

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DE LOS CONTROLES ESTRUCTURALES- ESTRATIGRÁFICOS DE LA SECCIÓN OLIGO - MIOCENO DE LA PARTE NORTE DEL ÁREA CABIMAS, CAMPO COSTANERO BOLÍVAR, ESTADO ZULIA

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela por la Br.
Julio Ruiz, Mary Cruz para
optar al título de Ingeniero Geólogo

Caracas, Junio de 2005

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DE LOS CONTROLES ESTRUCTURALES- ESTRATIGRÁFICOS DE LA SECCIÓN OLIGO-MIOCENO DE LA PARTE NORTE DEL ÁREA CABIMAS, CAMPO COSTANERO BOLÍVAR, ESTADO ZULIA

Tutor Académico: Ricardo Alezones
Tutor Industrial: Maurizio Mastrolorenzo

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela por la Br.
Julio Ruiz, Mary Cruz para
optar al título de Ingeniero Geólogo

Caracas, Junio de 2005

Caracas, Junio de 2005

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 Mary Cruz Julio, titulado:

**“EVALUACIÓN DE LOS CONTROLES ESTRUCTURALES-
ESTRATIGRÁFICOS DE LA SECCIÓN OLIGO-MIOCENO DE
LA PARTE NORTE DEL ÁREA CABIMAS, CAMPO
COSTANERO BOLÍVAR, ESTADO ZULIA”**

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

Prof. Paúl Romero
Jurado

Prof. Rafael Falcón
Jurado

Prof. Ricardo Alezones
Tutor Académico

Geólogo Maurizio Mastrolorenzo
Tutor Industrial

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso
A mí querida madre Carmen
A Luis mi adorado novio

AGRADECIMIENTOS

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela

A mi tutor académico, profesor Ricardo Alezones

A Maurizio Mastrolorenzo tutor industrial, por haberme brindado la oportunidad de realizar la tesis y por su amistad.

A la empresa Suelopetrol por darme la oportunidad de haber culminado mis estudios satisfactoriamente.

Agradecimientos especiales a mi madre, Carmen que en todo momento estuvo conmigo.

A Luis por ser tan especial y por estar siempre allí en los momentos más difíciles de mi carrera y haberme brindado su apoyo y ayuda siempre.

A mi hermano Jorge, por estar allí cuando lo necesite, y a su esposa Isabel por su comprensión y paciencia y sus hijas Heidy e Isamar.

A mis hermanos Alvaro, Lisbeth, Luz Mery y Alexander.

A Guillermo, Yolanda, Mariana, Fernando y Julio.

Al Ingeniero Roberto Espinoza, por su apoyo en el momento que llegue a las instalaciones de la empresa.

A los Ingenieros, Carlota, Thairiana, Andreina, Argenis, Nisael, quienes me dieron su apoyo siempre.

A Loritza Cornieles por su apoyo y colaboración siempre; y a las demás personas con quien estuve la oportunidad de compartir en la realización de la tesis.

A mis amigas Jenny y Franlys por su amistad, apoyo y colaboración en todo momento.

A mis amigos Elizabeth, Jesús, Vanesa, Eduardo, Zulian.

Y todas aquellas personas que de una u otra forma siempre estuvieron allí.

Julio R., Mary C.

**EVALUACIÓN DE LOS CONTROLES ESTRUCTURALES Y
ESTRATIGRÁFICOS DE LA SECCIÓN OLIGO-MIOCENO DE
LA PARTE NORTE DEL ÁREA CABIMAS CAMPO
COSTANERO BOLÍVAR, EDO ZULIA**

Tutor Académico: Prof. Ricardo Alezones. Tutor Industrial: Geólogo Maurizio Mastrolorenzo. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, 2005, 120 pag.

Palabras Claves: Cabimas estado Zulia, Estratigrafía, Formación La Rosa, Miembro Lagunillas Inferior, controles estratigráficos-estructurales.

Resumen: El Área Cabimas se ubica en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, y forma parte del Campo Costanero Bolívar, el área de estudio incluye el yacimiento del post-Eoceno.

Las unidades formaciones que incluyen el área de estudio esta definido por la Formación Icotea son areniscas de grano muy fino; Formación La Rosa son areniscas y lutitas intercaladas; y Formación Lagunillas Miembro Lagunillas Inferior y Miembro Ojeda, areniscas y lutitas intercaladas con algunas intercalaciones de limonita.

Estructuralmente el área de estudio al nivel del Miembro Lagunillas Inferior esta caracterizado por un monoclinal con buzamiento al suroeste; dos sistemas de fallas principales la falla principal de Cabimas y la falla límite de Cabimas, con orientación preferencial noreste-suroeste.

El ambiente depositacional va desde ambiente marino poco profundo, que incluye playa, intermareal, canales y barras de marea, este ambiente fue definido en función de las facies sedimentarias, y el estudio de electrofacies.

En la sección de estudio se definieron dos secuencias granodecrescentes: la primera esta formada por las unidades RB2, RI, las cuales se desarrollan como parte de un sistema transgresivo; la segunda secuencia esta formada por RS, LLC, LLA, LLG, LLS y OJ y forman parte del sistema regresivo que afecto al Mioceno.

