

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ARENA “Q”, FORMACIÓN LAS PIEDRAS, CAMPO OROCUAL - SOMERO, SUBCUENCA DE MATURÍN, ESTADO MONAGAS

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Cardona Brito Yashira del
Valle para optar al título de
Ingeniera Geóloga

Caracas, 2013

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ARENA “Q”, FORMACIÓN LAS PIEDRAS, CAMPO OROCUAL - SOMERO, SUBCUENCA DE MATURÍN, ESTADO MONAGAS

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Cardona Brito Yashira del
Valle para optar al título de
Ingeniera Geóloga

TUTOR ACADÉMICO: Ing. Geólogo Rafael Falcón

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Geóloga Damaris Narváez

Caracas, 2013

Caracas, Febrero de 2013

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

“ Caracterización Geológica de la Arena “Q”, Formación Las Piedras, Campo Orocual - Somero, Subcuenca de Maturín, Estado Monagas”

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

Prof. (nombre y apellido)
Jurado

Prof. (nombre y apellido)
Jurado

Prof. Rafael Falcón
Tutor Académico

Ing. Damaris Narváez
Tutor Industrial

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen del Valle primordialmente, por darme siempre salud y entereza para afrontar las situaciones que a diario se presentan.

A dos seres fundamentales en mi vida, mis tesoros, mis padres Manuel Cardona e Isbelia Brito de Cardona quienes me han dado la oportunidad de ser quien soy. Son sin duda alguna mi punto de apoyo más firme; por ustedes todo. Siento inmenso orgullo de ser su hija. Infinitas gracias por regalarme el amor más grande que existe, haberme dado la mejor educación del mundo y por proporcionarme las herramientas necesarias para salir adelante sin temores teniendo en cuenta que los valores se aprenden en el corazón del hogar. Son ustedes mi ejemplo a seguir y mi motivación permanente para ser cada día una mejor persona.

A mi hermano, Manuel Rafael Cardona Brito (†), por ser ese ángel que me cuida, protege y alumbra siempre el camino en cada paso que doy, ayudándome a seguir adelante siendo mi norte y mi guía. Este logro es también por tí. Tú me diste la fuerza que necesite para ver culminada esta meta, no permitiste que flaqueara y siempre supiste que sería ingeniera.

¡Profundamente, LOS AMO!

AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Universidad Central de Venezuela por la formación brindada a lo largo de toda la carrera. Por enseñarme que la ingeniería no es simplemente maravillosa, sino que realmente quien elige estudiarla tiene valor y gallardía para resolver cualquier eventualidad que se pueda presentar. Sin lugar a duda UCV, eres y serás siempre “la casa que vence las sombras”, la primera casa de estudio de nuestro país. Orgullosa estoy de egresar de tus aulas. ¡UCVista hoy y siempre!

A mi tutor académico, ingeniero y profesor Rafael Falcón, gracias por toda su educación, motivación, sus sabios consejos y cálidas palabras; sinceramente la asesoría que usted ha prestado para la realización de esta tesis, es invaluable, espero me brinde la oportunidad de seguir en contacto con usted, para seguir intercambiando conocimientos y experiencias.

A mi tutora industrial, amiga y “mamá Orocuatera”, la ingeniera geóloga Damaris Narváez, de verdad no me queda más que agradecerle y decirle que fue un privilegio haber sido su tesista, de contar con su apoyo en todo momento. De usted aprendí que la paciencia es herramienta necesaria para el logro de los objetivos.

A Leonardo Aguirre por brindarme su apoyo, amor y mano amiga. La confianza y entendimiento han sido dos de tus grandes virtudes, pues me han dado la libertad de ser yo misma. El compartir desde lo subjetivo hasta lo objetivo ha sido clave para ver realizada esta meta. ¡Lo logré “plecioso”, somos colegas ingenieros!

A la familia Aguirre por todo su apoyo y comprensión a lo largo de este recorrido. Llego la hora de recibir el “papelito”. Siempre me dijeron que “el tiempo de Dios es perfecto” y realmente es así. ¡Gracias por todo!

A mis grandes amigas y hermanas “Tina” Marín, “Michi” Tirado, “Kary” Arismendi “Kare Gonis” Bracamonte por siempre estar ahí, aun y en la distancia, apoyándome en cada momento. Las adoro y respeto; definitivamente la amistad es algo invaluable, nunca lo olviden.

A mis amigas Verónica Valera, Adriana Ubieda, Leonor Iglesias, Jolly Pérez, Rosa Ochoa, gracias por haber compartido momentos inolvidables durante nuestra convivencia en la residencia. Reímos, lloramos y sudamos la gota gorda para graduarnos; pero ahora, somos todas profesionales. ¡Las quiero mis niñas!

A mis compañeros y amigos de carrera: María Fernanda García, Marlene Flores, Matilde Landaeta, Esnatlim Simoza, Jesus Grillet, Rosa De Mola, Marian Sánchez, Jhonatan Arévalo, Freddy López, Luis Alejandro Pérez, Betssymar Maza, Stepher Vera, Daniel González, Fabiola Rodriguez, Yulimar Hidalgo, Indira Varela y Freddy Goyo, gracias por hacer de este viaje por la facultad de ingeniería un recorrido agradable, menos difícil. Tantos momentos de estudio, risas, desvelos, viajes, cuentos, no caben en una hoja. Sin duda alguna los recordaré donde quiera que esté y sepan todos que un Geolog@ no se pierde, se desorienta. Nos vemos pronto en una próxima sonrisa mis amores, los quiero full.

A la Sra. Morela Mikaty por ser tan noble y ayudarme en todo lo que siempre estuvo en sus manos y a Angel Labrador por haber compartido, ayudado y soportado a la mejor pasante de la biblioteca que la Sra. Morela ha podido tener.

Al gran equipo de Yacimientos - Orocuál y especialmente a Ernesto “horma” Mendible (co-tutor), Nelva “querida” Ventura, Mayra “bella” Pino, Yulitza “Penélope” Márquez, Manuel Patiño, Jose Rotundo, Nanhil Bernabé, Blendy Peña, Silver Mora, Gilberto “geólogo” Parra, Lenín Figuera, Nellymar Guevara, Jesús Rivas, Carlos Rodríguez, Luis Itriago. ¡Son grandiosos profesionales!

A mis profesores de la escuela de geología Lenín González, Carolina Machillanda, Ricardo Alezones, Nuris Orihuela; estaré eternamente agradecida por recibir de ustedes la base fundamental para emprender un nuevo rol como Ingeniera Geóloga.

Por último, pero no menos importante, al PhD. Mauricio Bermúdez por ser ejemplo de un profesor integral, por sus recomendaciones y enseñanza. Siempre recordaré esta frase suya: “El conocimiento si no se trasmite no sirve de nada”. Nos veremos pronto profe, infinitas gracias por todo. ¡Lo admiro!

Cardona B., Yashira del V.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ARENA “Q”,
FORMACIÓN LAS PIEDRAS, CAMPO OROCUAL - SOMERO,
SUBCUENCA DE MATURÍN, ESTADO MONAGAS.**

Tutor Académico: Ing. Geólogo Rafael Falcón. Tutora Industrial: Ing. Geóloga Damaris Narváez. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2013, n° de páginas 133 p.

Palabras claves: Arena, Formación Las Piedras, Cuenca Oriental de Venezuela, Campo Orocual, Petróleo Pesado, Facies Sedimentarias

Resumen. El Campo Orocual situado aproximadamente a 20km al noroeste de la ciudad de Maturín, en el distrito Piar del estado Monagas, geológicamente ubicado en el flanco norte de la Subcuenca de Maturín, en la Subprovincia Septentrional de la Cuenca Oriental de Venezuela; está limitado al suroeste por el Campo Jusepín y al noreste por el Campo Quiriquire. La caracterización geológica de la Arena “Q”, Formación Las Piedras, Campo Orocual - Somero, Subcuenca de Maturín, estado Monagas tiene el objetivo de evaluar las características de los yacimientos de esta zona y proponer algunas estrategias de explotación que permitan cubrir las necesidades de crudo en la División Furril de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA). Para ello, se trabaja con la base de datos de *Landmark* específicamente en la plataforma de *Openworks* en la aplicación *StratWorks*, la cual es una de las herramientas utilizadas para alcanzar el objetivo principal, y permite la realización de los mapas, isópaco- estructural, isopropiedades y paleoambiente; posteriormente, ayuda a generar un modelo estático actualizado, ya que para la fecha no existe información integrada para realizar la navegación de pozos.

Se obtuvo el modelo estratigráfico que muestra continuidad de la Arena “Q”, donde predomina facies de canal entrelazados, presentando los mayores espesores hacia el centro de este y los cuales oscilan entre 72 y 124 pies. Estructuralmente el área corresponde a un homoclinal con buzamiento hacia el NO, con fallas normales de rumbo N20°O al NE y de rumbo N60°O al NO, que presenta una estructura de colapso al SE del campo con fallas semiverticales y concéntricas con desplazamiento hacia el centro, y una estructura diapírica hacia el SO, afectado por fallas normales con rumbos de N5°E, N20°O y N60°E.

El ambiente sedimentario corresponde a un ambiente transicional deltáico con dominio fluvial, con relleno de canal con dirección de sedimentación del NE al SO del Campo Orocual. Finalmente, el área del Yacimiento Q ORS-26 aumentó a un área total de 931,75 Acres y el volumen del mismo incrementó a 57.413,61 Acres/Pies esto respecto al mapa oficial realizado en el año 2005.

Aunado a esto, se propone una (1) nueva localización, que trata de un pozo vertical hacia el NE del YAC Q ORS-26, cuyas coordenadas son X: 466700; Y: 1088890, (Loc-1).

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
EL PROBLEMA	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO	3
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	5
2.1.1 Ubicación de la zona de estudio.....	5
2.1.2 Estratigráfica Regional.....	6
2.1.3 Geología Estructural Regional	9
2.1.4 Geología local	14
2.2 ANTECEDENTES	16
2.3 MARCO TEÓRICO	21
2.3.1 Interpretación general para el reconocimiento de facies.....	21
2.3.2 Sistema Fluvial.....	21
2.3.2.1 Introducción	21
2.3.2.2 Geometría de facies.....	23
2.3.2.2 Depósitos de ríos entrelazados.....	24
2.3.2.3 Depósitos de ríos meandriiformes.....	26
2.3.2.4 Depósitos de ríos anastomosados.....	30

2.3.3 Sistema deltáico	33
2.3.3.1. Introducción	33
2.3.3.2 Deltas dominados por aporte fluvial	34
2.3.3.3. Deltas dominados por mareas	42
2.3.4 Mapas	47
2.3.4.1 Tipos de mapas geológicos	47
CAPÍTULO III	52
MARCO METODOLÓGICO	52
3.1 METODOLOGÍA	52
3.1.1 Documentar, recopilar y validar la información disponible del área en estudio	52
3.1.2 Correlacionar pozo a pozo la Arena “Q” de la Formación Las Piedras, ubicada en el Campo Orocual	53
3.1.3 Elaborar secciones Estratigráficas y Estructurales.....	53
3.1.3.1 Secciones Estratigráficas.....	53
3.1.3.2 Secciones Estructurales.....	55
3.1.4 Revisar Evaluación Petrofísica de la arena “Q”.....	55
3.1.5 Elaborar mapas.....	56
3.1.5.1 Mapas de Paleo-ambientes (Electrofacies)	56
3.1.5.2 Mapas Isópacos	56
3.1.5.3 Mapas Estructurales	56
3.1.5.4 Mapa Isópaco-Estructural	57
3.1.5.5 Mapas de Isopropiedades	58
3.1.6 Delimitar y clasificar yacimientos.	58
3.1.7 Calcular el área y volumen del Yacimiento definido en la arena “Q”....	58
3.1.8 Realizar posibles propuestas de nuevas localizaciones.....	59
CAPÍTULO IV	60
RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
4.1 VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	60

4.2 REVISIÓN DEL MODELO ESTRATIGRÁFICO	60
4.2.1. Sección Estratigráfica A-A´	64
4.3 REVISIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL.....	65
4.3.1 Sección Estructural 1-1´	75
4.3.2 Sección Estructural 2-2´	76
4.3.3 Sección Estructural 3-3´	76
4.4 DELIMITACIÓN DEL YACIMIENTO.....	79
4.5 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PETROFÍSICAS.....	79
4.6 MAPAS DE ISOPROPIEDADES	80
4.6.1 Mapa de Porosidad.....	80
4.6.2 Mapa de Saturación de Agua	81
4.6.3 Mapa de Volumen de Arcilla	82
4.6.4 Mapa de Arena Neta (AN).....	83
4.6.5 Mapa de Arena Neta Petrolífera (ANP)	84
4.7 INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DEL MAPA DE PALEOAMBIENTE	85
4.8 CÁLCULO DE ÁREA Y VOLUMEN	86
4.9 PROPUESTA DE LOCALIZACIONES	87
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS	95
Anexo 1	95
Anexo 2	96
Anexo 3	96
Anexo 4	98
Anexo 5	99
Anexo 6	100
APÉNDICES.....	101
APÉNDICE I.....	101
GLOSARIO	101
APÉNDICE II	111

SUMARIO PETROFÍSICO DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS, ARENA “Q” CAMPO OROCUAL	111
SUMARIO	112
SUMARIO PETROFÍSICO DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS, ARENA “Q”, CAMPO OROCUAL (CONTINUACIÓN)	114
APÉNDICE III.....	115
SUMARIO TVDSS FORMACIÓN LAS PIEDRAS, ARENA “Q”, CAMPO OROCUAL.....	115
SUMARIO TVDSS FORMACIÓN LAS PIEDRAS, ARENA “Q”, CAMPO OROCUAL (CONTINUACIÓN)	116
SUMARIO TVDSS FORMACIÓN LAS PIEDRAS, ARENA “Q”, CAMPO OROCUAL (CONTINUACIÓN)	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 2.1.1: Ubicación geográfica del Campo Orocuai (Subcuenca de Maturín-Cuenca Oriental de Venezuela).....	5
Figura 2.1.2: Tabla de correlación de la Cuenca Oriental de Venezuela (Tomado del Léxico Estratigráfico de Venezuela, versión electrónica, 2000).....	6
Figura 2.1.2.1: Columna Estratigráfica del Campo Orocuai – Somero (Tomado de Méndez, 2007).....	8
Figura 2.1.2.2: Niveles Estratigráficos de la Formación Las Piedras (Tomado de Gil, 2007).	9
Figura 2.1.3: Cuencas petrolíferas de Venezuela, basadas en la distribución de sus Provincias Sedimentaria. LEB (Lineamiento de El Baúl), límite entre las Cuencas de Oriente y Barinas-Apure. Modificado de WEC 1997; Evaluación de Pozos	10
Figura 2.1.3.1: Mapa estructural de la Subcuenca de Maturín. (Modificado de Carmona, 1998).....	12
Figura 2.1.3.2: Corte Geológico conceptual NO-SE desde la Plataforma Margarita-Los Testigos hasta el Río Orinoco (WEC 1997; Evaluación de Pozos).	13
Figura 2.1.3.3: Sección Geológica generalizada de la Subcuenca de Maturín (modificado de Gutiérrez Ramón, 1988)	13
Figura 2.1.4: Visión 3D de las diferentes estructuras presentes en la Formación Las Piedras (Tomado de Méndez, 2007).	15
Figura 2.3.2.1: Características sedimentarias y geomorfológicas correspondientes a canales fluviales de carga de fondo, carga en suspensión y de cargas mixtas (Modificado de Galloway, 1977; En Serra, s/a).....	23
Figura 2.3.2.2: Modelo depositacional generalizado de una secuencia vertical, producido por un sistema fluvial de canales entrelazados poco sinuosos (Modificado de Galloway y Hobday, 1983).	25
Figura 2.3.2.2.1: (a) Bloque diagramático de depósitos de canales entrelazados, en el que se puede observar que las lutitas que se preservan son delgadas e imperersistentes. (Modificado de Cant, 1982) (b) Sistema de canales entrelazados en ambientes	

modernos. (Tomado y modificado de: Ohio Wesleyan University, Department of Geology & Geography 2005	26
Figura 2.3.2.3: Bloque diagramático de un río meandriforme hipotético. (Modificado de Walker y James, 1992)	27
Figura 2.3.2.3.1: Modelo depositacional generalizado de los depósitos generados por un sistema fluvial meandriforme. (Modificado de Galloway y Hobday, 1983).	28
Figura 2.3.2.3.2: 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).	29
Figura 2.3.3.2.4: Geometría de cuerpos arenosos en deltas modernos dominados por oleaje. (Modificado de Coleman y Wrigth, 1975; en: Serra, s/a).	41
Figura 2.3.3.3: Delta dominado por mareas (Tomado y modificado de University Texas, Department of Geology, 2005).	43
Figura 2.3.3.3.1: Delta Betsiboka (Madagascar). (Tomado y modificado de: http://www.buddycom.com/space/earth/enviro/)	44
Figura 2.3.3.3.2: Perfil vertical generalizado de un cuerpo de arena de rellenos de canal Estuarino (Tomado de Galloway y Hobday, 1983).	46
Figura 2.3.4.1.2: Representación de un Mapa Isópaco. (PDVSA-CIED.1997.b).....	48
Figura 2.3.4.1.3: Mapa Isópaco-Estructural. (PDVSA-CIED.1997.b).	49
Figura 4.2.b: Sección sísmica vertical NO-SE. En el registro eléctrico se sugiere un patrón retrogradacional. (Tomado de Parra, 2000)	62
Figura 4.2.1: Sección Estratigráfica A-A', Arena "Q", Campo Orocuál	64
Figura 4.3: Sistemas de fallas en línea arbitraria orientada NO-SE. (Tomado de Parra, 2000).	66
Figura 4.3.a: Imagen estructural de la base de la Formación Las Piedras. Los espacios en blanco representan las trazas de las falla (Tomado de Parra, 2000).....	67
Figura 4.3.b: Mapa Estructural en tiempo sin considerar los polígonos de fallas. (Tomado de Parra, 2000).....	68

Figura 4.3.c: Mapa estructural de la base de la Formación Las Piedras (Tomado de Parra, 2000).	70
Figura 4.3.d: Esquema básico del sistema de fallas “Horsetail” (Chinnery, 1966).	70
Figura 4.3.e: Variantes del modelo original “horsetail” (Tomado de Parra, 2000) ...	71
Figura 4.3.f: Esquema de cizalla clásica (Tomado de G. H., Davis et al., 1999).	72
Figura 4.3.g: Área del colapso mostrando sus dos patrones de fallamiento. La “falla morada” sugiere un cizallamiento dextral. (Tomado de Parra, 2000).	73
Figura 4.3.h: Rasgos estructurales principales del campo (Tomado de Parra, 2000).	74
Figura 4.3.i: Mapa geológico de la región nor-oriental de Venezuela (Tomado de Parra, 2000).	74
Figura 4.3.1: Sección Estructural 1-1’, Arena “Q”, Campo Orocuá.	75
Figura.4.3.4: Mapa Isópaco – Estructural Arena “Q”, Campo Orocuá. Escala 1:20000.	78
Figura 4.4: Delimitación del yacimiento de nombre YAC Q ORS-26, Arena Q, Campo Orocuá.	79
Figura 4.6.1: Mapa de Porosidad, Arena Q, Campo Orocuá	81
Figura 4.6.3: Mapa de Volumen de Arcilla, Arena Q, Campo Orocuá	83
Figura 4.6.5: Mapa de Arena Neta Petrolífera (ANP), Arena Q, Campo Orocuá.	85
Figura 4.7: Mapa de Paleoambiente, Arena Q, Campo Orocuá.	86
Figura 4.9: Propuesta de la localización en el yacimiento Q ORS-26. LOC-1, Arena Q, Campo Orocuá extraída de la imagen del mapa isópaco-estructural creado.	88
Figura 4.9.1: Propuesta de la localización en el yacimiento Q ORS-26. LOC-1, Arena Q, Campo Orocuá.	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.3.1: Identificación de facies por patrones de curvas de Potencial Espontáneo (SP) y de Rayos Gamma (GR). (Tomado de Walker y James, 1992).....	22
Tabla 2.3.3.1: Características estratigráficas de los sistemas de depositación deltáicos. (Tomado de Galloway, 1975; Galloway y Hobday, 1983)	33
Tabla 4.8: Cálculo de área y volumen del yacimiento Q ORS-26, Arena Q, Campo Orocual.....	87

INTRODUCCIÓN

El proyecto se refiere a la caracterización geológica de la Arena “Q”, Formación Las Piedras, Campo Orocual en el área de Somero, Subcuenca de Maturín, estado Monagas y cuyo objetivo principal es evaluar las características de los yacimientos de esta zona y proponer algunas estrategias de explotación que permitan cubrir las necesidades de crudo en la División Furrrial de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA).

Debido a los resultados adquiridos con la perforación de los pozos en el área de someros, del Campo Orocual, durante el periodo 2006-2008 en la Formación Las Piedras surge la necesidad de caracterizar geológicamente esta arena con la finalidad de obtener mejores resultados en la navegación de pozos; para así, optimizar la perforación de petróleo en el campo.

La realización de este Trabajo Especial de Grado permite definir la mejor tendencia para la perforación de los pozos; así como también, crear los mapas de electrofacies, isópacos- estructural y paleoambiente que conlleva la generación de un modelo estático actualizado que es de gran utilidad para el proceso de perforación en la División Furrrial de la industria PDVSA.

El desarrollo y ejecución consiste en realizar el modelo estratigráfico de la Arena “Q”, mediante la integración de la información estratigráfica, petrofísica y estructural disponible del área. Así como también, la delimitación y clasificación del yacimiento en base a los resultados obtenidos del modelo estratigráfico. La utilización de la aplicación *StratWorks* para generar los diferentes mapas de la arena en el campo (isópaco- estructural, electrofacies, y paleoambiente) y secciones tanto estructurales como estratigráficas.

Por último se define el área y volumen del yacimiento en la Arena “Q” y posteriormente se establece propuesta de localización de productividad en la zona y específicamente en esta arena.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio se debe a la necesidad de caracterizar geológicamente la Arena “Q”, con la información obtenida de los pozos recientemente perforados durante el periodo 2006-2008 en la Formación Las Piedras, Campo Orocual. Para ello, se trabaja con la aplicación *StratWorks*, quien permite alcanzar el objetivo trazado, ya que a través de ella se efectúa la realización de los mapas de electrofacies, isópaco-estructural y paleoambiente donde posteriormente se genera un modelo estático actualizado, debido a que no existe actualmente la información integrada para realizar la navegación de pozos horizontales.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Debido a los resultados obtenidos con la perforación de los pozos someros, del Campo Orocual, surge la necesidad de caracterizar geológicamente la Arena “Q” perteneciente a la Formación Las Piedras de dicho campo, con la finalidad de obtener mejores resultados en la navegación de los pozos horizontales y así optimizar la explotación de petróleo en el área de estudio.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Realizar la caracterización geológica de la Arena “Q” de la Formación Las Piedras (Plioceno) en el Campo Orocual Somero, con el propósito de evaluar las características de los yacimientos de esta zona y proponer algunas estrategias de explotación que permitan cubrir las necesidades de crudo en la División Furrrial de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA).

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar el modelo estratigráfico de la Arena “Q”, mediante la integración de la información estratigráfica, petrofísica y estructural disponible.
- Delimitar y clasificar el yacimiento en base a los resultados obtenidos del modelo estratigráfico.
- Utilizar la aplicación *StratWorks* para generar los diferentes mapas (electrofacies, isópaco- estructural y paleoambiente).
- Calcular el área y volumen del yacimiento definido en la Arena “Q”.
- Establecer posibles propuestas de productividad en la Arena “Q”.

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

La elaboración de dicha investigación permitirá definir la mejor tendencia para la perforación de los pozos en la Formación Las Piedras de edad Plioceno en el Campo

Orocual, específicamente en el área de someros; así como también, permitirá generar los mapas de electrofacies, isópacos- estructural y paleoambiente para la generación de un modelo estático actualizado que será de gran utilidad para la explotación de pozos en la División Furrrial de la industria PDVSA.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

2.1.1 Ubicación de la zona de estudio.

El Campo Orocuál está situado aproximadamente a 20 km al noroeste de la ciudad de Maturín, en el Distrito Piar del estado Monagas. Geológicamente ubicado en el flanco norte de la Subcuenca de Maturín, en la sub-provincia septentrional de la cuenca oriental de Venezuela. Este campo está limitado al suroeste por el campo Jusepín y al Noreste por el campo Quiriquire. (Figura. 2.1.1)

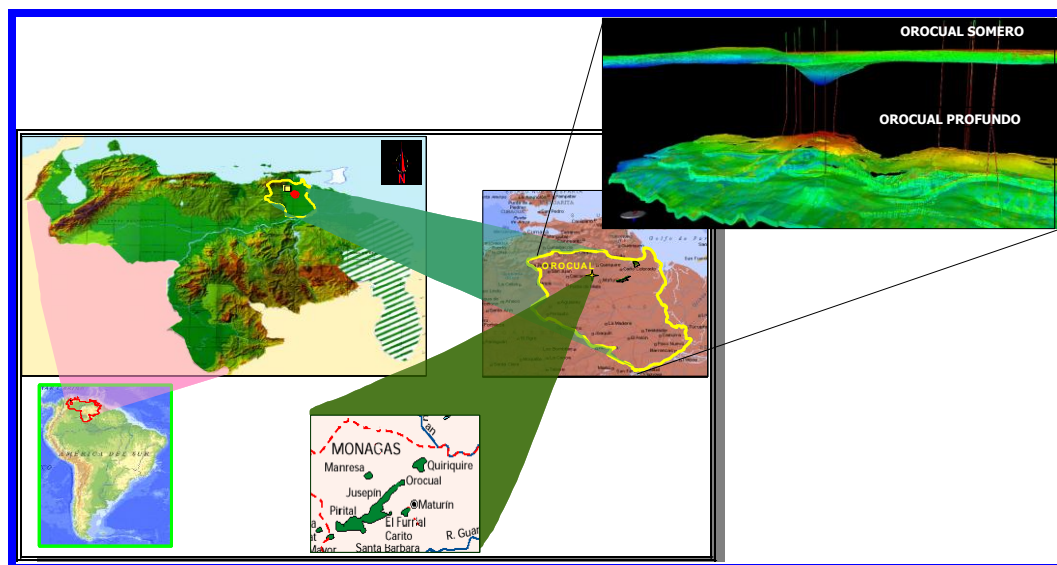


Figura. 2.1.1: Ubicación geográfica del Campo Orocuál (Subcuenca de Maturín-Cuenca Oriental de Venezuela)

El campo Orocual presenta una secuencia estratigráfica característica. La Formación Las Piedras discordante sobre la Formación Carapita erosionada. Probablemente es el único campo petrolero que muestra una estructura de colapso, con fallas sub-circulares con desplazamiento hacia el centro (Flores, 2000).

2.1.2 Estratigráfica Regional

La estratigrafía de la zona de Orocual (Campo Orocual), se caracteriza por presentar una secuencia sedimentaria que se extiende cronológicamente, desde el Cretácico Tardío hasta el Reciente (ver Figura 2.1.2).

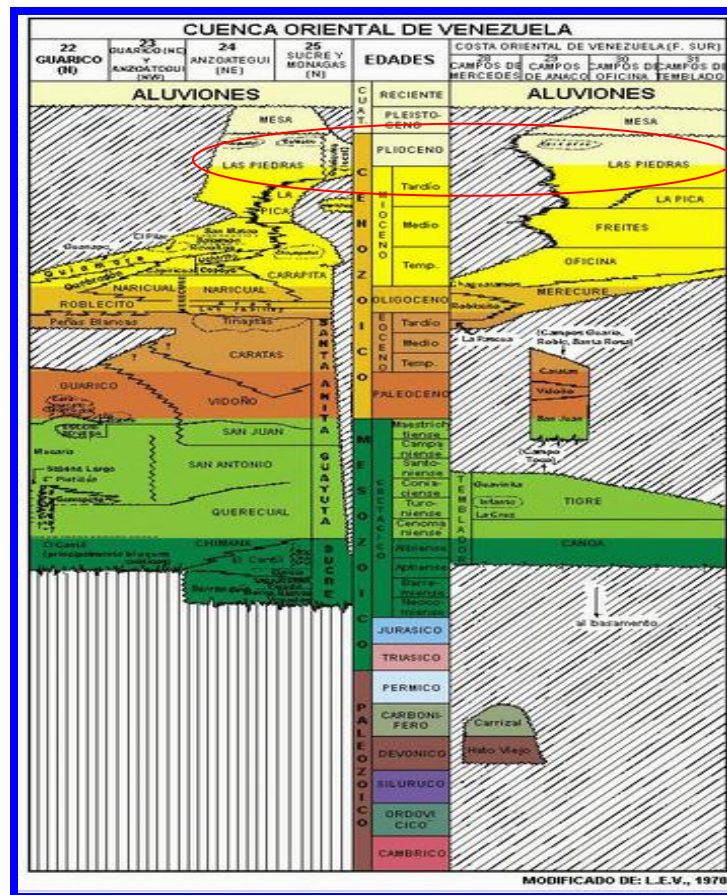


Figura 2.1.2: Tabla de correlación de la Cuenca Oriental de Venezuela (Tomado del Léxico Estratigráfico de Venezuela, versión electrónica, 2000).

La secuencia estratigráfica se inicia con la depositación del Grupo Sucre conformado por las formaciones Barranquín, El Cantil y Chimana; continuando con la Formación Querecual y la Formación San Antonio que conforman el Grupo Guayuta, suprayacente se encuentra la Formación San Juan, la cual representa el final de la secuencia Cretácica; y comienza el Terciario Temprano con las Formaciones Vidoño (Paleoceno) y Caratas (Eoceno) que conforman el Grupo Santa Anita.

Las Formaciones Los Jabillos y Areo (ambas del Grupo Merecure), se depositaron durante el Oligoceno, luego se encuentra la Formación Carapita del Oligoceno Tardío. En contacto discordante con Carapita se presenta la Formación Las Piedras del Plioceno.

Posteriormente se depositó la Formación Mesa, del Pleistoceno. También hacia el sur del campo, algunos pozos someros han penetrado la Formación La Pica, que se acuña en esa zona.

El ambiente de depósito de la Formación Las Piedras fue definido por (González de Juana, (1946) como fluvio deltaico a continental, de edad Pleistoceno, esta formación es estéril de fósiles, aunque registra restos de plantas. El ambiente varió de un sector continental con depósitos fluviales al norte en la parte emergida de la serranía a un sector litoral con depósitos de canales de desembocadura y barras litorales más hacia el sur.

Esta formación se caracteriza en general por una secuencia conglomerática, semi-consolidada, con intercalaciones de arcillas hidratables; las areniscas son cuarzo cristalino a beige, de granos fino a medio, ocasionalmente grueso a conglomerática, cemento silicio. Los cuerpos arcillosos se caracterizan por ser de color verdoso, plásticos, solubles; en parte se observan niveles subordinados de lignito negro hacia la parte superior.

Las arenas de la Formación Las Piedras son productoras de petróleo pesado en los campos de Orocuál, Manresa y Pirital, en el norte del estado Monagas.

En el Campo Orocuál, dentro de la estructura de colapso las arenas son productoras de petróleo liviano, mediano y pesado; fuera de esta estructura las arenas son productoras de petróleo pesado.

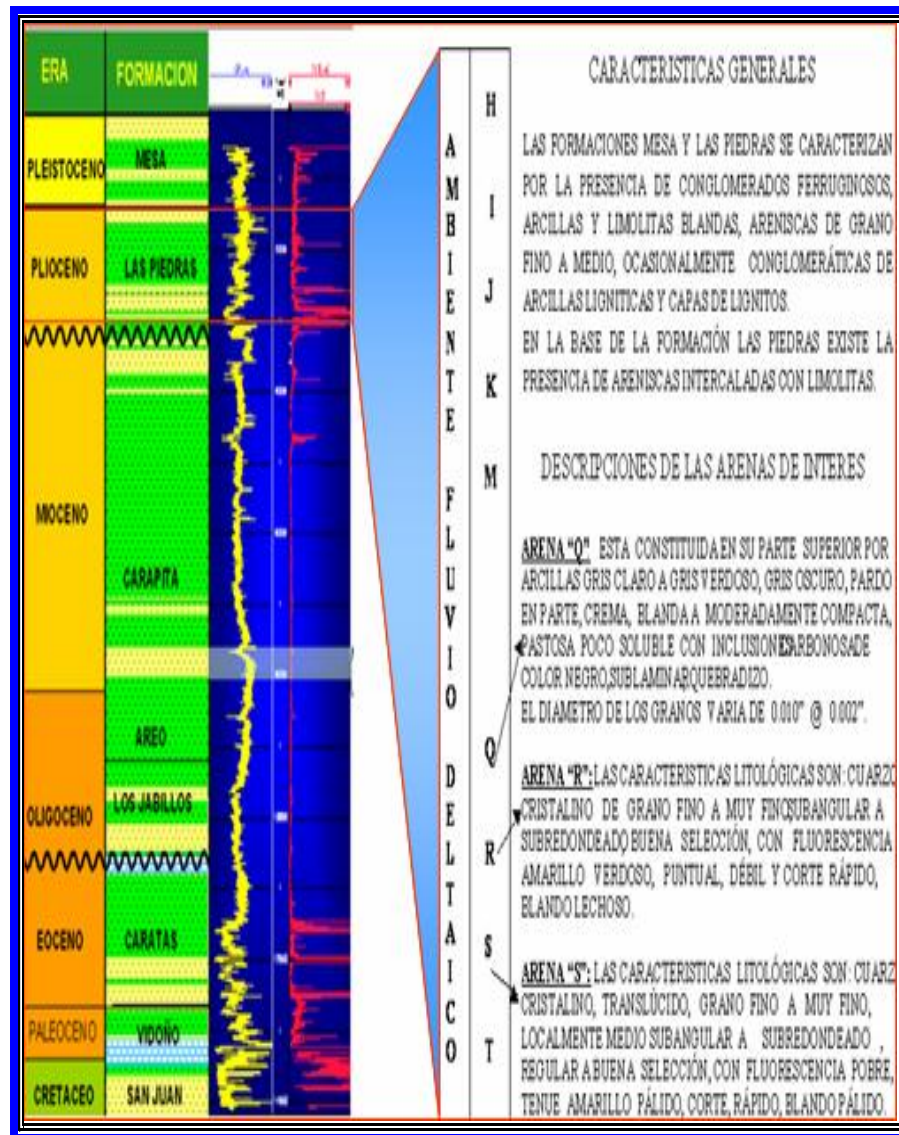


Figura 2.1.2.1: Columna Estratigráfica del Campo Orocual – Somero (Tomado de Méndez, 2007)

El modelo geológico (aprobado por el *Ministerio de Energía y Petróleo -Caracas* en el año 2004) identifica diez (10) niveles estratigráficos en la Formación Las Piedras, los cuales se encuentran representados de base a tope por las arenas T, S, R, Q, M, L, K, J, I y H. (Figura 2.1.2.2)

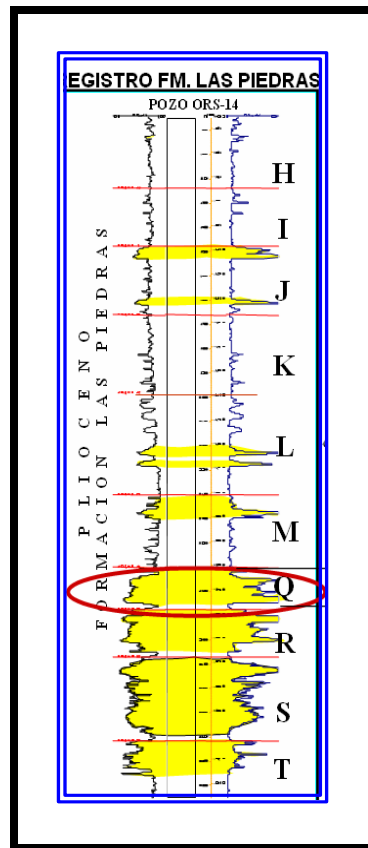


Figura 2.1.2.2: Niveles Estratigráficos de la Formación Las Piedras (Tomado de Gil, 2007).

