandriformes, debido al efecto de los cambios de energía del sistema, los canales sufren avulsión, permitiendo que se desplacen dentro del cinturón del meandro, en donde los canales se pueden unir a uno principal o tender a separarse por abandono del mismo.

Este comportamiento de los distributarios puede verse afectado por una componente estructural, como es el caso de la sub-unidad U2L, en la cual los canales

se orientan forzosamente, tomando una dirección E-O por la influencia de una falla sin-sedimentaria.

La geometría de la falla produce reacomodo en la cuenca, generando que la distribución de los sedimentos cambie, y se orienten con esa marcada tendencia E-O, lo que afecta también a las unidades superiores (sub-unidad U2M). Este efecto se puede observar por la tendencia de los cuerpos a tomar una dirección casi constante.

A pesar del efecto de la falla, se puede observar cómo los canales cambian su posición espacial (sub-unidad U2U), generando depósitos de arenas muy espesas por el apilamiento vertical de diversos canales. En éstos, también se observa coalescencia entre unidades sedimentarias; sin embargo, los depósitos de la llanura de inundación son más estables, y por ende los cuerpos de lutitas que se preservan en la columna estratigráfica son más espesos que, por ejemplo, en los canales entrelazados, generando relaciones entre los espesores de arena y los de lutita bajas en las zonas donde el efecto fluvial no haya erosionado los depósitos de sedimentos finos.

El movimiento de los canales dentro del cinturón de meandros permite que los depósitos de relleno de canal adquieran geometrías diferentes, mostrando siempre la dirección de la corriente. Los abanicos de rotura, comunes en estos sistemas, son consecuencia de eventos de alta energía, donde se rompe el dique natural, permitiendo la depositación de estos cuerpos de arena en la llanura de inundación.

Asociada a esta inundación, la energía del ambiente disminuye y se producen los depósitos de sedimentos finos. Cuando la superficie de inundación afecta áreas muy grandes, permite el cese de la sedimentación y deja que la materia orgánica se preserve formando capas de lignito. Al disminuir la tasa de sedimentación, el ciclo adquiere un comportamiento retrogradante, permitiendo la evolución a un sistema costero.

La transición provoca que los sedimentos sufran retrabajo por acción de las corrientes litorales, generando cuerpos alargados paralelos a la línea de costa (sub-unidad U1U). Parte de los sedimentos de las barras pueden ser redistribuidos como consecuencia de eventos de acarreo por tormentas, generando formas elongadas de abanicos de tormentas.

La evolución estratigráfica de la secuencia de las unidades U se puede representar en la figura 3.79, en la cual se observan los ambientes interpretados para cada unidad y las variaciones de los mismos.

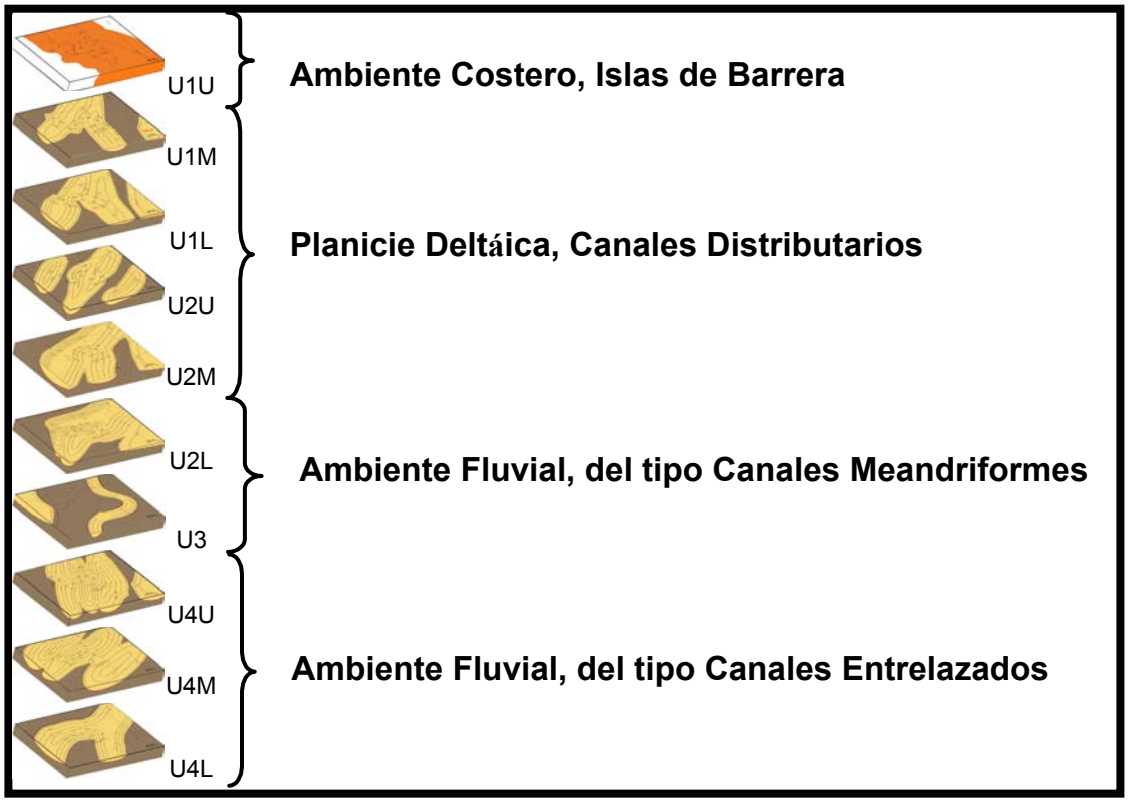



Fig. 3.79: Evolución estratigráfica de la secuencia perteneciente a las unidades U.

Las unidades correspondientes a la secuencia entre U y J1 no son objetivo de estudio en éste trabajo, sin embargo, las investigaciones realizadas en dicha secuencia indican que durante la evolución estratigráfica entre las unidades U1U y J1 se desarrollaron ciclos progradacionales, retrogradacionales y agradacionales (Morales, 2002).

Como la Sub-unidad U1U representa facies de islas de barrera, y Morales (2002) identifica entre las unidades TL y R3 una tendencia retrogradacional, se espera que en éstas se hayan depositado secuencias costeras a marinas. Entre R2L y R0, Morales (2002) indica que la secuencia es progradacional, permitiendo reconocer

nuevamente depósitos sedimentarios característicos de ambientes de transición a continentales (del tipo fluvio-deltáico). Por encima de la sub-unidad R2L hasta la unidad J1, la tendencia es agradacional, por lo tanto la tasa de sedimentación se mantuvo relativamente constante con respecto al espacio disponible en la cuenca; en consecuencia, es de esperarse que los ambientes encontrados en ella sean fluvio-deltáicos.

Sobre una llanura de inundación bien desarrollada (unidad J2) se depositan facies de relleno de canal, que representan ambientes constructivos por el desarrollo de canales distributarios (unidad J1) en la planicie deltáica, dominada por el aporte fluvial. En los márgenes de éstos, se desarrollan amplias llanuras de inundación, donde es común la preservación de capas de lignito.

En los sistemas deltáicos es común la alternancia entre procesos constructivos y destructivos. Durante los primeros se desarrollan cuerpos arenosos lobulares, orientados en dirección de la corriente (unidades J1 e I3). Por el contrario, los procesos destructivos se generan como consecuencia de las inundaciones, dando origen a depósitos de sedimentos finos (unidades J2, I2L, I2U), donde se puede preservar la materia orgánica.

En estos sistemas los canales tienden a ser estrechos y divergentes hacia la desembocadura (unidad H6), debido a la avulsión de los mismos dentro de la planicie deltáica. Éstos tienden a progradar por el desarrollo de los lóbulos del delta.

Al progradar el sistema deltáico, se espera que los ambientes sean más continentales, lo que permite que el sistema fluvial sea más competente; como la llanura de inundación es más estable se desarrollan ríos meandriformes (unidad H5), en los cuales se produce erosión en la zona externa del meandro, áreas pantanosas donde no hay sedimentación, permitiendo así que se conserve la materia orgánica y espacios donde se depositan alternancias de sedimentos finos y gruesos (consecuencia de los abanicos de rotura por los desbordes del canal).

En la planicie deltáica los canales distributarios pueden conectarse entre ellos por medio de canales secundarios, esto produce un ensanchamiento del sistema que puede mantenerse hasta la desembocadura o afectar localmente la zona donde se unen

los distributarios. Esta característica de la planicie deltáica es consecuencia de la variación en la energía del flujo de la corriente, generando avulsión de los canales, permitiendo que se depositen una amplia gama de sedimentos, desde arenosos a arcillosos, que tienden a formar cuerpos irregulares tal y como se observa en la unidad H4.

La evolución estratigráfica de la secuencia de las unidades J1 y H4,5,6 se puede representar en la figura 3.80, en la cual se observan los ambientes interpretados para cada unidad y las variaciones de los mismos.