Para determinar los factores que influyen sobre la acumulación de hidrocarburos se usaron factores estratigráficos y estructurales.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS Y ALCANCES.....	1
UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	3
GENERALIDADES DEL CAMPO COSTANERO BOLÍVAR.....	5
TRABAJOS PREVIOS.....	7
METODOLOGÍA.....	11
I Etapa: Recopilación de Información.....	11
II Etapa: Procesamiento de Datos.....	12
III Etapa: Análisis y Resultados.....	14
CAPÍTULO II	18
GEOLOGÍA REGIONAL	18
MARCO ESTRATIGRÁFICO REGIONAL.....	18
Triásico-Jurásico.....	20
Cretácico.....	21
Cenozoico.....	23
MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL.....	29
CAPÍTULO III	37
GEOLOGÍA LOCAL	37
MARCO ESTRATIGRÁFICO LOCAL.....	37
Formación Icotea.....	37
Formación La Rosa.....	37

Miembro Lagunillas Inferior	38
Miembro Ojeda	39
UNIDADES OPERACIONALES	39
MARCO ESTRUCTURAL LOCAL	42
CAPÍTULO IV	46
CARACTERIZACIÓN DE FACIES SEDIMENTARIAS	46
GENERALIDADES	46
DESCRIPCIÓN DE FACIES SEDIMENTARIAS	47
Facies SB Arenas Moteadas-horadadas	48
Facies SL Arenas con laminación paralela	49
Facies Sm Arena arcillosa clara con micronódulos y raíces	50
Facies heterolíticas ShS lutitas intercaladas con arenas.....	53
Facies Sh lutitas con micronódulos y raíces	56
Facies C Carbón	56
Características Macroscópicas en afloramiento	62
RELACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS, MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS.....	66
CAPÍTULO V.....	69
MARCO AMBIENTAL	69
GENERALIDADES	69
ANÁLISIS AMBIENTAL.....	70
Sistema La Rosa- Lagunillas Inferior	80
CAPÍTULO VI.....	83
CONTROLES SOBRE LA ACUMULACIÓN DE HIDROCARBUROS.....	83
CONTROLES ESTRATIGRÁFICOS EN LA ACUMULACIÓN DE HIDROCARBUROS	83
CONTROLES ESTRUCTURALES	92
CONCLUSIONES.....	94
RECOMENDACIONES.....	97
APÉNDICE.....	98
DESCRIPCIÓN DE LAS ICNOFACIES	98

AMBIENTE SEDIMENTARIO	101
BIBLIOGRAFÍA.....	108
ANEXOS.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	4
Figura II.1. Sección O-E de la Cuenca de Maracaibo.	18
Figura II.2 Columna estratigráfica compuesta del Lago de Maracaibo	19
Figura II.3. Distribución de las rocas jurásicas en Venezuela mostrando que las mismas se depositaron en grabenes. Aflorando en la Sierra de Perijá (1), como parte del basamento en el subsuelo de la Cuenca de Maracaibo (2), en los Andes (3), en el subsuelo de las cuencas de Barinas-Apure y Oriental (grabenos de Apure-Mantecal y Espino) y han sido interpretadas como involucradas en profundidad en los corrimientos de la Serranía del Interior (4).....	20
Figura II.4. Distribución de facies sedimentarias dominantes durante el Neocomiense-Albiense (Cretácico Temprano).....	21
Figura II.5. Distribución de facies sedimentarias dominantes durante el Cenomaniense-Campaniense (Cretácico Tardío).....	22
Figura II.6 Migración del frente de deformación del Caribe hacia el este-sureste y sedimentación epi/perisutural asociada durante el Paleoceno-Eoceno.....	23
Figura II.7. Mapa isocrono para el Oligoceno, Formación Icoatea. Los depósitos expuestos al este de la fallas de Urdaneta e Icoatea proveen los clásticos para la cuña oligocena al oeste en un sistema encadenado de bajo nivel.....	25
Figura II.8. Mapa isopaco simplificado del Mioceno Tardío al Plioceno	27
Figura II.9. Mapas isocronos para las unidades, Formación Lagunillas; Formación Isnotú y formaciones post eocenas.....	28
Figura II.10. Sistemas estructurales mayores que limitan la Cuenca de Maracaibo.	30
Figura II.11	32
Figura II.12. Mapa paleotectónico, que muestra cronológicamente los episodios tectónicos durante el periodo terciario en la cuenca de Maracaibo.	35
Figura II.13. Corte estructural NO/SE a través de la Cuenca de Maracaibo, desde los Andes Merideños hasta la Sierra de Perijá,.....	36
Figura III.1. Columna Litológica del Área Cabimas, con su respectivo registro tipo, mostrando las unidades correspondientes y la división por yacimiento para el Mioceno.	41
Figura III.2. Mapa estructural Miembro Lagunillas Inferior (ver anexo VI).....	44