2.1.3 Geología Estructural Regional

La Cuenca Oriental de Venezuela tiene una longitud aproximada de 800 Km, en sentido oeste-este, una anchura promedio de 200 Km de norte a sur y un área total aproximada de 165000 Km² en los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro y una extensión menor en el estado Sucre. Se encuentra limitada al norte por la isla de Margarita y los afloramientos de Araya-Paria (alóctonos de la cadena metamórfica del Caribe; rocas de edad Jurásico-Cretácico y forman una serie de Napas (Bellizia, 1979.Citado por González de Juana, 1980).

Al sur, la cuenca está limitada por el Escudo de Guayana, el cual está constituido por varias litologías de edad Pre-cámbrico; hacia el oeste limita con el Arco de El Baúl y al este se extiende hacia las costas de Trinidad en el Atlántico.

La Cuenca Oriental de Venezuela es asimétrica siendo su flanco sur relativamente estable con buzamiento suave hacia el norte; el flanco norte es compresional orogénico y estructuralmente complejo. Ambos flancos de la cuenca han sido productores de hidrocarburos, es la segunda cuenca en magnitud de América del Sur por sus recursos de hidrocarburos (González de Juana et al., 1980) y probablemente constituye el área petrolífera más importante del país debido a la relevancia de los resultados obtenidos en el desarrollo de los campos El Furrial, Carito, Mulata y Santa Bárbara en el norte de Monagas, constituyendo en la actualidad uno de los cuatro campos gigantes descubiertos desde 1980 en el norte de Suramérica. (Bernard, D. 1995)

La Cuenca Oriental de Venezuela contiene más de 20000 pies de sedimentos Paleozoicos, Cretácicos y Terciarios, entre las cadenas montañosas del Terciario, situadas al norte y el Escudo de Guayana, emplazado al sur. Esta cuenca ha sido subdividida en dos subcuencas por razones sedimentológicas y tectónicas, al este, la de Maturín y al oeste, la de Guárico (Figura 2.1.3).

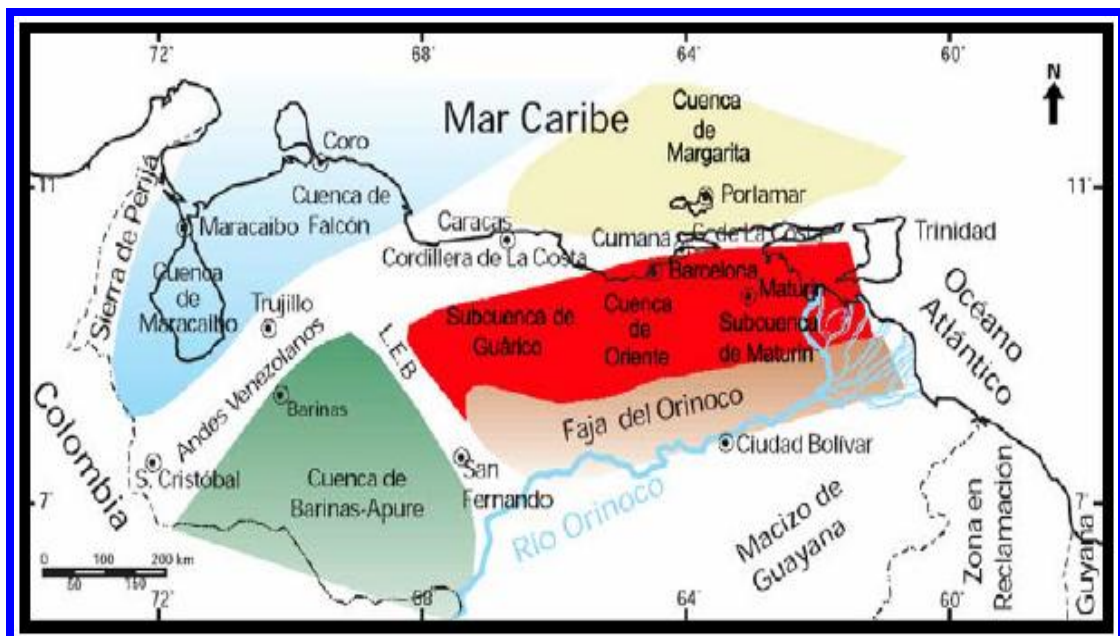


Figura 2.1.3: Cuencas petrolíferas de Venezuela, basadas en la distribución de sus Provincias Sedimentaria. LEB (Lineamiento de El Baúl), límite entre las Cuencas de Oriente y Barinas-Apure. Modificado de WEC 1997; Evaluación de Pozos

La falla de El Pilar, de desplazamiento dextral, considerada como límite entre la placa Suramericana y la placa del Caribe, es el principal elemento tectónico, en el Norte de la Cuenca Oriental de Venezuela.

En el flanco norte de la Cuenca Oriental, se reconocen tres fases tectónicas principales, las cuales se presentan también en el área de Orocuai. La fase uno, comprende la deformación de los estratos cretácicos, caracterizada por una serie de corrimientos formados por el transporte tectónico del noroeste hacia el sureste, originando la primera expresión paleogeográfica determinante en la depositación y distribución de los sedimentos posteriores.

Del Eoceno Tardío al Mioceno Medio comenzó un levantamiento de la región septentrional, y dando origen a la Serranía Montañosa del Interior y a la Subcuenca de Maturín.

La fase dos, comprende el empuje de la placa del Caribe contra la placa de América del Sur, la cual dio lugar a la orogénesis del Terciario Inferior, que culminó en el Mioceno Medio y se caracterizó por ser del tipo compresional, originando pliegues, frecuentemente volcados, fallas inversas y corrimientos en los sedimentos preexistentes. La dirección promedio de los corrimientos es de N60°E, buzamiento al noroeste, como los corrimientos de Pirital, Anaco y Frontal, produciéndose la segmentación de la región en pliegues con bloques asimétricos. Durante esta orogénesis o posterior (Mioceno Superior al Plioceno), ocurren movimientos transcurrentes de tipo dextral tales como las fallas de San Francisco y Urica de rumbo N80°O, los cuales desplazan los pliegues y corrimientos anteriores (Figura 2.1.3.1).

En la Subcuenca de Maturín, la deformación de la cubierta sedimentaria más joven en el área norte de Monagas, muestra características extensionales, mientras que hacia la parte Oriental de Venezuela y Trinidad permanecen bajo compresión; es decir, que existe un frente compresional activo que migra de Oeste a Este desde el Eoceno Tardío al presente.



Figura 2.1.3.1: Mapa estructural de la Subcuenca de Maturín. (Modificado de Carmona, 1998).

La Subcuenca de Maturín es asimétrica y alargada, con una dirección $N50^{\circ}E$, además constituye la principal unidad petrolífera de la Cuenca Oriental; la deformación estructural y los acunamientos de las unidades estratigráficas hacia el sur definen dos dominios operacionales: uno, al norte del Corrimiento de Pirital y otro al sur. El flanco norte de la Subcuenca de Maturín se encuentra asociado a los frentes de corrimientos de grandes bloques corticales, desplazados hacia el sur por la colisión entre las placas Caribe y suramericana (Figura 2.1.3.2)

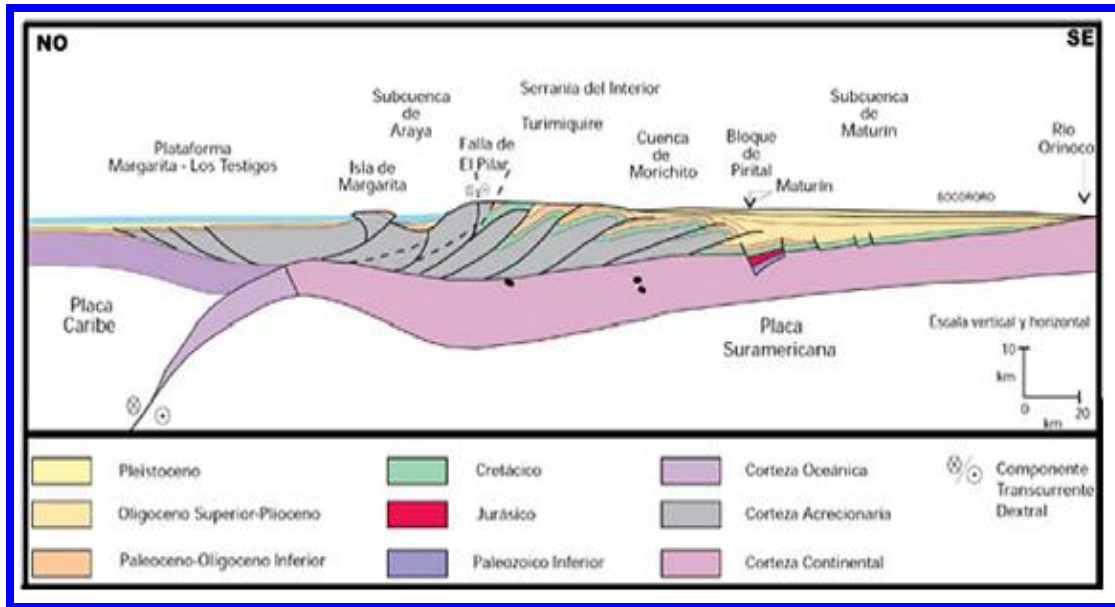


Figura 2.1.3.2: Corte Geológico conceptual NO-SE desde la Plataforma Margarita-Los Testigos hasta el Río Orinoco (WEC 1997; Evaluación de Pozos).

La fase tres, representada por un estilo estructural más sencillo. Desde el Mioceno Medio al Reciente se produce un tectonismo extensional caracterizado por pliegues más suaves y fallas normales. El modelo actual de la subcuenca de Maturín, la divide en tres bloques estructurales (Figura 2.1.3.3).

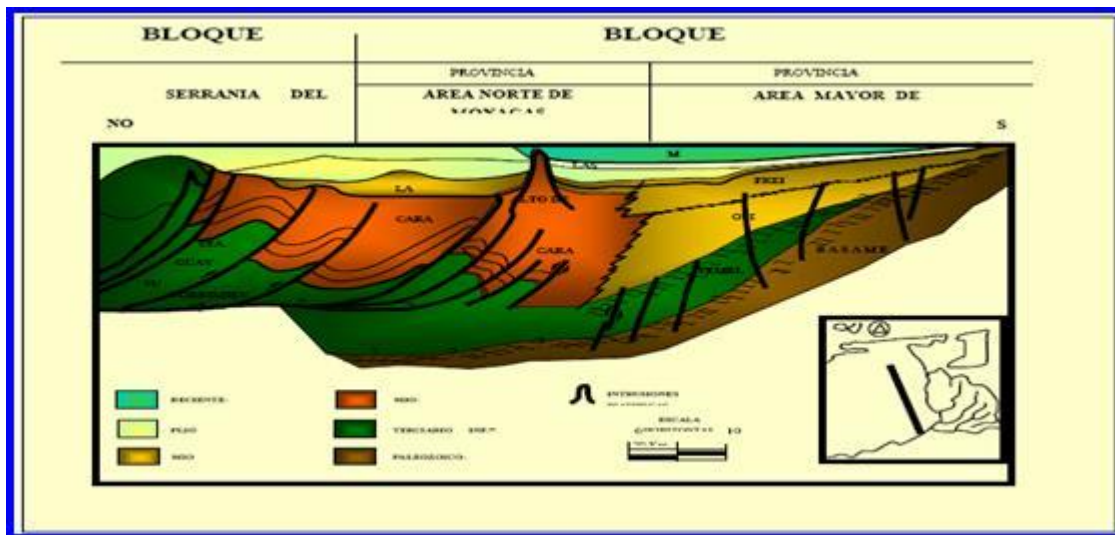


Figura 2.1.3.3: Sección Geológica generalizada de la Subcuenca de Maturín (modificado de Gutiérrez Ramón, 1988)

En esta fase, durante el Mioceno-Plioceno, se originó un bajo estructural debido al intenso callamiento de la parte central de un domo diapírico, asociado a emanaciones de gas y barro. Este bajo estructural se ha denominado “Estructura de Colapso de Orocuál”, definida como una depresión fragmentada por una serie de fallas concéntricas, algo curvas, con deslizamiento que varían entre 100 y 1000 pies.

2.1.4 Geología local

El campo petrolero Orocuál al norte de Monagas, se encuentra en la Subcuenca de Maturín, específicamente, al sur del cinturón plegado conocido como el frente de deformación de la serranía del interior (Marín y Montilla, 2009).

La Formación de interés en este proyecto es la Formación Las Piedras; de edad Plioceno (Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela, 2010); cuya estructura principal corresponde a un monoclinal que tiene una dirección principal noreste-suroeste, con buzamiento suave hacia el sureste, el cual está interrumpido prácticamente en el centro del campo por la estructura de colapso de Orocuál (“hoyo de Orocuál”), (Gil 2007).

Asociado a la Estructura de Colapso, hacia el oeste, se encuentra una estructura de diapiro elongado, en dirección N60°E, el cual define un anticlinal (Gil 2007).

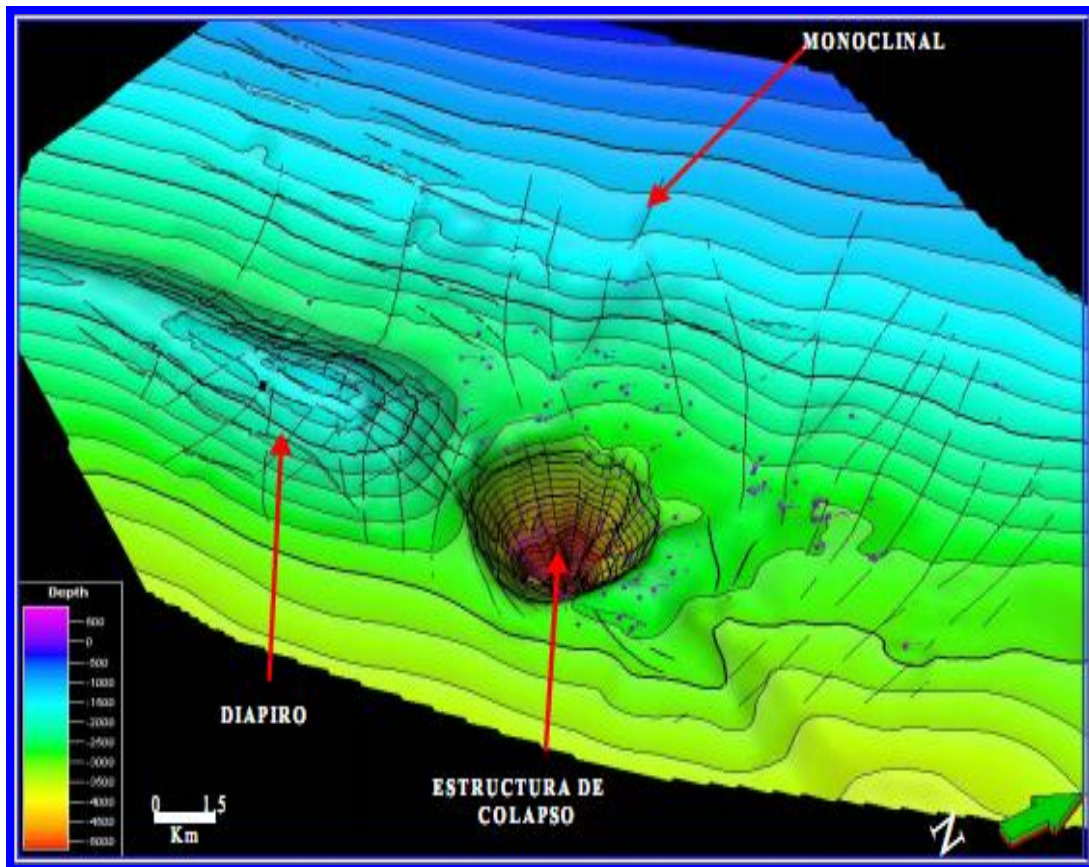


Figura 2.1.4: Visión 3D de las diferentes estructuras presentes en la Formación Las Piedras (Tomado de Méndez, 2007).

La estructura de colapso de Orocuál está representada por un hoyo casi circular, con fallas concéntricas, escalonadas y muy verticales, con desplazamientos entre 100 pies y 1000 pies que lo dividen en bloques diferentes (Figura 2.1.4). Dichos bloques se distinguen en muchos casos por el contenido de fluidos y las presiones existentes, evidenciado por los datos de producción de pozos perforados.

La estructura de Diapiró elongado, en dirección N60°E; la define un anticlinal que se encuentra afectado por un sistema de fallas verticales principales de igual dirección. El mismo se considera como una zona principal de desplazamiento, que controló el ascenso de las arcillas de la Formación Carapita, produciendo el anticlinal. Al haber movimiento de las arcillas de la Formación Carapita, se originó una zona de debilidad, que colapsa al no soportar el peso de la sedimentación de la Formación Las Piedras, generando la estructura de colapso (Méndez, 2007) (Figura 2.1.4).

2.2 ANTECEDENTES

- **CORPOVEN (EGEP CONSULTORES, 1981):** inicia la elaboración de un estudio técnico de los Yacimientos Nodosaria-15, con el fin de analizar el comportamiento histórico y determinar el estado actual del yacimiento, para así, estudiar las alternativas de explotación futura y recomendar la más efectiva. El referido estudio contiene un conjunto de análisis que abarcan desde una descripción litológica del yacimiento, propiedades de los fluidos, hasta cálculo de reservas y propuestas para recuperación adicional.

- **LAGOVEN (DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA EXPLOTACIÓN, 1984):** elabora un estudio geológico de la extensión noreste, Campo Jusepín - Yacimiento Nodosaria-15, aquí se hace una nueva correlación con los registros eléctricos disponibles, elaborando secciones estratigráficas y estructurales. Con la información obtenida se elaboraron mapas estructurales, e isópacos que sirvieron como base para la estimación de petróleo original in situ. Estructuralmente la formación mantiene la división en bloques occidental, central y oriental. Se hace una estimación de reservas en el orden de los 20 millones de barriles de petróleo y se recomienda la perforación de cuatro nuevos pozos en el bloque central.

- **LAGOVEN (1986):** realiza un estudio técnico - económico del Yacimiento Nodosaria-15 Este, Campo Jusepín, el cual presenta la evaluación técnica del proyecto de inyección de gas que se llevaba a cabo hasta la fecha en el bloque este del Yacimiento Nodosaria-15, dicha evaluación está orientada hacia el comportamiento histórico de presión y producción conjuntamente con una revisión de las arenas productoras existentes en el bloque. En este estudio se realizó un balance de materiales para estimar un valor de POES para el bloque este (40 MMbbls), y de igual manera se concluye que el efecto de un acuífero asociado al yacimiento se ve limitado por la inyección de gas en la zona que

mantiene la presión del yacimiento por encima de la presión crítica del gas (Lagoven, 1985).

- **TOTAL OIL & GAS VENEZUELA (Diciembre, 1994):** impulsa un estudio geológico del Yacimiento NODOSARIA-15, con el fin de la reactivación del mismo, en su parte Central y Este como prioridad. En este proyecto se hizo la revisión de la data obtenida en estudios anteriores y una nueva correlación con el resto de los pozos que se encuentran en el yacimiento, realizando 4 secciones estratigráficas en sentido E-O y 4 secciones estructurales en sentido N-S. Luego se elaboraron los mapas estructurales de cada uno de los lentes en el cual se subdividió el Miembro Chapapotal y adicionalmente el mapa de la discordancia Pre La Pica/Tope de la Formación Carapita.

- **TOGV (1996):** elaboró un informe anual, piloto de inyección de agua, Yacimiento Nodosaria (TOGV), en el año de 1993 se le encargó a la empresa TOGV un proyecto de reactivación del Yacimiento Nodosaria, y ésta propuso la realización de un proyecto piloto de inyección de agua. A finales de 1995 se perforaron los dos pozos piloto (TOGV, 1996). La producción comenzó en abril de 1996, el pozo productor empezó a producir en flujo natural con un caudal promedio de 250 bppd declinando hasta 100 bppd. En diciembre de 1996 se inició la producción por bombeo mecánico manteniendo la producción en un caudal de 200 bppd. A finales de 1996, la producción acumulada era de 45.796 bbls de petróleo (TOGV, 1996). La inyección de agua empezó en mayo de 1996 con una presión inicial de 900 psi (caudal alrededor de 500 bapd) que fue incrementando a 1300psi (caudal de agua 1000 bapd). A finales de 1996, la inyección acumulada era de 138.489 bbls de agua (TOGV, 1996).

- **PDVSA (2007):** establece una caracterización geológica del yacimiento Nodosaria 15-c del Miembro Chapapotal, Formación Carapita perteneciente al

campo Jusepín, estado Monagas. Constituye un elemento primordial a la hora de generar información de carácter sedimentológico, estratigráfico, estructural y petrofísico que ha de permitir optimizar el seguimiento geológico de las perforaciones de los pozos correspondientes al Campo Jusepín, El objetivo principal es la elaboración del modelo estático de este yacimiento para así generar un esquema de explotación óptimo a desarrollar en planes futuros. Se generaron correlaciones estratigráficas con el objeto de estimar topos formacionales, basándose en el comportamiento de respuestas eléctricas definiendo 9 topos arenosos denominados R, S, T, U V, W, X, Y y Z, sobre el particular se elaboraron secciones estratigráficas al tope de cada unidad con la finalidad de delimitar la distribución areal y la continuidad lateral de cada unidad estratigráfica; de la misma manera se elaboraron secciones estructurales al tope de cada unidad. Por otra parte, el ambiente de sedimentación es turbidítico, lo cual se determinó a través del análisis de electrofacies. El modelo petrofísico permitió establecer los pozos con mejores prospectos porosos-permeables, de donde se generaron mapas de isopropiedades, de este análisis se obtuvo valores de $\phi = 22\%$, $S_w = 35\%$ y $S_o = 65\%$. Se realizó un mapa isópaco – estructural del tope del yacimiento, de la misma manera se elaboraron mapas isópacos de arena neta y de arena petrolífera para cada unidad, lo cual proporcionó la dirección de sedimentación hacia el sureste y donde se encuentran ubicados los mayores espesores de arena del yacimiento. Una vez evaluado el modelo estático se cuantificaron las reservas de hidrocarburos contenidas en esa área, determinando un POES de 193582 MBN, las reservas primarias de 22649 MBN.

- **Flores (2000):** Realizó la reinterpretación estratigráfica de la Formación Las Piedras en el Campo Orocuál (Campo Orocuál Somero), mediante correlaciones de pozos, basadas en marcadores cronoestratigráficos. Se definieron diecinueve (19) Unidades Estratigráficas, que de tope a base, en la

Columna Estratigráfica de la Formación, se denominaron: LP-01, LP-02, LP-2A, LP-05; LP-06, LP-07, LP-08, LP-09, LP-10, LP-11, LP-11B, LP-12- LP-13, LP-14, LP-15, LP-15A, LP-16, LP-16A, LP-16B y LP-17 (discordancia Post-Carapita). Se elaboraron secciones estratigráficas y mapas de espesor total, para determinar la distribución areal y la continuidad lateral de las unidades estratigráficas. Estas unidades presentan los mayores espesores hacia el Sur del campo y a medida que se avanza hacia el Noroeste comienza un adelgazamiento progresivo hasta hacerse cero. Para facilitar la interpretación de los resultados el Campo Orocual Somero, fue dividido en cuatro (4) zonas, las cuales son: Zona del hoyo, Norte, SE y SW. Se realizaron, secciones estructurales y mapas estructurales, en base a la nueva correlación y con el marco estructural aportado por la Interpretación Sísmica 3D-Estructural, para revisar la estructura local.

- **Requena (2004):** Realizó la caracterización geológica de la arena “M” de la Formación Las Piedras (Orocual Somero) a partir de correlaciones de pozos, definiendo marcadores que delimitaron la arena en estudio, definiendo tres (3) cuerpos de arena M1 (Superior), M2 (Medio) y M3 (Inferior); el ambiente sedimentario presenta variaciones de un sector continental con depósitos fluviales al norte, a un sector litoral con depósitos de canales de relleno hacia el Sur, reflejado en los mapas de electrofacies (mapas de ambiente), creados a partir de la morfología de los perfiles eléctricos para cada arena, donde el aporte de sedimentos tiene sentido NE – SW. Se elaboraron secciones estratigráficas donde se puede observar la correlación, ubicación de marcadores estratigráficos, identificación de espesores, secuencias litológicas, discordancias, trampas estratigráficas y secciones estructurales que definen la orientación y geometría de los elementos estructurales; así como los mapas de electrofacies (ambientes), mapas isópacos de arena total, mapas isópacos de arena nata petrolífera, mapas estructurales, digitalizados en el Sistema de

Generación de Mapas de Yacimientos (SIGEMAP), hasta generar modelos estáticos con la integración de esta información.

Se delimitaron y clasificaron los Yacimientos y Prospectos, siendo los Yacimientos M1 ORS 26 y el Yacimiento M3 ORS 33 los de interés en este estudio; a éstos se le realizó el cálculo de área y volumen con SIGEMAP 3.0, obteniendo para cada yacimiento y prospecto sus valores respectivos en m² y acres, m³ y acres pies. Se hicieron nueve (9) propuestas; cinco (5) pozos a perforar en el Yacimiento M1 ORS 26 y Yacimiento M3 ORS 33 y cuatro (4) pozos a perforar en el Prospecto M1 ORS 53.

- **Estaba (2011):** realizó la caracterización geológica de la arena “R” de la Formación Las Piedras (Orocual Somero) a partir de correlaciones de pozos, definiendo marcadores que delimitaron la arena en estudio; el ambiente sedimentario presenta variaciones de un sector continental con depósitos fluviales al Norte, a un sector litoral con depósitos de canales de relleno hacia el Sur, reflejado en los mapas de electrofacies (mapa de ambientes), creados a partir de la morfología de los perfiles eléctricos para esta arena, donde se pueden observar la correlación, ubicación de marcadores estratigráficos, identificación de espesores, secuencias litológicas, discordancias y secciones estructurales que definen la orientación y geometría de los cuerpos estructurales; así como el mapa de electrofacies (ambiente), mapa isópaco de arena total, mapa isópaco de arena neta petrolífera, mapa estructural, digitalizados en el Sistema de Generación de Mapas de yacimientos (SIGEMAP), hasta generar un modelo estático con la integración de toda la información. Se delimitó un yacimiento, siendo el YAC R ORS 4 el de interés en este estudio, a estos se le realizó el cálculo de área y volumen con SIGEMAP 8.0. Se hicieron dos propuestas de pozos verticales, una en las áreas adyacentes a la estructura de colapso y una en sentido SO del campo.

2.3 MARCO TEÓRICO

2.3.1 Interpretación general para el reconocimiento de facies.

Según Walker y James (1992) el concepto de facies fue introducido por Gressly en 1938, 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 2.3.1 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.

2.3.2 Sistema Fluvial.






2.3.2.1 Introducción

Los sedimentos fluviales son altamente variables en muchos aspectos, generando que no puedan ser caracterizados por un solo modelo de facies. Aun cuando existe un

amplio espectro de tipos de ríos, pueden ser descritos en un número discreto: rectilíneos, anastomosados, meandriiformes 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 2.3.2.1 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 existir progradación localizada o acresión lateral (Galloway y Hobday, 1983)

Tabla 2.3.1: 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.


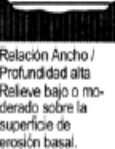






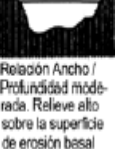










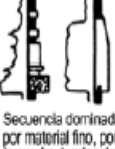

Tipo de Canal	Composición del Relleno de Canal	Geometría del Canal			Estructura Interna		Relaciones Laterales
		Sección Transversal	Aspecto en Mapas	Isolítico de Arena	Fábrica Sedimentaria	Secuencia Vertical	
CANAL DE CARGA DE LECHO	Predominio de arena 	 Relación Ancho / Profundidad alta. Relieve bajo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

Figura 2.3.2.1: Características sedimentarias y geomorfológicas correspondientes a canales fluviales de carga de fondo, carga en suspensión y de cargas mixtas (Modificado de Gallaway, 1977; En Serra, s/a).

2.3.2.2 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:

2.3.2.2 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* (Figura 2.3.2.2) (Cant, 1982). La figura 2.3.2.2 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 2.3.2.2.1(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 2.3.2.2.1 (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.

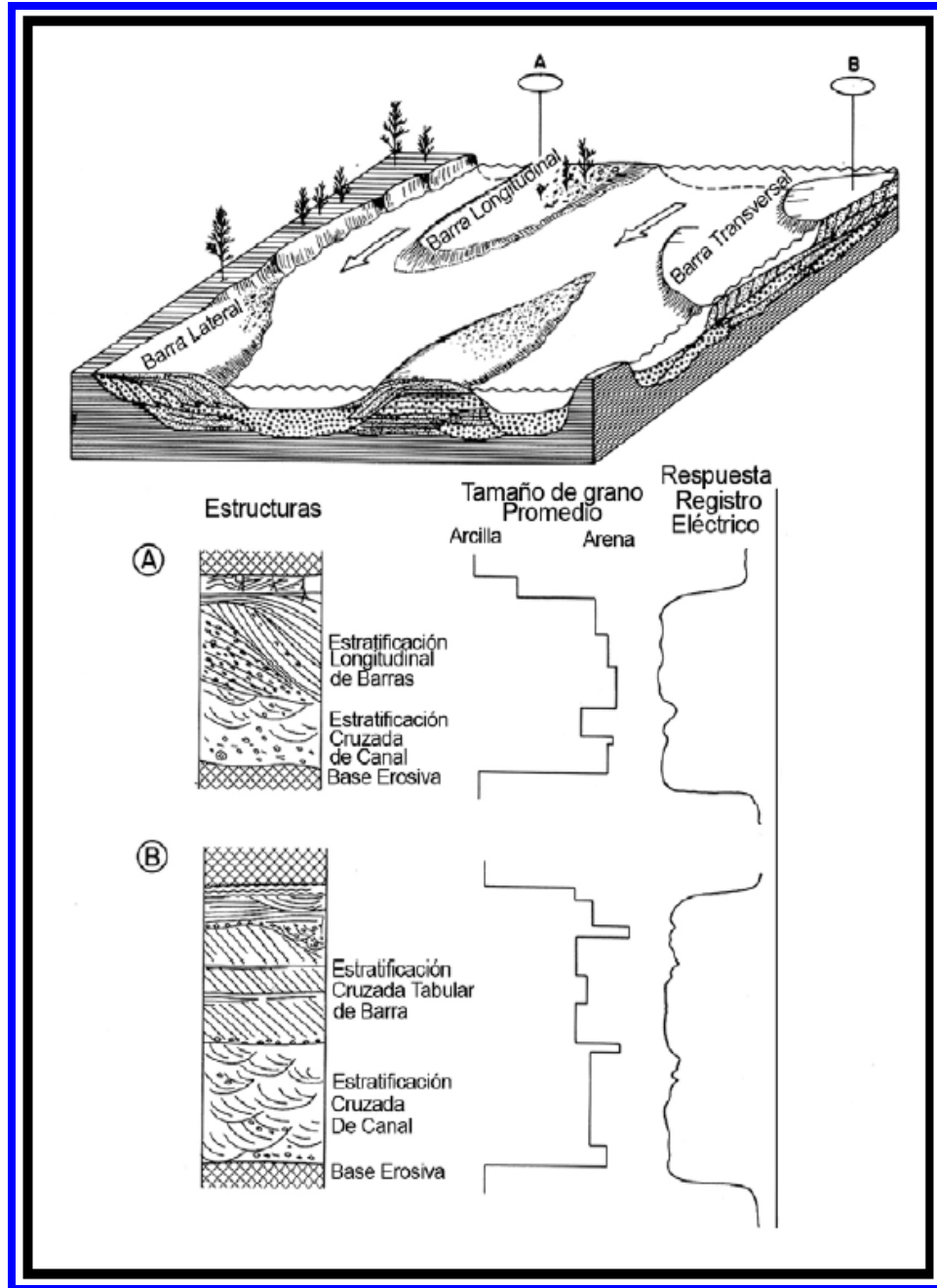


Figura 2.3.2.2: Modelo depositacional generalizado de una secuencia vertical, producido por un sistema fluvial de canales entrelazados poco sinuosos (Modificado de Galloway y Hobday, 1983).

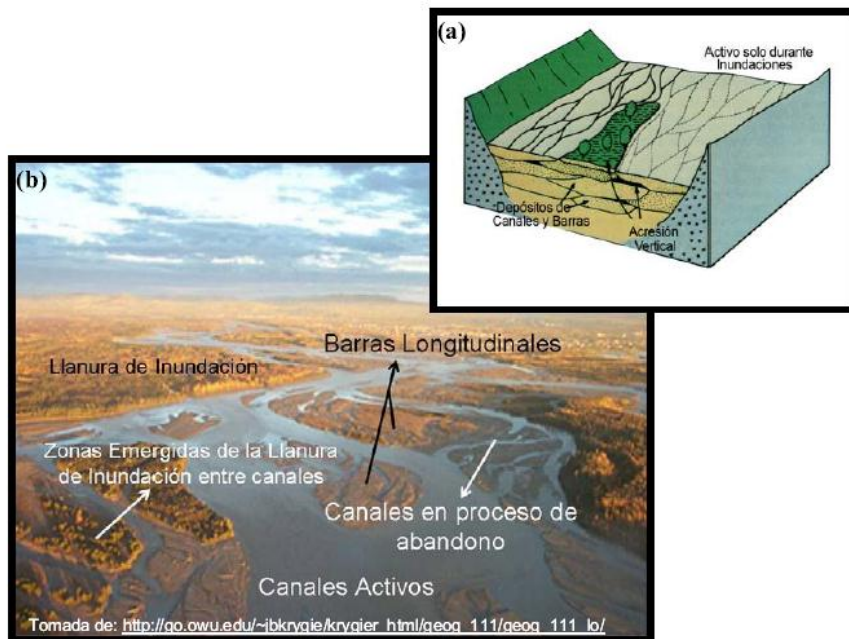


Figura 2.3.2.2.1: (a) Bloque diagramático de depósitos de canales entrelazados, en el que se puede observar que las lutitas que se preservan son delgadas e imperersistentes. (Modificado de Cant, 1982)

(b) Sistema de canales entrelazados en ambientes modernos. (Tomado y modificado de: Ohio Wesleyan University, Department of Geology & Geography 2005)

2.3.2.3 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 2.3.2.3 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 taponos 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.