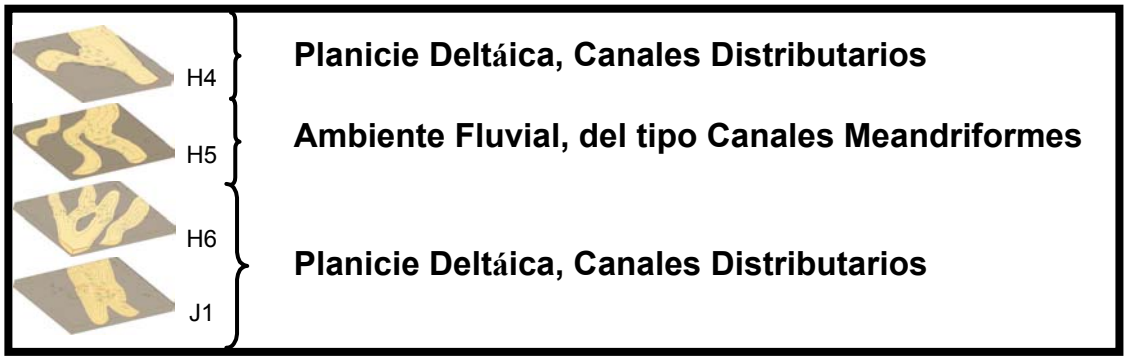



Fig. 3.80: Evolución estratigráfica de la secuencia perteneciente a las unidades J1 y H4,5,6

### *3.1.5. Comparación con ambientes modernos*

Al Observar el desarrollo de un ambiente fluvio-deltáico moderno se puede notar el desarrollo de canales entrelazados en la zona más continental del sistema, los cuales evolucionan a sistemas fluviales anastomosados cuando están próximos a la planicie deltáica, aquí también se observan meandros que se mantienen desde la parte proximal del delta hasta la zona de los distributarios.

En la planicie deltáica se observa que los canales distributarios son muy dinámicos, desarrollando cuerpos que divergen y convergen entre ellos, generándose el abandono de canales donde se darán las condiciones para formarse llanuras de inundación e incluso pantanos, en los que se puede preservar la materia orgánica. La acción de los canales fluviales dentro del delta produce la progradación del mismo, desarrollando cuerpos elongados en dirección de la corriente fluvial. Los sedimentos transportados por el régimen fluvial pueden ser retrabajados por las corrientes costeras, desarrollando cuerpos paralelos a la línea de costa.

Al comparar un sistema deltáico moderno con los ambientes descritos en cada una de las unidades, se puede corroborar que las secciones estudiadas de las formaciones Merecure y Oficina se desarrollan en ambientes fluvio-deltáicos. La evolución observada para las unidades U indica que los ambientes van de zonas continentales (canales entrelazados) a ambientes costeros (islas de barrera), mostrando que la transición entre Merecure y Oficina desarrolla una tendencia retrogradante.

En las figuras 3.81, 3.82 y 3.83 se puede observar la geometría de los cuerpos que se generan en los ambientes descritos, comparándose directamente con el desarrollo de canales en ambientes modernos, dándose así el modelado de las facies propuestas para la secuencia U.

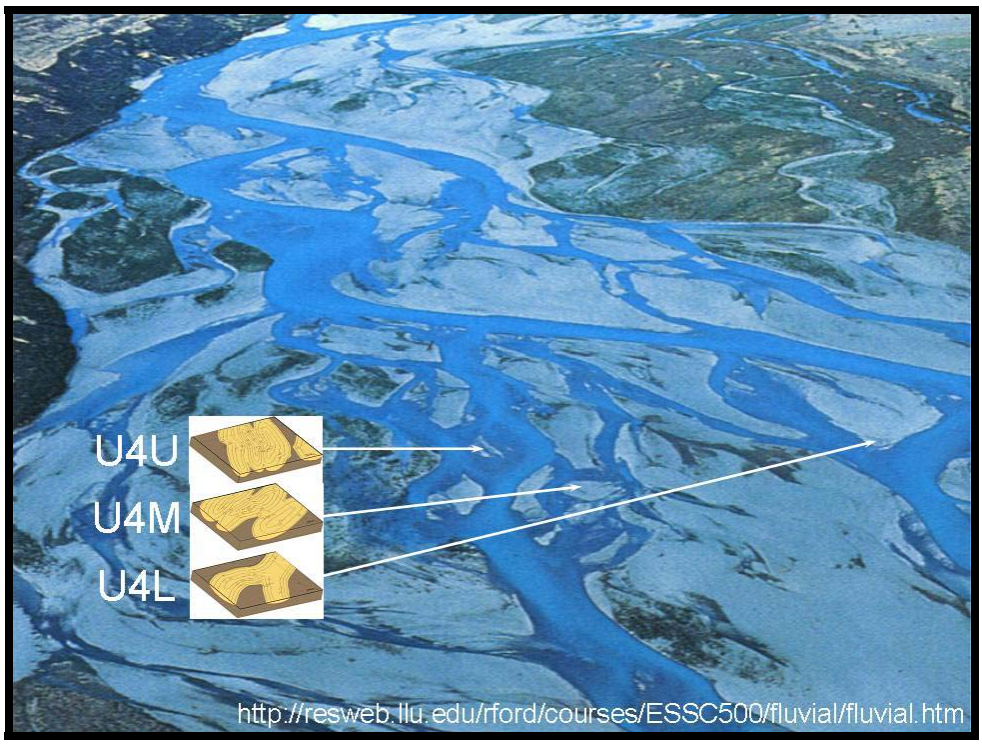


Fig. 3.81: Canales entrelazados en Rakaia, Alaska. Tomada de Ford R. (2005)



Fig. 3.82: Valles de Columbia y Blaeberry, cerca de Goleen, B.C. Canadá.
Tomada de Alpenglow Aviation

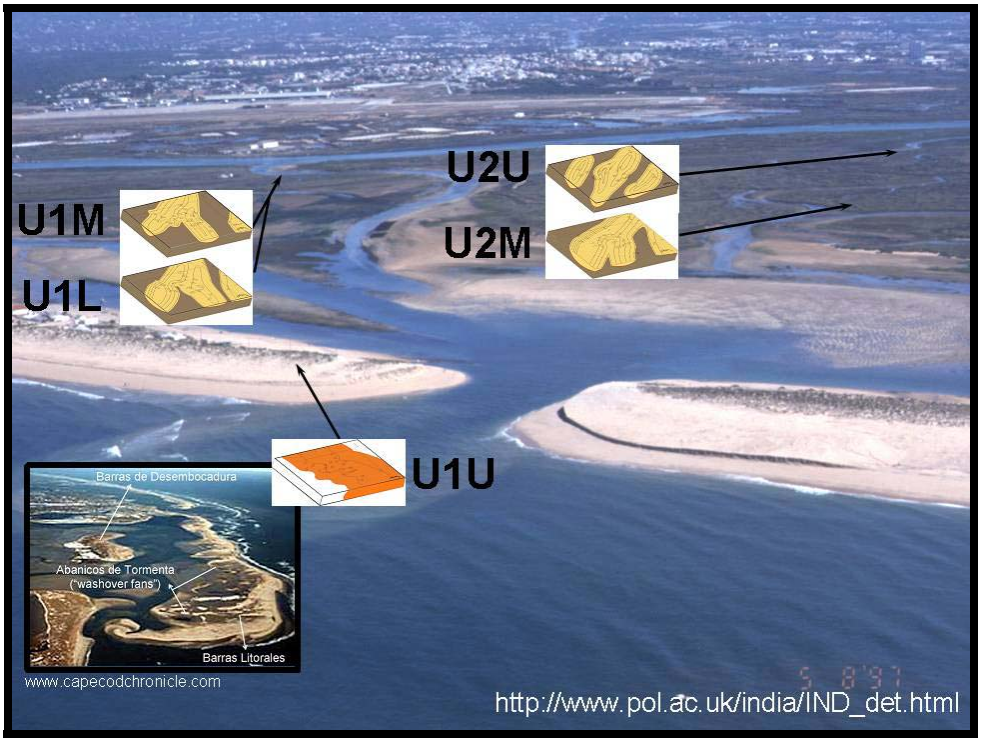


Fig. 3.83: Río Formosa, Algarve – Portugal. Tomado de Proyecto INDIA (Inlet Dynamics Initiative Algarve)

Por otra parte, la secuencia entre las unidades J1 y H4 indica que el sistema tiende a ser progradante-agradante permitiendo que la sedimentación ocurra en la planicie deltáica donde los canales sufren de avulsión de forma constante, se desarrollan llanuras de inundación importantes y se generan carbones por la materia orgánica preservada. Adicionalmente, la agradación establece una relativa estabilidad entre la tasa de sedimentación y el espacio disponible en la cuenca.

En la figura 3.84 se puede observar la geometría de los cuerpos que se generan en la planicie deltáica, comparándose directamente con el desarrollo de canales en un delta moderno, dándose así el modelado de las facies propuestas para las unidades J1 y H4,5,6.