Figura III.3. Sección estructural este-oeste, donde se señalan la falla principal de Cabimas y la falla límite de Cabimas. (Ver anexo V, lamina I).	45
Figura IV.1. Facies SB. Profundidad 1552-1561 pies A) Núcleo; B) Respuesta en registro; C) Fotomicrografías, destacando la porosidad interpartícula (D5 y J5).....	51
Figura IV.2. Facies SL, entre C5-P5, profundidad de 1632'-1643.6'. A) Núcleo; B) patrón del registro; C) Fotomicrografía, se observan los granos de cuarzo policristalinos (H9).....	52
Figura IV.3. Facies Sm. Profundidad 1635-1338 pies, entre E7 a R10 y entre B-8 a R-10. A) Núcleo; B) patrón del registro; C) Fotomicrografía, se observan los granos de cuarzo monocristalinos (K10).	54
Figura IV.4. Facies ShS. Profundidad 1669-1672 pies, R-329A. A) Núcleo; B) patrón del perfil.	55
Figura IV.5. Facies ShB .Profundidad de 1839-1842 pies, R-329A. A) Núcleo; B) patrón del registro.	57
Figura IV.6. Facies Sh. Profundidad 1548-1552 pies, entre A1 a Q-1 y B8 a Q8. Pozo R-329A. A) Núcleo; B) patrón del registro.....	58
Figura IV.7. Facies C. Profundidad 1253.5-1255 pies, desde J6 a R6. Pozo R-329A	59
Figura IV.8. Mapa del Área Cabimas, mostrando: ubicación de los afloramientos, ubicación de los pozos R-329A y R-821.....	63
Figura IV.9. Afloramiento del Miembro Lagunillas Inferior	64
Figura IV.10. Bioturbaciones horizontales y verticales de la Formación Lagunillas	65
Figura IV.11. Miembro Santa Bárbara, discordante sobre la Formación Misoa. Representa el punto 1 en la figura IV.8.....	66
Figura V.1 icnofacies observada a nivel de afloramiento	70
Figura V.2, sección correspondiente a la unidad SB2	71
Figura V.3. Correlación norte-sur, que muestra la geometría de canal hacia el tope del RB2	72
Figura V.4. Sección que muestra la unidad RI	73
Figura V.5. Núcleo que muestra una sección de conglomerado, al nivel de la Rosa Intermedia (K4 - P4). La profundidad de 1804'-1815'	73
Figura V.6. Sección de la unidad RS	75
Figura V.7. Sección de la unidad LLC.....	75
Figura V.8. Correlación estratigráfica suroeste-noreste, donde se muestra la continuidad lateral de los espesores para cada unidad.	76
Figura V.9. Sección correspondiente a la unidad LLA.....	77

Figura V.10. Sección correspondiente a la unidad LLG.....	78
Figura V.11. Sección correspondiente a la unidad LLS	79
Figura V.12. Sección correspondiente a la unidad OJ	80
Figura V.13. Secuencias granodecrecientes del Mioceno, RI marca el contacto entre la secuencia 1 y la secuencia 2.....	81
Figura V.14. Sección Miembro Lagunillas Inferior.....	82
Figura VI.1 Mapa isopaco del Miembro Santa Bárbara.	85
Figura VI.2. Mapa Isopaco, Miembro La Rosa Superior	88
Figura VI.3. Mapa isopaco, Miembro Lagunillas Inferior	89
Figura VI.4. Mapa isopaco, arenas la Salina	90
Figura VI.5. Mapa isopaco, arenas Cabimas	91
Figura VI.6. Mapa de electrofacies, correspondiente a la unidad LLA.....	92
Figura VI.7. Mapa estructural del tope lagunillas Inferior, donde se señala las principales fallas del área	93
Figura I. Asociación de trazas fósiles.....	99
Figura II. Icnofacies skolithos	99
Figura III. Icnofacies cruziana.....	101
Figura IV. Formas características de los registros en los diferentes ambientes depositacionales: A) tipo embudo, B) tipo campana, c) tipo cilindro, d) tipo aserrado.	102
Figura V. Distintos tipos de ambiente, que incluye la llanura de marea.....	103
Figura VI. Distribución de los distintos tipos de ambientes sedimentarios dentro de llanura intermareal.	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla # 1. Lista de pozos, bloques de F1 a F5	15
Tabla #2. Lista de pozos de los bloques G1 a G2	16
Tabla # 3. Lista de pozos de los bloques H1 a H5	16
Tabla # 4. Unidades y espesores promedios para cada unidad	39
Tabla # 5. Núcleos recuperados	47
Tabla # 6. Características texturales núcleo R-329A	60
Tabla # 7. Análisis de Difracción de Rayos X, para el pozo 329A tomado de Delgado/Goesten (1983)	61
Tabla # 8. Lista de pozos activos en el área de estudio.....	83

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS Y ALCANCES

Dentro del Área Cabimas, los estudios más recientes se han sido realizado en la zona sur, por ser esta área donde se concentra el mayor porcentaje de pozos en producción, además los pozos recientes han sido perforados hacia esta zona; mientras que en el área norte uno de lo estudio más reciente es el de Geoclástica (1998), en el cual se usa información proveniente de los núcleos R-329A y R-821, no utiliza información de registros de pozos, ni genera mapas. Por los motivos antes expuestos se considero estudiar desde el punto de vista geológico el área norte, con la finalidad de complementar la información del Área Cabimas.