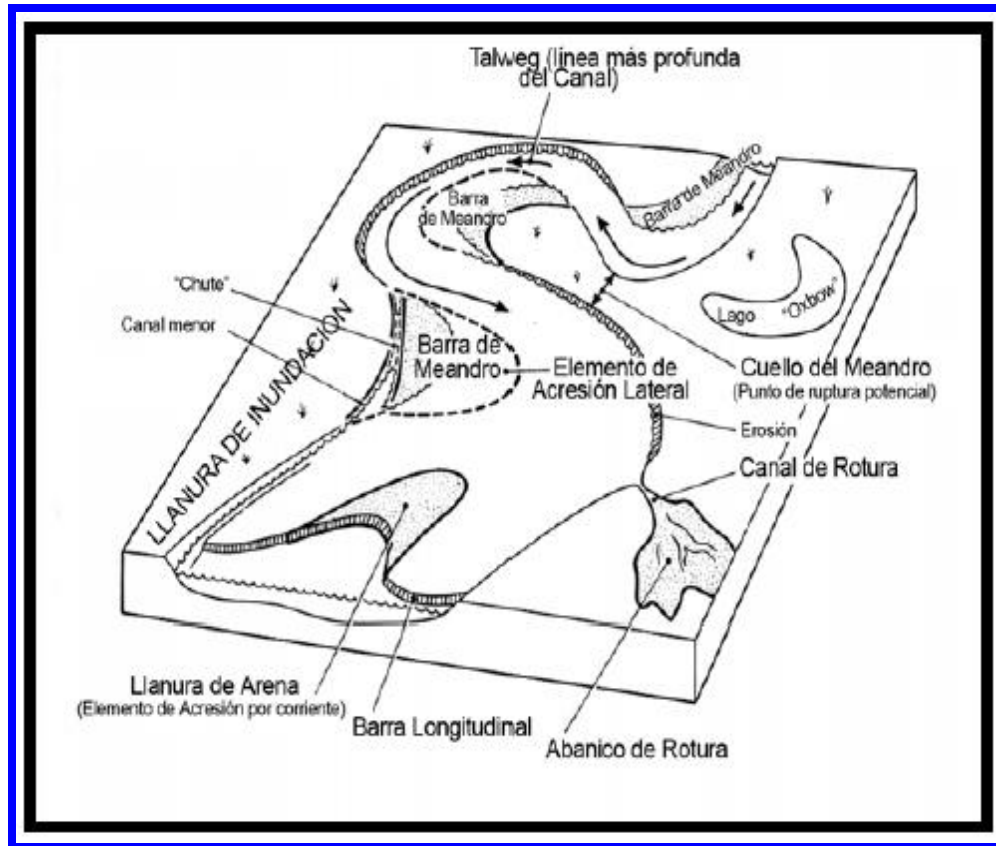


Figura 2.3.2.3: Bloque diagramático de un río meandriforme hipotético. (Modificado de Walker y James, 1992)

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 2.3.2.3.1 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.

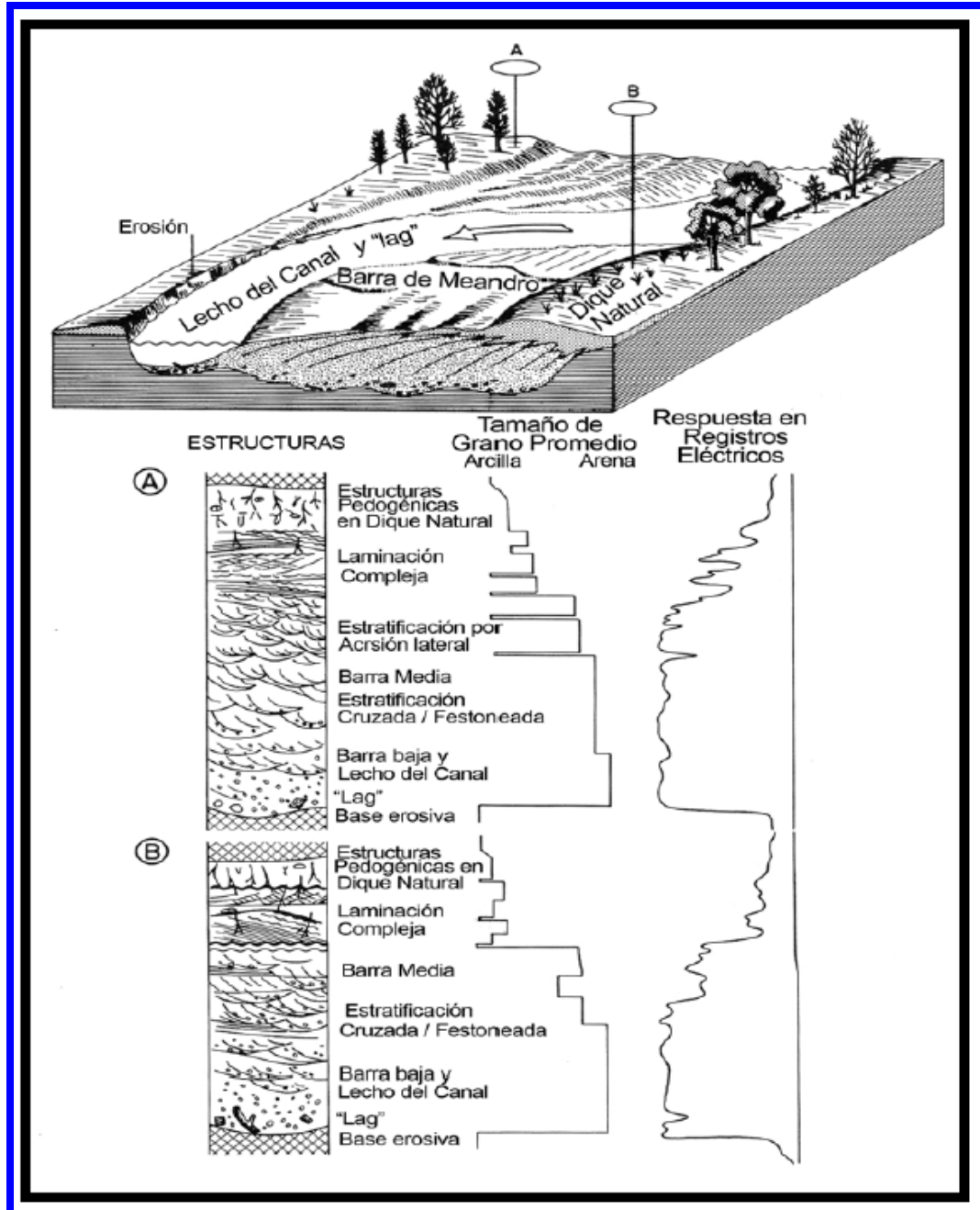


Figura 2.3.2.3.1: Modelo deposicional generalizado de los depósitos generados por un sistema fluvial meandriforme. (Modificado de Galloway y Hobday, 1983).

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 2.3.2.3.2(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.

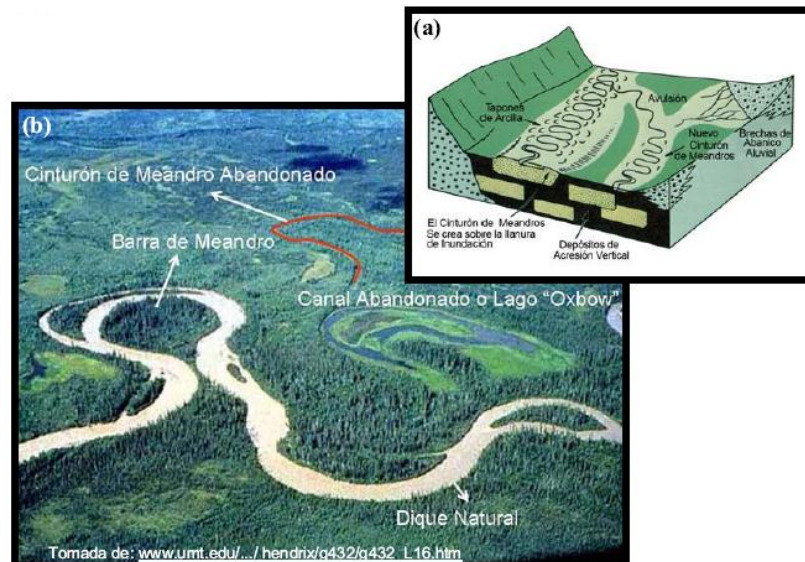


Figura 2.3.2.3.2: Sistema fluvial meandriforme. (a) Modelo esquemático (Modificado de Cant, 1982); (b) Sistema meandriforme al sureste de Alaska (Tomado y modificado de: University of Montana, Department of geology 2005 www.umt.edu/.../hendrix/g432/g432_L16.htm).

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).

2.3.2.4 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 2.3.2.4 (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 2.3.2.4 (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 2.3.2.4.1 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.

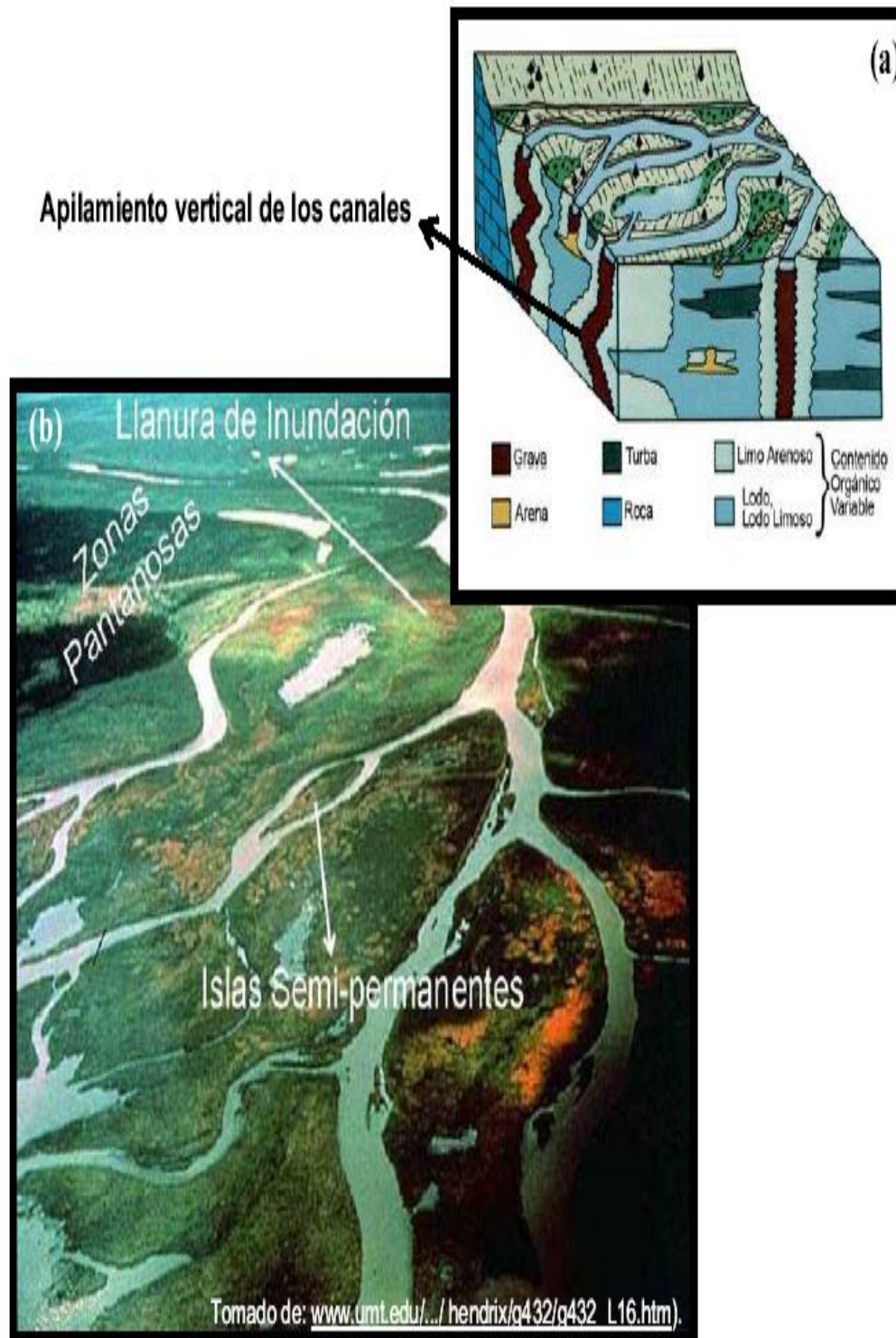


Figura 2.3.2.4: Sistema fluvial anastomosado. (a) Bloque diagramático, se muestra el apilamiento vertical (Modificado de Cant, 1982). (b) Sistema anastomosado al sureste de Saskatchewan, Alaska (Tomado y modificado de: University of Montana, Department of geology 2005)

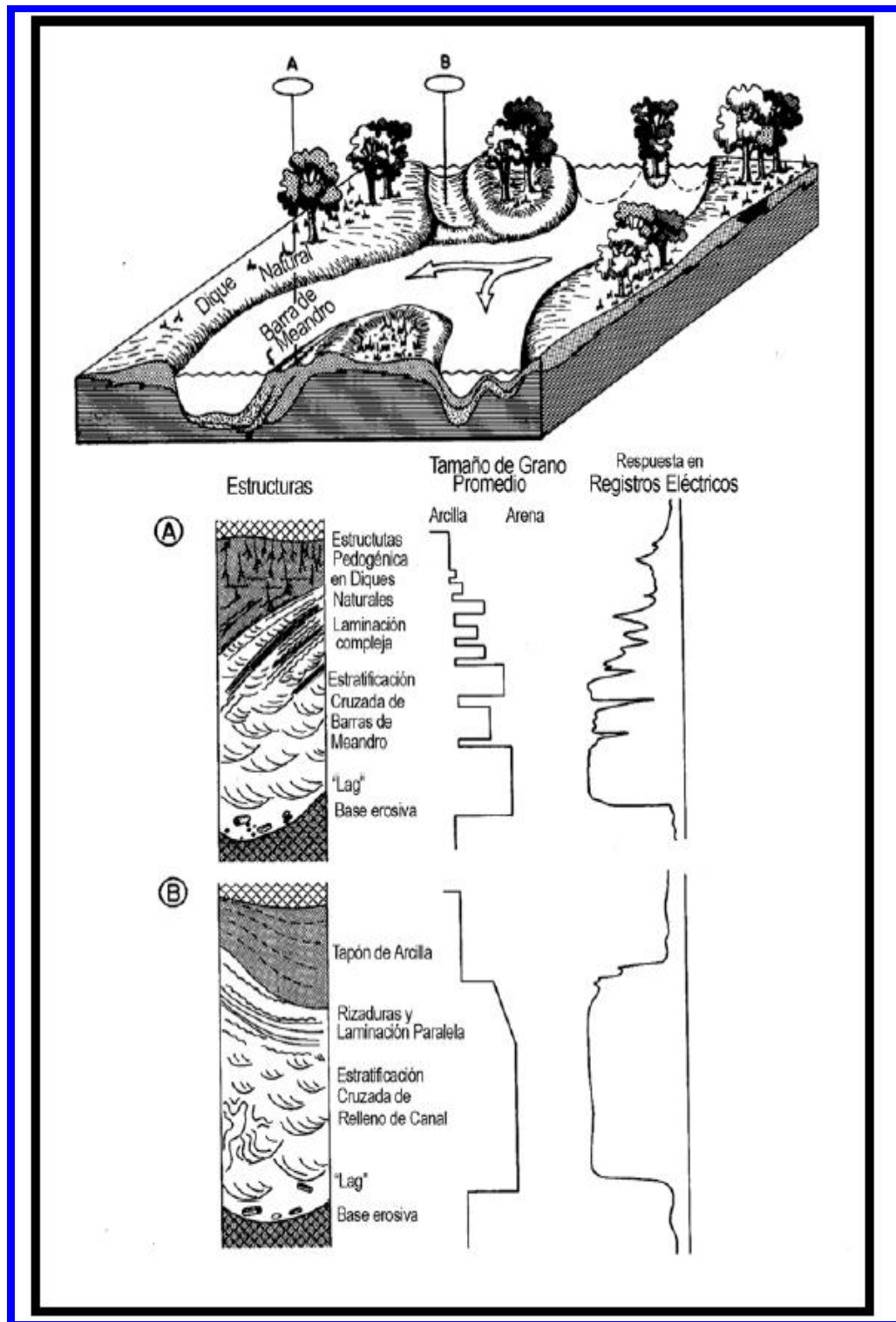


Figura 2.3.2.4.1: Modelo depositacional generalizado producido por un sistema fluvial anastomosado (Modificado de Galloway y Hobday, 1983).

2.3.3 Sistema deltáico

2.3.3.1. 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 2.3.3.1:

Tabla 2.3.3.1: 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

2.3.3.2 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 re TRABAJAR 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 (Figura 2.3.3.2) (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 re TRABAJADAS 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 (Figura 2.3.3.2.1) (Galloway y Hobday, 1983; Reading, H., 1986).



Figura 2.3.3.2: 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 superposición 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. 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 entrapamiento de hidrocarburos.

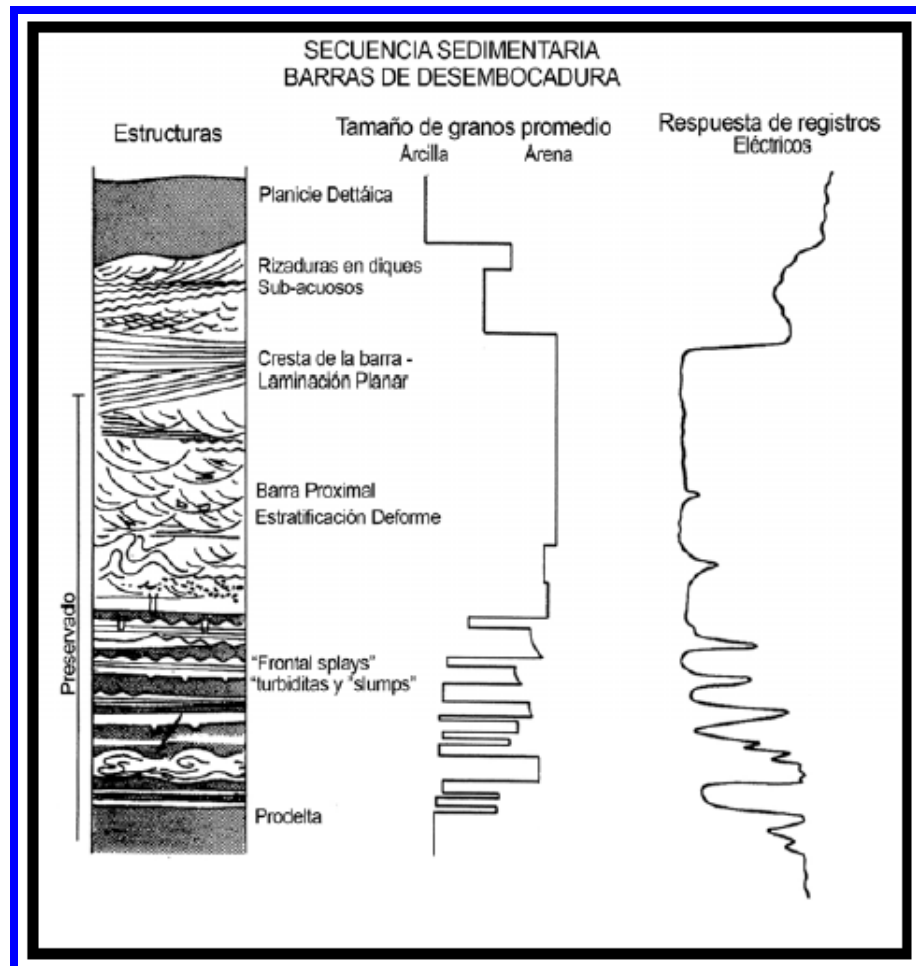


Figura 2.3.3.2.1: Perfil vertical generalizado de una barra arenosa de desembocadura (Tomado de Galloway y Hobday, 1983).

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:

- La mayoría de las secuencias verticales en la planicie deltáica, revelan un carácter progradacional, por secuencias que texturalmente se engrosan hacia el tope.
- La sección superior, o incluso toda la sección progradacional, es cortada y reemplazada localmente por una red compleja de rellenos de canales distributarios.
- 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.
- La acumulación de sedimentos es cíclica, mostrando la alternancia entre períodos constructivos y períodos de destrucción transgresiva.
- La continuidad lateral de las facies arenosas es limitada.

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 (Figura 2.3.3.2.2) (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 2.3.3.2.2 (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)



Figura 2.3.3.2.2: 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. 2.3.3.2.3 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.

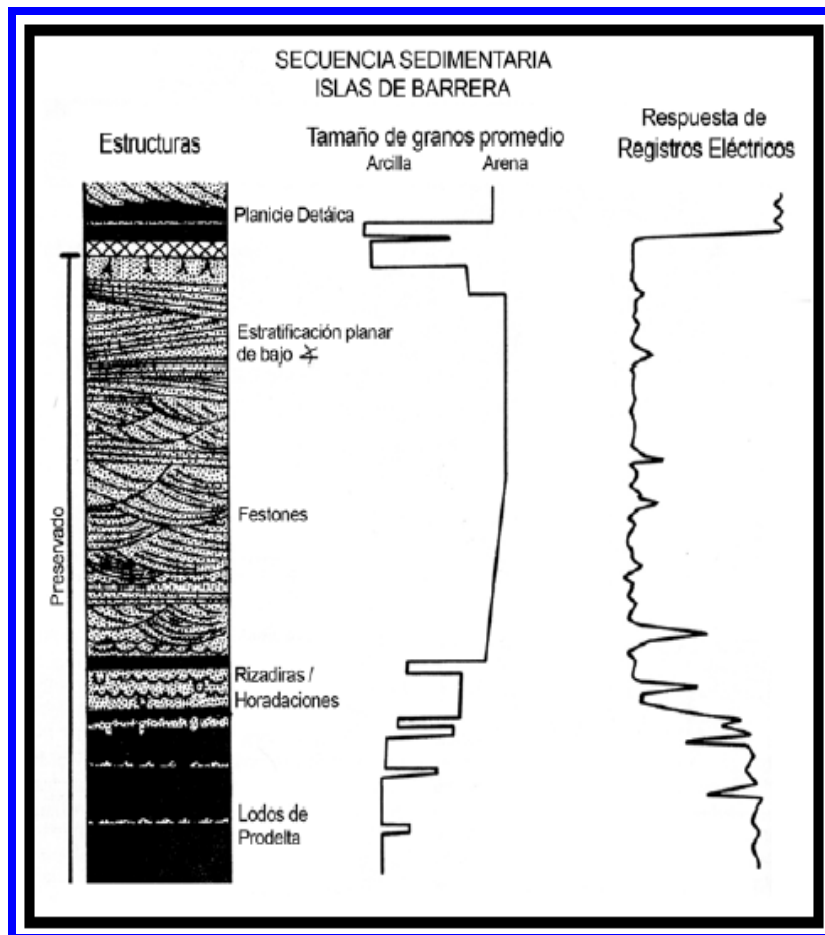


Figura. 2.3.3.2.3: Perfil vertical generalizado de una isla de barrera (modificado de Galloway y Hobday, 1983)

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 2.3.3.2.4. Las arenas fluviales asociadas se orientarán en una dirección subperpendicular al margen de la cuenca.



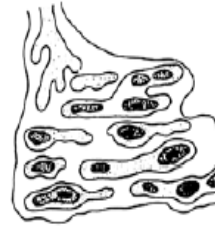
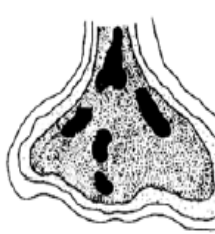
	<p><i>Delta Tipo 1:</i> Condiciones: Energía intermedia de las olas, mareas altas, baja deriva litoral, cuenca somera estable. Características: Arenas de canales normales a la línea de costa, conectadas lateralmente por arenas de barrera-playa Ejemplos: Deltas de Burdekin, Irrawedy y Mekong</p>
	<p>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

Figura 2.3.3.2.4: Geometría de cuerpos arenosos en deltas modernos dominados por oleaje. (Modificado de Coleman y Wright, 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 (Figura 2.3.3.2.5) (Galloway y Hobday, 1983).

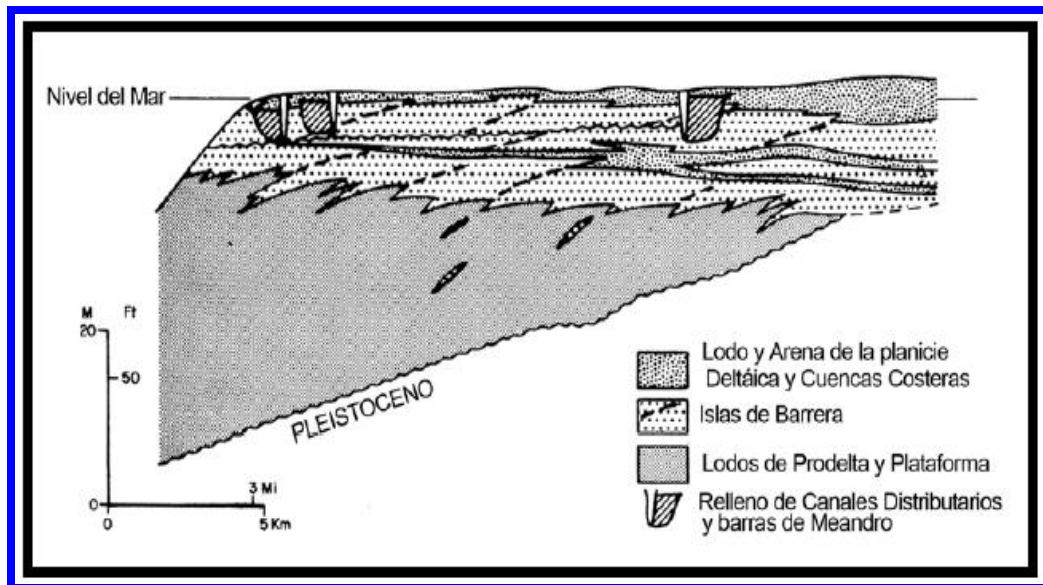


Figura. 2.3.3.2.5: Sección orientada según el buzamiento de la sedimentación, mostrando la Distribución de facies del delta Rhode (modificado de Galloway y Hobday, 1983).

2.3.3.3. 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 (Figura 2.3.3.3). 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).



Figura 2.3.3.3: 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 (Figura 2.3.3.3.1).

La figura 2.3.3.3.1 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.



Figura 2.3.3.3.1: 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 2.3.3.3.2. 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.

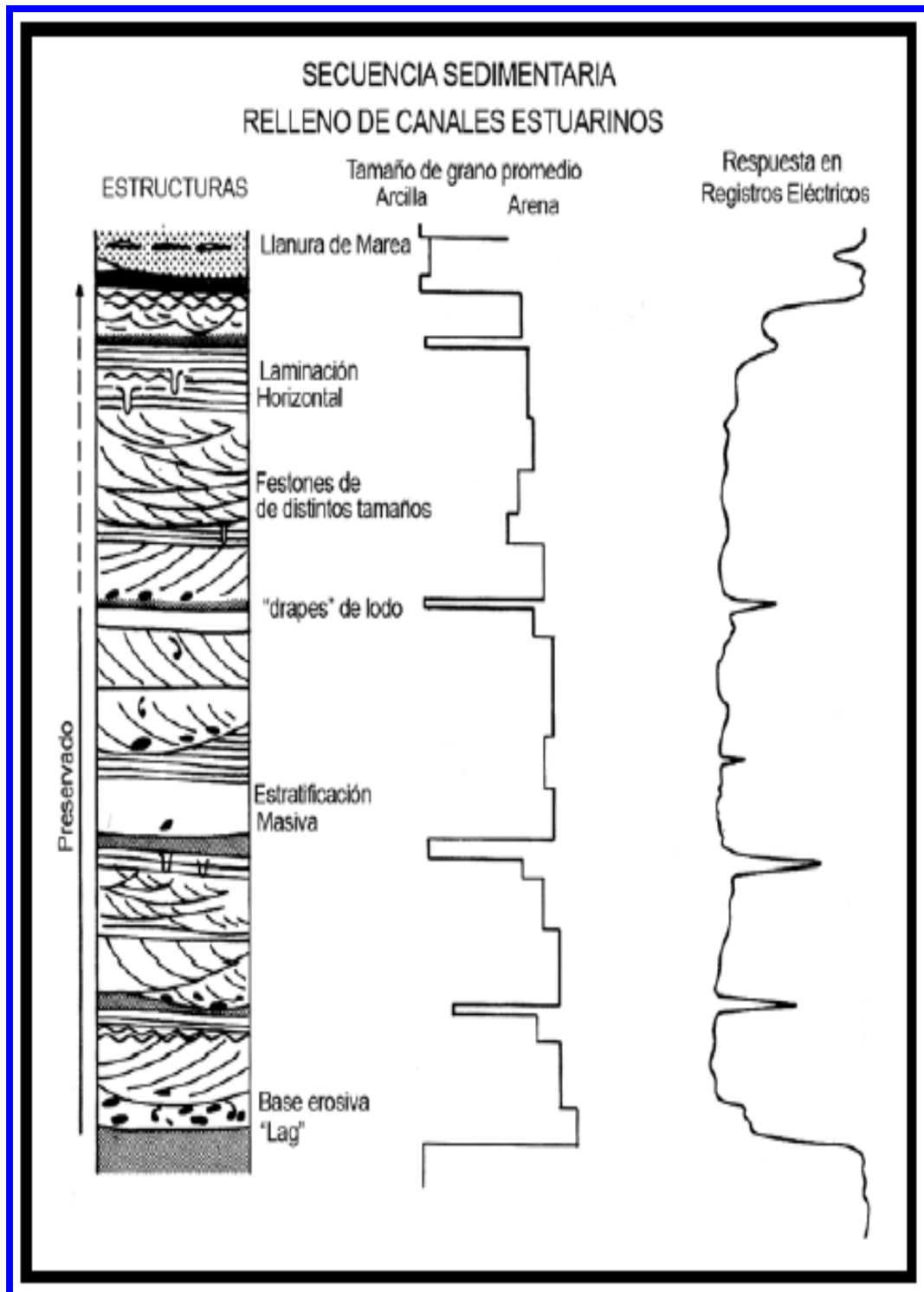


Figura 2.3.3.3.2: Perfil vertical generalizado de un cuerpo de arena de rellenos de canal Estuarino (Tomado de Galloway y Hobday, 1983).

2.3.4 Mapas

Los mapas, tanto en superficie como los del subsuelo, revelan rasgos ocultos por el suelo, aluvión y otros tipos de sobrecarga correspondiente a una formación vista en un plano horizontal (CIED, PDVSA 1997.b).

En los mapas es posible representar estructuras del subsuelo de cualquier límite de formación, discordancia o formaciones productoras que pueden ser identificadas y correlacionadas por medio de datos de perforación; por tal motivo, la información de los pozos debe ser recopilada y preparada con un cuidado considerable (CIED, PDVSA. 1997.b).

2.3.4.1 Tipos de mapas geológicos

2.3.4.1.1 Mapa estructural

Es la proyección de las líneas de intersección entre un plano horizontal y una superficie, las cuales muestran sobre un plano horizontal el tope o base de un cuerpo de arena neta o nivel estratigráfico de interés, con los accidentes geológicos que la afectan tales como pliegues, fallas, truncaduras, erosión, entre otros (CIED, PDVSA,1997.b)

2.3.4.1.2 Mapa isópaco

Representan, por medio de contornos, los espesores de una determinada unidad estratigráfica (Figura 2.3.4.1.2). Para ello requiere de dos horizontes claves. Uno es la parte superior (tope) y otro en la parte inferior (base) de la unidad a representar (CIED, PDVSA,1997.b).

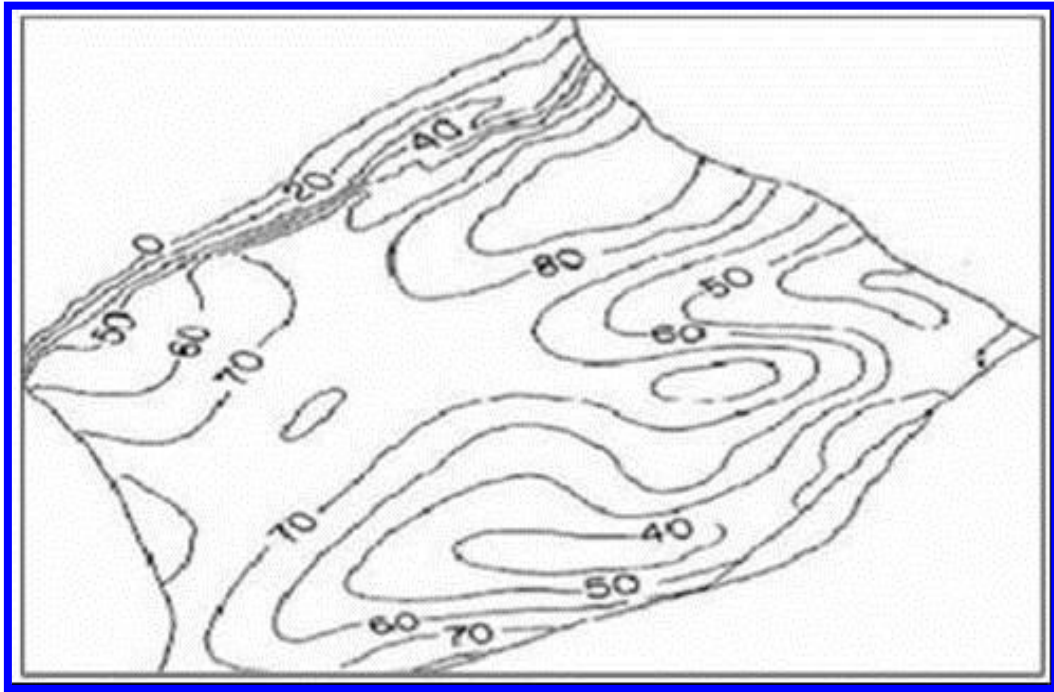


Figura 2.3.4.1.2: Representación de un Mapa Isópaco. (PDVSA-CIED.1997.b).

Un plano de isópacos es extremadamente útil debido a que proporciona información directa sobre el lugar de máximo espesor, o de la terminación lateral de las formaciones porosas o permeables que pueden coincidir con trampas estratigráficas, además de proporcionar las bases para la interpretación de la historia geológica de una región durante la sedimentación de las formaciones consideradas, la forma de la cuenca, la posición de la línea de costa, áreas de levantamiento, etc (CIED, PDVSA. 1997.b).

2.3.4.1.3 Mapa isópaco–estructural

Este mapa es la combinación del mapa isópaco y del mapa estructural. En él se muestra tanto la variación de espesores, relación espacial del nivel estratigráfico mapeado, así como la distribución de los fluidos dentro del yacimiento (CIED, PDVSA. 1997.b). (Figura 2.3.4.1.3).