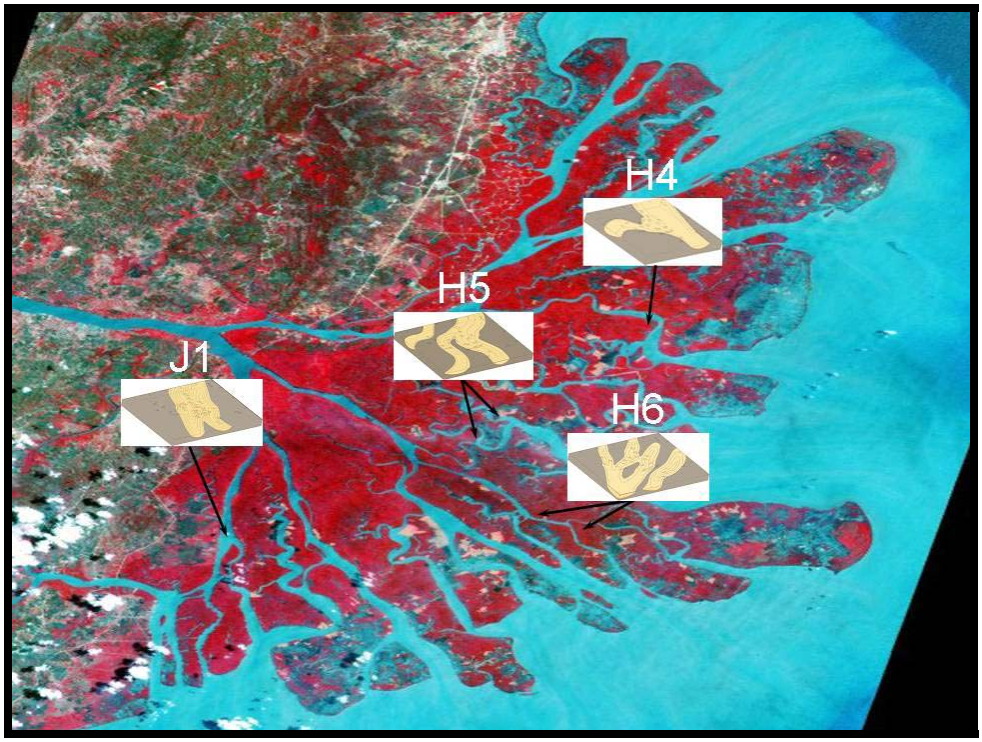


Fig. 3.84: Delta de Mahakam, Indonesia. Tomado de Darman (1999).

# SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- *Sumario y Conclusiones*
- *Recomendaciones*

## 4.1. SUMARIO Y CONCLUSIONES

Como resultado del presente trabajo, se logró elaborar un modelo sedimentológico y estratigráfico para las arenas U, J1 y H4, 5, 6 pertenecientes a las formaciones Oficina y Merecure en el Campo Socororo Oeste. El modelo se construyó a partir de secciones y mapas estratigráficos para determinar la arquitectura de las unidades sedimentarias en el subsuelo.

Mediante el estudio de los registros de pozos se reconocieron 18 superficies de correlación que limitan los cuerpos de interés. Éstas son lutitas observadas en la mayoría de los pozos del campo. Su continuidad se evaluó mediante el reconocimiento de características distintivas en el comportamiento de las curvas de los registros de pozos. Entre estas 18 superficies se encuentran los límites de las unidades U, representadas por dos superficies de inundación. Por otra parte se determinó que las superficies encontradas en las unidades J1 y H4,5,6 estaban asociadas a eventos de inundaciones y abandono de canales.

A través del análisis de las secciones estratigráficas pertenecientes al modelo propuesto, se pudo concluir:

- Las facies reconocidas en la sección comprendida entre las unidades U5 y U1 (tope de la Formación Merecure y base de la Formación Oficina) son, principalmente, de características fluviales:
    (a) Las facies de canal son las más importantes, representando cuerpos muy espesos. Se reconocieron por presentar una tendencia cilíndrica o en forma de campana en las curvas de potencial espontáneo y de rayos gamma.
    (b) Asociadas a los canales se encontraron las facies de llanuras de inundación, reconocidas por la tendencia irregular de las

curvas, características de la alternancia de lutitas con delgados cuerpos de arena.

(c) Los abanicos de rotura se reconocieron por curvas con forma de embudo que se desarrollan en las zonas que bordean los sistemas fluviales.

(d) Por último, las facies de islas de barreras (barras) se reconocieron también por presentar una tendencia grano-creciente, pero no están asociadas directamente a ningún evento fluvial.

- Análogamente en el intervalo comprendido entre las unidades J1 y H4,5,6, (Formación Oficina) se encontraron facies características de sistemas fluvio-deltáicos:

  (a) Las facies de llanuras de inundación son las más importantes dentro de estas unidades, reconocidas igualmente por presentar una tendencia irregular en las curvas de potencial espontáneo y de rayos gamma.

  (b) Las facies de canal son las segundas en importancia en este intervalo, y se reconocieron por el comportamiento cilíndrico y en forma de campana observados en los registros.

  (c) Los abanicos de rotura están asociados a las facies con tendencia grano-creciente que se encuentran a los bordes de los canales, presentándose muy localmente en este intervalo.

Por otra parte, el estudio de los mapas estratigráficos permitió establecer las relaciones espaciales entre las facies observadas en las secciones, y determinar:

(a) El intervalo comprendido entre las unidades U4 y U1, se desarrolla en un ambiente de sedimentación fluvial, donde

se aprecia la transición de un sistema de canales entrelazados hacia la base, a un sistema de canales meandriformes en las unidades superiores. La sub-unidad U1U presenta la geometría de una barra litoral, característica de ambientes costeros, donde las corrientes litorales redistribuyen los sedimentos generando formas alargadas, paralelas a la línea de costa. La lutita que representa el tope de U1M representa una superficie de inundación, que explica el cambio ambiental entre los sistemas meandriformes presentes en las unidades inferiores, y la barra litoral de U1U.

(b) Entre las unidades J1 y H4 se evidenció un ambiente de sedimentación principalmente deltáico. Se observó la intercalación de ambientes asociados a la planicie deltáica caracterizada por los canales distributarios reconocidos en las unidades J1, H6 y H4, con un sistema fluvial meandriforme, en la uidad H5. En este intervalo se reconocieron importantes espesores de cuerpos lutíticos, asociados a eventos de inundaciones y abandono de canales.

En resumen, el modelo propone que las unidades estudiadas se desarrollan en un ambiente fluvio-deltáico. Entre las unidades U5 y U1 se observa una tendencia retrogradante, por la evolución, de base a tope, de ambientes fluviales de canales entrelazados a sistemas de meandros pertenecientes a la zona proximal de la planicie deltáica. Esta secuencia culmina con la generación de barras litorales de ambientes costeros, limitada por una superficie de máxima inundación.

La sección comprendida entre las unidades J1 y H4 presenta una tendencia agradacional, debido a la intercalación de ambientes de planicie deltáica (unidades J1,

H6 y H4), con sistemas meandriformes (Unidad H5). En las secciones estratigráficas se observa que esta secuencia agradante es afectada por diversos eventos de inundación, indicando que el ambiente de este intervalo perteneciente a la Formación Oficina es principalmente deltáico. Dicha agradación se explica por la relación existente entre la tasa de sedimentación y el espacio disponible, indicando que son relativamente constantes

El modelo sedimentológico y estratigráfico desarrollado permitió determinar la arquitectura de las arenas prospectivas del campo Socororo Oeste. Por ende, este modelo se considera esencial para la elaboración del modelo estático y dinámico de los yacimientos del campo. El modelo estático se logra integrando los datos estratigráficos y sedimentológicos de este trabajo con modelos estructurales y estudios petrofísicos. Sobre éste, se realiza la simulación de los yacimientos, dando origen al modelo dinámico.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- Realizar un modelo sedimentológico y estratigráfico entre las arenas U y H, para apreciar las variaciones de las facies en la secuencia. De esta forma se podrá tener una comprensión más detallada de los procesos estratigráficos que ocurren entre estas unidades.

- Siguiendo esta misma metodología, realizar un modelo sedimentológico y estratigráfico en los demás campos pertenecientes al Área Mayor de Socororo, lo que permitiría aclarar y afinar las interpretaciones dadas para los ambientes de depositación de las unidades prospectivas pertenecientes a las formaciones Merecure y Oficina.

- Obtener cortes de núcleos continuos entre las unidades U4 y H4 (formaciones Merecure y Oficina), para poder tener un mayor control de las características litológicas de estas arenas, de sus propiedades petrofísicas y del ambiente sedimentario de las mismas.

- Enriquecer el modelo sedimentológico y estratigráfico con estudios de las estructuras y las propiedades petrofísicas de las unidades estudiadas.

*REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS*


ARSTEIN, R., *et al*. (1.985). "Revisión Estratigráfica de la Cuenca de Venezuela Oriental"**.** *VI Congreso Geológico Venezolano*, Tomo I, 41 – 68 p.