El Trabajo Especial de Grado tiene como finalidad la caracterización geológica de la parte norte del área Cabimas en la Costa Oriental de la Cuenca de Maracaibo; esto se obtiene integrando la información proveniente de núcleos y el uso de las electrofacies que permitan establecer y definir la geometría y espesor de los cuerpos de arena.

El objetivo general que se pretende alcanzar en este trabajo es evaluar los controles estratigráficos-estructurales de la parte norte del Área Cabimas Campo Costanero Bolívar (CCB) y sus implicaciones en la producción petrolífera, a través de la evaluación de la secuencia estratigráfica del Oligo-Mioceno. Es importante señalar que este trabajo también es el último requisito para optar al título de Ingeniero Geólogo otorgado por la UCV.

Objetivos Específicos

- Compilar información estructural y estratigráfica existente vinculada al área de estudio.
- Integración de las unidades formacionales de edad Oligo/Mioceno, a través de correlaciones detalladas por medio de perfiles de pozos (perfiles eléctricos, potencial espontáneo y rayos gamma).

- Calibrar la información arrojada por los núcleos y los registros de pozos.
- Determinar y evaluar las diferentes facies sedimentarias, a través del estudio de los núcleos.
- Determinar los diferentes ambientes sedimentarios que definen a la sección Oligo-Mioceno.
- Realización de mapa isopaco del Miembro Lagunillas Inferior.
- Realización de mapa isopaco del Miembro la Rosa Superior (RS)
- Realización de mapa isopaco del Miembro la Rosa Basal (RB2) que también es referido como el Miembro Santa Bárbara y Formación Icotea, ambas unidades consideradas una unidad única, por motivos de producción (Preussag Energy).
- Realización de mapa estructural del Miembro Lagunillas Inferior
- Influencia de los controles estratigráficos y estructurales sobre la acumulación de hidrocarburos
- Integración de la información obtenida para definir el marco estratigráfico-estructural del área de estudio.

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en la parte este del estado Zulia, municipio Cabimas, específicamente en la parte norte del Campo Costanero Bolívar, Área Cabimas, Figura I.1.

El bloque de estudio está localizado entre las coordenadas reticulares:

X1: 229.000 X2: 236.500

Y1: 1.144.500 Y2: 1.156.000

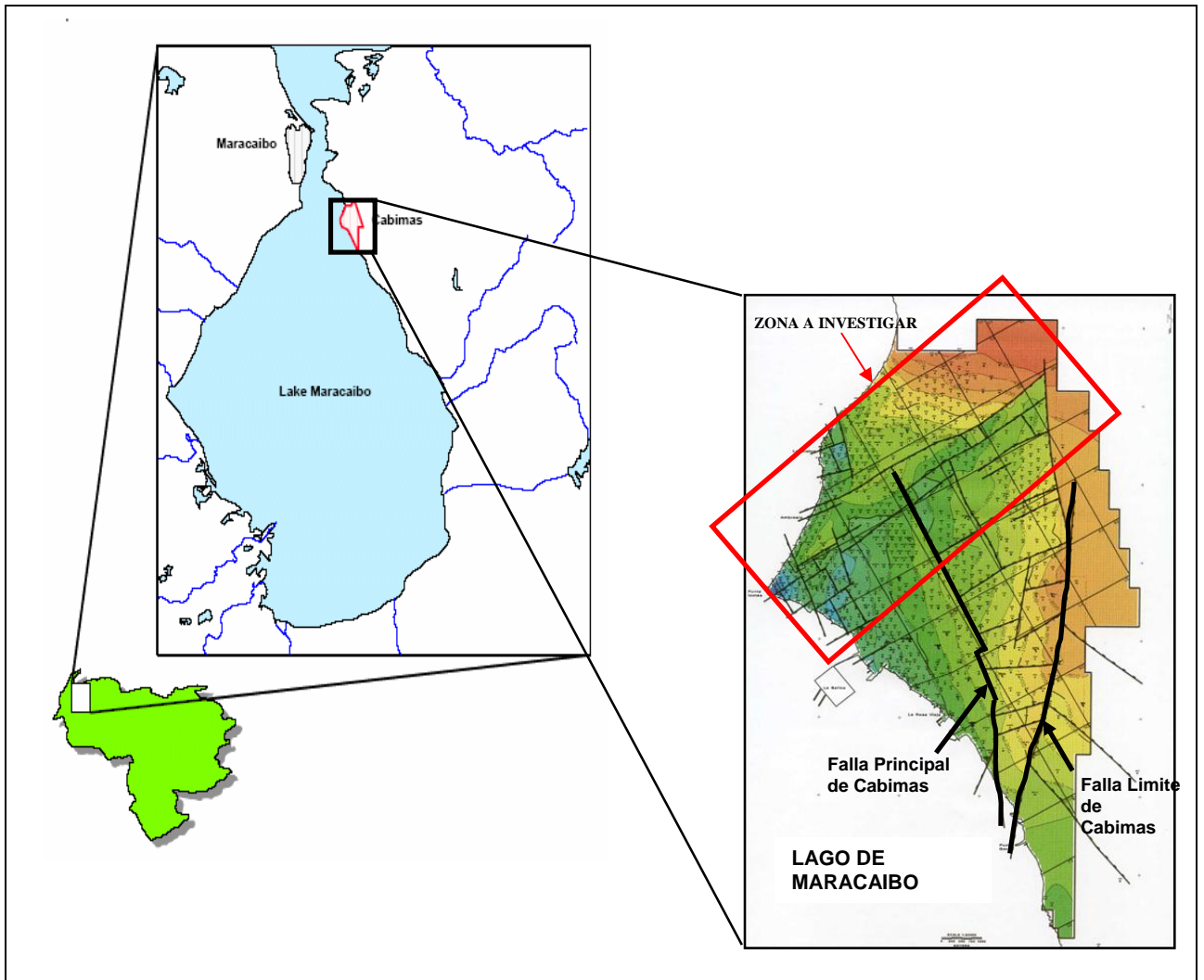


Figura I.1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Modificado de Espinoza, Mastrolorenzo y Tantow, 2000.

GENERALIDADES DEL CAMPO COSTANERO BOLÍVAR

La mayor extensión productora de toda la Cuenca de Maracaibo, considerada como una sola unidad, se denomina Campo Costanero Bolívar (CCB) (BORGER y LENERT, 1959; MARTÍNEZ, 1976).

Durante las primeras fases del desarrollo, la perforación descubrió acumulaciones muy separadas, y se les asignaron los nombres de Ambrosio, La Rosa, Icotea, Cabimas, Punta Benítez, Tía Juana, Taparito, Lagunillas, Pueblo Viejo, Bachaquero. Las extensiones y el desarrollo de los campos indicaron que se trataba realmente de una sola área, denominada Campo Costanero Bolívar (C.C.B.) (ALMARZA, 1998).

En el CCB, las actividades de perforación fueron iniciadas por la *Venezuelan Oil Concessions, Ltd.*, con el pozo Santa Bárbara N°1 (R1) en 1913. El Pozo Santa Bárbara N° 2 (R2) situado en el área Punta Gorda, al Sur de Cabimas, encontró la primera acumulación comercial; aunque la perforación de este pozo comenzó en 1913 no es terminado sino hasta el año 1917 produciendo de la arenisca Santa Bárbara del Mioceno. Cinco (5) años más tarde (1922), el Pozo Barroso-2 (R4) reventó sin control, arrojando 100.000 b/d de petróleo, lo cual estimuló el desarrollo a gran escala de esta enorme área petrolífera.

Después del descubrimiento en el Campo La Rosa, nuevos pozos exploratorios encontraron acumulaciones miocenas en Lagunillas (Lago-1, *Gulf*, 1926), Tía Juana (TJ-1, Lago, 1928) y Bachaquero (Lagunillas-1, *Gulf*, 1930); (ALMARZA, 1998).

La producción acumulada del Área Cabimas desde 1925 hasta diciembre de 2002 ha sido de 378 MMBBLS, principalmente (96%) de los yacimientos del Mioceno / Oligoceno. Actualmente, el petróleo es producido de 3 yacimientos, los cuales se yuxtaponen verticalmente:

- El yacimiento B-6 de la Formación Misoa, el cual está sellado desde el B-Superior de Misoa por la Unidad B-5. Las areniscas altamente consolidadas de este yacimiento no están en comunicación con los yacimientos más jóvenes.

- El yacimiento B-Superior de la Formación Misoa, conformado por sucesiones altamente estratificadas de areniscas / lutitas que en gran parte están erosionadas en bloques elevados y que están en comunicación hidráulica con los yacimientos más jóvenes del Oligo/Mioceno.
- Los yacimientos del Mioceno / Oligoceno, de areniscas consolidadas a no consolidadas, que se encuentran desde aproximadamente 3.500 pies bajo el nivel del mar (BNM) en el Oeste, hasta los afloramientos superficiales en el este del Área Cabimas.

Los pozos individuales de estos yacimientos producen diferentes calidades de petróleo entre 14° a 27° API con un promedio en el campo de 21° API. Debido al hecho de que ninguno de los yacimientos tiene un soporte acuífero activo, el campo produce con contenidos bajos de agua (ESPINOZA *et al.*, 2000).

TRABAJOS PREVIOS

Delgado y Goesten (1983): a través del estudio 800 pies de núcleos en el pozo 329A del Campo Cabimas, caracterizan a la Formación la Rosa (Miembro Santa Bárbara y Lutita La Rosa) como secuencias transgresivas costeras y depósitos marinos abierto, mientras que a la secuencia de la Rosa Superior, la define como secuencias regresivas en depósitos terrígenos al igual que la Formación Lagunillas Inferior.