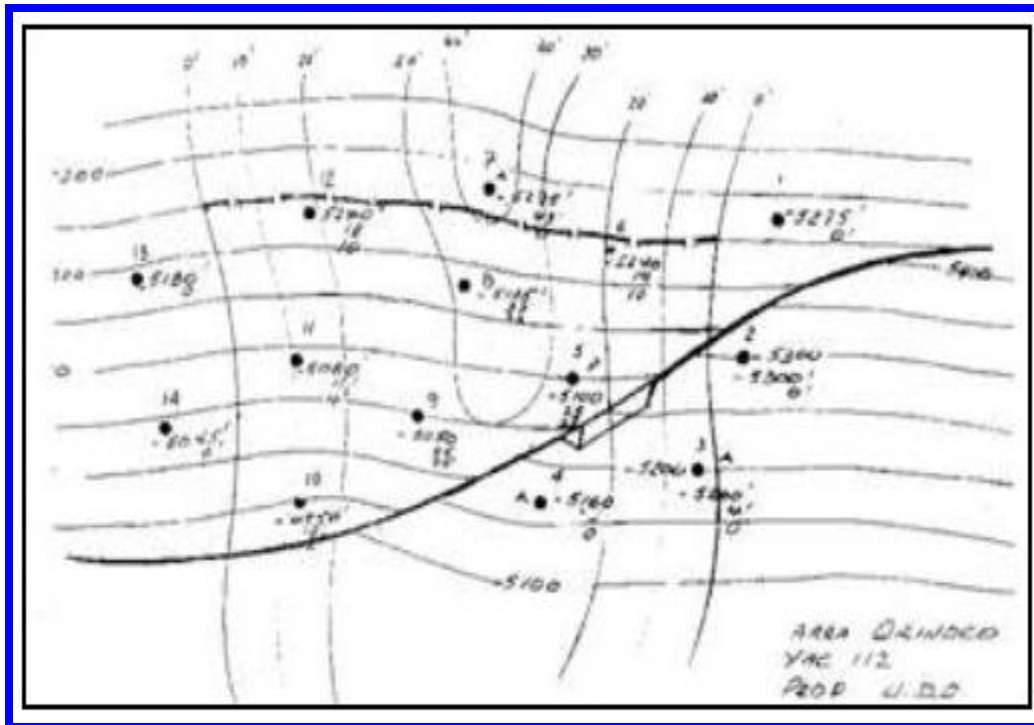


Figura 2.3.4.1.3: Mapa Isópaco-Estructural. (PDVSA-CIED.1997.b).

2.3.4.1.4 Mapas de electrofacies

Los mapas de electrofacies representan en dos (2) dimensiones las condiciones paleogeográficas reinantes durante el tiempo de depositación de las arenas. En este mapa podemos visualizar la distribución de las distintas facies identificadas en cada pozo, lo que permite compararlas con otros atributos de las arenas, para así complementar la evaluación de éstas con respecto a la posición estructural, geometría, extensión y características de producción (Figura 2.3.4.1.4).

Entre los objetivos de los mapas de electrofacies tenemos: definir el ambiente de sedimentación, definir la historia de sedimentación, definir la geometría y extensión de los cuerpos de las arenas, definir los caracteres de las variaciones presentes en todas las facies, cuando éstas ocurran (CIED, PDVSA. 1997.b).

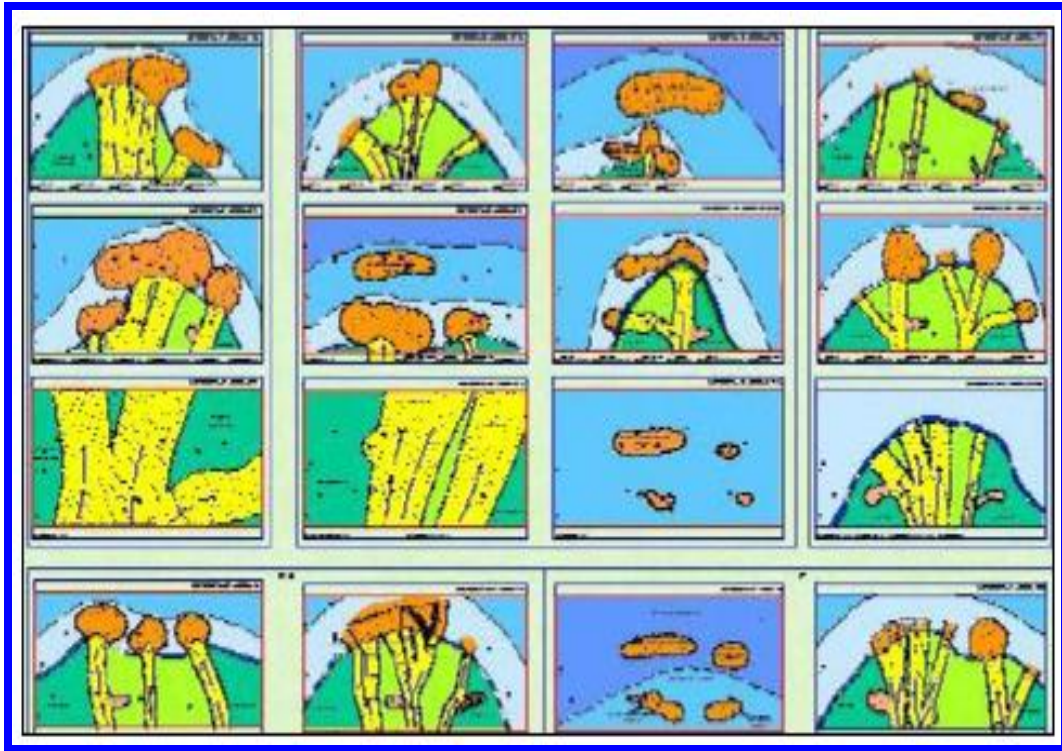


Figura 2.3.4.1.4: Ambientes asociados a facies sedimentarias (PDVSA-INTEVEP 2010.
www.pdvsa.com/lexico/).

2.3.4.1.5 Mapas de Propiedades Físicas de las Rocas (Isopropiedades)

Estos mapas permiten tener una mejor visualización de las características físicas de las rocas y del almacenamiento de los fluidos en todo el yacimiento. Los tipos de mapa son:

- Mapa de porosidad (*PHIE*): esta propiedad puede indicar el espacio disponible de la roca para almacenar fluidos. Estos mapas se realizan utilizando isolíneas que unen puntos de igual valor de porosidad en porcentaje o fracción. (PDVSA, CIED,1990).
- Mapa de permeabilidad (*K*): la permeabilidad es importante porque es la propiedad que tienen las rocas de permitir el paso de los fluidos a través de los poros interconectados, pues una arena sólo es permeable cuando sus poros

están conectados entre sí, pero si esta conexión no existe, la roca puede ser porosa pero no permeable. Se construye con isolíneas de permeabilidad, en milidarcy (PDVSA, CIED, 1990).

- Mapa de arcillosidad (*Vsh*): este mapa presenta una tendencia similar a las anteriores, observándose en este caso menores volúmenes de arcilla hacia el eje del canal, zona en la cual se acumulan los sedimentos de mayor granulometría y una disminución gradual hacia los bordes donde existe mayor presencia de finos. En conclusión nos indica la distribución de las arcillas en el yacimiento. Se elabora con isolíneas que unen puntos de igual volumen de arcillas en porcentaje o fracción (PDVSA, CIED, 1990).
- Mapa de saturación (*Sw*): nos indica la distribución del agua en el yacimiento, y los valores de esta propiedad se obtienen en la evaluación petrofísica (PDVSA, CIED, op. Cit.).
- Mapa de Arena Neta (*AN*): corresponde al espesor de arena en la formación a evaluar. Para obtener este valor se debe establecer un valor de corte de arcillosidad y uno de porosidad para discriminar arenas de arcillas. Una vez establecido este valor de corte (cut-off), se toma como arena neta todo estrato que posea un *Vsh* menor al establecido y una porosidad mínima. (PDVSA, CIED, op. Cit.).
- Mapa de Arena Neta Petrolífera (*ANP*): la arena neta petrolífera es el número de pies en la columna de arena del pozo que puede ser considerada como productora de hidrocarburo. El contaje de la arena neta petrolífera es determinante en la caracterización de los yacimientos. Generalmente este contaje se realiza estableciendo las características mínimas necesarias que debe poseer una arena para ser considerada como productora de crudo, los parámetros que se establecen son: *Vsh* mínimo, porosidad máxima, saturación de agua mínima en el intervalo (PDVSA, CIED, op cit.).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 METODOLOGÍA

La metodología que se llevó a cabo para dar respuestas a los objetivos específicos planteados fue de la siguiente manera:

3.1.1 Documentar, recopilar y validar la información disponible del área en estudio

Inicialmente se realizó la búsqueda de todo lo concerniente a la geología del campo Orocuál, con el apoyo de la bibliografía disponible en la biblioteca “Centro de Información Brígido Natera” (PDVSA), para así crear la base teórica y poder tener todo el material bibliográfico necesario para el desarrollo del proyecto en general.

En esta fase se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Recopilación de trabajos previos e informes técnicos tanto de la localidad del trabajo (Campo Orocuál), como a escala regional (Cuenca Oriental de Venezuela)
- b) Recopilación de bibliografía relacionada con el área en estudio.
- c) Se revisaron los registros eléctricos digitalizados para cada uno de los pozos en la base de datos (*OpenWork*).

3.1.2 Correlacionar pozo a pozo la Arena “Q” de la Formación Las Piedras, ubicada en el Campo Orocual

La correlación de secciones estratigráficas se realizó mediante registros combinados (Gamma Ray, Resistividad y Conductividad). El registro compuesto de los pozos, con el cual se realizaron las secciones consta de los siguientes track de curvas, tomando en cuenta parámetros de cortes utilizados actualmente:

- Gamma Ray con un valor de corte de 60° API (para diferenciar las arenas de las lutitas).
- Profundidades en TVD y TVDSS.
- Curvas de Resistividad con un valor de corte de 4 Ohm.m.
- Curvas de Conductividad.

3.1.3 Elaborar secciones Estratigráficas y Estructurales

3.1.3.1 Secciones Estratigráficas

Mallado de Secciones

Para contar con una información confiable y precisa, se realizó un mallado de secciones estratigráficas que abarcaron todo el campo. La definición de este mallado de secciones fue realizada mediante la aplicación “*Mapview*” de la plataforma de “*Stratworks*”. Se realizaron un total de 23 líneas de secciones de las cuales 17 líneas son en sentido NO-SE y 6 líneas en sentido SO-NE. A partir de estas secciones fueron correlacionados 126 pozos, tomando como pozo piloto al ORS-26 por presentar la Arena “Q” con mejores características litológicas.

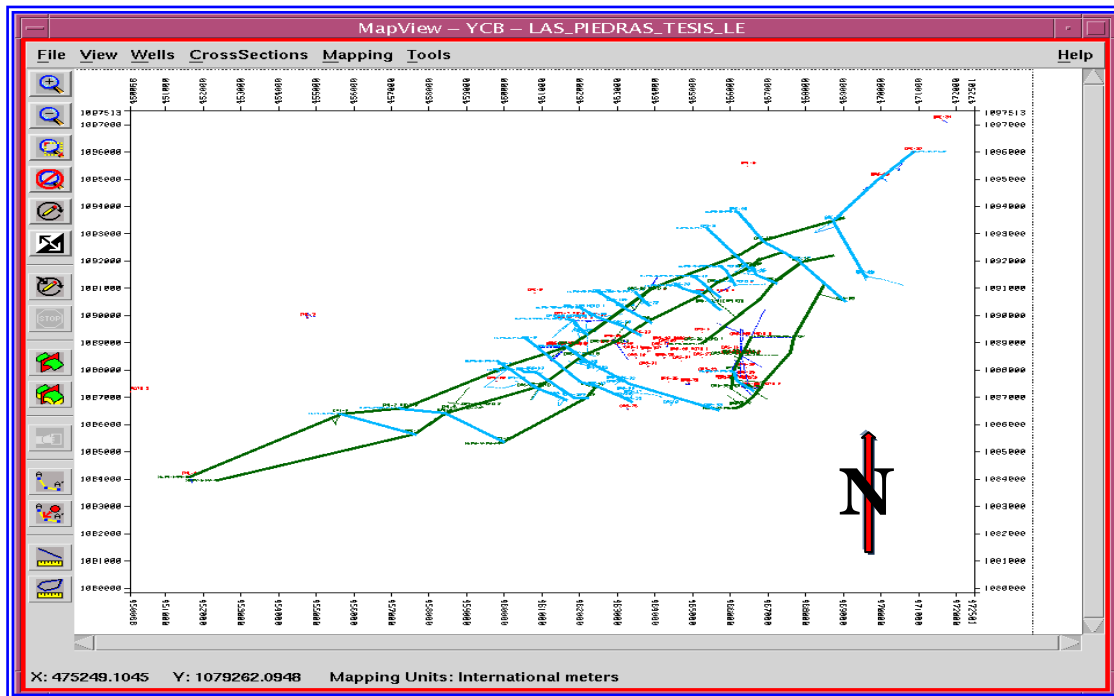


Figura 3.1.3.1.1: Mallado de Secciones de la Arena Q con el total de los pozos a trabajar del Campo Orocuai. Fuente propia.

Definición de marcadores

Esta definición se generó a partir de las correlaciones entre pozos realizadas en la base de datos *Landmark* con licencia *OpenWorks* en la aplicación *Stratworks* con la herramienta “Correlation”, quedando la arena en estudio tope y base de “Q” basándose en las respuestas electrográficas de los registros en las curvas de resistividad, conductividad y Gamma Ray, a partir de los cuales se delimitaron los cuerpos de arena con intercalaciones lutíticas en algunos casos.

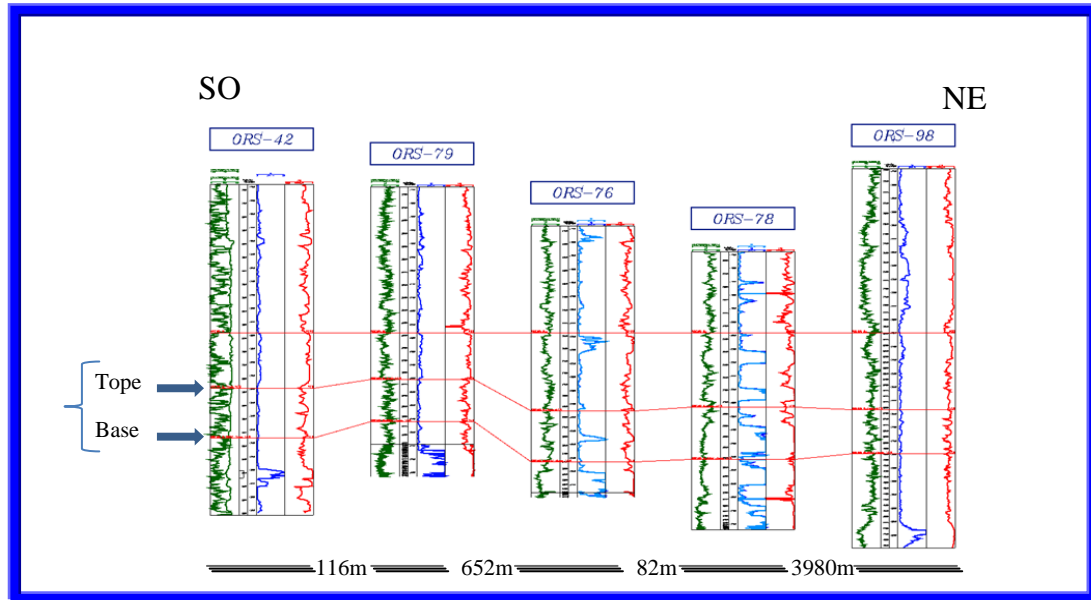


Figura 3.1.3.1.2: Correlación Estratigráfica tipo de la Arena Q del Campo Orocuai. Fuente propia.

3.1.3.2 Secciones Estructurales

Se realizó con el objeto de visualizar la disposición espacial, profundidad y el buzamiento de las unidades estratigráficas, la figura geométrica de la secuencia depositada, patrón estructural que predomina y las barreras estructurales presentes, siempre y cuando esto sea corroborado con los datos de presión y producción de pozos.

3.1.4 Revisar Evaluación Petrofísica de la arena “Q”.

En esta etapa se evaluaron los registros eléctricos y gráficos realizados a partir de parámetros petrofísicos con la finalidad de determinar la calidad de roca de la unidad en estudio.

Para la evaluación petrofísica se utilizó la aplicación “*Petroworks*”. Donde se procedió a seleccionar los pozos que contenían los registros mínimos en común de Gamma Ray, Potencial Espontáneo, Resistividad, Densidad y/o Neutrón.

3.1.5 Elaborar mapas

3.1.5.1 Mapas de Paleo-ambientes (Electrofacies)

Para realizar los mapas de Paleo-ambientes de la unidad estratigráfica se generaron mapas de electrofacies, realizando secciones de registro de Gamma Ray de dicha unidad. Una vez generados los mapas de electrofacies, se procedió a realizar su interpretación.

3.1.5.2 Mapas Isópacos

Para la elaboración del mapa isópaco, se determinaron los espesores de los intervalos estratigráficos, de los valores de profundidad de los topes. Luego, para los pozos con datos de buzamiento se procedió a calcular los espesores verdaderos para cada uno de los intervalos a cartografiar.

3.1.5.3 Mapas Estructurales

En la elaboración del mapa estructural se utilizó la aplicación “*Mapview*” para generar contornos al tope de cada unidad, para luego ser interpretados en “*Z-MAP plus*”. La interpretación se basó en el análisis de contornos asumiendo rasgos geológicos-estructurales.

3.1.5.4 Mapa Isópaco-Estructural

Para la elaboración del mapa isópaco se determinaron los espesores de los intervalos estratigráficos, y para el mapa estructural se utilizó la aplicación “Mapview” para generar contornos al tope de cada unidad, para posteriormente ser interpretados en “Z-MAP plus”. Los mapas Isópacos-Estructurales es la combinación de los dos como su nombre lo indica. El mapa que se muestra a continuación es previo su digitalización. (Figura 3.1.5.4)

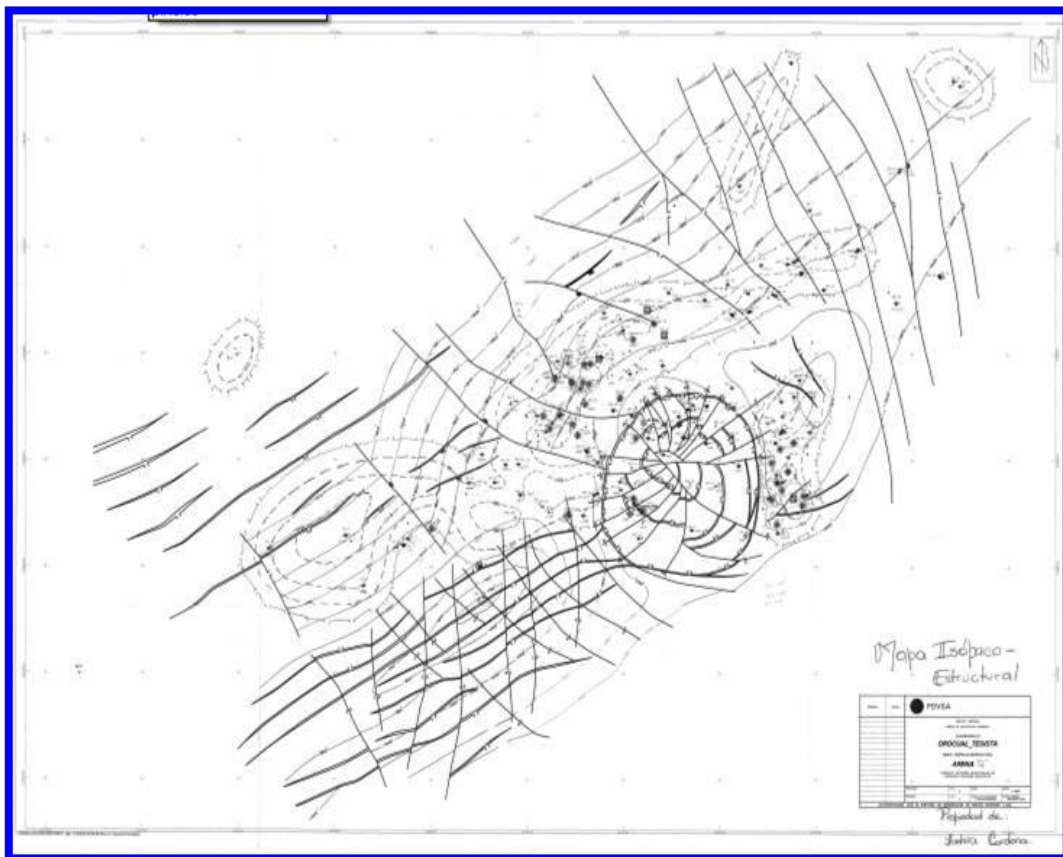


Figura 3.1.5.4: Mapa Isópaco-Estructural, Arena Q, Formación Las Piedras, Campo Orocuál. Escala 1:20000

3.1.5.5 Mapas de Isopropiedades

Para la elaboración de dichos mapas se contó con los resultados de porosidades y permeabilidades obtenidos de las evaluaciones petrofísicas. Se plotearon dichos valores en un mapa base del área, procediéndose a realizar el contorno de forma manual, mediante la extrapolación de valores entre pozos, tomando como referencia los mapas de paleo-ambiente de la unidad estratigráfica en estudio debido a que las tendencias de la distribución de valores de estas propiedades petrofísicas están asociadas a la distribución areal de facies.

3.1.6 Delimitar y clasificar yacimientos.

Es definido a partir de la integración de mapas isópacos-estructurales, a estos se le carga la información de yacimientos y análisis de fluido a través del módulo de administración de yacimientos de SIGEMAP 8.0 donde a cada pozo se le atribuye valores de: topes de arena en TVDSS, nombre del pozo (UWI), espesor de arena neta (AN), espesor de arena neta petrolífera (ANP), simbología y detalle de completación; toda esta información en formatos (tablas) de archivos Excel compatibles con el sistema de generación de mapas SIGEMAP 8.0. Con la información cargada de los pozos se procede a la delimitación y clasificación de los yacimientos para cada arena en los mapas, en este caso la Arena Q.

3.1.7 Calcular el área y volumen del yacimiento definido en la arena “Q”.

El sistema de generación de mapas de yacimientos permite simular y trazar la superficie o modelo geológico de un área determinada, empleando un conjunto de

herramientas y técnicas que definen el cartografiado de una zona determinada, se generan los mapas de reservas definidos en este sistema luego se procede al cálculo de área y volumen de los yacimientos y prospectos (probables y posibles) que son generados para cada arena, este cálculo se realiza en la base de datos del programa corporativo SIGEMAP 8.0. cuya función o aplicabilidad permite calcular el área y volumen de cualquier figura cerrada de manera individual y en todo caso la que se seleccione ya sea envolvente o cualquier otra figura cerrada, donde la herramienta posee diferentes opciones para seleccionar y definir el conjunto de los elementos que se utiliza para dicho cálculo.

3.1.8 Realizar posibles propuestas de nuevas localizaciones

Con los mapas de reservas y el cálculo de área y volumen se procede a realizar el estudio de zonas prospectivas, donde posteriormente se toman decisiones para perforar pozos de interés, asociados a los yacimientos y prospectos delimitados en este estudio, tomando en consideración los mayores espesores y mejores propiedades petrofísicas visualizadas en secciones estratigráficas y estructurales para observar la continuidad de la arena.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Se reinterpretó el tope para la Arena “Q” en el Campo Orocuál en 35 pozos.

Para ello además, se realizó un mallado de secciones estratigráficas que abarcaron toda la zona. La ubicación de este mallado de secciones fue elaborada mediante la aplicación “Mapview” de la plataforma de “Stratworks”. Realizándose un total de 23 líneas de secciones de las cuales 17 líneas fueron creadas en sentido NO-SE y 6 líneas en sentido SO-NE. A partir de estas secciones fueron correlacionados 126 pozos, tomando como pozo piloto al ORS-26 por presentar la Arena “Q” con la mejor expresión morfológica de las electrofacies. De esta manera se pudo contar con una información confiable y precisa del área en estudio.

4.2 REVISIÓN DEL MODELO ESTRATIGRÁFICO

La comprensión de la distribución areal y vertical de los cuerpos litológicos comienza con la identificación e interpretación de las unidades crono-estratigráficas a partir de la correlación sísmica–pozo. La correlación se apoya en los principios de estratigrafía secuencial, la cual hace uso de la bio-estratigrafía, pero los análisis bio-estratigráficos en la Formación Las Piedras son inexistentes, al igual que la descripción de núcleos, y análisis de perfiles para definir los marcadores de interés. El amarre sísmica-pozo, se hizo a través de los sismogramas sintéticos, los cuales llevan los marcadores de interés tales como límites de secuencia (sb) y máximas superficies de inundación

(mfs), del registro a la sísmica, lo que permitiría comenzar a generar modelos estratigráficos, las unidades de tercer orden y sus respectivos sistemas encadenados, para posteriormente identificar y correlacionar las secuencias y parasecuencias de toda el área en estudio.

Basado en las características de las electrofacies y apoyada de la sísmica existente, la Formación Las Piedras corresponde a una secuencia caracterizada por intercalaciones de areniscas y lutitas, la cual es más arenosa hacia la base; en los horizontes superiores predominan las texturas más finas, lo cual representa una secuencia transgresiva de carácter retrogradacional, tal como se ilustra en las figuras 4.2.a y 4.2.b

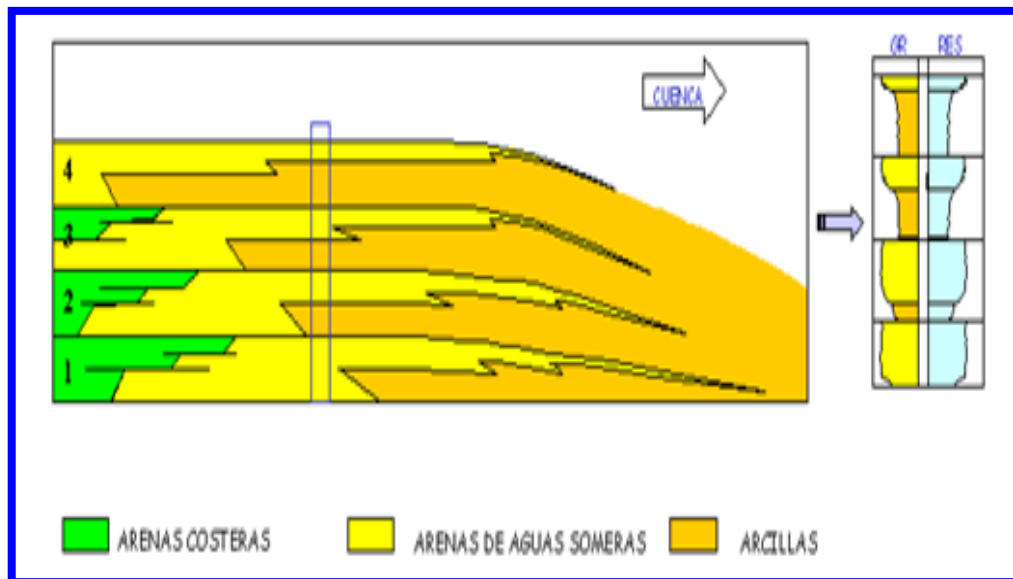


Figura 4.2.a: Esquema de parasecuencias retrogradacionales. (Tomado de Parra, 2000)

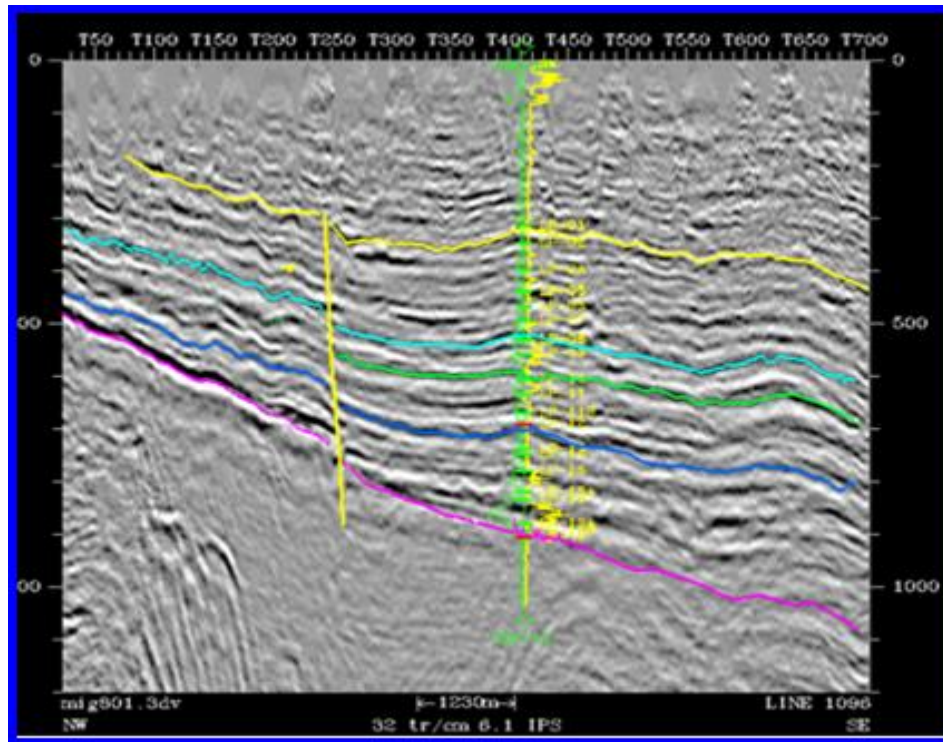


Figura 4.2.b: Sección sísmica vertical NO-SE. En el registro eléctrico se sugiere un patrón retrogradacional. (Tomado de Parra, 2000)

Ahora bien, uno de los propósitos de las secciones estratigráficas es determinar las relaciones laterales y verticales entre las unidades geológicas y en particular el horizonte objetivo.

Los pozos se referencian (o se “cuelgan”) en un datum, este tiene la particularidad de que se trate de un nivel lutítico constante arealmente, preferiblemente una Superficie de Inundación (F.S. por sus siglas en inglés) o una Máxima Superficie de Inundación (MFS), esto permite interpretar como es la relación espacial de los estratos al momento de la depositación del nivel lutítico seleccionado; en nuestro caso, el estrato suprayacente a la Arena “Q”.

Es necesario considerar los factores regionales y locales de la sedimentación para la elaboración de las secciones estratigráficas. Las secciones elaboradas en dirección de la sedimentación (NE-SO) muestran mejor las relaciones de continuidad de los eventos sedimentarios.

Las secciones perpendiculares a la dirección de sedimentación muestran la deposición de los cuerpos sedimentarios, aunque las secciones estratigráficas pueden elaborarse en cualquier otra dirección, por ejemplo, en la figura 4.2.1, se muestra una sección N-S oblicua a la dirección preferencial de sedimentación (NE-SO).

Ahora bien, se realizaron 23 correlaciones estratigráficas a lo largo de todo el Campo Orocuál, en direcciones de SO-NE y NO-SE, seleccionando una sección estratigráfica como se muestra en este estudio y tomando como pozo piloto o pozo tipo al ORS-26 por presentar las mejores propiedades petrofísicas. A continuación se explica a detalle la sección realizada que permite validar los límites del Yacimiento y la continuidad lateral de la Arena “Q”.

La litología de la Formación Las Piedras se caracteriza por la presencia de areniscas micáceas, friables, de grano fino y colores gris claro a gris verdoso, interlaminada con lutitas gris a verdoso, arcillas sideríticas, grises, lutitas ligníticas y lignitos (Hedberg, 1950). También se encuentran algunas calizas arenosas duras y de color verde. Según González de Juana (1946) y Ortiz (1995), la formación se caracteriza por la presencia de arcillas y limolitas blandas, areniscas de granos finos a medios, ocasionalmente conglomeráticas, y capas de lignitos. Es común la presencia de trazas de dolomitas y chert. Unidad de edad Plioceno.

El ambiente de depósito de la Formación Las Piedras fue definido por González de Juana (1946) como fluvio deltaico a continental, de edad Pleistoceno, esta Formación es estéril de fósiles, aunque registra restos de plantas. El ambiente varió de un sector continental con depósitos fluviales al norte en la parte emergida de la serranía a un sector litoral con depósitos de canales de desembocadura y barras litorales más hacia el sur. Se caracteriza en la parte superior por una secuencia conglomerática, semi-consolidadas, con intercalaciones de arcillas hidratables; las areniscas son cuarzo cristalino a beige, de granos fino a medio, ocasionalmente grueso a conglomerática, cemento silicio. Los cuerpos arcillosos se caracterizan por ser de color verdoso, plásticas, solubles; en parte se observan niveles subordinados de lignito negro.

4.2.1. Sección Estratigráfica A-A'

En la sección estratigráfica de dirección N-S, con cuatro (4) pozos involucrados (ORS-109 Hoyo 1; ORS-88; ORS-5; ORS-26), se pueden apreciar cuerpos arenosos bien desarrollados hacia el sur; así como también, hacia el norte del área, la arena pierde espesor notándose ausencia de ésta. A su vez, los espesores varían entre 72 y 124 pies. Adicionalmente la arena se presenta con buena continuidad lateral y se muestra la facies de canales entrelazados descritos en el marco teórico (Figura 4.2.1 y Anexo 1).

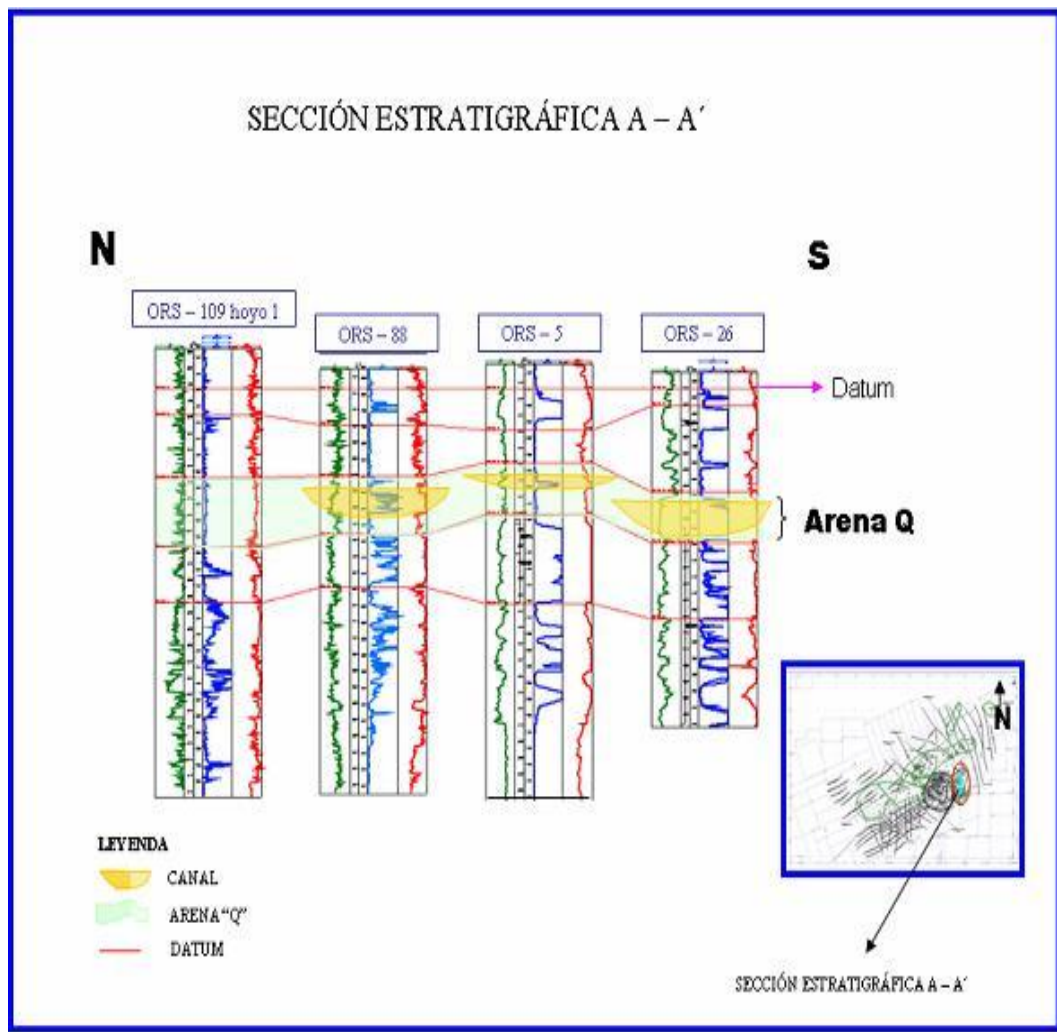


Figura 4.2.1: Sección Estratigráfica A-A', Arena "Q", Campo Orocuai

4.3 REVISIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL

Una forma gráfica de presentar la información geológica son las secciones estructurales, en las cuales se aprecia las variaciones de profundidades de las secciones geológicas a lo largo de un plano vertical. A diferencia de la sedimentación la estructura es un aspecto geológico de gran consistencia, en el presente estudio de la Formación Las Piedras en general, conserva un alto grado de paralelismo entre los planos estratos.