AVENDAÑO, R. y CÁCERES, S., (2002). **Evaluación del sistema petrolífero del área Mayor Socororo, estado Anzoátegui, Venezuela y elaboración de un modelo geológico, a partir de la integración de métodos geoestadísticos y petrofísicos**. Tesis de grado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

CAMPOS, V. *et al*. (1985). "Estratigrafía de noreste de Anzoátegui". *VI Congreso Geológico Venezolano*, Tomo I, 156- 200 p.

CANT, D. (1982). *Fluvial Facies Model and Their Aplication, En:* **Sandstone Depositional Environments**. American Association of Petroleum Geologist. Memoir 31. Tulsa, Oklahoma, U.S.A. 115-137 p.

CEPET, (1989). **La Industria Venezolana de los Hidrocarburos**. PDVSA – Centro de Formación y Adiestramiento, Tomo I, 122-142 p.

CHEVALIER, Y., GONZALES, G., MATA, S., SANTIAGO, N. y SPANO, F., (1995**). "**Estratigrafía Secuencial y Tectónica del Transecto El Pilar-Cerro Negro, Cuenca Oriental de Venezuela". Lagoven, S.A., Filial de Petróleos de Venezuela, S.A. *VI Congreso Colombiano del Petróleo*. 253-265 p.

CORPOMENE C.A. (1.999) **Estudio de Reactivación del Área Mayor Socororo- Fase II**. Informe Técnico, 84 p.

Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura (CIEN). (2004). **Léxico Estratigráfico de Venezuela**. PDVSA – Intevep; http:// www.pdv.com/lexico.

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.

COLEMAN, J. y WRIGHT, L. (1975). *Modern River Deltas: Variability of Processes and Sand Bodies*. En: **Deltas, Models for Exploration**. Broussard, M *et al.*, Houston Geological Society. 99 – 149 p.

DARMAN, H. (1999). *Modern Mahakam Delta, East Kalimantan (Borneo), Indonesia.* Comission of IAGI (1995): **Indonesian sedimentologists forum**. http://fosi.iagi.or.id/mahakam/mah-morphology.htm, (10/07/2005)

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". *III Congreso Geológico Venezolano*, Tomo III, 943- 947 p.

DI CROCE, J. *et al*. (1999**)** *Sequence Stratigraphy of the Eastern Venezuelan Basin*. En Mann, P. (ed) **Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the world**, 4. Elsevier Science B.V., Amsterdam. 419-476 p.

ERLICH, R. y BARRETT, S., (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.

FUNKHOUSER, H. *et al*. (1948). "Santa Ana, San Joaquín, Guárico and Santa Rosa oilfields (Anaco fields), central Anzoátegui, Venezuela". *Bulletin American Association of Petroleum Geologist*, V: 32, No. 10: 1851- 1908 p.

GALLOWAY, W. y HOBDAY, D., (1983). **Terrigenous Clastic Depositional Systems. Applications to Petroleum, Coal, and Uranium Exploration**. Segunda Edición. Springer, New York. 423 p.

GALLOWAY, W. (1975). **Process Framework for Describing the Morphologic and Stratigraphic Evolution of Deltaic Depositional Systems**. En: **Deltas, Models for Exploration**. Broussard, M *et al*., Houston Geological Society. 87-98 p.

GHINAGLIA, P. (2004). **Balanceo y restauración de una sección regional de un sistema de corrimientos. Serranía del Interior Oriental, Cuenca Oriental de Venezuela.** Tesis de grado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

GONZALEZ DE JUANA, C. *et al*. (1.980) **Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas**. Ediciones Foninves, Caracas.1031 p.

HEDBERG, H. *et al*. (1947) "Oil fields of the greater Oficina area, central Anzoátegui, Venezuela". *Bulletin American Association of Petroleum Geologist*, V. 31, No. 12: 1089- 2169 p.

Iowa University, Department of civil and environmental engineering 2005. *Delta Nilo.* www.engineering.uiowa.edu/. ../images/free9.jpg, (10/07/2005).

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

MENEVEN, 1985. **Estudio Geológico Integrado de la Cuenca Oriental de Venezuela**. Tecnigráfica San José, Caracas. 271 p.

MORALES, E., (2002). **Interpretación Estratigráfica del Área Socororo Oeste del Convenio Socororo, Operado por PetroUCV, Edo. Anzoátegui**. Tesis de grado.

Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Ohio Wesleyan University, Department of geology & geography 2005. *Ríos entrelazados*. http://go.owu.edu/~jbkrygie/krygier_html/geog_111/geog_111_lo/, (10/07/2005)

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. *et al*. (1995). *Petroleum Geology of the Central Part of the Eastern Venezuelan Basin*. En: TANKARD, A., SUAREZ, R. y WELSINK, H. **Petroleum Basins of South America**. (Eds.). American Association of Petroleum Geologist, Memoir 62. Tulsa, Oklahoma, U.S.A. 741-756 p.

READING, H. (1986). **Sedimentary Environments and Facies**. Segunda Edición. Blackwell Scientific Publications. Londres, Inglaterra. 615 p.

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.

SERRA, O (s/a). **Análisis de ambientes sedimentarios mediante Perfiles de Pozos**. Schlumberger. 131-178 p.

SOTO, C., J. Patiño, M. Capello, L. Ramos (2003). "Reservoir Description of the Area Mayor de Socororo, Eastern Venezuela". Society of Petroleum Engineers. Denver, Colorado. 1-10 p.

SUMMA, L., E. Goodman, M. Richardson, I. Norton, A. Green. (2003). *Hydrocarbon Systems of Northeastern Venezuela: Plate Through Molecular Scale-Analysis of the Genesis and Evolution of the Eastern Venezuela Basin*. Marine and Petroleum Geology, N° 20. 323-349 p.

TEARPOCK, D. *et al*. (1990). **Applied Subsurface Geological Mapping**. Prentice Hall PTR. New Jersey. 648 p.

University of Montana, Department of geology 2005. *Sistema anastomosado al sureste de Saskatchewan, Alaska*. www.umt.edu/.../hendrix/g432/g432_L16.htm, (10/07/2005)

University of Montana, Department of geology 2005. *Sistema meandriforme al sureste de Alaska*. www.umt.edu/.../ hendrix/g432/g432_L16.htm, (10/07/2005)

University Texas, Department of geology 2005. *Delta dominado por mareas.* http://www.utdallas.edu/~jbt015000/gallery/MSS-rocks/delta_floodtidaldelta, (10/07/2005).

VAN WAGONER, J. *et al*. (1990) **Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Outcrops: Concepts for High Resolution Correlation of Time and Facies**. American Association of Petroleum Geologist, Methods in Exploration Series, N° 7. 52 p.

VILLALÓN, A. (2005). **Transición de las Formaciones Oligomiocenas de la Subcuenca de Guárico al Sector Suroccidental de la Subcuenca de Maturín**. Tesis de grado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

WALKER, R. y JAMES, N. (1992). **Facies Model. Response to Sea Level Change**. Geological Association of Canada. St. John's, Newfoundland, Canada; 409 p.