Arata et al., (1985): realizaron una revisión general del Campo Cabimas para determinar el modelo estructural y sedimentológico del post-Eoceno, basados en el estudio de registros de pozos complementados con registros litológicos provenientes de la descripción de muestras de canal. Reconocieron dos secuencias principales de sedimentos, la primera asociada a una transgresión desde la discordancia del Eoceno hasta la lutita intermedia de la Formación La Rosa y la segunda, asociada a una regresión que se inicia en este último nivel.

El estudio sedimentológico permitió identificar la presencia de abundantes bioturbaciones; estas bioturbaciones ponen en contacto arenas a través de las lutitas intercaladas, pudiendo influir en la transmisión de fluidos.

La topografía del Eoceno erosionado y la reactivación de la falla principal y otras menores controlaron la sedimentación y orientación de la secuencia del post-Eoceno

Chacartegui (1985): basado en el estudio sedimentológico realizado a los núcleos de cinco pozos, interpretó a la Formación Lagunillas Inferior, en el Campo de Ceuta, como una serie de sedimentos depositados en un complejo deltaico que progradaba sobre la Formación La Rosa, en forma de canales distributarios, barras próximo-costeras, que incluyen barras de desembocadura, barras litorales y playas, abanicos de rotura y depósitos de plano y frente deltaico.

Talukdar y Marcano (1994): señalan que el Mioceno Temprano, se caracterizo por una transgresión marina, la cual es responsable de la depositación de

la Formación La Rosa; sobreimpuesta se encuentra la Formación Lagunillas depositada en un ambiente fluvial a deltaico

Gamero et al. (1995): este estudio se basa en el estudio de 1000 pies de núcleo de cinco pozos ubicados en los bloques III/IV, identificando 12 unidades sedimentarias y 8 unidades de flujo.

El Miembro Lagunillas Inferior representa un período de una subida relativa del nivel del mar, interrumpida por pequeñas fluctuaciones de la misma, siendo responsable de la alta heterogeneidad que caracteriza al Miembro Lagunillas Inferior.

El Miembro Lagunillas Inferior representa una evolución de ambientes desde un plano deltaico alto con dominio fluvial a un plano deltaico bajo, infrayacente se encuentra la Formación La Rosa que es interpretada como depósitos marinos someros. En la secuencia media se interpretan depósitos correspondientes a canales distributarios o de marea que luego evolucionan a depósitos de barra y por último a depósitos de laguna o bahía.

Bueno y Pinto (1997): describen la evolución estructural del Alto de Icotea, basándose en la interpretación sísmica 3D y la utilización de atributos sísmicos estructurales. Señalan que la estructura del Alto de Icotea es el resultado de varias y diferentes fases de deformación que actualmente se encuentran superpuestas.

Los alineamientos de Lama-Icotea y Lama Este han favorecido la acumulación de grandes volúmenes de hidrocarburos. Señalan además que la Formación La Rosa es de ambiente marino, mientras que la Formación Lagunillas es de ambiente continental.

León et al. (1997): este estudio demostró la heterogeneidad de la Formación La Rosa Basal a través de la interpretación de la sísmica 3D, la correlación pozo a pozo y nuevos datos de presión. La Arena Basal La Rosa, la cual tiene un espesor promedio de 25 pies, tradicionalmente han sido interpretadas como depósitos marinos, representa la depositación durante un sistema encadenado de bajo

nivel (LST). La Rosa incluye hacia la parte media y superior, a la “Lutita La Rosa”, una unidad depositada en un ambiente marino profundo como parte de un evento transgresivo.

Así mismo indican que el Bloque I está definido por un anticlinal como resultado del sistema de Fallas conocido como Lama-Icotea, demostrando esto una influencia importante del régimen tectónico sobre la sedimentación.

Fimlay y Gou (1997): indican que la falla Pueblo Viejo es un elemento estructural mayor de la Costa Oriental del Lago, en el cual se ubican los campos Ceuta y Bachaquero, donde esta falla separa dos dominios estructurales distintos: por una parte un dominio este profundo, caracterizado por una gruesa sección Eocena y pliegues suaves en el eoceno, y por un dominio oeste más somero caracterizado por una gruesa sección Mio-Plioceno y fallas normales en el Eoceno.

Así mismo señalan que la Formación Lagunilla Inferior consta de un sistema transgresivo poco desarrollado de unos 200 pies de espesor, caracterizados por canales y abanicos al pie del sistema de fallas de Pueblo Viejo.

Geoclástica (1998): Define a la Formación La Rosa y el Miembro Lagunillas Inferior, ambas de edad Mioceno, como una secuencia granodecreciente en un ambiente intermareal, establece que el Miembro La Rosa Intermedia fue desarrollada en la llanura alta de la zona intermareal, como resultado de un sistema regresivo; Santa Bárbara, la Rosa Superior y el Miembro Lagunillas Inferior son interpretados como depósitos de llanura arenosa en la llanura baja de la zona intermareal.

Guzmán (2000): señala que el canal falconiano tuvo una influencia importante en el desarrollo de los sistemas sedimentarios del Mioceno Temprano y Medio y en la delimitación de los principales yacimientos del área. El régimen estratigráfico para esta época estuvo controlado por el aporte de sedimentos desde la Sierra de Perijá y por la conexión marina con la Cuenca de Falcón.