El diseño del mallado de las secciones estructurales o de una sección en particular depende del objetivo para el cual se realiza.

Si el objetivo es mostrar la(s) estructura (s) principal (es), las secciones se elaboran en 2 direcciones, siguiendo el eje de la estructura y perpendicular a este.

Otros objetivos es la interpretación de pliegues o fallas detectados por anomalías de los contornos estructurales como por ejemplo hacia el área NE del campo.

Interpretación de Fallas.

Apoyada de la sísmica existente del Campo Orocuál, se asignó nomenclatura a las fallas de interés, agrupadas en el archivo de fallas “GPFAULT”. Las fallas se comenzaron a interpretar en forma paralela a la sedimentación al este de la zona de estudio en virtud de que la mayoría de las fallas son de tipo normal y buzan al sur con dirección SO-NE (Figura 4.3), al oeste del área de estudio la dirección del sistema de fallas se orienta NO-SE, son normales y buzan al oeste, razón por la cual las líneas se interpretaron perpendicular a la dirección de la sedimentación. En la zona de la estructura de colapso se observaron tanto en las “inlines” como en las “crosslines”, además de líneas arbitrarias para la definición de las fallas, en su mayoría normales. La generación de secciones horizontales constituyó una herramienta fundamental en la comprensión del sistema de fallas, pero muy en particular en la zona del colapso, la cual para efectos de este estudio no fue objetivo de interés. La interpretación y animación sísmica con el módulo de “Seiscube” fue muy útil familiarizarse con el sistema de las fallas. Casi simultáneamente con la interpretación se triangularon e

interpolaron los segmentos de las fallas de interés, para la posterior generación de los polígonos de fallas y validación de los planos con respecto a pozos fallados.

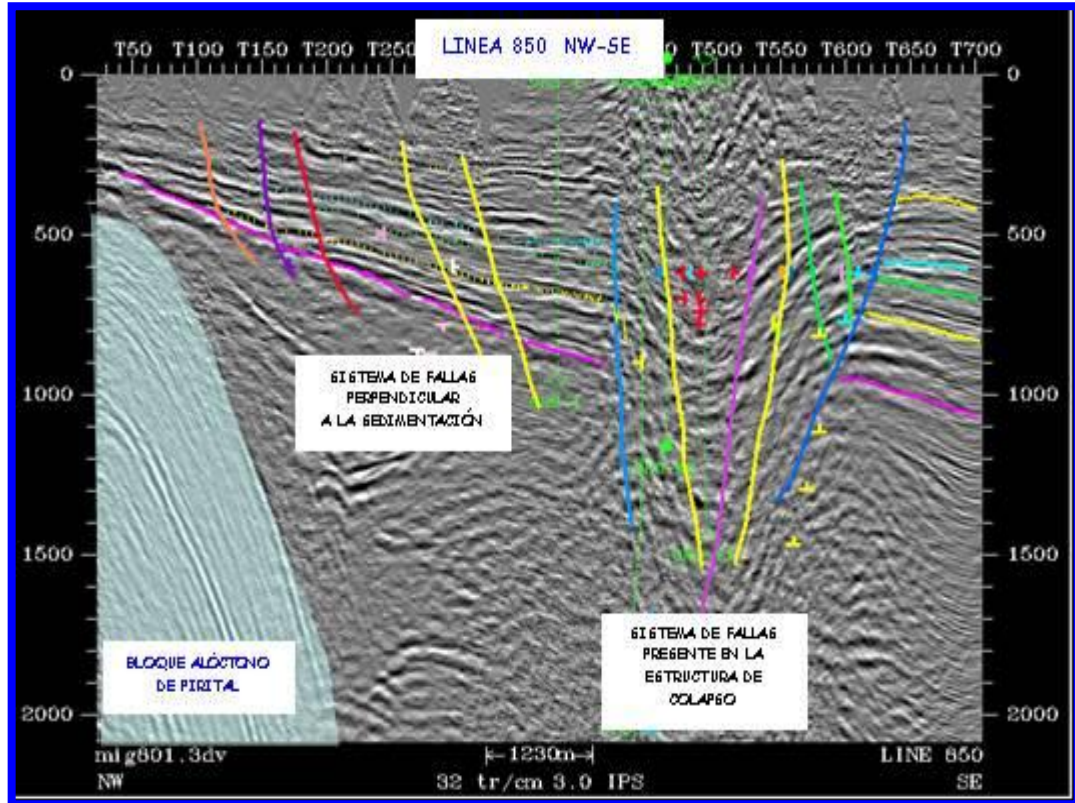


Figura 4.3: Sistemas de fallas en línea arbitraria orientada NO-SE. (Tomado de Parra, 2000).

La visualización preliminar del modelo estructural se realizó con la aplicación OPENVISION. (Figura 4.3.a).

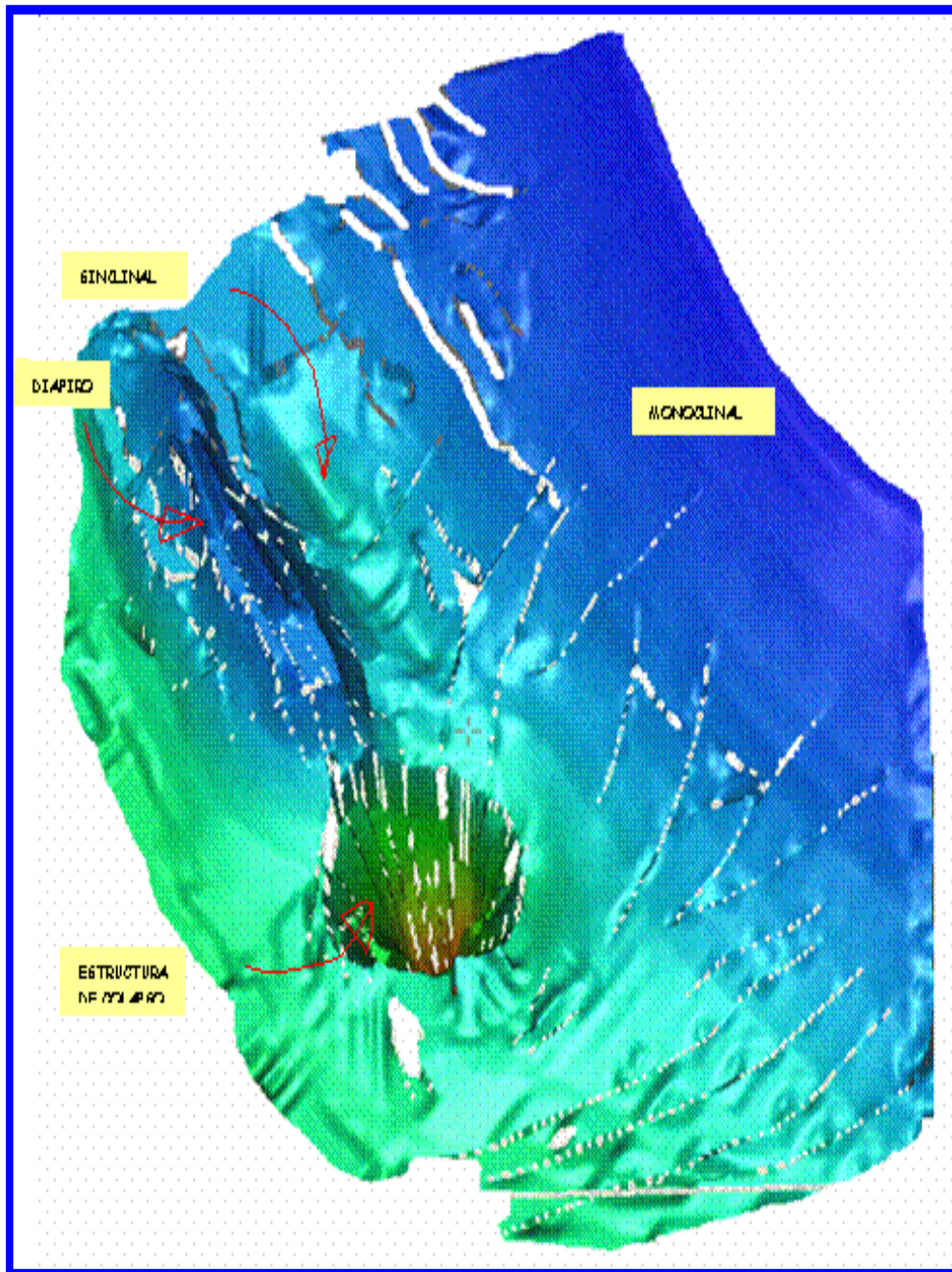


Figura 4.3.a: Imagen estructural de la base de la Formación Las Piedras. Los espacios en blanco representan las trazas de las falla (Tomado de Parra, 2000)

El paso siguiente fue la generación del mapa estructural en tiempo (Figura 4.3.b)

importante número de pozos en la zona productora permitió efectuar la cartografía en profundidad basándose en los rasgos del mapa estructural en tiempo integrado además con los datos de otras disciplinas que permitieron definir la compartimentalización de los yacimientos.

Los rasgos estructurales más importantes – figura 4.3.c -en el área en estudio permiten subdividirla en cuatro zonas:

Área del diapiro: Corresponde a un diapiro elongado de dirección N60°E, el cual define un anticlinal con cierre estructural a -2400' aproximadamente, se encuentra afectado por un sistema de fallas verticales principal de igual dirección, el mismo se considera como la Zona Principal de Desplazamiento (Z.P.D), y se trata de un sistema de cizalla de sentido dextral, el cual controló el ascenso de la arcillas de la Formación Carapita produciendo el anticlinal. Este sistema de fallas está afectado por un sistema de fallas verticales transcurrentes secundarias con dirección N10°E. Al norte de este anticlinal se aprecia un sinclinal de igual dirección como consecuencia directa del levantamiento del diapiro al sur, pero en contraste no presenta la misma intensidad de fallamiento.

Área Norte (NO): La estructura corresponde a un suave monoclinal – sin color - de dirección N20°-30°E con inclinación promedio de 9° hacia el sur, el sistema de fallas que afecta esta zona mantiene la misma dirección de la estructura, son fallas normales con buzamiento al sur con saltos de entre 50 y 100 pies.

Área Norte (NE): La estructura monoclinal – sin color - se mantiene pero el sistema de fallas que lo afecta es drásticamente diferente al de la zona NO, hacia el este el patrón de fallas tiene una dirección N-S, son fallas normales y escalonadas hacia el este.

En el *Área de la Estructura de Colapso*, en color violeta, conocida también como el “hoyo”, es una depresión cuya parte más profunda está al noroeste del “hoyo”, hacia

los bordes los estratos basales de la Formación Las Piedras alcanzan buzamientos de 50° , el pozo más profundo en esta estructura es el ORS-21, penetró la Formación Carapita a -7627'

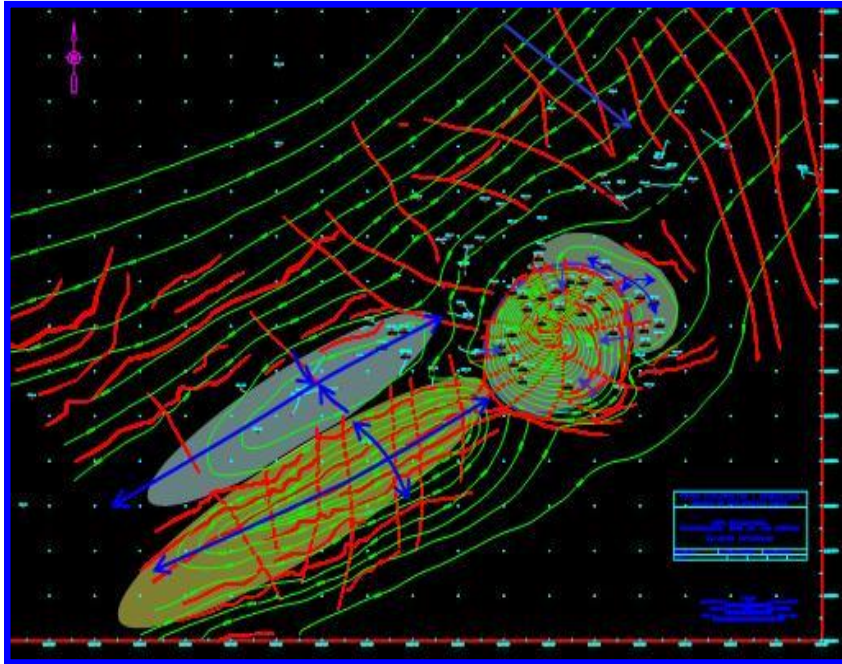


Figura 4.3.c: Mapa estructural de la base de la Formación Las Piedras (Tomado de Parra, 2000).

En la línea de trabajo que se siguió, fueron analizados varios modelos estructurales que podrían explicar la formación de la estructura de colapso y el diapiro, el modelo propuesto consiste (según Gilberto Parra, 2000) en un sistema de fallas tipo “cola de caballo” sensu lato, estos sistemas fueron muy bien descritos por Chinnery (1966), (Figura 4.3.d).

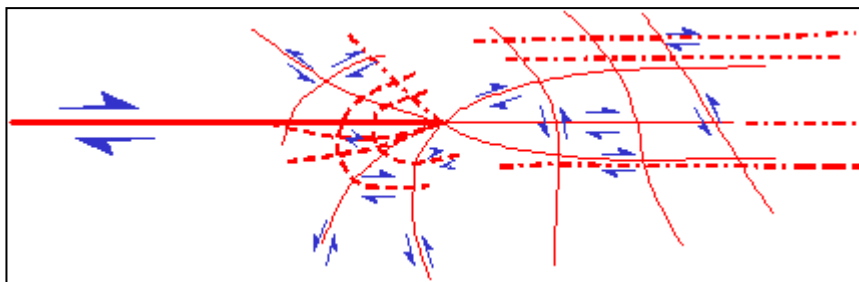


Figura 4.3.d: Esquema básico del sistema de fallas “Horsetail” (Chinnery, 1966).

A su vez el autor describe variantes al sistema básico, estos son:

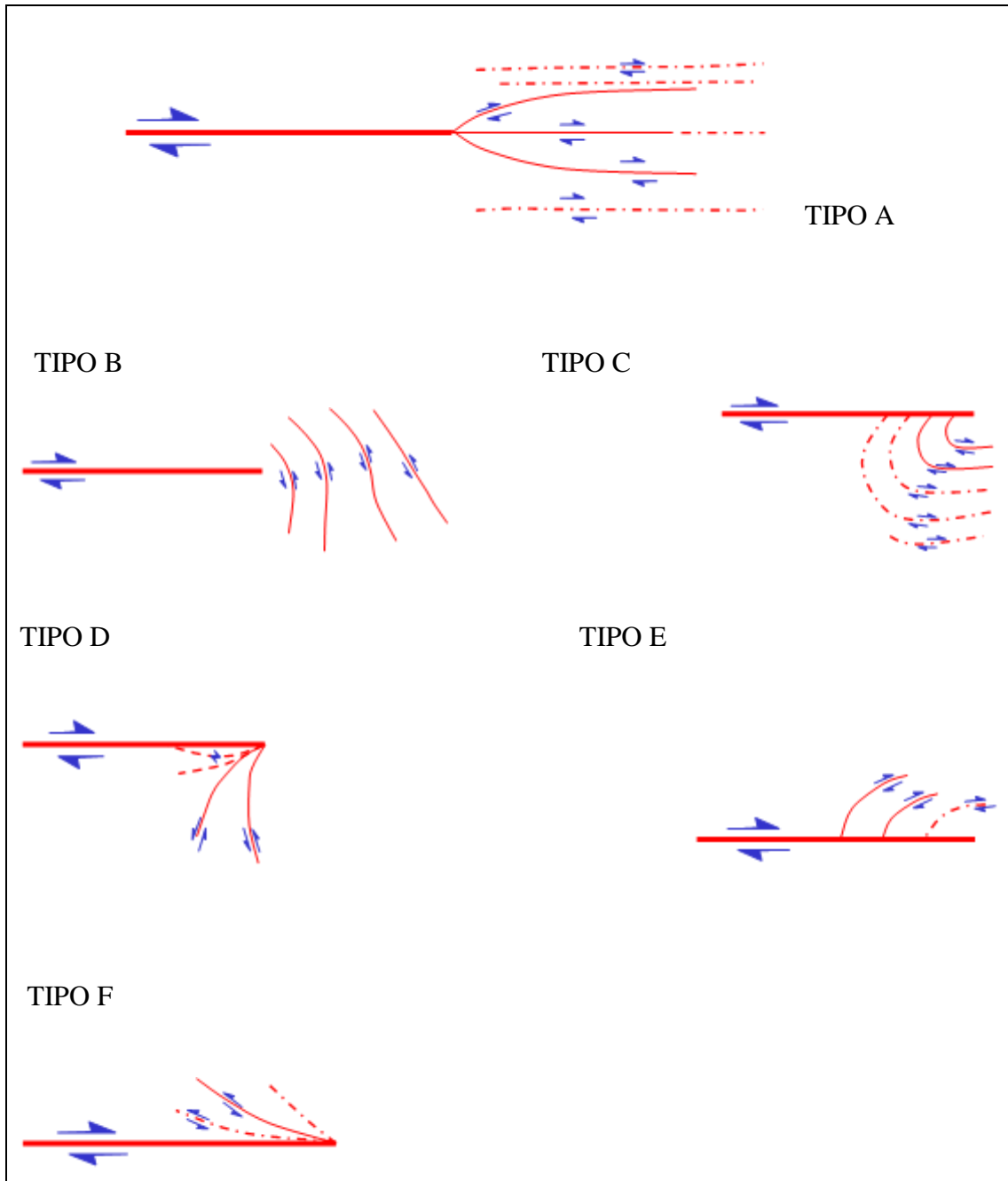


Figura 4.3.e: Variantes del modelo original "horsetail" (Tomado de Parra, 2000)

Estamos en presencia de un escenario que combina cizalla clásica con colapso per se, en el caso de cizalla clásica el esquema sería como sigue:

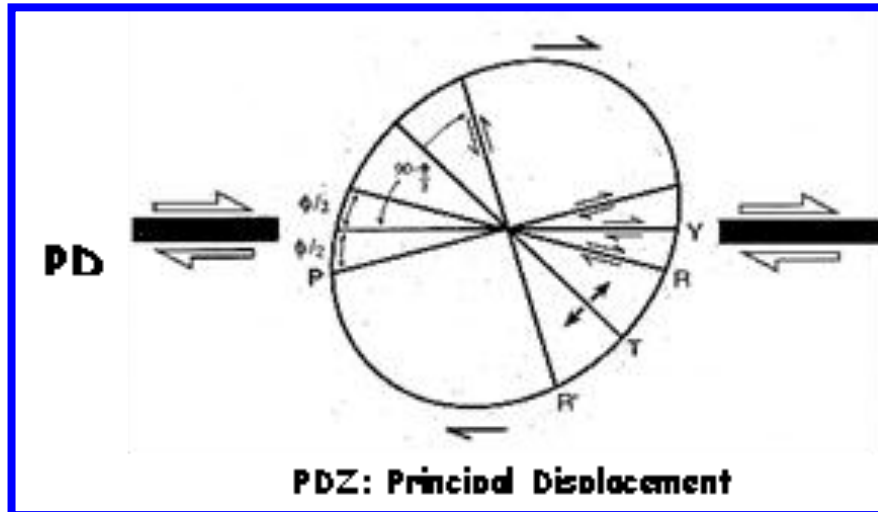


Figura 4.3.f: Esquema de cizalla clásica (Tomado de G. H., Davis et al., 1999).

La estructura de colapso de Orocuál corresponde a una depresión de forma elipsoidal, su eje más largo de 1500 m aprox., en sentido SO-NE, es decir, con la misma dirección del diapiro, su eje corto se encuentra en dirección casi perpendicular al eje principal. El diámetro promedio es de 3 kms, con un desnivel de 4200 pies (1280 m). La parte más profunda del hoyo está ubicada al norte, pozo ORS-21 penetró el tope de la Formación Carapita a -7631'. Figura 4.3.g.

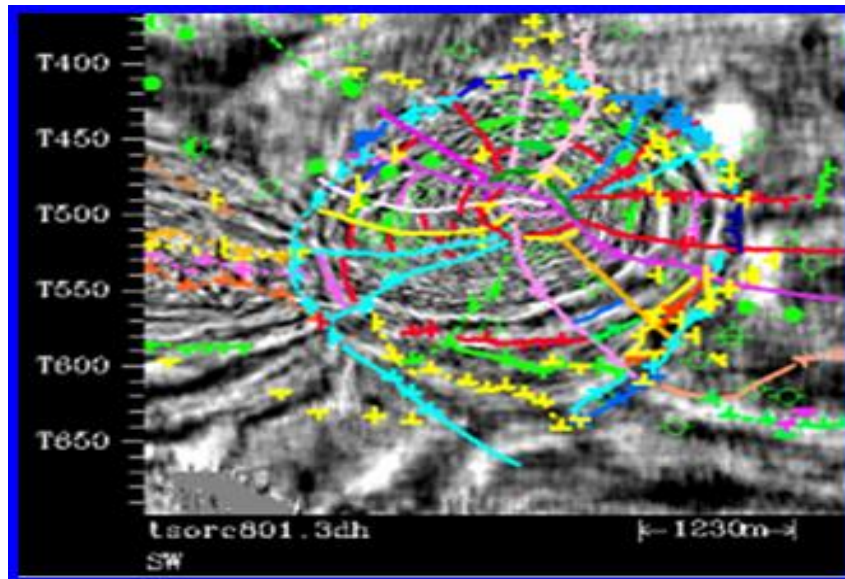


Figura 4.3.g: Área del colapso mostrando sus dos patrones de fallamiento. La “falla morada” sugiere un cizallamiento dextral. (Tomado de Parra, 2000)

Su peculiar fallamiento puede subdividirse en dos patrones, un patrón de fallas concéntricas subverticales de carácter normal, con saltos verticales desde 100 pies y hacia el norte del hoyo pueden superar los 2000 pies en la parte norte del hoyo, por ejemplo entre los pozos ORS-11 y ORS-12. El otro sistema de fallas es pseudoradial, también fallas subverticales, normales, generándose una gran cantidad de compartimientos estructurales, donde prácticamente cada pozo está en un bloque. De este segundo patrón de fallas destaca la falla color morado la cual refleja un movimiento de transurrencia dextral. El rango de buzamiento de las capas se encuentra en el orden de 14° - 54° , hacia el borde del hoyo se presentan los buzamientos más elevados, y sísmicamente todavía se observa buena señal. La cartografía dentro del hoyo se apalancó en el número de pozos concentrados en el hoyo, datos de buzamientos, datos de producción, secciones sísmicas horizontales y verticales.

La hipótesis se fundamenta en la combinación entre el tipo A y tipo B, la siguiente figura muestra los principales rasgos estructurales (Figura 4.3.h).

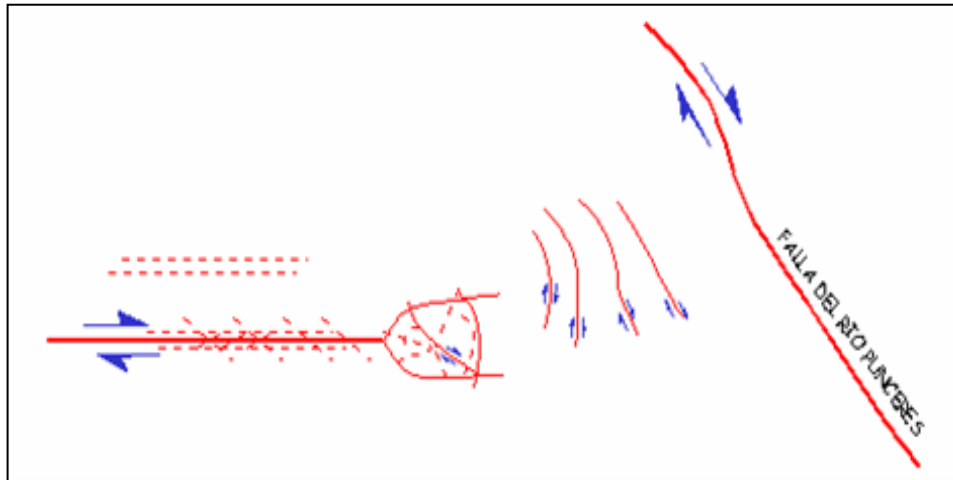


Figura 4.3.h: Rasgos estructurales principales del campo (Tomado de Parra, 2000).

El movimiento dextral está controlado por el movimiento de las fallas regionales del norte de la cuenca tal como se muestra en la figura 4.3.i.

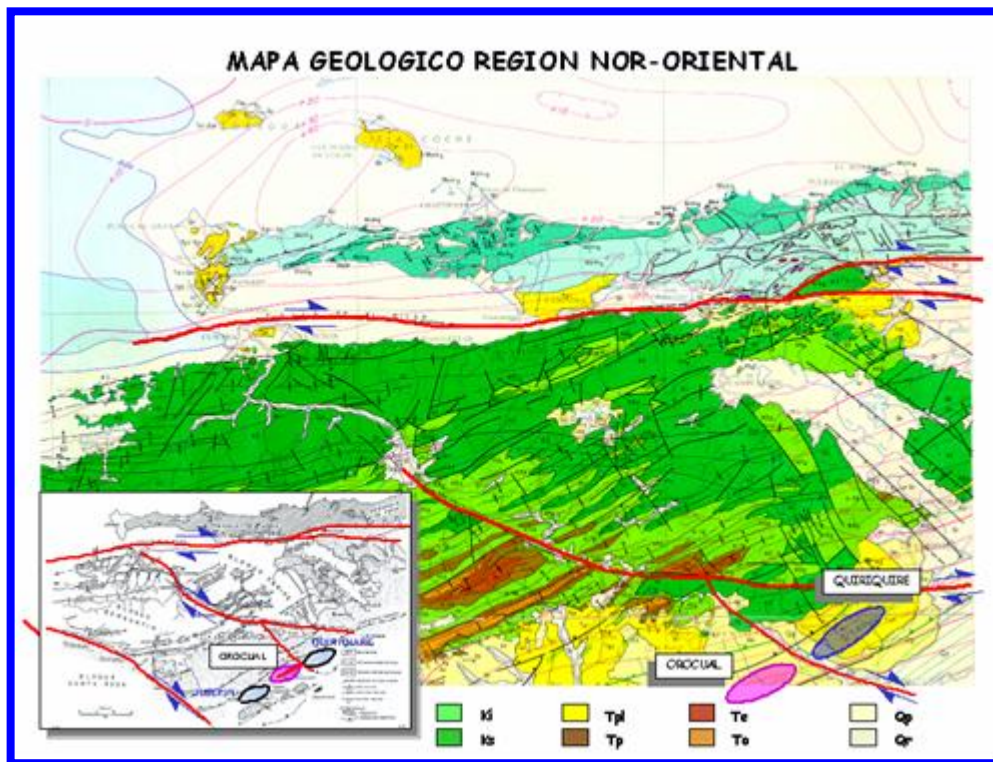


Figura 4.3.i: Mapa geológico de la región nor-oriental de Venezuela (Tomado de Parra, 2000).

En el caso del presente estudio, se muestra el comportamiento estructural de la unidad-yacimiento con la finalidad de ubicar las zonas más favorables para su desarrollo, o de riesgo de agua o gas.

4.3.1 Sección Estructural 1-1'

La sección estructural 1-1', fue elaborada adyacente a la estructura de colapso de Orocuál, en dirección N-S, con seis pozos involucrados (ORS-109, ORS-88, ORS-30, ORS-26, ORS-44, ORS-42) para visualizar la estructural existente producto del sistema de fallas normales presente en la zona. Por medio de ella se pudo apreciar en esta sección saltos suaves de hasta 50 pies. (Figura 4.3.1 y Anexo 2).

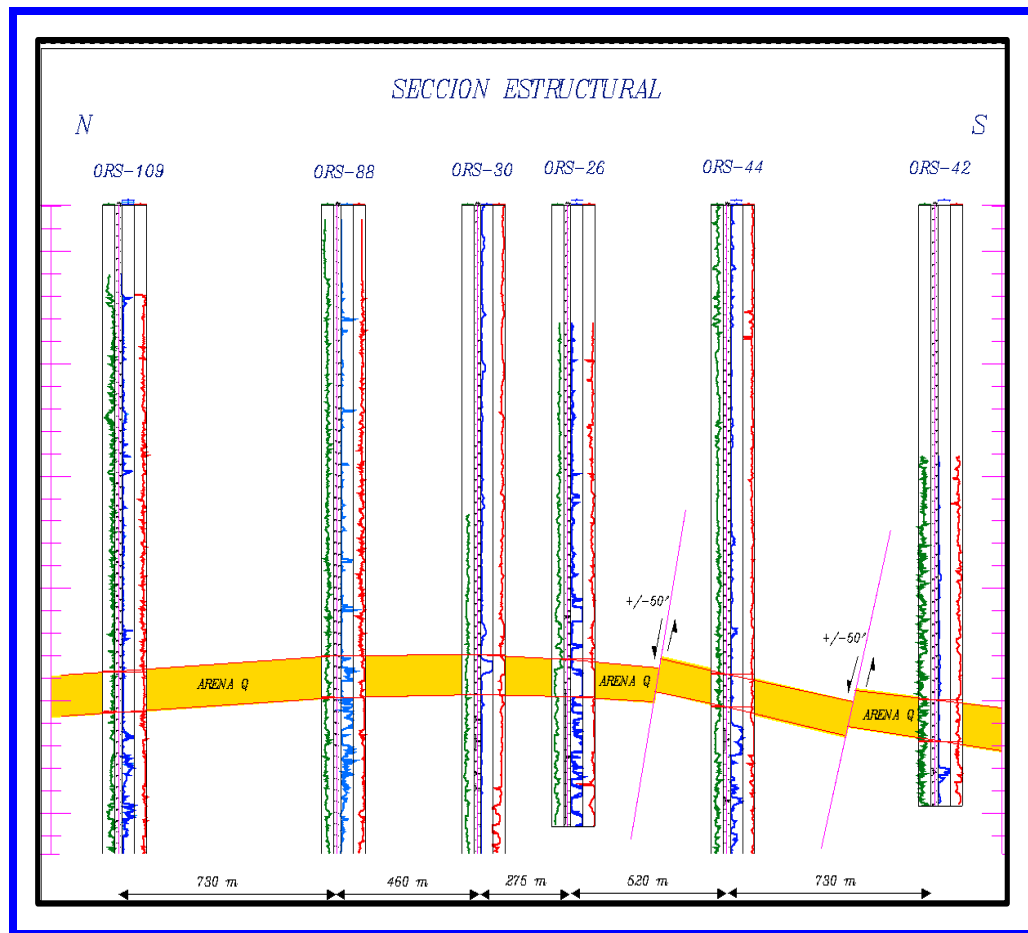


Figura 4.3.1: Sección Estructural 1-1', Arena "Q", Campo Orocuál.

4.3.2 Sección Estructural 2-2'

Realizada en dirección SO-NE muestra los pozos ORS-48, ORS-49 y ORC-37 con separaciones entre sí de 954m y 749m respectivamente. La arena en estudio evidencia una falla normal con salto de +/- 20 pies, con buzamiento hacia el NE. Cabe destacar que fuera de la estructura de colapso los saltos de las fallas son mucho más bajos que en la estructura de colapso de Orocuál, lo cual asevera la presencia de un homoclinal, el cual ha sido descrito en el marco teórico (Figura 4.3.2)

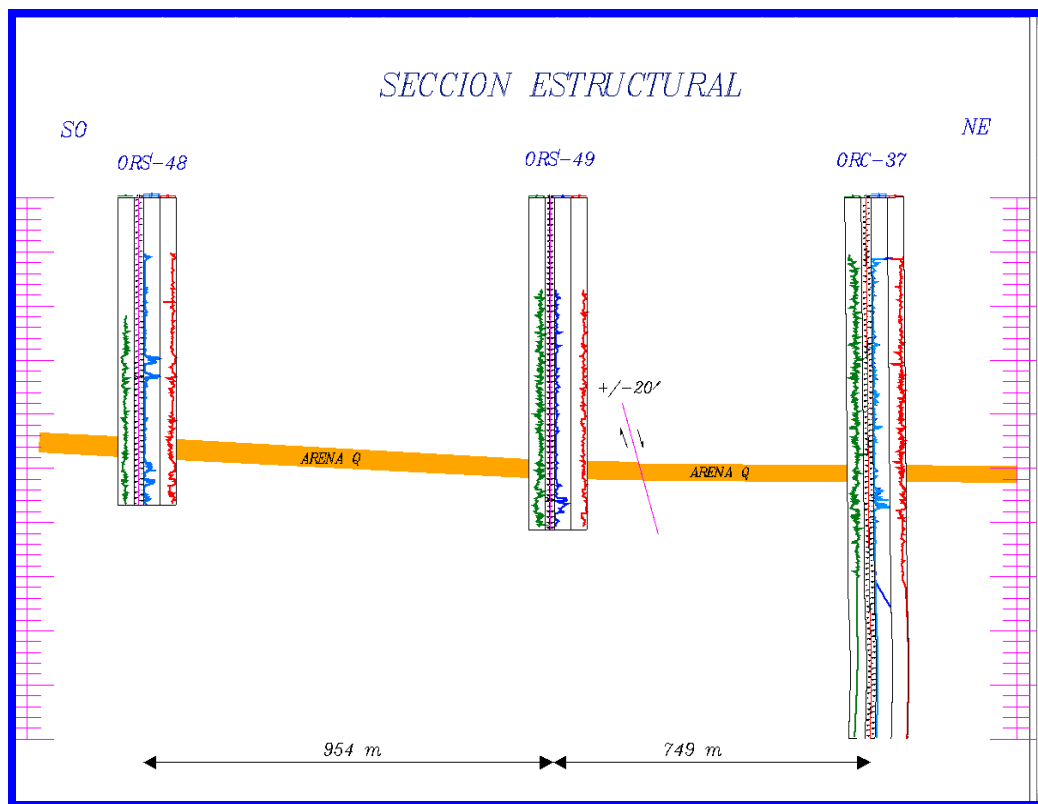


Figura 4.3.2: Sección Estructural 2-2, Arena "Q", Campo Orocuál.