*APÉNDICE I*

DATOS DE LAS UNIDADES ESTUDIADAS

| UNIDADES | POZOS | TOPES | ESPESOR | ARENA NETA | NET TO GROSS | LUTITA | ARENA/LUTITA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Es-417** | | | | | | |
| | H4 | 2865 | 20 | 13 | 65,0% | 7 | 1 6/7 |
| | H5 | 2885 | 18 | 18 | 100,0% | 0 | |
| | H6 | 2903 | 14 | 10 | 71,4% | 4 | 2 1/2 |
| | J1 | 3088 | 72 | 65 | 90,3% | 7 | 9 2/7 |
| | U1U | 4418 | 29 | 11 | 37,9% | 18 | 3/5 |
| | U1M | 4447 | 23 | 22 | 95,7% | 1 | 22 |
| | U1L | 4470 | 26 | 18 | 69,2% | 8 | 2 1/4 |
| | U2U | 4496 | 28 | 13 | 46,4% | 15 | 7/8 |
| | U2M | 4524 | 38 | 24 | 63,2% | 14 | 1 5/7 |
| | U2L | 4562 | 45 | 39 | 86,7% | 6 | 6 1/2 |
| | U3 | 4607 | 43 | 7 | 16,3% | 36 | 1/5 |
| | U4U | 4650 | 55 | 52 | 94,5% | 3 | 17 1/3 |
| | U4M | 4705 | 27 | 18 | 66,7% | 9 | 2 |
| | U4L | 4732 | 28 | 17 | 60,7% | 11 | 1 1/2 |
| | **Es-418** | | | | | | |
| | H4 | 2908 | 23 | 19 | 82,6% | 4 | 4 3/4 |
| | H5 | 2931 | 21 | 20 | 95,2% | 1 | 20 |
| | H6 | 2952 | 18 | 15 | 83,3% | 3 | 5 |
| | J1 | 3112 | 54 | 23 | 42,6% | 31 | 3/4 |
| | U1U | 4418 | 29 | 11 | 37,9% | 18 | 3/5 |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | U1M | 4447 | 28 | 25 | 89,3% | 3 | 8 1/3 |
| | U1L | 4475 | 25 | 20 | 80,0% | 5 | 4 |
| | U2U | 4500 | 24 | 13 | 54,2% | 11 | 1 1/5 |
| | U2M | 4524 | 48 | 43 | 89,6% | 5 | 8 3/5 |
| | U2L | 4572 | 39 | 38 | 97,4% | 1 | 38 |
| | U3 | 4611 | 37 | 5 | 13,5% | 32 | 1/6 |
| | U4U | 4648 | 51 | 47 | 92,2% | 4 | 11 3/4 |
| | U4M | 4699 | 37 | 22 | 59,5% | 15 | 1 1/2 |
| | U4L | 4736 | 33 | 30 | 90,9% | 3 | 10 |
| | **Es-419** | | | | | | |
| | H4 | 2957 | 15 | 0 | 0,0% | 15 | 0 |
| | H5 | 2972 | 18 | 10 | 55,6% | 8 | 1 1/4 |
| | H6 | 2990 | 29 | 18 | 62,1% | 11 | 1 2/3 |
| | J1 | 3164 | 41 | 30 | 73,2% | 11 | 2 5/7 |
| | U1U | 4442 | 30 | 11 | 36,7% | 19 | 4/7 |
| | U1M | 4472 | 31 | 23 | 74,2% | 8 | 2 7/8 |
| | U1L | 4503 | 22 | 14 | 63,6% | 8 | 1 3/4 |
| | U2U | 4525 | 31 | 21 | 67,7% | 10 | 2 1/9 |
| | U2M | 4556 | 49 | 40 | 81,6% | 9 | 4 4/9 |
| | U2L | 4605 | 26 | 26 | 100,0% | 0 | |
| | U3 | 4631 | 36 | 9 | 25,0% | 27 | 1/3 |
| | U4U | 4667 | 46 | 29 | 63,0% | 17 | 1 5/7 |
| | U4M | 4713 | 33 | 19 | 57,6% | 14 | 1 1/3 |
| | U4L* | 4746 | 10 | 2 | 20,0% | 8 | 1/4 |
| | **Es-420** | | | | | | |
| | H4 | 2872 | 28 | 20 | 71,4% | 8 | 2 1/2 |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | H5 | 2900 | 16 | 15 | 93,8% | 1 | 15 |
| | H6 | 2916 | 35 | 30 | 85,7% | 5 | 6 |
| | J1 | 3092 | 31 | 18 | 58,1% | 13 | 1 3/8 |
| | U1U | 4347 | 30 | 11 | 36,7% | 19 | 4/7 |
| | U1M | 4377 | 20 | 10 | 50,0% | 10 | 1 |
| | U1L | 4397 | 31 | 25 | 80,6% | 6 | 4 1/6 |
| | U2U | 4428 | 30 | 10 | 33,3% | 20 | 1/2 |
| | U2M | 4458 | 41 | 17 | 41,5% | 24 | 5/7 |
| | U2L | 4499 | 35 | 7 | 20,0% | 28 | 1/4 |
| | U3 | 4534 | 47 | 38 | 80,9% | 9 | 4 2/9 |
| | U4U | 4581 | 44 | 28 | 63,6% | 16 | 1 3/4 |
| | U4M | 4625 | 33 | 32 | 97,0% | 1 | 32 |
| | U4L | 4658 | 32 | 30 | 93,8% | 2 | 15 |
| | **Es-421** | | | | | | |
| | H4 | 2907 | 23 | 14 | 60,9% | 9 | 1 5/9 |
| | H5 | 2930 | 23 | 13 | 56,5% | 10 | 1 1/3 |
| | H6 | 2953 | 36 | 20 | 55,6% | 16 | 1 1/4 |
| | J1 | 3148 | 57 | 48 | 84,2% | 9 | 5 1/3 |
| | U1U | 4475 | 28 | 12 | 42,9% | 16 | 3/4 |
| | U1M | 4503 | 34 | 32 | 94,1% | 2 | 16 |
| | U1L | 4537 | 33 | 33 | 100,0% | 0 | |
| | U2U | 4570 | 30 | 3 | 10,0% | 27 | 1/9 |
| | U2M | 4600 | 45 | 40 | 88,9% | 5 | 8 |
| | U2L | 4645 | 37 | 37 | 100,0% | 0 | |
| | U3 | 4682 | 31 | 5 | 16,1% | 26 | 1/5 |
| | U4U | 4713 | 41 | 30 | 73,2% | 11 | 2 5/7 |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | U4M | 4754 | 41 | 30 | 73,2% | 11 | 2 5/7 |
| | U4L | 4795 | 46 | 2 | 4,3% | 44 | 0 |
| | **Es-423** | | | | | | |
| | H4 | 2899 | 18 | 14 | 77,8% | 4 | 3 1/2 |
| | H5 | 2917 | 11 | 0 | 0,0% | 11 | 0 |
| | H6 | 2928 | 25 | 16 | 64,0% | 9 | 1 7/9 |
| | J1 | 3142 | 37 | 3 | 8,1% | 34 | 0 |
| | U1U | 4460 | 29 | 9 | 31,0% | 20 | 4/9 |
| | U1M | 4489 | 29 | 27 | 93,1% | 2 | 13 1/2 |
| | U1L | 4518 | 29 | 29 | 100,0% | 0 | |
| | U2U** | 4547 | 15 | | 0,0% | 15 | 0 |
| | U2M | 4562 | 53 | 44 | 83,0% | 9 | 4 8/9 |
| | U2L | 4615 | 68 | 65 | 95,6% | 3 | 21 2/3 |
| | U3** | 4683 | 17 | 0 | 0,0% | 17 | 0 |
| | U4U | 4700 | 33 | 20 | 60,6% | 13 | 1 1/2 |
| | U4M | 4733 | 36 | 36 | 100,0% | 0 | |
| | U4L | 4769 | 35 | 32 | 91,4% | 3 | 10 2/3 |
| | **Es-424** | | | | | | |
| | H4 | 2904 | 16 | 0 | 0,0% | 16 | 0 |
| | H5 | 2920 | 14 | 8 | 57,1% | 6 | 1 1/3 |
| | H6 | 2934 | 26 | 10 | 38,5% | 16 | 5/8 |
| | J1 | 3120 | 60 | 48 | 80,0% | 12 | 4 |
| | U1U | 4429 | 30 | 12 | 40,0% | 18 | 2/3 |
| | U1M | 4459 | 22 | 16 | 72,7% | 6 | 2 2/3 |
| | U1L | 4481 | 32 | 21 | 65,6% | 11 | 2 |
| | U2U | 4513 | 36 | 25 | 69,4% | 11 | 2 2/7 |