En la reconstrucción paleogeográfica define que la jerarquía de las secuencias no está dominada por cambios eustáticos del nivel del mar, sino por las elevadas tasas de subsidencia y aporte de sedimentos producto del tectonismo pre-Andino evidenciado en la Sierra de Perijá. La Sierra de Perijá es la principal fuente de sedimentos hacia la cuenca durante el Mioceno Temprano- Medio, lo cual implica una tasa de subsidencia significativa.

La Formación la Rosa es definida como un sistema transgresivo en la base constituido por barras de plataforma y costas transgresivas en dirección suroeste-noreste, pasando a un sistema encadenado de alto nivel en un ambiente deltaico y de mareas; este sistema deltaico progradó desde el oeste-noroeste a través de la estructura de Lama-Icotea, hacia el espacio creado por el periodo transgresivo anterior en la parte noreste del lago entre las ciudades de Cabimas y Lagunillas.

La Formación Lagunillas Inferior, se define como un sistema transgresivo y un sistema encadenado de alto nivel; para el sistema transgresivo las facies cambian hacia arriba, de prodelta, anteplaya, depósitos de retrabajo transgresivo y lodolitas de plataforma, a canales fluviales y estuarinos, mientras que para los sistemas encadenados de alto nivel consiste de deltas lacustrinos y deltas de bahía que progradaron hacia bahías restringidas

METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo la metodología utilizada se dividió en tres etapas, las cuales ayudaron a alcanzar de manera satisfactoria los objetivos propuestos:

I Etapa: Recopilación de Información

- Recolección y recopilación de información bibliográfica, la cual incluye:
 - ✓ Consulta bibliográfica de trabajos de grado que fueron realizadas en la zona de estudio o en zonas aledañas.
 - ✓ Informes elaborados sobre el Área Cabimas por las diferentes empresas que han operado el área mencionada. Hay que señalar en este aspecto que las columnas realizadas por Geoclástica (1998) fueron tomadas y modificadas en este estudio.
 - ✓ Informes elaborados por expertos de las distintas áreas de las ciencias de la tierra en las áreas circundantes a la zona de estudio.
- Recopilación de información existente en la zona de estudio, tales como:
 - ✓ Mapas estructurales e isopacos existentes del Área Cabimas, con la finalidad de conocer el ambiente depositacional y la geometría de los diferentes yacimientos del área.
 - ✓ Correlaciones y secuencias estratigráficas-estructurales, con la finalidad de obtener un marco generalizado del área de estudio.
- Evaluar y examinar los pozos del área, con la finalidad de conocer aquellos que tengan curvas. De los 525 pozos que hay en la zona de estudio, solo 393 tienen registros (en las tablas número 1, 2, y 3 se listan los pozos por bloques y su ubicación se muestra en el anexo III, además en estas tablas también se señalan aquellos pozos que no tienen curva).
- Recopilación de perfiles (eléctricos, gamma ray) de la zona de estudio, realizados por las diferentes empresas que han operado el área (Maraven, PDVSA, Proussag).

- Introducción al manejo de la estación de trabajo SUN SOLARIS ULTRA 60, con la finalidad de:
 - ✓ Realizar correlaciones estratigráficas, con la herramienta StratWorks de la suite de OpenWorks de Landmark, esta es una herramienta que le permite al Geólogo poder realizar correlaciones hasta con 20 registros de pozos simultáneamente.
 - ✓ Elaboración de mapa estructural con la herramienta BaseMapa de Geoframe de Schlumberger.
 - ✓ Elaboración de mapa isopaco con la herramienta BaseMapa de Geoframe de Schlumberger.

- Ubicación de núcleos existentes, en la Nucleoteca de PDVSA La Concepción, estado Zulia.
- Recorrido de la zona de estudio para ubicar posibles afloramientos de las formaciones que se incluyen en este trabajo, con la finalidad de poder tener un mejor control de las características sedimentológicas y estratigráficas del área.
- Recopilación de información de datos estratigráficos provenientes de trabajos de perforación.

II Etapa: Procesamiento de Datos

- Revisión de los topes estratigráficos de la sección de estudio, a través de correlaciones detalladas por bloques, generando un mallado en el área de estudio. Con esta revisión se realizaron algunas modificaciones en la posición de los topes.
- Calibrar y evaluar los pozos que no tienen curva a través de datos de perforación, para lo cual se utilizaron marcadores estratigráficos como conchas y fragmentos fósiles de la Rosa Intermedia y La Rosa Superior, lutitas verdes y grises de la Rosa Intermedia, capa de carbón y lutitas carboníferas del tope del Miembro Lagunillas Inferior.

Los marcadores estratigráficos permitieron interpolar aquellos pozos que no tenían curva con los pozos que tienen curva, lo que permitió poder definir la posición estratigráfica de los topes con bastante precisión.