4.3.3 Sección Estructural 3-3'

Elaborada en dirección NO-SE con tres pozos involucrados (ORS-57, ORS-55, ORS-52) de distancias entre sí de 502m y 280 m, muestra una falla de tipo normal con salto de +/- 20 pies, y buzamiento hacia el SE. Es importante resaltar que las fallas en la

Formación Las Piedras a nivel de Orocuál – Somero, todas son normales.(Figura 4.3.3).

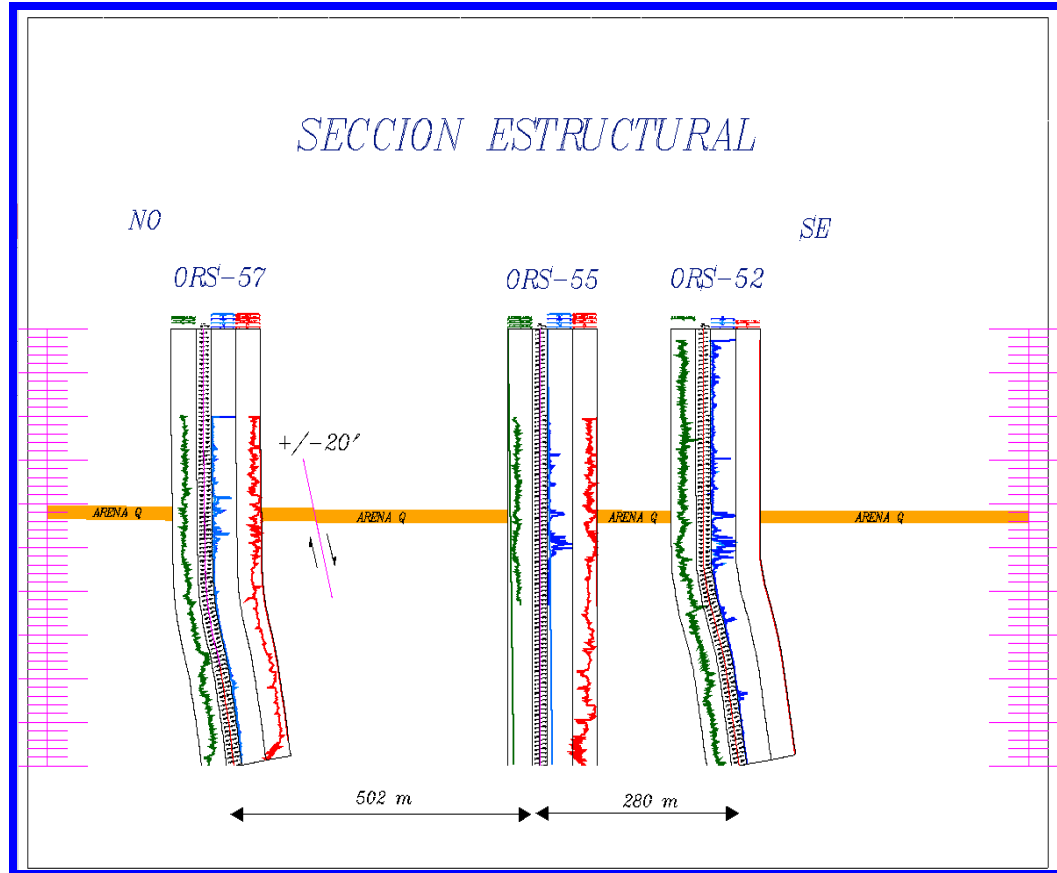


Figura 4.3.3: Sección Estructural 3-3', Arena "Q", Campo Orocuál.

En el presente estudio, la Arena "Q" de la Formación Las Piedras, se puede observar que los mayores espesores están desarrollados hacia el área sur del campo, adyacente al Hoyo de Orocuál (SE), donde los espesores van decreciendo hacia la dirección NO, lo que nos confirma que el sentido de sedimentación predominante es de NE-SO. Una vez hecho a mano este mapa, fue digitalizado con el programa corporativo SIGEMAP 8.0, con el cual posteriormente se realizó el cálculo de área y volumen del modelo estático de la Arena "Q".

El mapa estructural mostró varias tendencias con respecto a las estructuras localizadas en el Campo Orocual.

La estructura en el área norte del Campo Orocual - Somero corresponde a un homoclinal mostrando a través de los contornos estructurales un buzamiento hacia el Oeste, con fallas normales de rumbo N20°O al NE y N60°O al NO. También se observó la estructura de colapso (Hoyo de Orocual), ubicada hacia la zona SE del campo, está complejamente influenciada por un marcado tectonismo que definen un sistema de fallas normales y semi-verticales, que al ser cartografiadas representa un sistema de fallas concéntricas con desplazamiento hacia el centro, cuyo sistema la divide en bloques. Un anticlinal (estructura diapírica) fue evidenciado hacia el SO del Campo, con una tendencia NE-SO, la cual está dominada por un sistema de fallas normales con rumbos de N5°E, N20°O y N60°E. (Figura 4.3.4 y Anexo 3).

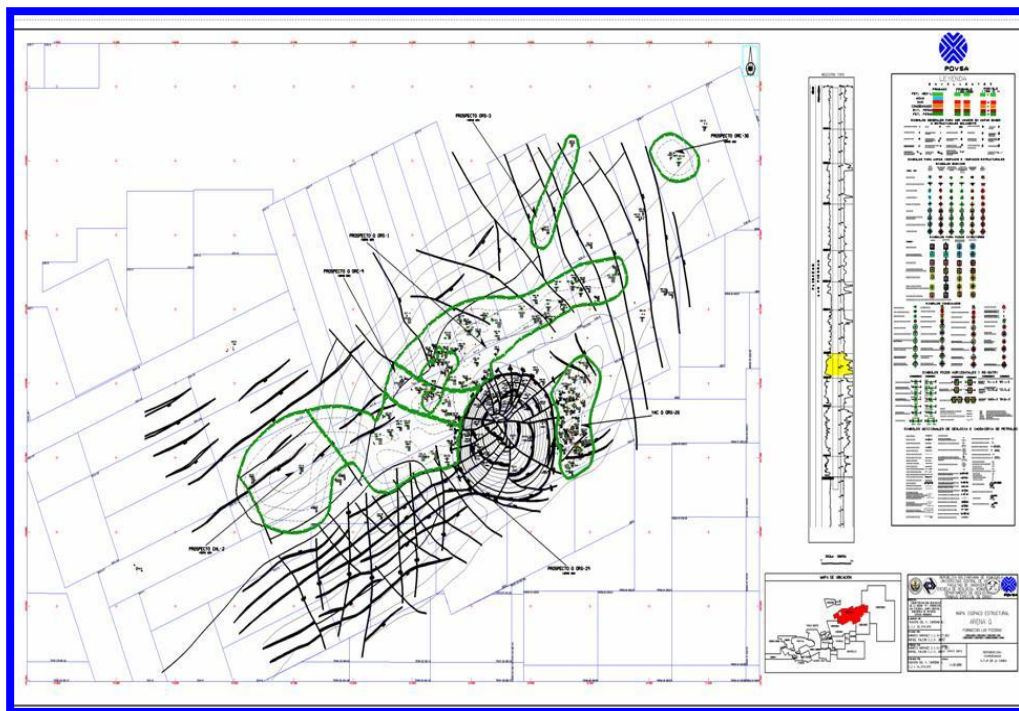


Figura.4.3.4: Mapa Isópaco – Estructural Arena “Q”, Campo Orocual. Escala 1:20000.

4.4 DELIMITACIÓN DEL YACIMIENTO

El sistema de entrapamiento de hidrocarburos del yacimiento delimitado en este estudio, YAC Q ORS-26 es de tipo mixto; es decir, estructural-estratigráfico, esto evidenciado por la presencia de fallas sellantes al este y oeste del yacimiento y un límite de roca que se encuentra enmarcando a los pozos involucrados en este. (Figura 4.4).

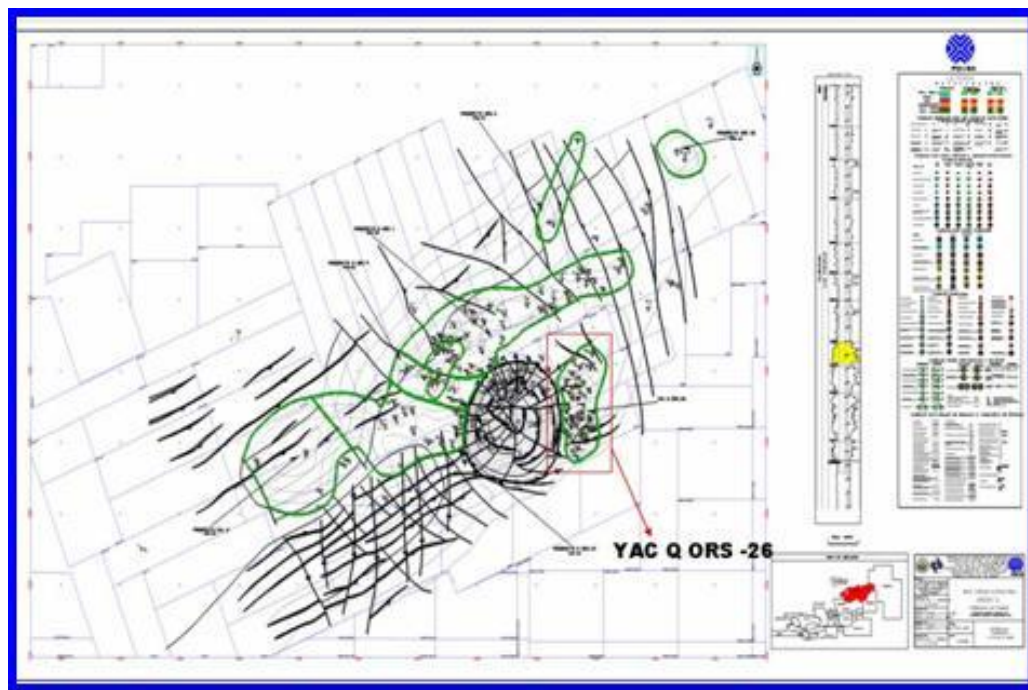


Figura 4.4: Delimitación del yacimiento de nombre YAC Q ORS-26, Arena “Q”, Campo Orocuai.

4.5 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PETROFÍSICAS

En el programa petrofísico PRIZM se generaron los sumarios de las distintas características de la roca. El promedio de porosidad, tomando en cuenta todos los pozos, es de 26%, lo que confirma que en las arenas la porosidad generalmente es menor a 40%; saturación de agua 25%, y volumen de arcilla 7%. Por otra parte también se obtuvieron los espesores de Arena Neta y Arena Neta Petrolífera. Todos

los valores de cada propiedad de la roca se encuentran en el Apéndice II de este estudio.

4.6 MAPAS DE ISOPROPIEDADES

En esta etapa se evaluaron los registros eléctricos y gráficos de los pozos involucrados realizados a partir de parámetros petrofísicos con la finalidad de determinar la calidad de roca de la unidad en estudio.

4.6.1 Mapa de Porosidad

El mapa de porosidad indica el espacio disponible de la roca para almacenar fluidos, es por ello que resulta de gran importancia esta propiedad. Las propiedades más óptimas se muestran hacia el SO y SE del yacimiento donde existe los mejores espesores de la Arena Q en estudio. Las porosidades de menor valor se encuentran hacia los mayores volúmenes de arcilla y por lo tanto zonas de menor energía de depositación.

En el mapa que se muestra a continuación se destaca claramente a lo largo del Yacimiento la existencia de los mejores valores, tomando en cuenta la escala de colores. La parte inferior de este mapa indica que hacia la zona azul oscura están los mayores porcentajes y hacia las tonalidades más claras, los menores porcentajes de dicha propiedad en el yacimiento (Figura 4.6.1 y Anexo 1).

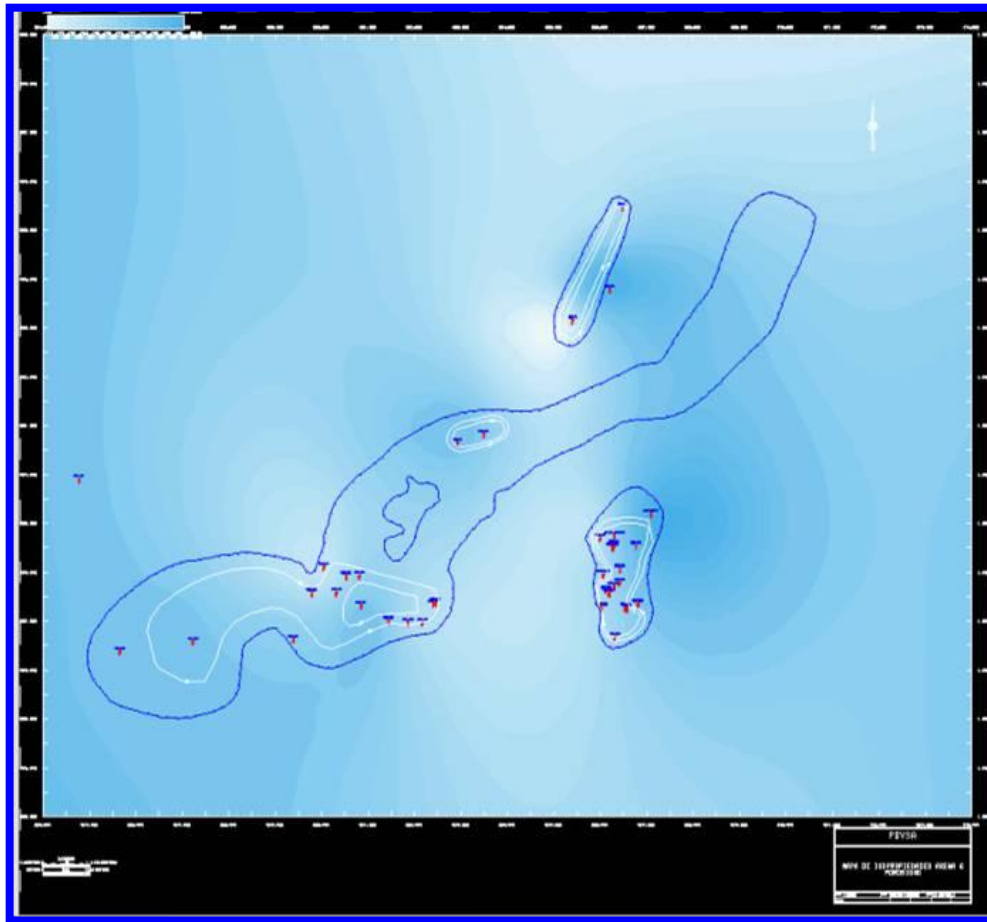


Figura 4.6.1: Mapa de Porosidad, Arena “Q”, Campo Orocuál

4.6.2 Mapa de Saturación de Agua

Esta propiedad nos indica el porcentaje de saturación de agua en todo el yacimiento. Los mayores porcentajes de saturación se ubican en el centro de los canales, y por ende son las zonas más prospectivas, los valores más bajos se localizan en el borde del yacimiento asociado a la llanura de inundación.

El mapa a continuación refleja de una manera visual la distribución de esta propiedad en el yacimiento y con ayuda de la escala de colores se observa una mejor interpretación. (Figura 4.6.2 y Anexo 2).

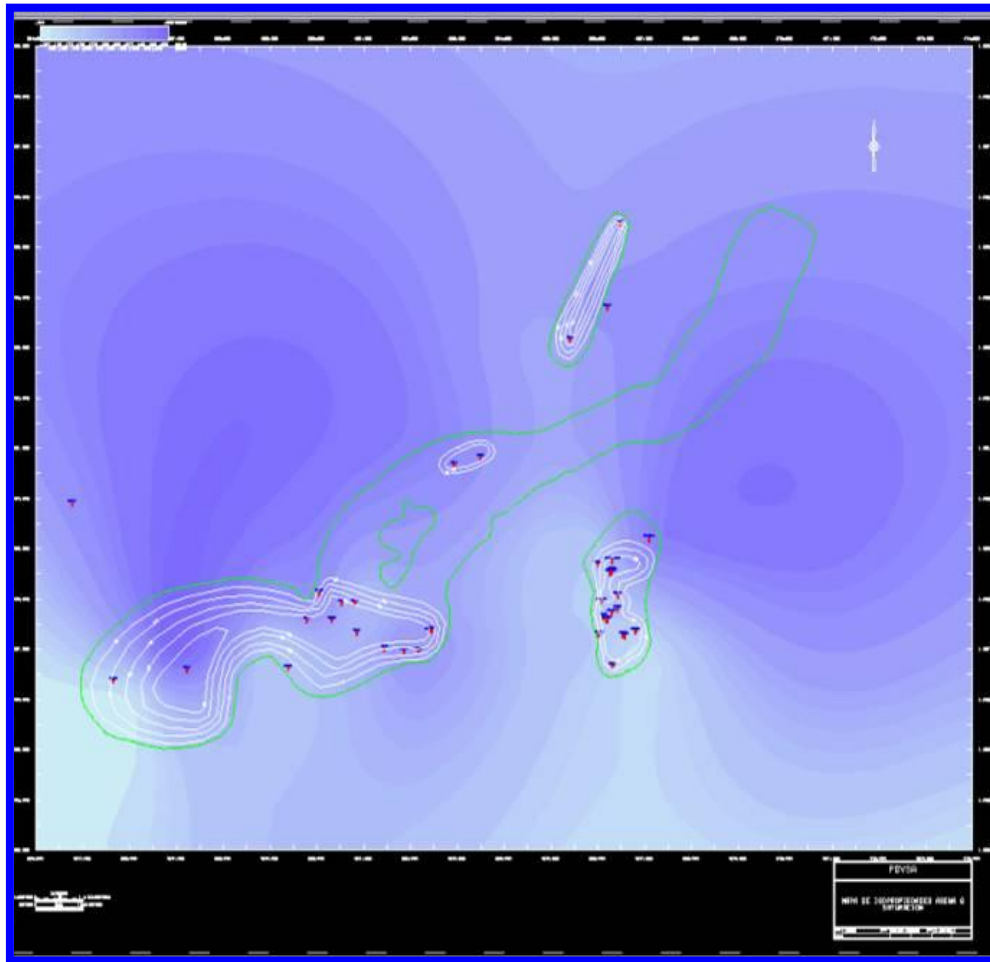


Figura 4.6.2: Mapa de Saturación de Agua, Arena “Q”, Campo Orocual.

4.6.3 Mapa de Volumen de Arcilla

Este mapa se enfocara en la distribución de arcillas a lo largo del yacimiento, pudiendo definir que los menores volúmenes varían de 2 a 15% hacia las zonas donde se encuentran los depocentros hacia el SE y SO del campo. Los mayores volúmenes se encuentran hacia las zonas cerca a las llanuras de inundación. (Figura 4.6.3 y Anexo 3).

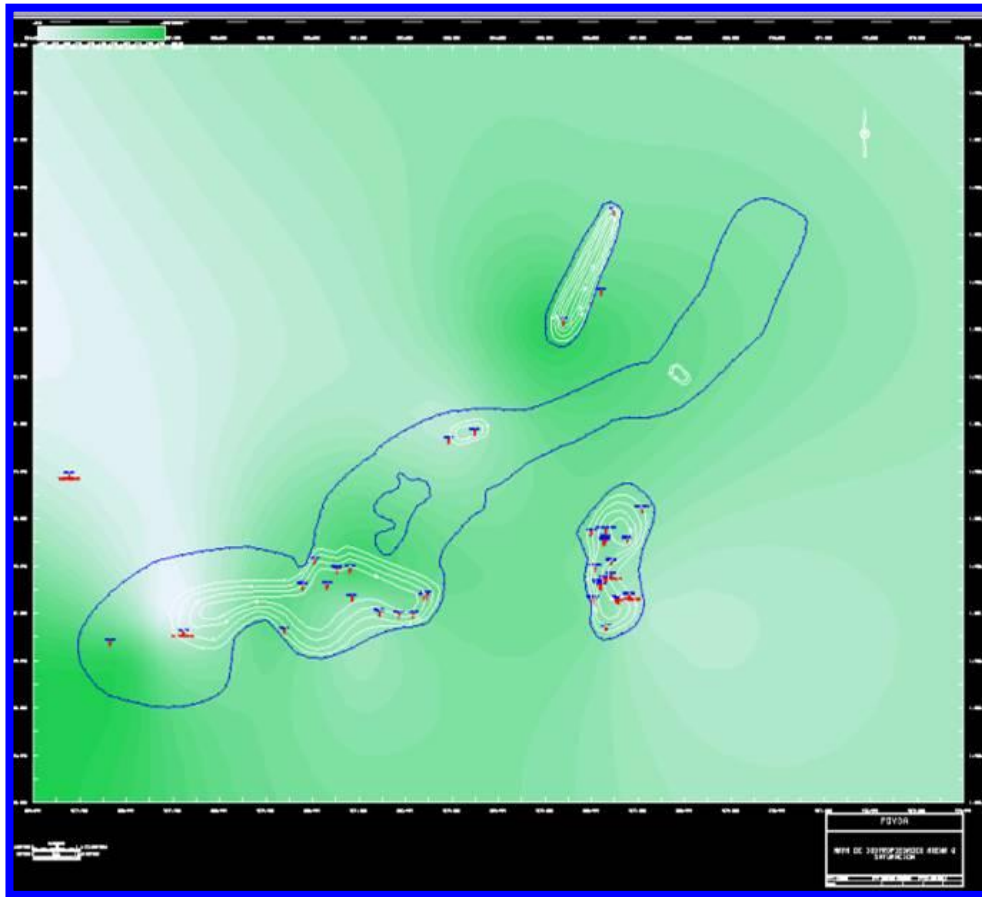


Figura 4.6.3: Mapa de Volumen de Arcilla, Arena "Q", Campo Orocuai

En conclusión las mejores zonas de este estudio se enfocaran donde se encuentran los mayores valores de porosidad y permeabilidad, y los menores porcentajes de arcilla y saturación de agua en el yacimiento.

4.6.4 Mapa de Arena Neta (AN)

Corresponde al espesor total de la arena en la formación a evaluar. Para obtener este valor se colocó en el programa PRIZM tope y base de la arena y se generaron los sumarios, pudiendo observar así los mayores y menores espesores de roca de todo el yacimiento. Es importante destacar que los resultados de la evaluación petrofísica de cada pozo se comprobaron en el programa corporativo PETROWORK observando la arena a través de los registros y así ver si cotejaban los posibles resultados.

En el siguiente mapa se observan claramente las zonas de mayores espesores de arena neta, y la escala de colores muestra la variación de espesores a lo largo de todo el yacimiento; lo más marrón los mayores y lo más tenue los menores espesores de arena neta. (Figura 4.6.4 y Anexo 4)

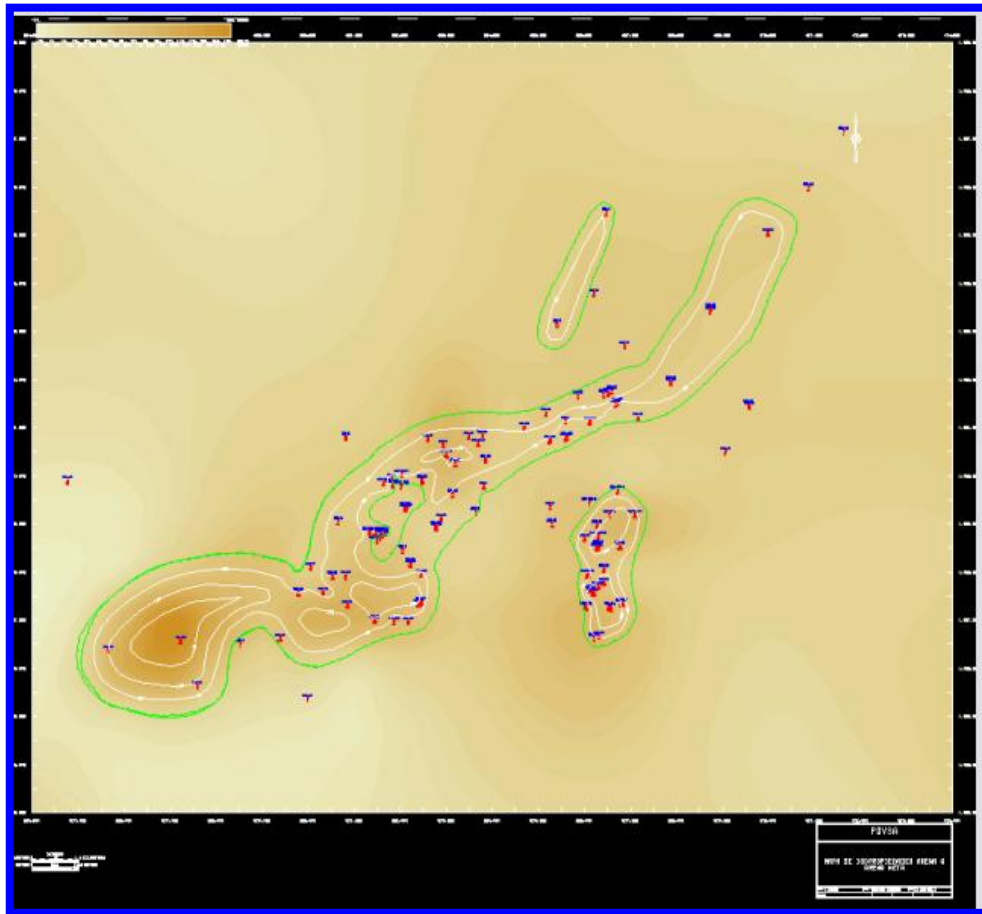


Figura 4.6.4: Mapa de Arena Neta (AN), Arena "Q", Campo Orocuál.

4.6.5 Mapa de Arena Neta Petrolífera (ANP)

La arena neta petrolífera es el número de pies en la columna de arena del pozo que puede ser considerada como productora de hidrocarburo. El conteo de ANP es determinante en la caracterización de los yacimientos. El mapa a continuación ilustra la arena neta petrolífera a lo largo de todo el yacimiento. Se puede apreciar que los mayores espesores señalados se encuentran en el rango de 150-170 pies, así como

también la escala de colores permite ver hacia donde disminuyen y aumentan dichos espesores. De color azul los mayores espesores y de color morado los menores espesores de esta. (Figura 4.6.5 y Anexo 5).

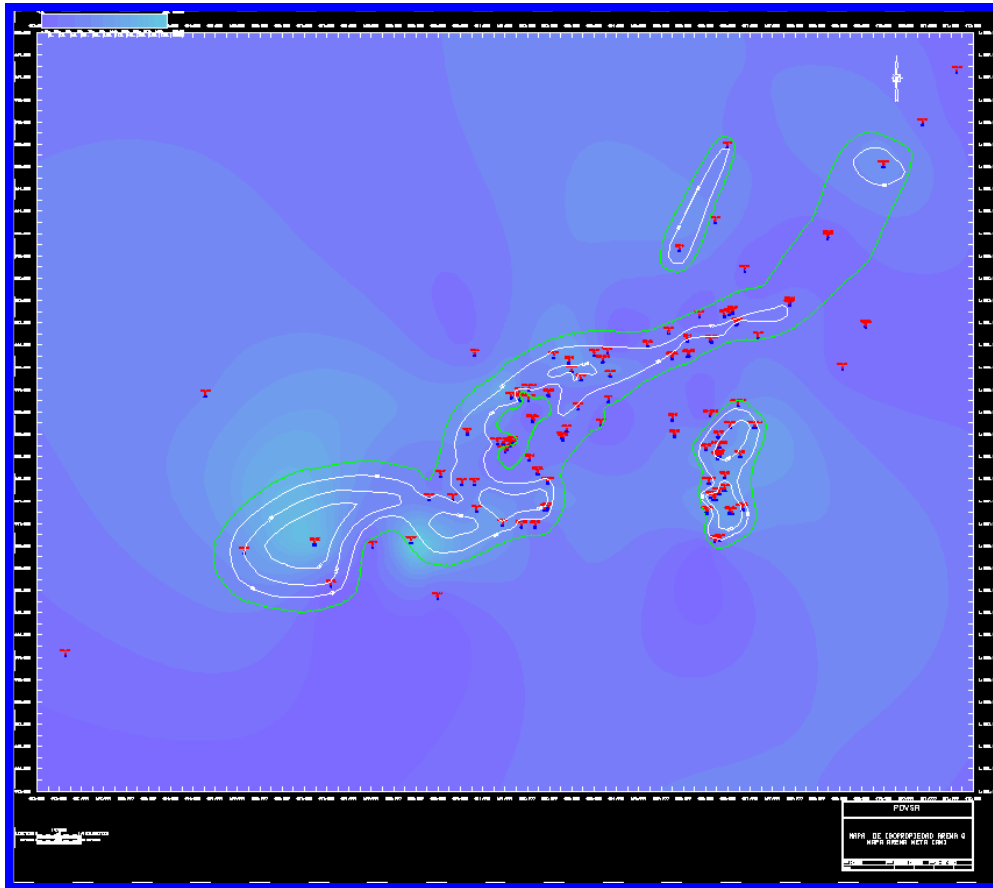


Figura 4.6.5: Mapa de Arena Neta Petrolífera (ANP), Arena “Q”, Campo Orocuál.

4.7 INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DEL MAPA DE PALEOAMBIENTE

En el mapa de paleoambiente se puede observar que el sentido de sedimentación es del NE al SO, donde los mayores espesores están ubicados hacia el sur del yacimiento, mostrando facies de relleno de canal, y facies de llanura de inundación. El ambiente sedimentario pertenece a un ambiente transicional deltáico con dominio fluvial (Figura 4.7 y Anexo 6).

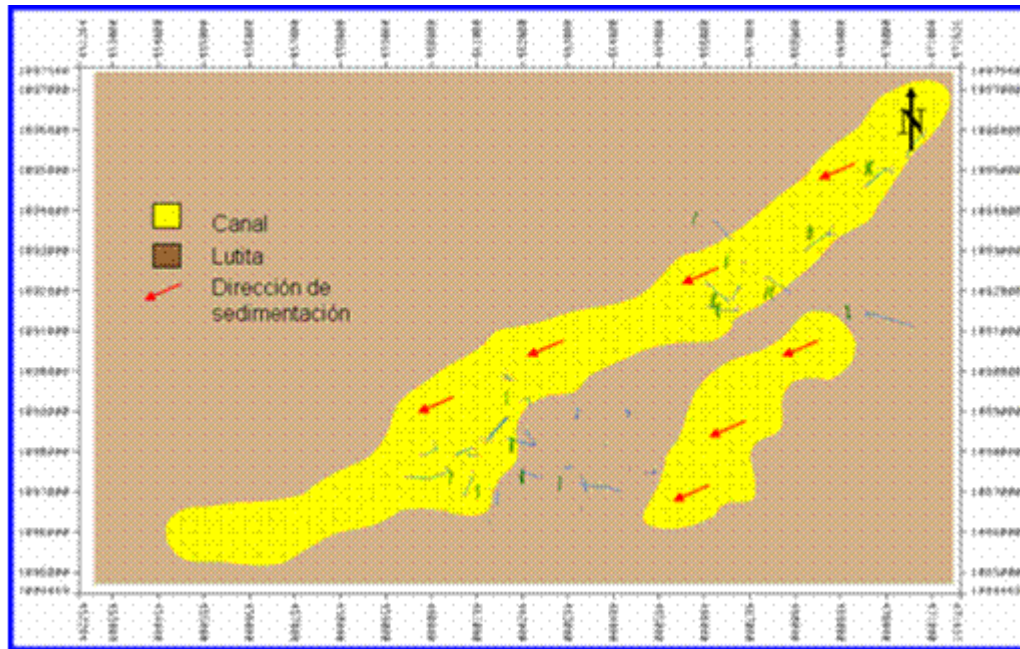


Figura 4.7: Mapa de Paleambiente, Arena "Q", Campo Orocuál.

4.8 CÁLCULO DE ÁREA Y VOLUMEN

Con la aplicación SIGEMAP 8.0 se creó un archivo con la combinación del nombre del mapa, yacimiento, área y volumen, que contiene los resultados del cálculo almacenado en la carpeta: \Sigemap\Sigemap_data\Unidad de Explotación\Area\Trabajo\mizar. El área del yacimiento Q ORS-26 aumentó a un área total de 931,75 Acres y el volumen del mismo incrementó a 57.413,61 Acres/Pies esto respecto al mapa oficial realizado en el año 2005. El resultado del YAC Q ORS - 26 con los cálculos de área y volumen es mostrado en el siguiente cuadro (Figura 4.8).

Tabla 4.8: Cálculo de área y volumen del yacimiento Q ORS-26, Arena Q, Campo Orocuál.

CÁLCULO DE ÁREA Y VOLUMEN		Fecha : 14-09-2012		
ARENA: Q				
Yacimiento: YAC Q ORS-26				
Tipo: PROBADAS				
Material: PETROLEO PESADO				
Recurso: PROBADAS				
Area Total (m ²)	:	3.770.754,117763		
Area Total (Acres)	:	931,753342		
Vol. Total (m ³)	:	70.820.196,653996		
Vol. Total (Acres-Pies)	:	57.413.619,269		
Nombre Parcela	Area (m ²)	Area - Acres	Volumen (m ³)	Volumen Acres-Pies
MOLICIE	637.153,620903	157,440660	8.572.723,942143	6.949,869271
MOLINETE	1.404.668,028507	347,093470	29.455.970,148386	23.879,824333
MOLINITO	821.247,345411	202,930219	17.649.076,428708	14.308,027969
MOLLA	788.758,976385	194,902343	14.798.801,675229	11.997,322871
2054	74.865,870949	18,499357	265.331,235972	215,102856
2053	44.060,275610	10,887294	115.529,095464	93,658925

4.9 PROPUESTA DE LOCALIZACIONES

Una vez realizada la Cartografía Geológica se descartaron zonas con riesgo geológico, factores geológicos incidentes en problemas de producción, límite de yacimiento, zonas de baja permeabilidad y/o alta saturación de agua.

Con base a lo anteriormente planteado, para la Arena “Q” del yacimiento Q ORS-26 se propone un (1) pozo vertical en la región NE, con coordenadas X: 466700; Y: 1088890. Comprobando que sus espesores de Arena Neta y Arena Neta Petrolífera son de 124 pies respectivamente; lo que significa que en su totalidad en este pozo la arena es netamente productora y posee porosidad y permeabilidad óptima para tal localización. Se toma como referencia los pozos adyacentes, tal y como es mostrado en el mapa a continuación (Figura 4.9) y más a detalle en la figura 4.9.1 para su definición. Para ello, se correlacionó en base a los pozos vecinos y se apreció claramente el comportamiento general de la arena y sus propiedades petrofísicas

(porosidad y permeabilidad) dando como resultado que dichos pozos son productores, lo que evidencia que la mejor localización a nivel de este yacimiento es la propuesta.