| UNIDADES | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | U2M | 4549 | 39 | 18 | 46,2% | 21 | 6/7 |
| | U2L | 4588 | 32 | 8 | 25,0% | 24 | 1/3 |
| | U3 | 4620 | 40 | 2 | 5,0% | 38 | 0 |
| | U4U | 4660 | 48 | 20 | 41,7% | 28 | 5/7 |
| | U4M | 4708 | 26 | 24 | 92,3% | 2 | 12 |
| | U4L | 4734 | 32 | 31 | 96,9% | 1 | 31 |
| | **Es-425** | | | | | | |
| | H4 | 2971 | 16 | 8 | 50,0% | 8 | 1 |
| | H5 | 2987 | 16 | 15 | 93,8% | 1 | 15 |
| | H6 | 3003 | 25 | 16 | 64,0% | 9 | 1 7/9 |
| | J1*** | 3218 | 35 | 0 | 0,0% | 35 | 0 |
| | U1U | 4512 | 30 | 8 | 26,7% | 22 | 1/3 |
| | U1M | 4542 | 28 | 20 | 71,4% | 8 | 2 1/2 |
| | U1L | 4570 | 34 | 34 | 100,0% | 0 | |
| | U2U** | 4604 | 24 | | 0,0% | 24 | 0 |
| | U2M | 4628 | 54 | 53 | 98,1% | 1 | 53 |
| | U2L | 4682 | 31 | 26 | 83,9% | 5 | 5 1/5 |
| | U3 | 4713 | 43 | 4 | 9,3% | 39 | 1/9 |
| | U4U | 4756 | 36 | 34 | 94,4% | 2 | 17 |
| | U4M | 4792 | 31 | 31 | 100,0% | 0 | |
| | U4L | 4823 | 34 | 31 | 91,2% | 3 | 10 1/3 |
| | **Es-428** | | | | | | |
| | H4 | 2895 | 23 | 10 | 43,5% | 13 | 7/9 |
| | H5 | 2918 | 19 | 17 | 89,5% | 2 | 8 1/2 |
| | H6 | 2937 | 23 | 17 | 73,9% | 6 | 2 5/6 |
| | J1 | 3122 | 59 | 53 | 89,8% | 6 | 8 5/6 |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | U1U | 4468 | 26 | 11 | 42,3% | 15 | 3/4 |
| | U1M | 4494 | 25 | 18 | 72,0% | 7 | 2 4/7 |
| | U1L | 4519 | 22 | 18 | 81,8% | 4 | 4 1/2 |
| | U2U | 4541 | 30 | 18 | 60,0% | 12 | 1 1/2 |
| | U2M | 4571 | 52 | 50 | 96,2% | 2 | 25 |
| | U2L | 4623 | 63 | 58 | 92,1% | 5 | 11 3/5 |
| | U3** | 4686 | 23 | 3 | 13,0% | 20 | 1/7 |
| | U4U | 4709 | 43 | 40 | 93,0% | 3 | 13 1/3 |
| | U4M | 4752 | 37 | 37 | 100,0% | 0 | |
| | U4L | 4789 | 43 | 37 | 86,0% | 6 | 6 1/6 |
| | **Es-429** | | | | | | |
| | H4 | 3041 | 21 | 13 | 61,9% | 8 | 1 5/8 |
| | H5 | 3062 | 12 | 0 | 0,0% | 12 | 0 |
| | H6 | 3074 | 15 | 7 | 46,7% | 8 | 7/8 |
| | J1 | | | | | | |
| | U1U | 4508 | 30 | 9 | 30,0% | 21 | 3/7 |
| | U1M** | 4538 | 24 | 24 | 100,0% | 0 | |
| | U1L | 4562 | 40 | 39 | 97,5% | 1 | 39 |
| | U2U** | 4602 | | | | 0 | |
| | U2M | 4610 | 53 | 43 | 81,1% | 10 | 4 2/7 |
| | U2L | 4663 | 38 | 23 | 60,5% | 15 | 1 1/2 |
| | U3 | 4701 | 42 | 13 | 31,0% | 29 | 4/9 |
| | U4U | 4743 | 36 | 2 | 5,6% | 34 | 0 |
| | U4M | 4779 | 31 | 27 | 87,1% | 4 | 6 3/4 |
| | U4L | 4810 | 38 | 35 | 92,1% | 3 | 11 2/3 |
| | **Es-431** | | | | | | |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | H4 | 2886 | 25 | 3 | 12,0% | 22 | 1/7 |
| | H5 | 2911 | 19 | 0 | 0,0% | 19 | 0 |
| | H6 | 2930 | 20 | 0 | 0,0% | 20 | 0 |
| | J1 | 3101 | 39 | 2 | 5,1% | 37 | 0 |
| | U1U | 4383 | 26 | 10 | 38,5% | 16 | 5/8 |
| | U1M | 4409 | 19 | 7 | 36,8% | 12 | 3/5 |
| | U1L | 4428 | 30 | 19 | 63,3% | 11 | 1 5/7 |
| | U2U | 4458 | 35 | 26 | 74,3% | 9 | 2 8/9 |
| | U2M | 4493 | 45 | 27 | 60,0% | 18 | 1 1/2 |
| | U2L | 4538 | 32 | 21 | 65,6% | 11 | 2 |
| | U3 | 4570 | 48 | 12 | 25,0% | 36 | 1/3 |
| | U4U | 4618 | 37 | 14 | 37,8% | 23 | 3/5 |
| | U4M | 4655 | 28 | 16 | 57,1% | 12 | 1 1/3 |
| | U4L | 4683 | 29 | 7 | 24,1% | 22 | 1/3 |
| | **Es-432** | | | | | | |
| | H4 | 2883 | 25 | 17 | 68,0% | 8 | 2 1/8 |
| | H5 | 2908 | 18 | 17 | 94,4% | 1 | 17 |
| | H6 | 2926 | 23 | 18 | 78,3% | 5 | 3 3/5 |
| | J1 | 3107 | 51 | 30 | 58,8% | 21 | 1 3/7 |
| | U1U | 4416 | 27 | 12 | 44,4% | 15 | 4/5 |
| | U1M | 4443 | 27 | 22 | 81,5% | 5 | 4 2/5 |
| | U1L | 4470 | 23 | 18 | 78,3% | 5 | 3 3/5 |
| | U2U | 4493 | 30 | 18 | 60,0% | 12 | 1 1/2 |
| | U2M | 4523 | 46 | 40 | 87,0% | 6 | 6 2/3 |
| | U2L | 4569 | 45 | 40 | 88,9% | 5 | 8 |
| | U3 | 4614 | 35 | 8 | 22,9% | 27 | 2/7 |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | U4U | 4649 | 32 | 23 | 71,9% | 9 | 2 5/9 |
| | U4M* | 4681 | 50 | 48 | 96,0% | 2 | 24 |
| | U4L | | | | | | |
| | **Es-433** | | | | | | |
| | H4 | 2965 | 16 | 9 | 56,3% | 7 | 1 2/7 |
| | H5 | 2981 | 15 | 12 | 80,0% | 3 | 4 |
| | H6 | 2996 | 17 | 10 | 58,8% | 7 | 1 3/7 |
| | J1 | 3190 | 38 | 3 | 7,9% | 35 | 0 |
| | U1U | 4548 | 31 | 9 | 29,0% | 22 | 2/5 |
| | U1M | 4579 | 23 | 18 | 78,3% | 5 | 3 3/5 |
| | U1L | 4602 | 17 | 7 | 41,2% | 10 | 2/3 |
| | U2U | 4619 | 38 | 32 | 84,2% | 6 | 5 1/3 |
| | U2M | 4657 | 28 | 3 | 10,7% | 25 | 1/8 |
| | U2L | 4685 | 46 | 37 | 80,4% | 9 | 4 1/9 |
| | U3 | 4731 | 39 | 0 | 0,0% | 39 | 0 |
| | U4U | 4770 | 31 | 18 | 58,1% | 13 | 1 3/8 |
| | U4M | 4801 | 53 | 48 | 90,6% | 5 | 9 3/5 |
| | U4L | 4854 | 36 | 19 | 52,8% | 17 | 1 1/8 |
| | **Es-434** | | | | | | |
| | H4 | 2893 | 22 | 14 | 63,6% | 8 | 1 3/4 |
| | H5 | 2915 | 15 | 9 | 60,0% | 6 | 1 1/2 |
| | H6 | 2930 | 15 | 7 | 46,7% | 8 | 7/8 |
| | J1 | 3116 | 65 | 52 | 80,0% | 13 | 4 |
| | U1U | 4470 | 30 | 12 | 40,0% | 18 | 2/3 |
| | U1M | 4500 | 25 | 18 | 72,0% | 7 | 2 4/7 |
| | U1L | 4525 | 22 | 15 | 68,2% | 7 | 2 1/7 |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | U2U | 4547 | 33 | 25 | 75,8% | 8 | 3 1/8 |
| | U2M | 4580 | 40 | 35 | 87,5% | 5 | 7 |
| | U2L | 4620 | 45 | 43 | 95,6% | 2 | 21 1/2 |
| | U3 | 4665 | 41 | 8 | 19,5% | 33 | 1/4 |
| | U4U | 4706 | 36 | 35 | 97,2% | 1 | 35 |
| | U4M | 4742 | 36 | 34 | 94,4% | 2 | 17 |
| | U4L | 4778 | 41 | 38 | 92,7% | 3 | 12 2/3 |
| | **Es-435** | | | | | | |
| | H4 | 2941 | 19 | 17 | 89,5% | 2 | 8 1/2 |
| | H5 | 2960 | 18 | 8 | 44,4% | 10 | 4/5 |
| | H6 | 2978 | 21 | 15 | 71,4% | 6 | 2 1/2 |
| | J1 | 3187 | 33 | 12 | 36,4% | 21 | 4/7 |
| | U1U | 4489 | 30 | 10 | 33,3% | 20 | 1/2 |
| | U1M | 4519 | 28 | 21 | 75,0% | 7 | 3 |
| | U1L | 4547 | 18 | 14 | 77,8% | 4 | 3 1/2 |
| | U2U | 4565 | 35 | 25 | 71,4% | 10 | 2 1/2 |
| | U2M | 4600 | 54 | 49 | 90,7% | 5 | 9 4/5 |
| | U2L | 4654 | 28 | 21 | 75,0% | 7 | 3 |
| | U3 | 4682 | 39 | 6 | 15,4% | 33 | 1/5 |
| | U4U | 4721 | 31 | 28 | 90,3% | 3 | 9 1/3 |
| | U4M | 4752 | 43 | 39 | 90,7% | 4 | 9 3/4 |
| | U4L | 4795 | 35 | 32 | 91,4% | 3 | 10 2/3 |
| | **Es-436** | | | | | | |
| | H4 | 2860 | 22 | 12 | 54,5% | 10 | 1 1/5 |
| | H5 | 2882 | 22 | 13 | 59,1% | 9 | 1 4/9 |
| | H6 | 2904 | 32 | 20 | 62,5% | 12 | 1 2/3 |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | J1 | 3109 | 60 | 50 | 83,3% | 10 | 5 |
| | U1U | 4470 | 28 | 12 | 42,9% | 16 | 3/4 |
| | U1M | 4498 | 19 | 17 | 89,5% | 2 | 8 1/2 |
| | U1L | 4517 | 28 | 27 | 96,4% | 1 | 27 |
| | U2U | 4545 | 33 | 30 | 90,9% | 3 | 10 |
| | U2M | 4578 | 53 | 43 | 81,1% | 10 | 4 2/7 |
| | U2L | 4631 | 61 | 61 | 100,0% | 0 | |
| | U3** | 4692 | 25 | 5 | 20,0% | 20 | 1/4 |
| | U4U | 4717 | 46 | 43 | 93,5% | 3 | 14 1/3 |
| | U4M* | 4763 | 50 | 50 | 100,0% | 0 | |
| | U4L | | | | | | |
| | **Es-437** | | | | | | |
| | H4 | 2936 | 15 | 0 | 0,0% | 15 | 0 |
| | H5 | 2951 | 15 | 12 | 80,0% | 3 | 4 |
| | H6 | 2966 | 14 | 12 | 85,7% | 2 | 6 |
| | J1 | 3170 | 40 | 5 | 12,5% | 35 | 1/7 |
| | U1U | 4510 | 29 | 10 | 34,5% | 19 | 1/2 |
| | U1M | 4539 | 30 | 27 | 90,0% | 3 | 9 |
| | U1L | 4569 | 26 | 18 | 69,2% | 8 | 2 1/4 |
| | U2U | 4595 | 29 | 23 | 79,3% | 6 | 3 5/6 |
| | U2M | 4624 | 55 | 52 | 94,5% | 3 | 17 1/3 |
| | U2L | 4679 | 54 | 53 | 98,1% | 1 | 53 |
| | U3* | 4733 | | | | | |
| | **Es-438** | | | | | | |
| | H4 | 2910 | 28 | 18 | 64,3% | 10 | 1 4/5 |
| | H5 | 2938 | 20 | 16 | 80,0% | 4 | 4 |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | H6 | 2958 | 22 | 18 | 81,8% | 4 | 4 1/2 |
| | J1 | 3138 | 51 | 36 | 70,6% | 15 | 2 2/5 |
| | U1U | 4448 | 27 | 11 | 40,7% | 16 | 2/3 |
| | U1M | 4475 | 21 | 20 | 95,2% | 1 | 20 |
| | U1L | 4496 | 29 | 21 | 72,4% | 8 | 2 5/8 |
| | U2U | 4525 | 34 | 28 | 82,4% | 6 | 4 2/3 |
| | U2M | 4559 | 43 | 43 | 100,0% | 0 | |
| | U2L* | 4602 | | | | | |
| | **Es-445** | | | | | | |
| | H4 | 2897 | 26 | 17 | 65,4% | 9 | 1 8/9 |
| | H5 | 2923 | 21 | 18 | 85,7% | 3 | 6 |
| | H6 | 2944 | 17 | 13 | 76,5% | 4 | 3 1/4 |
| | J1 | 3105 | 48 | 36 | 75,0% | 12 | 3 |
| | U1U* | | | | | | |
| | **Es-448** | | | | | | |
| | H4 | 2887 | 22 | 12 | 54,5% | 10 | 1 1/5 |
| | H5 | 2909 | 22 | 22 | 100,0% | 0 | |
| | H6 | 2931 | 22 | 16 | 72,7% | 6 | 2 2/3 |
| | J1 | 3113 | 57 | 51 | 89,5% | 6 | 8 1/2 |
| | U1U | 4471 | 30 | 12 | 40,0% | 18 | 2/3 |
| | U1M | 4501 | 22 | 17 | 77,3% | 5 | 3 2/5 |
| | U1L | 4523 | 32 | 28 | 87,5% | 4 | 7 |
| | U2U | 4555 | 37 | 22 | 59,5% | 15 | 1 1/2 |
| | U2M* | 4592 | | | | | |
| | **Es-450** | | | | | | |
| | H4 | 2933 | 29 | 19 | 65,5% | 10 | 1 8/9 |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | H5 | 2962 | 16 | 15 | 93,8% | 1 | 15 |
| | H6 | 2978 | 20 | 16 | 80,0% | 4 | 4 |
| | J1 | 3149 | 55 | 22 | 40,0% | 33 | 2/3 |
| | U1U | 4448 | 29 | 13 | 44,8% | 16 | 4/5 |
| | U1M | 4477 | 21 | 15 | 71,4% | 6 | 2 1/2 |
| | U1L | 4498 | 32 | 26 | 81,3% | 6 | 4 1/3 |
| | U2U | 4530 | 22 | 17 | 77,3% | 5 | 3 2/5 |
| | U2M | 4552 | 42 | 40 | 95,2% | 2 | 20 |
| | U2L | 4594 | 53 | 52 | 98,1% | 1 | 52 |
| | U3* | 4647 | | | | | |
| | **Es-452** | | | | | | |
| | H4 | 2867 | 25 | 21 | 84,0% | 4 | 5 1/4 |
| | H5 | 2892 | 17 | 15 | 88,2% | 2 | 7 1/2 |
| | H6 | 2909 | 13 | 6 | 46,2% | 7 | 6/7 |
| | J1 | 3089 | 78 | 60 | 76,9% | 18 | 3 1/3 |
| | U1U | 4419 | 29 | 11 | 37,9% | 18 | 3/5 |
| | U1M | 4448 | 25 | 22 | 88,0% | 3 | 7 1/3 |
| | U1L | 4473 | 27 | 18 | 66,7% | 9 | 2 |
| | U2U | 4500 | 24 | 13 | 54,2% | 11 | 1 1/5 |
| | U2M* | 4524 | | | | | |
| | **Es-453** | | | | | | |
| | H4 | 3007 | 15 | 0 | 0,0% | 15 | 0 |
| | H5 | 3022 | 27 | 22 | 81,5% | 5 | 4 2/5 |
| | H6 | 3049 | 20 | 0 | 0,0% | 20 | 0 |
| | J1 | 3239 | 28 | 0 | 0,0% | 28 | 0 |
| | U1U | 4499 | 27 | 9 | 33,3% | 18 | 1/2 |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | U1M | 4526 | 31 | 18 | 58,1% | 13 | 1 3/8 |
| | U1L | 4557 | 23 | 20 | 87,0% | 3 | 6 2/3 |
| | U2U | 4580 | 34 | 22 | 64,7% | 12 | 1 5/6 |
| | U2M | 4614 | 50 | 50 | 100,0% | | |
| | U2L* | 4664 | 30 | 30 | 100,0% | | |
| | **Es-457** | | | | | | |
| | H4 | 2967 | 11 | 0 | 0,0% | 11 | 0 |
| | H5 | 2978 | 18 | 8 | 44,4% | 10 | 4/5 |
| | H6 | 2996 | 23 | 16 | 69,6% | 7 | 2 2/7 |
| | J1 | 3162 | 51 | 31 | 60,8% | 20 | 1 5/9 |
| | U1U | 4420 | 30 | 11 | 36,7% | 19 | 4/7 |
| | U1M | 4450 | 30 | 23 | 76,7% | 7 | 3 2/7 |
| | U1L | 4480 | 22 | 14 | 63,6% | 8 | 1 3/4 |
| | U2U | 4502 | 31 | 21 | 67,7% | 10 | 2 1/9 |
| | U2M | 4533 | 42 | 38 | 90,5% | 4 | 9 1/2 |
| | U2L | 4575 | 28 | 26 | 92,9% | 2 | 13 |
| | U3 | 4603 | 38 | 9 | 23,7% | 29 | 1/3 |
| | U4U* | 4641 | | | | | |