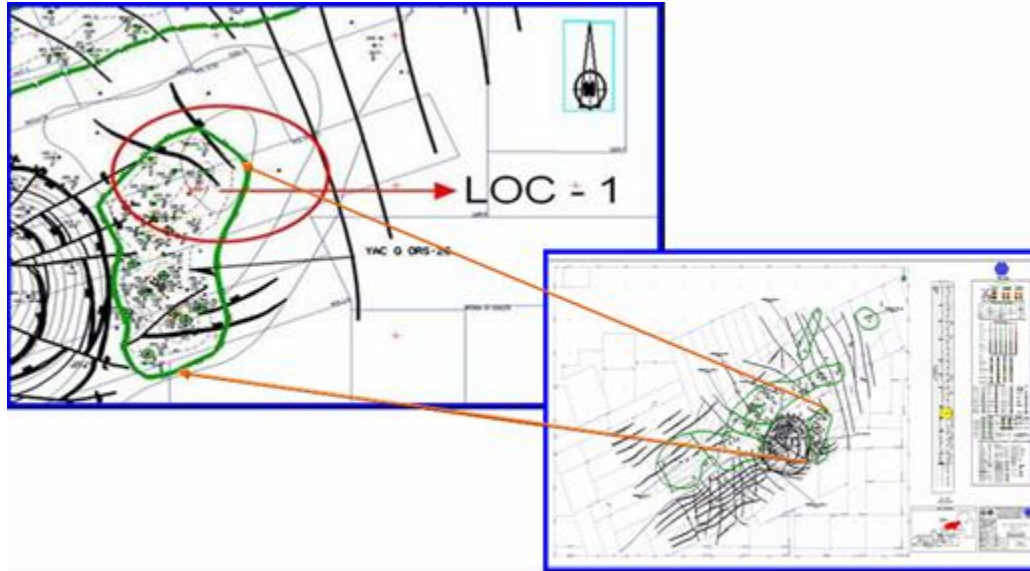


Figura 4.9: Propuesta de la localización en el yacimiento Q ORS-26. LOC-1, Arena Q, Campo Orocuai extraída de la imagen del mapa isópaco-estructural creado.

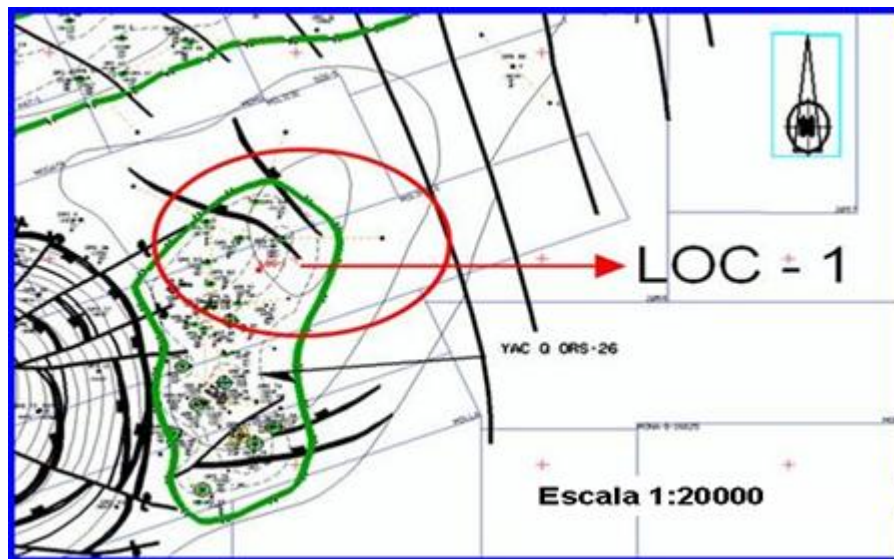


Figura 4.9.1: Propuesta de la localización en el yacimiento Q ORS-26. LOC-1, Arena Q, Campo Orocuai.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis estratigráfico para la Arena “Q” en el campo Orocuai, mediante correlaciones de los pozos involucrados y de acuerdo al comportamiento de la misma, se generaron nuevos topes de TVDSS en 35 pozos.
- El modelo estratigráfico muestra continuidad de la Arena “Q”, donde predominan facies de canal entrelazados, presentando los mayores espesores hacia el centro de éste.
- El análisis estructural del área muestra fallas normales de rumbo N20°O al NE y de rumbo N60°O al NO. A su vez, se observaron fallas semiverticales y concéntricas con desplazamiento hacia el centro, lo cual afirma la presencia de la estructura de colapso.
- El sistema de entrapamiento de hidrocarburos del yacimiento YAC Q ORS-26 es de tipo mixto, estructural-estratigráfico, esto evidenciado por la presencia de fallas sellantes al Oeste y Este del yacimiento y límite de roca que se encuentra enmarcando a los pozos involucrados en este.
- De acuerdo a las propiedades petrofísicas evaluadas y posteriormente analizadas de la Arena “Q”, las zonas más prospectivas del yacimiento se ubican al SO y SE del Campo.

- El ambiente sedimentario corresponde a un ambiente transicional deltáico con dominio fluvial, con relleno de canal con dirección de sedimentación del NE al SO del Campo Orocual.

- De acuerdo a la caracterización geológica realizada en la Arena “Q” el área del yacimiento YAC Q ORS-26 aumentó a 931,75 Acres de área total y el volumen del mismo incrementó a 57.413,61 Acres/Pies esto comparándose con el mapa oficial realizado en el año 2005.

- Producto de la evaluación petrofísica analizada y por poseer a su vez las mejores propiedades del área caracterizada, se propone hacia la zona NE del yacimiento YAC Q ORS-26 una (1) nueva localización, que trata de un pozo vertical cuyas coordenadas son X: 466700; Y: 1088890, (Loc-1).

RECOMENDACIONES

- Corroborar el modelo estático con la sísmica, con el objetivo de verificar los atributos de la Arena “Q” para de esta manera obtener una base sólida en los espesores de esa unidad y cotejar la continuidad de las arenas.
- Caracterizar los modelos estáticos de las arenas restantes que conforman la columna estratigráfica de la Formación Las Piedras en el Campo Orocuál.
- Realizar la reinterpretación petrofísica con los modelos actualizados y utilizando los programas como PRIZM y PETROWORK (aplicación de Landmark) para optimizar los resultados y generar modelos estáticos más precisos.
- Elaborar el modelo dinámico de la arena en estudio a partir del modelo estático ya creado y comparar los valores del cálculo de área y volumen de ambos modelos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALFONSI, P. (1999).** Sedimentología de clásticos y electrofacies. Centro internacional de educación y desarrollo (CIED), filial Petróleos de Venezuela, **S.A.**, 27-37 p.
- CANT, D. (1982).** Fluvial facies model and their application, en: sandstone depositional environments. American association of petroleum geologist. Memoir 31. Tulsa, Oklahoma, U.S.A. 115-137 p.
- 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.
- CORRALES, I. (1977).** Estratigrafía. Editorial Rueda. Madrid, 293-413 p.
- CORPOVEN EGEPE CONSULTORES, S.A. (1981).** Estudio técnico de los yacimientos NODOSARIA-15.
- FLORES N., (2000).** Revisión geológica de la Formación Las Piedras en el campo Orocuai. Tesis de grado para optar al título de ingeniera geóloga. U.D.O. Bolívar.
- 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.
- GALLOWAY, W. y HOBDDAY, D. (1983).** Terrigenous clastic depositional systems. Applications to petroleum, coal, and uranium exploration. Segunda edición. Springer, New York. 423 p.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C (1980)** Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas. Venezuela. 643-650 p
- GONZÁLEZ A., VÁSQUEZ, D (2005).** 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. Tesis de grado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

- 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.
- LAGOVEN, Departamento De Geología y Explotación (1984).** Estudio geológico de la extensión noreste, campo Jusepín, Yacimiento NODOSARIA-15.
- LAGOVEN. (1986).** Estudio técnico-económico del Yacimiento NODOSARIA-15 Este, Campo Jusepín.
- READING, H. (1986).** Sedimentary environments and facies. Segunda Edición. Blackwell Scientific Publications. Londres, Inglaterra. 615 p.
- PARRA, G (2000).** Interpretación sísmica estructural 3D, campo Orocuál Somero. Unidad de explotación norte. Maturín. Informe Técnico. PDVSA - Maturín.
- PDVSA. CIED. (1990).** Nociones petrofísicas. Editado por PDVSA - CIED.
- PDVSA-CIED (1997).** Evaluación de formaciones. Segunda versión.
- PDVSA. CIED (1997).** Mapas geológicos del subsuelo. Segunda Versión p 23-26.
- REQUENA, G (2004).** Caracterización geológica de la Arena “M” perteneciente a la Formación Las Piedras en el campo Orocuál Somero, Subcuenca de Maturín, Cuenca Oriental de Venezuela. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo. U.D.O. Bolívar.
- SERRA, O. (1988).** Estudios estratigráficos y tectónicos mediante perfiles de pozos. Impresos Edipubli S.A (Schlumberger). 73-85 p.
- SERRA, O. (s/a).** Análisis de ambientes sedimentarios mediante perfiles de pozos. Schlumberger. 131-178 p.
- TOTAL OIL & GAS VENEZUELA. (1994).** Estudio geológico del yacimiento NODOSARIA-15.
- TEARPOCK, D., BISKECHKE, R. (1991).** Applied subsurface geological mapping. Prentice Hall, Engelwood Cliffs, New Jersey.
- WALKER, R., JAMES, N. (1992).** Facies model response to sea level change. Geological association of Canada. St. John’s, Newfoundland, Canada; 409 p.

CEGARRA S., (2007). Estudio geológico y geoelectrico del yacimiento fosilifero ORS-16 en el campo Orocual, estado Monagas. La tesis se encuentra en <http://www.gc.usb.ve/geocoordweb/Tesis/Pre/Sasha%20Cegarra.pdf>.

GIL C., (2007). Estudio de la optimización de productos químicos durante la perforación en la macolla 1 y 2 en el área de Orocual-Somero del estado Monagas. La tesis se encuentra en <http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/399/1/Tesis-IP007-G305.pdf>

HEDBERG, H. et al. (2005). Iowa university, department of civil and environmental engineering 2005. Delta Nilo. Se encuentra en: www.engineering.uiowa.edu/..../images/free9.jpg,

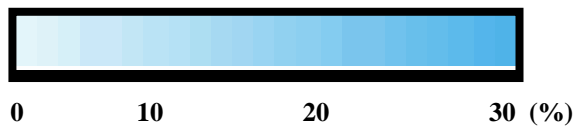
MARÍN, A., y MONTILLA, L., (2009). Caracterización de un yacimiento composicional en el campo Orocual, cuenca Oriental de Venezuela. X simposio bolivariano exploración petrolera en cuencas subandinas, Cartagena, Colombia.

Léxico estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela (2010) versión electrónica (<http://www.pdvsa.com/lexico/lexicoh.htm>)

ANEXOS

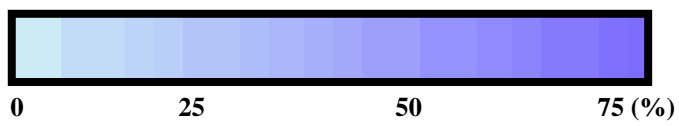
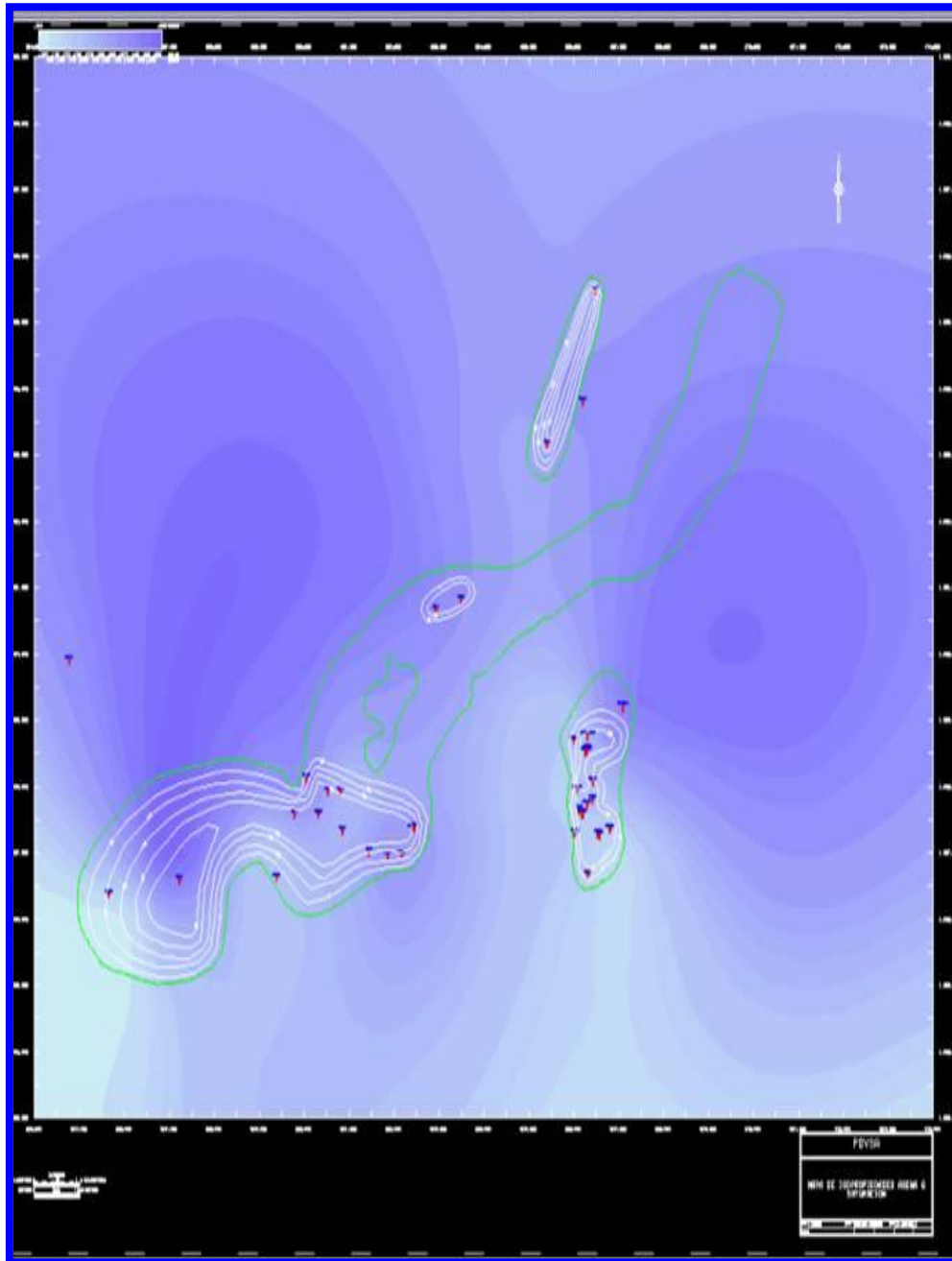
ANEXO 1

Mapa Porosidad



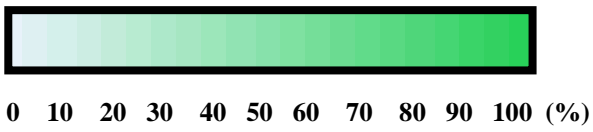
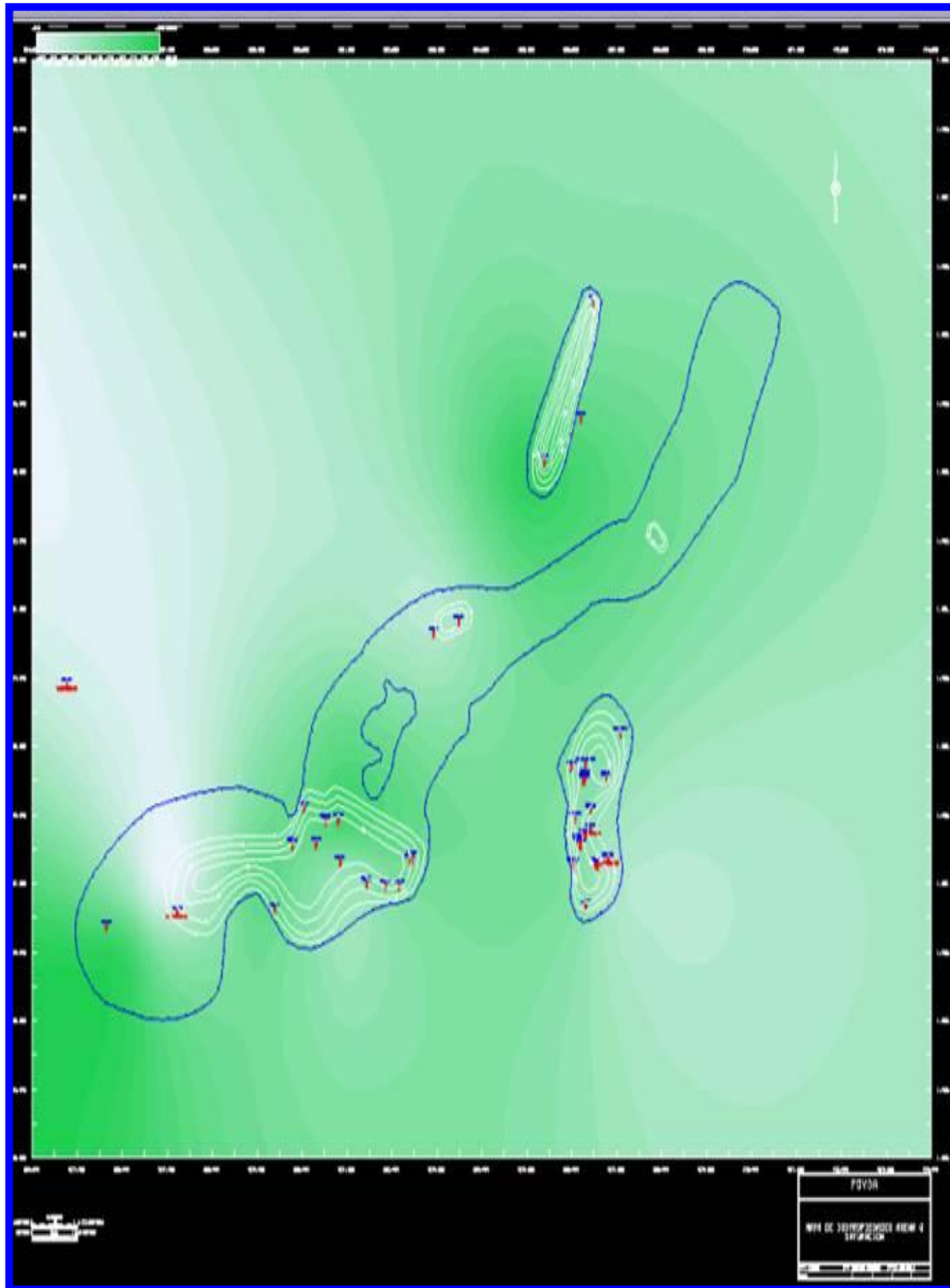
ANEXO 2

Mapa Saturación de Agua



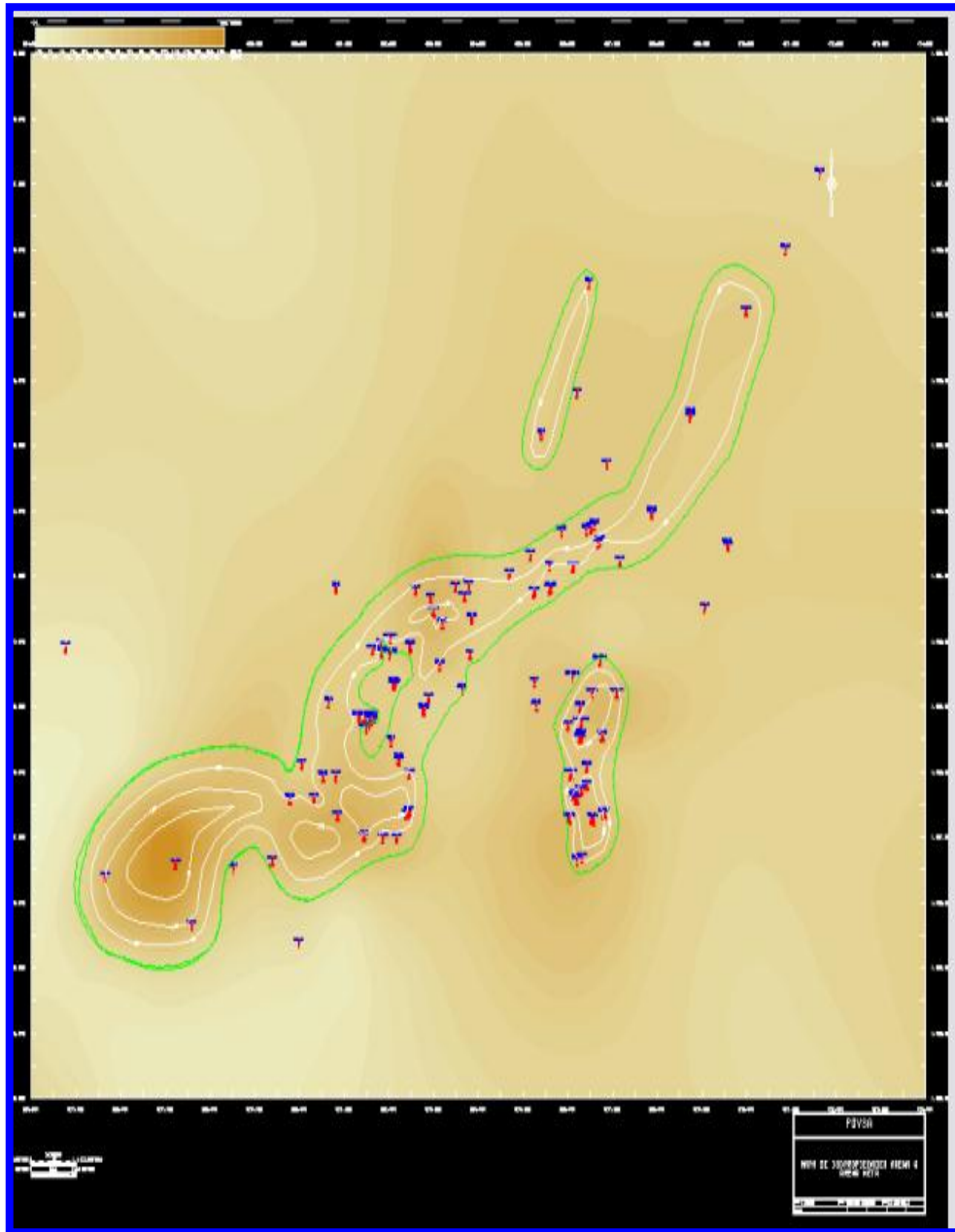
ANEXO 3

Mapa Arcillosidad



ANEXO 4

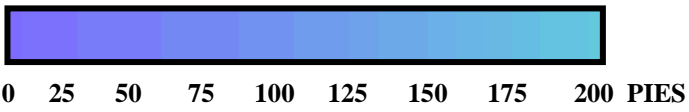
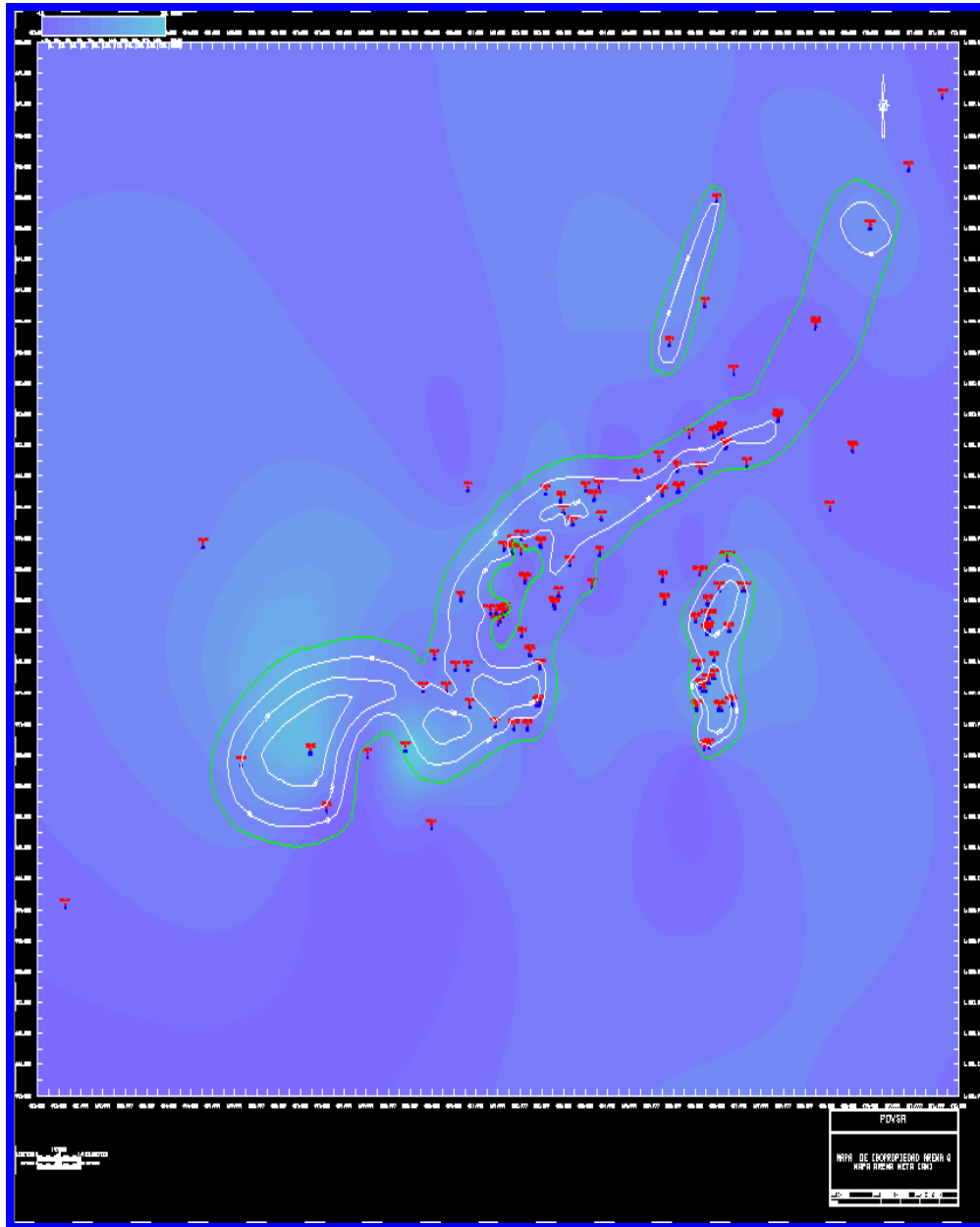
Arena Neta (AN)



0 20 40 60 80 100 120 140 160 200 PIES

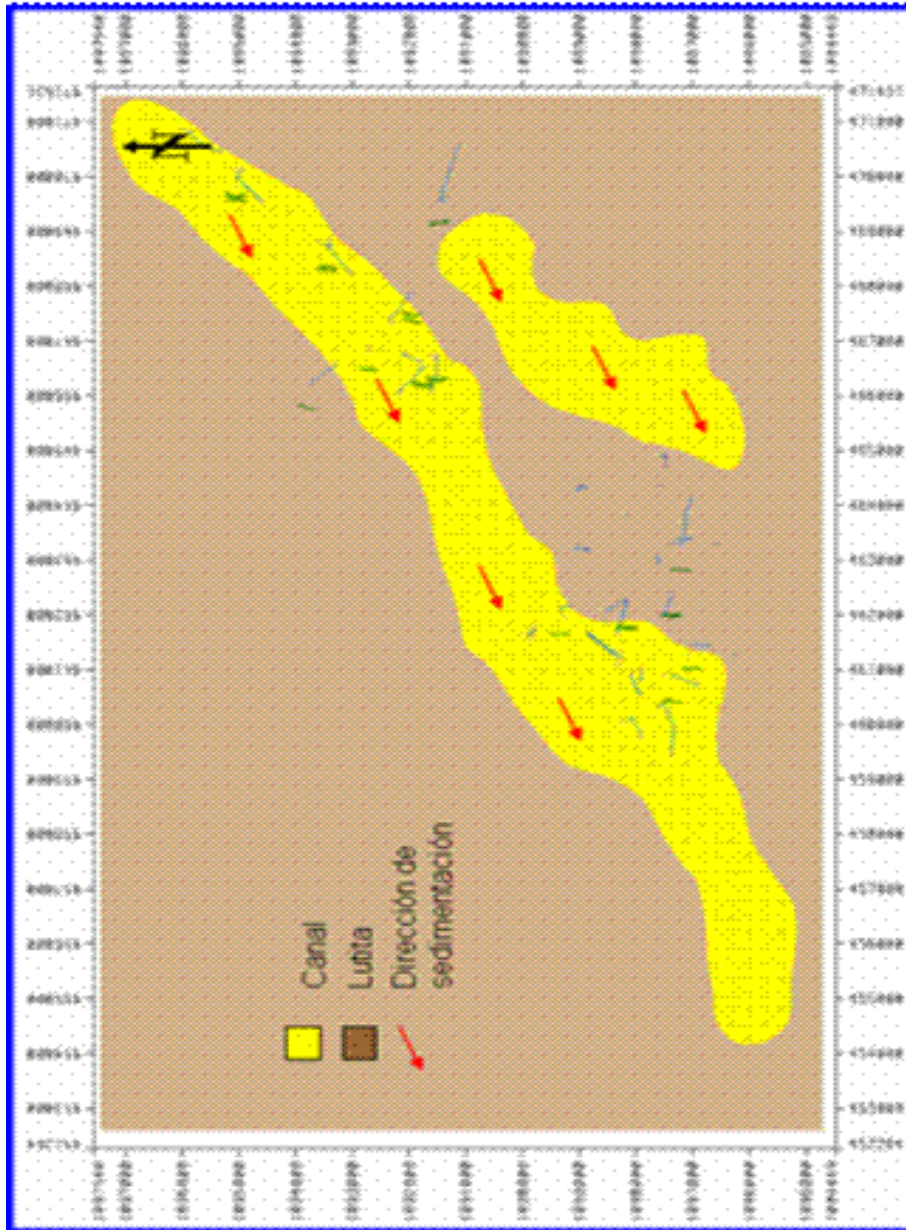
ANEXO 5

Arena Neta Petrolífera (ANP)



ANEXO 6

Mapa de Paleambiente



APÉNDICES

APÉNDICE I

GLOSARIO

Ambiente sedimentario: se define como una parte de la superficie terrestre caracterizada por un conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas, bajo las cuales se acumulan los sedimentos. Tal conjunto de condiciones incluye la geología, el clima, la flora y la fauna, y si el ambiente es subacuático, profundidad, salinidad, temperatura y movimiento del agua. Las propiedades de los sedimentos depositados en un ambiente determinado, estarán altamente influenciadas por las características de ese ambiente. (Alfonso, P. 1989).

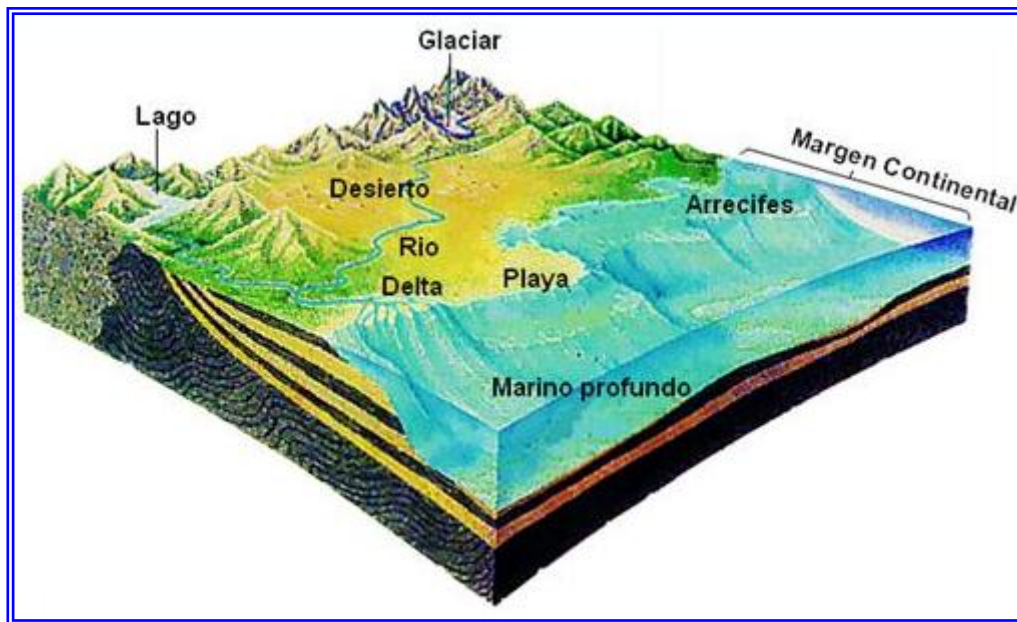


Figura 1: Diferentes tipos de ambientes sedimentarios (Schlumberger, 2006).

Base de datos: es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso.

Correlaciones estratigráficas: establece la relación entre dos o más columnas estratigráficas de zonas distantes.

Correlación geológica: la correlación de registros de pozos es una actividad fundamental para la interpretación de unidades en el subsuelo, tiene como finalidad determinar e identificar unidades estratigráficas y estructurales que son equivalentes en tiempo, edad, o posición estratigráfica. Constituye la fuente generadora de mapas del subsuelo e interpretaciones con el propósito de explorar y explotar reservas de hidrocarburos (Díaz, A. 2006).

Falla: una falla es una fractura que separa dos bloques de roca, los cuales pueden deslizarse uno respecto al otro en forma paralela a la fractura. A cada deslizamiento repentino de estos bloques se produce un temblor (<http://sismologia.cicese>).

Falla inversa: este tipo de fallas se generan por compresión horizontal. El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un manteo inferior a 45°, estas pasan a tomar el nombre de cabalgamiento (Almarza, R. 1996)

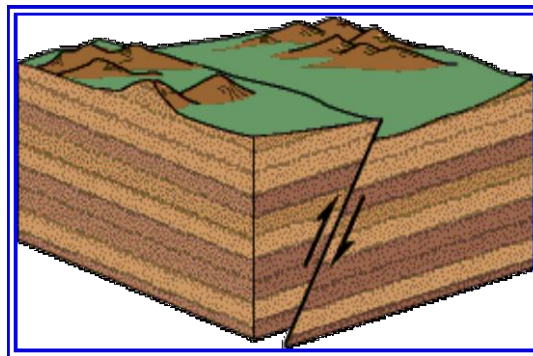


Figura 2: Falla Inversa. www.windows2universe.org

Falla normal: este tipo de fallas se generan por tensión horizontal. El movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. El bloque que se desliza hacia abajo se le denomina bloque de techo, mientras que el que se levanta se llama bloque de piso (Almarza, R., 1996).