* El pozo no perfora toda la unidad, los espesores observados son mínimos

** Unidades coalescentes, los espesores observados son mínimos

*** Pozo fallado, no se observa la unidad

*APÉNDICE II*

DATOS DE LAS UNIDADES COALESCENTES

| UNIDADES | POZOS | TOPES | ESPESOR | ARENA NETA | NET TO GROSS | LUTITA | ARENA/LUTITA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Es-417** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2865 | 52 | 44 | 84,6% | 8 | 5 1/2 |
| | U1M,L | 4447 | 49 | 35 | 71,4% | 14 | 2 1/2 |
| | U2M,L | 4524 | 83 | 63 | 75,9% | 20 | 3 1/7 |
| | U4U,M,L | 4650 | 110 | 87 | 79,1% | 23 | 3 7/9 |
| | **Es-418** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2908 | 62 | 56 | 90,3% | 6 | 9 1/3 |
| | U1M,L | 4447 | 53 | 45 | 84,9% | 8 | 5 5/8 |
| | U2M,L | 4524 | 87 | 79 | 90,8% | 8 | 9 7/8 |
| | U4U,M,L | 4648 | 121 | 99 | 81,8% | 22 | 4 1/2 |
| | **Es-419** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2957 | 62 | 28 | 45,2% | 34 | 5/6 |
| | U1M,L | 4472 | 53 | 42 | 79,2% | 11 | 3 5/6 |
| | U2M,L | 4556 | 75 | 58 | 77,3% | 17 | 3 2/5 |
| | U4U,M,L | 4667 | 79 | 50 | 63,3% | 29 | 1 5/7 |
| | **Es-420** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2872 | 79 | 72 | 91,1% | 7 | 10 2/7 |
| | U1M,L | 4377 | 51 | 35 | 68,6% | 16 | 2 1/5 |
| | U2M,L | 4458 | 76 | 23 | 30,3% | 53 | 3/7 |
| | U4U,M,L | 4581 | 109 | 89 | 81,7% | 20 | 4 4/9 |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Es-421** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2907 | 82 | 52 | 63,4% | 30 | 1 3/4 |
| | U1M,L | 4503 | 67 | 65 | 97,0% | 2 | 32 1/2 |
| | U2M,L | 4600 | 82 | 75 | 91,5% | 7 | 10 5/7 |
| | U4U,M,L | 4713 | 121 | 62 | 51,2% | 59 | 1 |
| | **Es-423** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2899 | 54 | 32 | 59,3% | 22 | 1 1/2 |
| | U1M,L | 4489 | 58 | 56 | 96,6% | 2 | 28 |
| | U2M,L | 4562 | 121 | 109 | 90,1% | 12 | 9 |
| | U4U,M,L | 4700 | 104 | 84 | 80,8% | 20 | 4 1/5 |
| | **Es-424** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2904 | 56 | 20 | 35,7% | 36 | 5/9 |
| | U1M,L | 4459 | 54 | 37 | 68,5% | 17 | 2 1/6 |
| | U2M,L | 4549 | 71 | 27 | 38,0% | 44 | 3/5 |
| | U4U,M,L | 4660 | 106 | 78 | 73,6% | 28 | 2 7/9 |
| | **Es-425** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2971 | 57 | 42 | 73,7% | 15 | 2 4/5 |
| | U1M,L | 4542 | 62 | 54 | 87,1% | 8 | 6 3/4 |
| | U2M,L | 4628 | 85 | 79 | 92,9% | 6 | 13 1/6 |
| | U4U,M,L | 4756 | 101 | 94 | 93,1% | 7 | 13 3/7 |
| | **Es-428** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2895 | 65 | 50 | 76,9% | 15 | 3 1/3 |
| | U1M,L | 4494 | 47 | 37 | 78,7% | 10 | 3 5/7 |
| | U2M,L | 4571 | 115 | 108 | 93,9% | 7 | 15 3/7 |
| | U4U,M,L | 4709 | 123 | 113 | 91,9% | 10 | 11 1/3 |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Es-429** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 3041 | 48 | 18 | 37,5% | 30 | 3/5 |
| | U1M,L | 4538 | 64 | 63 | 98,4% | 1 | 63 |
| | U2M,L | 4610 | 91 | 66 | 72,5% | 25 | 2 2/3 |
| | U4U,M,L | 4743 | 105 | 63 | 60,0% | 42 | 1 1/2 |
| | **Es-431** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2886 | 64 | 5 | 7,8% | 59 | 0 |
| | U1M,L | 4409 | 49 | 26 | 53,1% | 23 | 1 1/8 |
| | U2M,L | 4493 | 77 | 48 | 62,3% | 29 | 1 2/3 |
| | U4U,M,L | 4618 | 94 | 36 | 38,3% | 58 | 5/8 |
| | **Es-432** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2883 | 66 | 53 | 80,3% | 13 | 4 |
| | U1M,L | 4443 | 50 | 40 | 80,0% | 10 | 4 |
| | U2M,L | 4523 | 91 | 80 | 87,9% | 11 | 7 1/4 |
| | U4U,M,L* | 4649 | 82 | 58 | 70,7% | 24 | 2 2/5 |
| | **Es-433** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2965 | 48 | 31 | 64,6% | 17 | 1 5/6 |
| | U1M,L | 4579 | 40 | 25 | 62,5% | 15 | 1 2/3 |
| | U2M,L | 4657 | 74 | 40 | 54,1% | 34 | 1 1/6 |
| | U4U,M,L | 4770 | 120 | 85 | 70,8% | 35 | 2 3/7 |
| | **Es-434** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2893 | 52 | 36 | 69,2% | 16 | 2 1/4 |
| | U1M,L | 4500 | 47 | 33 | 70,2% | 14 | 2 1/3 |
| | U2M,L | 4580 | 85 | 78 | 91,8% | 7 | 11 1/7 |
| | U4U,M,L | 4706 | 113 | 107 | 94,7% | 6 | 17 5/6 |

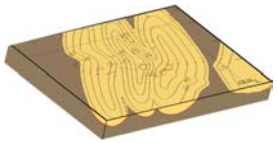
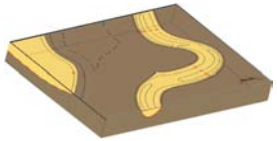
| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Es-435** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2941 | 58 | 40 | 69,0% | 18 | 2 2/9 |
| | U1M,L | 4519 | 46 | 35 | 76,1% | 11 | 3 1/6 |
| | U2M,L | 4600 | 82 | 70 | 85,4% | 12 | 5 5/6 |
| | U4U,M,L | 4721 | 109 | 99 | 90,8% | 10 | 10 |
| | **Es-436** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2860 | 76 | 44 | 57,9% | 32 | 1 3/8 |
| | U1M,L | 4498 | 47 | 43 | 91,5% | 4 | 10 3/4 |
| | U2M,L | 4578 | 114 | 104 | 91,2% | 10 | 10 2/5 |
| | U4U,M,L* | 4717 | 96 | 93 | 96,9% | 3 | 31 |
| | **Es-437** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2936 | 44 | 28 | 63,6% | 16 | 1 3/4 |
| | U1M,L | 4539 | 56 | 45 | 80,4% | 11 | 4 |
| | U2M,L | 4624 | 109 | 103 | 94,5% | 6 | 17 1/6 |
| | U4U,M,L* | | | | | | |
| | **Es-438** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2910 | 70 | 57 | 81,4% | 13 | 4 2/5 |
| | U1M,L | 4475 | 50 | 38 | 76,0% | 12 | 3 1/6 |
| | U2M,L | 4559 | 100 | 100 | 100,0% | 0 | |
| | U4U,M,L* | | | | | | |
| | **Es-445** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2897 | 64 | 57 | 89,1% | 7 | 8 1/7 |
| | U1M,L* | | | | | | |
| | **Es-448** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2887 | 66 | 49 | 74,2% | 17 | 2 8/9 |

| UNIDADES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | U1M,L | 4501 | 54 | 45 | 83,3% | 9 | 5 |
| | U2M,L* | 4592 | | | | | |
| | **Es-450** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2933 | 65 | 54 | 83,1% | 11 | 5 |
| | U1M,L | 4477 | 53 | 41 | 77,4% | 12 | 3 2/5 |
| | U2M,L | 4552 | 95 | 92 | 96,8% | 3 | 30 2/3 |
| | U4U,M,L* | | | | | | |
| | **Es-452** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 55 | 44 | | 0,0% | 44 | 0 |
| | U1M,L | 4448 | 52 | 40 | 76,9% | 12 | 3 1/3 |
| | U2M,L* | 4524 | | | | | |
| | **Es-453** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 3007 | 62 | 26 | 41,9% | 36 | 5/7 |
| | U1M,L | 4526 | 54 | 38 | 70,4% | 16 | 2 3/8 |
| | U2M,L* | 4614 | 80 | 50 | 62,5% | 30 | 1 2/3 |
| | **Es-457** | | | | | | |
| | H4,5,6 | 2967 | 52 | 31 | 59,6% | 21 | 1 1/2 |
| | U1M,L | 4450 | 52 | 37 | 71,2% | 15 | 2 1/2 |
| | U2M,L | 4533 | 70 | 64 | 91,4% | 6 | 10 2/3 |
| | U4U,M,L* | 4641 | | | | | |

* El pozo no perfora toda la unidad, los espesores observados son mínimos

*APÉNDICE III*

TABLA DE RELACIÓN ANCHO/PROFUNDIDAD PARA LOS SISTEMAS DE CANALES DEL CAMPO SOCORORO OESTE

| Tipo de Canal | Ancho promedio | Profundidad Promedio | Relación Ancho/Profundidad. |
|---|---|---|---|
|  U4U **Entrelazados** | 4 km | 40 pies | Alta a Moderada |
|  U3 **Meandriformes** | 1,5 km | 40 pies | Moderada |
|  H6 **Distributarios** | 1 a 1,5 km | 30 pies | Moderada a Baja |

**Nota:** Las figuras mostradas en la tabla son ejemplos tomados para mostrar la geometría de los tipos de canales, no obstante no son condicionantes del tipo fluvial o deltáico descrito.

# ANEXOS

- *Secciones Estratigráficas (anexos 1 al 24)*
- *Mapas de Distribución de Facies (anexos 25 al 38)*
- *Mapas de Arena Neta (anexos 39 al 52)*
- *Mapas de Relación "Net to Gross" (anexos 53 al 66)*
- *Mapas de Relación Arena/Lutita (anexos 67 al 80)*