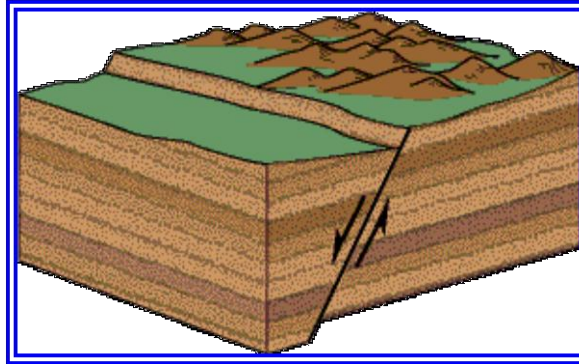


Figura 3: Falla Normal. www.windows2universe.org

Corrimiento: falla inversa a nivel regional de bajo grado de buzamiento causado por esfuerzos compresivos (Almarza, R. 1996).

Retrocorrimiento: falla contraria en buzamiento al corrimiento, causada por los mismos esfuerzos compresivos (Almarza, R. 1996).

Mallado: es una forma de abarcar toda el área de estudio, utilizando líneas de sección en dos direcciones.

Mapa: Un mapa es la proyección de contornos en un plano horizontal. Los mapas han sido una herramienta fundamental en el entendimiento de la conformación interna de la tierra.

Mapas estructurales: los mapas estructurales pueden ser definidos como los mapas cuyas curvas representan la forma geométrica y la posición de la superficie superior

(tope estructural). Los mapas estructurales ayudan a definir las formas externas de los cuerpos rocosos del subsuelo.

Mapas isópacos: también llamado de espesores, es una representación cartográfica de las variaciones en espesor de cuerpos, unidades estratigráficas o entidades en el subsuelo. La construcción del mapa isópaco se realiza trazando contornos de igual espesor por medio de líneas discontinuas. Estos mapas muestran de una manera sencilla la distribución tridimensional de una unidad geológica en particular. (Aguilera, M. 2006).

Mapa de paleoambiente: llamado electrofacies, muestra la tendencia u orientación, de los sub-ambientes sedimentarios, de las facies correspondientes a las arenas en estudio, es decir, la identificación del complejo de condiciones físicas y biológicas bajo las cuales se acumula un sedimento.

Mapa de plano de falla: las fallas identificadas mediante testigos o núcleos, muestras de perforación, hiato en una sección y con mayor frecuencia a través de la correlación de registros eléctricos de pozos se representan para fines prácticos en la geología del subsuelo en mapas de plano de fallas.

Este mapa es la base fundamental para el trazado de las fallas en cualquier nivel o unidad estratigráfica. Es conocido como plano de fallas porque en él están trazadas o dibujadas todas las fallas identificadas en el área y en él se muestran sus trazas a un intervalo conveniente dependiendo de sus buzamientos. Estas líneas paralelas indican implícitamente el buzamiento y rumbo de cada falla. (Aguilera, M. 2006).

Modelo estático: el modelo estático de un yacimiento es aquel que representa las propiedades de un yacimiento que no varían con el tiempo, como es el caso del tope de la estructura, fallas, ambientes de sedimentación, geometría de los cuerpos sedimentarios, facies espesor, límites de roca, que unidos a pruebas del yacimiento, permiten definir en forma clara el yacimiento. El modelo estático comprende a su vez

la integración de una serie de modelos que llevan a la caracterización del yacimiento en estudio, como un “análisis interpretativo y multidisciplinario de un yacimiento, como una unidad geológica e hidráulica integral, a fin de describir su naturaleza y geometría; calificar y cuantificar propiedades de roca y fluidos, y establecer distribución y volúmenes recuperables de hidrocarburos, integrando aspectos estructurales, estratigráficos, sedimentológicos, petrofísicos y de fluidos, en un modelo único, que permita establecer un plan de explotación que garantice la máxima recuperación económica de sus reservas” (U.E.Y. Pesado Oeste, 2001)

OpenWorks®: es una base de datos de proyectos de E&P que almacena datos generales de pozos, registros eléctricos, fallas y superficies interpretadas, datos culturales, mapas, datos generales de perforación y producción, entre otros. Posee una suite de herramientas para el manejo y administración de los datos almacenados y es la plataforma que integra y comparte los datos entre las distintas aplicaciones del ambiente de proyecto en Landmark.

Perforación de pozos: la perforación de pozos constituye la forma más directa de obtener información del subsuelo, de allí que la mayoría de los datos que son básicos en las interpretaciones geológicas se obtienen de la perforación de pozos en base a los análisis de los diferentes tipos de muestras que se toman.

Perfiles de pozos: son el resultado de las lecturas que hacen los dispositivos de perfilaje que bajan al pozo y que fueron diseñados para medir las propiedades eléctricas, acústicas y radiactivas de la formación, esto de tal modo de poder presentar las respuestas en forma continua, como un registro a lo largo de todo el pozo (Schlumberger, 1998)

Potencial espontáneo (SP): la curva SP registra el potencial eléctrico (voltaje) producido por la interacción del agua de formación, el fluido de perforación

conductivo y las lutitas. Enfrente de lutitas la curva de SP, define una línea más o menos recta en el registro que se llama línea base de lutitas (Schlumberger, 1998).

Petrofísica: se encarga de caracterizar las propiedades físicas y textuales de las rocas, especialmente la distribución de los poros, que sirven como depósitos para las acumulaciones de hidrocarburos, y que permiten considerarlas como posibles prospectos para la explotación. También caracteriza los fluidos contenidos en ellas, mediante la integración del entorno geológico, perfiles de pozos, análisis de muestras de roca y sus fluidos e historias de producción.

Mediante la caracterización petrofísica de un yacimiento, se busca calcular con mayor precisión las reservas de hidrocarburos para evaluar la factibilidad económica de un proyecto. En cuanto a los parámetros necesarios para llevar a cabo dicha evaluación se encuentran la porosidad, la permeabilidad, la saturación de fluidos (agua e hidrocarburos –petróleo y/o gas), el volumen de arcillosidad, el espesor del yacimiento y su área, la mineralogía de la formación, la movilidad del petróleo y la distribución del tamaño de los granos. Adicionalmente, se tienen que considerar la geometría del yacimiento, la temperatura, presión y litología, los cuales representan las características más importantes en la evaluación, completación y producción del yacimiento. (Mundo geológico)

Registros de pozos: los registros de pozos son técnicas geofísicas in situ, que se realizan en las operaciones petroleras para obtener una mayor información de los parámetros físicos y geológicos del pozo, tales como saturación de agua en formación, resistividad de las rocas, porosidad entre otras. (www.slideshare.net)

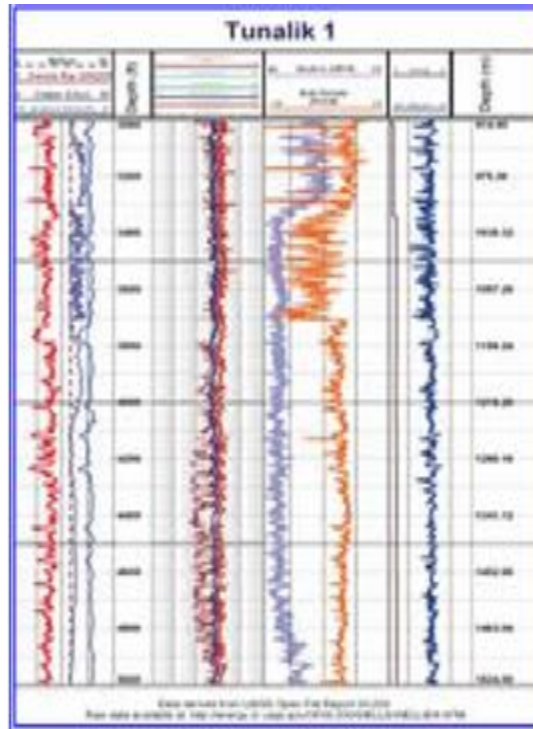


Figura 4: Modelo de Registro Eléctrico de pozos

Registros de rayos gamma (GR): el registro de GR es una medida de la radioactividad natural de las formaciones. En formaciones sedimentarias el registro normalmente refleja el contenido de lutitas de la formación. Esto es porque los elementos radioactivos tienden a concentrarse en lutitas y arcillas, por lo tanto que en formaciones limpias hay poca radioactividad. Los rayos gamma son impulsos de ondas electromagnéticas de alta energía emitida espontáneamente por algunos elementos radioactivos (Schlumberger, 1998).

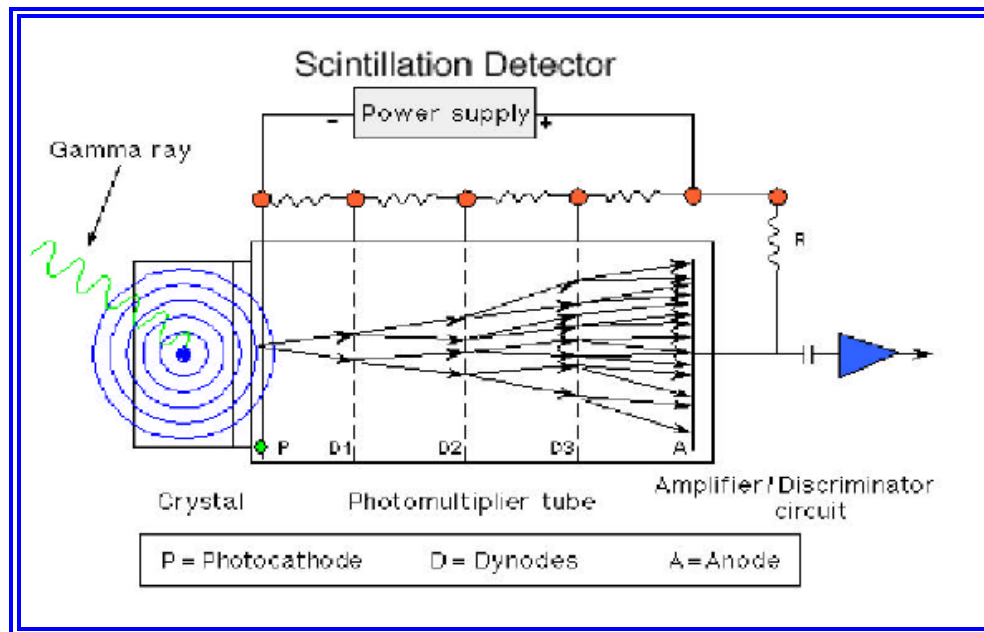


Figura 4: Fundamento de medición de los Perfiles de Rayos Gamma (Schlumberger, 1998).

Registros de resistividad: es un parámetro clave para determinar la saturación de hidrocarburos. La electricidad puede pasar a través de una formación solo debido al agua conductiva de dicha formación. La resistividad de una formación depende de: a) la resistividad del agua de formación, b) la cantidad de agua presente, c) la geometría estructural de los poros (Schlumberger, 1998).

Sedimento: es mineral fragmentado y materia orgánica derivada directa, o indirectamente, de roca preexistente y de procesos vitales, transportados y depositados por aire, agua o hielo.

Secciones estratigráficas: son aquellas que muestran en el plano vertical las características litológicas, de facies y de espesor de la roca. La construcción de secciones estratigráficas a partir de perfiles de pozos muestran: correlación, ubicación de marcadores estratigráficos, identificación de espesores, secuencias litológicas, cambios laterales y verticales de facies, discordancias, trampas estratigráficas, entre otros. Una Sección Estratigráfica es un corte transversal perpendicular al plano

horizontal, que provee una vista vertical de las condiciones y relaciones estratigráficas de un intervalo de interés. Se considera como nivel de referencia (Datum), algún límite de formación o unidad estratigráfica que esté presente y sea fácil de localizar en todos los registros de los pozos bajo estudio (Tearpock y Bischke, 1991).

Sección estructural: una sección estructural ilustra características estructurales tales como: buzamientos, fallamientos, plegamientos, las cuales son generadas para estudiar problemas relacionados a formaciones del subsuelo, geometría de la falla y correlaciones por lo general observadas en un plano vertical. Las secciones estructurales son preparadas a partir de datos de registros de pozos principalmente los litológicos, tomando como base los topes de las unidades estratigráficas. (Corrales, 1977).

Stratworks: es una suite de interpretación geológica que ofrece Openworks de la plataforma Landmark, desarrollado para profesionales de las geociencias, que permite correlacionar registros de pozos, construir secciones, observar y analizar las estructuras presentes en el subsuelo y visualizar mapas.

Tipos de ambientes de sedimentación.

La tabla 1 muestra una clasificación de los ambientes sedimentarios. Tradicionalmente se han reconocido tres sitios primarios para el depósito global de sedimentos: (1) Continental, (2) transicional, (3) Marino. Cada uno de estos se encuentra dividido en diferentes sistemas de depósito, así como en una serie de ambientes y sub-ambientes asociados.

Tabla 1. Tipos de ambientes sedimentarios (Serra O, 1986).

Sitio primario de depósito	Sistemas principales
Continental	<ul style="list-style-type: none"> -Fluvial -Desértico -Lacustre -Glacial -Volcaniclástico
Transicional	<ul style="list-style-type: none"> -Deltaico -Lagunar -Estuario -Playa -Barras de Arena -Planicie de Mareas
Marino	<ul style="list-style-type: none"> -Plataforma Carbonatada -Plataforma Siliciclástica -Abanico Submarino -Planicies Abisales

APÉNDICE II

SUMARIO PETROFÍSICO DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS, ARENA “Q” CAMPO OROCUAL

POZO	ARENA	TOPE (TVD)	BASE (TVD)	ESPESES (Pies)	AN (Pies)	ANP (Pies)	PHI (frac)	SW (frac)	VSH (frac)	Ktímb2 (mD)
CHL-1X	ARENA Q	DISCORDANTE								
CHL-2X	ARENA Q	2527	2726	199	164	164	0,2825	0,5166	0,0561	333,318
CHL-3	ARENA Q	2452	2605	153	0	0	-----	-----	-----	-----
CHL-4	ARENA Q	SIN INFORMACION DE REGISTROS								
CHL-5	ARENA Q	2448	2602	154	0	0	-----	-----	-----	-----
CHL-6X	ARENA Q	1901	2055	154	0	0	-----	-----	-----	-----
CHL-7X	ARENA Q	1409	1544	135	69	69	0,2795	0,4247	0,0719	314,2067
CHL-8X	ARENA Q	DISCORDANTE								
CHL-9X	ARENA Q	2297	2430	133	92	92	0,2834	0,1788	0,2186	3485,1995
ORC-10	ARENA Q	2821	2972	152	28	0	-----	-----	-----	-----
ORC-11	ARENA Q	2559	2710	151	0	0	-----	-----	-----	-----
ORC-13	ARENA Q	2718	2873	154	60	0	-----	-----	-----	-----
ORC-14	ARENA Q	1741	1874	133	0	0	-----	-----	-----	-----
ORC-15	ARENA Q	2917	3099	183	15	0	-----	-----	-----	-----
ORC-17	ARENA Q	2955	3058	102	0	0	-----	-----	-----	-----
ORC-18	ARENA Q	2875	3008	133	19	0	-----	-----	-----	-----
ORC-19	ARENA Q	2619	2780	161	63	63	0,2941	0,3859	0,1033	740,9804
ORC-2	ARENA Q	2612	2775	164	98	98	0,2665	0,4675	0,098	319,379
ORC-20	ARENA Q	2651	2835	184	23	0	-----	-----	-----	-----
ORC-21	ARENA Q	2909	3066	156	18	0	-----	-----	-----	-----
ORC-22	ARENA Q	2758	2905	147	72	0	-----	-----	-----	-----
ORC-23	ARENA Q	2495	2634	140	84	0	-----	-----	-----	-----
ORC-24	ARENA Q	2683	2823	140	17	0	-----	-----	-----	-----
ORC-25	ARENA Q	3023	3141	117	0	0	-----	-----	-----	-----
ORC-26	ARENA Q	2901	3048	147	19	0	-----	-----	-----	-----
ORC-27	ARENA Q	2879	3021	142	18	0	-----	-----	-----	-----
ORC-28	ARENA Q	2655	2839	184	24	0	-----	-----	-----	-----
ORC-29	ARENA Q	2921	3104	183	15	0	-----	-----	-----	-----
ORC-30	ARENA Q	3041	3197	156	0	0	-----	-----	-----	-----
ORC-31	ARENA Q	2791	2942	151	25	0	-----	-----	-----	-----
ORC-32	ARENA Q	2887	3012	125	61	0	-----	-----	-----	-----
ORC-33	ARENA Q	2482	2630	147	64	64	0,3068	0,415	0,1932	820,0468
ORC-34	ARENA Q	2689	2817	128	0	0	-----	-----	-----	-----
ORC-35	ARENA Q	2875	3006	131	75	0	-----	-----	-----	-----
ORC-36	ARENA Q	2882	3002	119	82	0	-----	-----	-----	-----
ORC-37	ARENA Q	2923	3066	143	22	0	-----	-----	-----	-----
ORC-39	ARENA Q	2627	2767	140	0	0	-----	-----	-----	-----
ORC-39-2	ARENA Q	2666	2829	163	80	0	-----	-----	-----	-----
ORC-39-3	ARENA Q	2671	2825	154	80	0	-----	-----	-----	-----

SUMARIO PETROFÍSICO DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS, ARENA “Q” CAMPO OROCUAL (CONTINUACIÓN)

POZO	ARENA	TOPE (TVD)	BASE (TVD)	ESPES (Pies)	AN (Pies)	ANP (Pies)	PHI (frac)	SW (frac)	VSH (frac)	Ktmb2 (mD)
ORC-4	ARENA Q	DISCORDANTE								
ORC-40	ARENA Q	2874	3003	129	82	0	-----	-----	-----	-----
ORC-6	ARENA Q	2255	2374	119	40	40	0,2478	0,3665	0,1538	396,1321
ORC-7	ARENA Q	2515	2666	152	100	0	-----	-----	-----	-----
ORC-8	ARENA Q	2302	2434	132	22	0	-----	-----	-----	-----
ORC-9	ARENA Q	2324	2474	150	80	0	-----	-----	-----	-----
ORS-1	ARENA Q	2838	2991	152	10	0	-----	-----	-----	-----
ORS-100-1	ARENA Q	2543	2675	132	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-100-2	ARENA Q	2546	2686	139	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-102-1	ARENA Q	2482	2654	173	38	0	-----	-----	-----	-----
ORS-102-2	ARENA Q	2505	2669	164	50	0	-----	-----	-----	-----
ORS-103	ARENA Q	2845	3002	156	58	0	-----	-----	-----	-----
ORS-104	ARENA Q	2551	2690	138	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-105	ARENA Q	2696	2841	145	102	0	-----	-----	-----	-----
ORS-107	ARENA Q	2530	2657	127	46	46	0,2723	0,3151	0,185	990,6682
ORS-108-1	ARENA Q	2583	2714	131	70	0	-----	-----	-----	-----
ORS-108-2	ARENA Q	2576	2710	134	70	0	-----	-----	-----	-----
ORS-109	ARENA Q	2695	2861	166	85	0	-----	-----	-----	-----
ORS-109-2	ARENA Q	2716	2869	153	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-109-3	ARENA Q	2724	2902	177	64	0	-----	-----	-----	-----
ORS-109-4	ARENA Q	2764	2909	145	108	108	0,2646	0,4663	0,126	309,5602
ORS-14	ARENA Q	2682	2863	181	110	110	0,258	0,2853	0,1229	805,7983
ORS-15	ARENA Q	2829	2992	163	67	67	0,2308	0,1596	0,2038	1984,6516
ORS-2	ARENA Q	2749	2898	149	18	0	-----	-----	-----	-----
ORS-26	ARENA Q	2778	2919	141	124	124	0,266	0,2119	0,0818	1018,7622
ORS-29	ARENA Q	2478	2604	127	37	37	0,2517	0,3839	0,1601	464,1664
ORS-3	ARENA Q	2470	2597	126	64	64	0,2266	0,3459	0,2441	305,4583
ORS-30	ARENA Q	2621	2762	141	91	91	0,2388	0,1908	0,1789	2336,2095
ORS-33	ARENA Q	2760	2907	147	89	89	0,2625	0,2274	0,1599	1574,8695
ORS-36	ARENA Q	2990	3146	156	45	0	-----	-----	-----	-----
ORS-37	ARENA Q	3048	3202	155	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-38	ARENA Q	2984	3128	144	117	117	0,3236	0,1936	0,0914	4657,2236
ORS-38A	ARENA Q	2982	3074	92	58	58	0,2481	0,1615	0,1417	2624,854
ORS-39	ARENA Q	2539	2667	128	20	0	-----	-----	-----	-----
ORS-4	ARENA Q	2659	2797	138	21	0	-----	-----	-----	-----
ORS-40	ARENA Q	2944	3077	133	34	0	-----	-----	-----	-----
ORS-42	ARENA Q	2981	3134	154	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-44	ARENA Q	2954	3115	161	130	130	0,2495	0,2397	0,133	993,5229
ORS-45	ARENA Q	2770	2941	171	95	95	0,2627	0,2109	0,1693	2119,0837
ORS-45A	ARENA Q	2771	2921	150	96	96	0,2536	0,2522	0,1339	1066,3575

SUMARIO PETROFÍSICO DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS, ARENA “Q”, CAMPO OROCUAL (CONTINUACIÓN)

POZO	ARENA	TOPE (TVD)	BASE (TVD)	ESPESES (Pies)	AN (Pies)	ANP (Pies)	PHI (frac)	SW (frac)	VSH (frac)	Kímbv2 (mD)
ORS-46	ARENA Q	2883	3028	144	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-47	ARENA Q	2746	2898	152	19	0	-----	-----	-----	-----
ORS-47A	ARENA Q	2750	2893	142	19	0	-----	-----	-----	-----
ORS-48	ARENA Q	2695	2842	147	14	0	-----	-----	-----	-----
ORS-49	ARENA Q	2788	2941	153	20	0	-----	-----	-----	-----
ORS-49A	ARENA Q	2816	2949	133	20	0	-----	-----	-----	-----
ORS-5	ARENA Q	2715	2864	149	43	43	0,25	0,3616	0,1625	490,3351
ORS-50	ARENA Q	2831	2985	155	43	0	-----	-----	-----	-----
ORS-51	ARENA Q	2720	2861	141	20	0	-----	-----	-----	-----
ORS-51A	ARENA Q	2724	2865	140	20	0	-----	-----	-----	-----
ORS-52	ARENA Q	2511	2663	151	51	51	0,2699	0,2684	0,2357	1265,3387
ORS-53	ARENA Q	2770	2901	131	33	0	-----	-----	-----	-----
ORS-54	ARENA Q	2768	2933	165	104	24	0,2423	0,4177	0,1785	272,6486
ORS-55	ARENA Q	2559	2706	148	62	62	0,2459	0,345	0,1856	621,8665
ORS-57	ARENA Q	2466	2619	154	39	39	0,2463	0,42	0,1649	293,742
ORS-58	ARENA Q	2529	2693	163	82	41	0,3124	0,2595	0,2299	2232,842
ORS-59	ARENA Q	3085	3236	151	14	0	-----	-----	-----	-----
ORS-6	ARENA Q	2978	3144	166	31	0	-----	-----	-----	-----
ORS-60	ARENA Q	2775	2912	136	39	0	-----	-----	-----	-----
ORS-61	ARENA Q	2812	2959	147	65	35	0,2237	0,4709	0,1312	149,2291
ORS-62	ARENA Q	2510	2663	154	41	24	0,2367	0,3136	0,1879	462,5642
ORS-63	ARENA Q	2637	2770	133	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-64	ARENA Q	2508	2661	152	95	56	0,256	0,3147	0,1181	696,3447
ORS-67X	ARENA Q	2504	2646	142	97	0	-----	-----	-----	-----
ORS-68	ARENA Q	2631	2766	135	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-70	ARENA Q	2625	2755	130	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-74-1	ARENA Q	2765	2914	149	122+Np	122	0,2584	0,2138	0,1093	1599,9667
ORS-74-2	ARENA Q	2762	2885	123	115+Np	115	0,2576	0,2191	0,1134	1447,2629
ORS-76	ARENA Q	2987	3110	123	102+Np	102	0,2745	0,2548	0,1104	1735,5273
ORS-78	ARENA Q	2739	2923	185	122	122	0,2404	0,2057	0,1632	1665,0118
ORS-79	ARENA Q	2941	3138	197	68 + NP	68	0,2458	0,2509	0,1559	1134,1287
ORS-80	ARENA Q	2901	3017	116	25	0	-----	-----	-----	-----
ORS-81	ARENA Q	2527	2675	148	86	45	0,3049	0,3417	0,13	1302,7623
ORS-81-2	ARENA Q	NO SE TIENE INFORMACION POR ENCIMA DE S								
ORS-82	ARENA Q	2827	2977	150	115	115	0,2513	0,2565	0,1283	1075,3899
ORS-83	ARENA Q	2716	2885	169	58	58	0,2473	0,2367	0,1411	1073,7593
ORS-84	ARENA Q	2970	3116	146	20	0	-----	-----	-----	-----
ORS-85	ARENA Q	2751	2916	165	35	0	-----	-----	-----	-----
ORS-86-2	ARENA Q	2784	2941	157	117	117	0,2629	0,2868	0,1041	885,3276
ORS-86p	ARENA Q	2791	2955	164	125	125	0,2598	0,2049	0,1782	2065,3181

SUMARIO PETROFÍSICO DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS, ARENA “Q”, CAMPO OROCUAL
(CONTINUACIÓN)

POZO	ARENA	TOPE (TVD)	BASE (TVD)	ESPES (Pies)	AN (Pies)	ANP (Pies)	PHI (frac)	SW (frac)	VSH (frac)	Ktimv2 (mD)
ORS-87	ARENA Q	2506	2768	262	190	130	0,2713	0,23	0,1879	2447,429
ORS-87-2	ARENA Q	NO SE TIENE INFORMACIÓN POR ENCIMA DE S								
ORS-88	ARENA Q	2685	2845	159	72	72	0,2447	0,2803	0,1561	791,9129
ORS-88p	ARENA Q	2693	2835	142	70	70	0,2731	0,2474	0,181	1650,2488
ORS-89	ARENA Q	2687	2819	132	90	90	0,2613	0,3063	0,1134	860,7181
ORS-90	ARENA Q	2475	2634	159	50	50	0,2306	0,4696	0,1922	176,3647
ORS-91 ST2	ARENA Q	2550	2735	185	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-91p	ARENA Q	2558	2706	148	79	0	-----	-----	-----	-----
ORS-91ST	ARENA Q	2557	2728	171	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-92	ARENA Q	2701	2877	175	92	92	0,2931	0,2538	0,1529	2213,7295
ORS-93	ARENA Q	2727	2890	163	78	0	-----	-----	-----	-----
ORS-93 SLANT3	ARENA Q	2679	3115	436	36	36	0,2498	0,3589	0,1461	488,7586
ORS-94 1	ARENA Q	2591	2708	117	39	0	-----	-----	-----	-----
ORS-94 2	ARENA Q	2591	2709	117	39	0	-----	-----	-----	-----
ORS-95	ARENA Q	2693	2885	192	156+Np	156	0,2415	0,1957	0,1697	1507,0022
ORS-96	ARENA Q	2449	2596	146	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-96-2	ARENA Q	2409	2569	161	30	0	-----	-----	-----	-----
ORS-97	ARENA Q	2767	2929	161	105	105	0,3473	0,2903	0,154	1640,6986
ORS-97-2	ARENA Q	2699	2850	151	52+Np	52	0,3321	0,2909	0,1942	1238,9255
ORS-98	ARENA Q	2934	3095	161	0	0	-----	-----	-----	-----
ORS-99	ARENA Q	2678	2856	178	0	0	-----	-----	-----	-----

APÉNDICE III

SUMARIO TVDSS FORMACIÓN LAS PIEDRAS, ARENA “Q”, CAMPO OROCUAL

NOMBRE	UWI	PROFUNDIDAD SUBSEA
CHL 2	005 2CHL 2 0	-1315,41
CHL 3	005 2CHL 3 0	-1897,62
CHL 5	005 2CHL 5 Y	-1864,69
CHL 6	005 2CHL 6 1	
CHL 7	005 2CHL 7 1	
CHL 9	005 2CHL 9 1	-1201,44
ORC 2	005 2ORC 2 0	-2183
ORC 6	005 2ORC 6 0	-1792,91
ORC 7	005 2ORC 7 0	-2055
ORC 8	005 2ORC 8 0	-1550
ORC 9	005 2ORC 9 0	-1964,29
ORC 10	005 2ORC 10 0	-2482,59
ORC 11	005 2ORC 11 0	-1516,6
ORC 13	005 2ORC 13 0	-2335,54
ORC 14	005 2ORC 14 0	-1315,37
ORC 15	005 2ORC 15 0	-2498,79
ORC 17	005 2ORC 17 0	-2350,76
ORC 18	005 2ORC 18 0	-2454,86
ORC 19	005 2ORC 19 0	-2203,96
ORC 20	005 2ORC 20 0	-2380
ORC 21	005 2ORC 21 0	-2476
ORC 22	005 2ORC 22 0	-2365,38
ORC 23	005 2ORC 23 0	-1933,2
ORC 24	005 2ORC 24 0	-2301,69
ORC 25	005 2ORC 25 0	-2630
ORC 26	005 2ORC 26 Y	-2523,03
ORC 27	005 2ORC 27 Y	-2465
ORC 28	005 2ORC 28 Y	-2277,22
ORC 29	005 2ORC 29 Y	-2508,93
ORC 30	005 2ORC 30 Y	-2632
ORC 31	005 2ORC 31 1	-2412,66
ORC 32	005 2ORC 32 1	-2260,75
ORC 33	005 2ORC 33 1	-1863,43
ORC 35	005 2ORC 35 1	-2411,96
ORC 36	005 2ORC 36 1	-2329,87
ORC 37	005 2ORC 37 1	-2474,96
ORC 39	005 2ORC 39 3	-2174,72
ORC 40	005 2ORC 40 1	-2379,49
ORS 1	005 2ORS 1 0	-2496,13
ORS 2	005 2ORS 2 0	-2350
ORS 3	005 2ORS 3 0	-2379,99
ORS 4	005 2ORS 4 0	-2196,65
ORS 5	005 2ORS 5 0	-2275,05
ORS 6	005 2ORS 6 0	-2420
ORS 14	005 2ORS 14 0	-2360

SUMARIO TVDSS FORMACIÓN LAS PIEDRAS, ARENA “Q”, CAMPO
OROCUAL (CONTINUACIÓN)

NOMBRE	UWI	PROFUNDIDAD SUBSEA
ORS 15	005 2ORS 15 0	-2380
ORS 26	005 2ORS 26 0	-2300
ORS 29	005 2ORS 29 0	-2019,75
ORS 30	005 2ORS 30 0	-2295
ORS 33	005 2ORS 33 0	-2373,23
ORS 36	005 2ORS 36 1	-2254,58
ORS 37	005 2ORS 37 0	-2750
ORS 38	005 2ORS 38 0	-2414,48
ORS 38	005 2ORS 38 A	-2269,56
ORS 39	005 2ORS 39 0	-2074
ORS 40	005 2ORS 40 0	-2580
ORS 42	005 2ORS 42 0	-2495,71
ORS 44	005 2ORS 44 0	-2380
ORS 45	005 2ORS 45 0	-2412,21
ORS 45	005 2ORS 45 A	-2410
ORS 46	005 2ORS 46 0	-2445,53
ORS 47	005 2ORS 47 0	-2410
ORS 47	005 2ORS 47 A	-2415
ORS 48	005 2ORS 48 0	-2219,93
ORS 49	005 2ORS 49 0	-2460
ORS 49	005 2ORS 49 A	-2462,61
ORS 50	005 2ORS 50 0	-2453,06
ORS 51	005 2ORS 51 0	-2330,17
ORS 51	005 2ORS 51 A	-2347,68
ORS 52	005 2ORS 52 0	-2099,94
ORS 53	005 2ORS 53 0	-2300
ORS 54	005 2ORS 54 0	-2119,69
ORS 55	005 2ORS 55 0	-2074,15
ORS 57	005 2ORS 57 0	-2076,17
ORS 58	005 2ORS 58 0	-2145,87
ORS 59	005 2ORS 59 0	-2790
ORS 60	005 2ORS 60 0	-2313
ORS 61	005 2ORS 61 0	-2428,63
ORS 62	005 2ORS 62 0	-2121,99
ORS 63	005 2ORS 63 0	-2255,84
ORS 64	005 2ORS 64 Y	-2145,87
ORS 67	005 2ORS 67 0	-1977,94
ORS 68	005 2ORS 68 Y	-2225
ORS 70	005 2ORS 70 Y	-2275,91
ORS 74	005 2ORS 74 1	-2320
ORS 74	005 2ORS 74 2	-2380
ORS 76	005 2ORS 76 1	-2426,06
ORS 78	005 2ORS 78 1	-2316,43
ORS 79	005 2ORS 79 1	-2453,49
ORS 80	005 2ORS 80 1	-2560

SUMARIO TVDSS FORMACIÓN LAS PIEDRAS, ARENA “Q”, CAMPO
OROCUAL (CONTINUACIÓN)

NOMBRE	UWI	PROFUNDIDAD SUBSEA
ORS 81	005 2ORS 81 1	-2166,33
ORS 82	005 2ORS 82 1	-2214,32
ORS 83	005 2ORS 83 1	-2310
ORS 84	005 2ORS 84 1	-2471,12
ORS 85	005 2ORS 85 1	-2640
ORS 86	005 2ORS 86 1	-2275
ORS 86	005 2ORS 86 2	-2274
ORS 86	005 2ORS 86 3	-2272
ORS 88	005 2ORS 88 1	-2300
ORS 88	005 2ORS 88 2	-2290
ORS 89	005 2ORS 89 1	-2296
ORS 90	005 2ORS 90 1	-2246
ORS 91	005 2ORS 91 1	-2036
ORS 91	005 2ORS 91 2	-2200
ORS 91	005 2ORS 91 3	-2210
ORS 92	005 2ORS 92 1	-2270
ORS 93	005 2ORS 93 1	-2291
ORS 93	005 2ORS 93 2	-2292
ORS 94	005 2ORS 94 1	-2114
ORS 94	005 2ORS 94 2	-2130
ORS 95	005 2ORS 95 1	-2292
ORS 96	005 2ORS 96 1	-1895,2
ORS 96	005 2ORS 96 2	-1889,82
ORS 97	005 2ORS 97 1	-2354,18
ORS 97	005 2ORS 97 2	-2270
ORS 98	005 2ORS 98 1	-2634,31
ORS 99	005 2ORS 99 1	-2162,55
ORS 100	005 2ORS 100 1	-2085
ORS 100	005 2ORS 100 2	-2083
ORS 102	005 2ORS 102 1	-2046
ORS 102	005 2ORS 102 2	-2027
ORS 103	005 2ORS 103 1	-2367,84
ORS 104	005 2ORS 104 1	-2072
ORS 105	005 2ORS 105 1	-2255,19
ORS 107	005 2ORS 107 1	-2157,76
ORS 108	005 2ORS 108 1	-2065,93
ORS 108	005 2ORS 108 2	-2164
ORS 109	005 2ORS 109 1	-2369,56
ORS 109	005 2ORS 109 2	-2270
ORS 109	005 2ORS 109 3	-2210
ORS 109	005 2ORS 109 4	-2100