- Correlación estratigráfica de pozos este oeste y norte sur, utilizando como “*datum*” las lutitas intermedias de Lagunillas Inferior y en otros casos las lutitas de la Rosa Intermedia, con la finalidad de observar la continuidad lateral de los espesores de arena. El anexo IV muestra 4 correlaciones estratigráficas.
- Realización de varias secciones estructurales, con la finalidad de definir saltos y omisión de secuencias estratigráficas que puedan señalar la presencia de fallas.
- Validar la descripción de 1505 pies de núcleos, del estudio de Geoclástica (1998), recuperado de los pozos R-329-A y R-821; en este aspecto, hay que señalar que se realizaron algunas modificaciones así como también se describió parte del núcleo recuperado del pozo R-821.
- Interpretar la información proveniente de los núcleos R-329A y R-821, con la finalidad de describir las facies y reconstruir los ambientes sedimentarios que reinaron durante la depositación de la secuencia de estudio.
- Calibración núcleo-perfil, lo cual permitió definir el registro tipo correspondiente a la sección de estudio.
- Evaluación petrográfica de algunas de las secciones finas realizadas al pozo R-329A, con la finalidad de relacionarla con la información arrojada por el estudio macroscópico de los núcleos.
- Después de tener los topes definidos se procede a la elaboración del mapa estructural del Miembro Lagunillas Inferior.
- Elaboración de los mapas isopacos del Miembro Lagunillas Inferior y de dos unidades correspondientes a este miembro como son arenas de la salina y las arenas Cabimas; mapa isopaco del Miembro Santa Bárbara; estos mapas se elaboran utilizando los espesores de cada unidad.

III Etapa: Análisis y Resultados

- Evaluación de las características microscópicas y macroscópicas conjuntamente con la integración de la información suministrada por las correlaciones estratigráficas para determinar el ambiente depositacional donde se encuentran los depósitos que posteriormente actuaron de reservorio de los hidrocarburos
- Evaluar la importancia de los controles estratigráficos y estructurales en la acumulación de hidrocarburos.
- Realización del mapa estructural de la Formación Lagunillas Miembro Lagunillas Inferior.
- Realización de mapas isopacos, para observar la continuidad de los espesores de arena.
- Integración de la información arrojada para determinar el marco tectono-estratigráfico del área de estudio; donde se incluyen los distintos mapas obtenidos, como mapa estructural y mapas isopacos, además de las distintas hojas sedimentológicas que se obtuvieron de la evaluación de los núcleos.

Tabla # 1. Lista de pozos, bloques de F1 a F5

F2	F3	F4	F5	
R-175 *	R-279	R-635	R-464	R-546
R-175ST *	R-297	R-636	R-501	R-662
R-201 *	R-302	R-648	R-559	R-667
R-214 *	R-302ST	R-649	R-562	R-670
R-215 *	R-316	R-650	R-564	R-699
R-215ST	R-316ST	R-651	R-565	R-700
R-225 *	R-317	R-652	R-660	R-706
R-230 *	R-317ST	R-654	R-665	R-707
R-231 *	R-324	R-655	R-671	R-708
R-233 *	R-328	R-657	R-672	R-709
R-240 *	R-328ST	R-658	R-675	R-766
R-240ST *	R-331	R-659	R-676	R-767
R-245	R-331ST	R-663	R-686	R-770
R-247 *	R-340	R-664	R-687	R-771
R-252	R-340ST	R-669	R-688	
R-255 *	R-345	R-783	R-689	
R-256	R-347	R-785	R-690	
R-257	R-353	R-787	R-691	
R-267	R-353ST	R-809	R-692	
R-269	R-357	R-823	R-693	
R-273	R-399	R-823RD1 *	R-694	
R-274	R-399ST *	R-823RD2 *	R-695	
R-276	R-402	R-823RD3 *	R-696	
R-284	R-404	R-823RD4 *	R-697	
R-286	R-404ST		R-698	
R-288	R-502		R-701	
R-293	R-522		R-702	
R-296	R-522A *		R-703	
R-306	R-523		R-704	
R-309	R-557		R-764	
R-313	R-558		R-765	
R-319	R-560		R-775	
R-319ST	R-566		R-778	
R-323	R-566ST		R-789	
R-332	R-567		R-792	
R-336	R-600		R-793	
R-337	R-630		R-795	
R-360	R-631 *		R-797	
R-365	R-631ST *			
R-601	R-632			
R-601ST	R-633			
R-629	R-634			
TOTAL=42	TOTAL=66		TOTAL=38	TOTAL=14
* = pozos sin curva				

Tabla #2. Lista de pozos de los bloques G1 a G2

G1	G2	G3	G4	G5	G6
R-194 *	R-155 *	R-372	R-503	R-537	R-571
R-195 *	R-224 *	R-401	R-526	R-540	R-571ST
R-196 *	R-228 *	R-408	R-533	R-577	
R-197 *	R-242 *	R-408ST	R-536	R-718	
R-200 *	R-244	R-411	R-551	R-721	
R-202 *	R-249 *	R-411ST	R-563	R-724	
R-203 *	R-250 *	R-424	R-563ST *	R-733	
R-206 *	R-251 *	R-454	R-674	R-735	
R-207 *	R-253	R-516	R-677	R-737	
R-208 *	R-258 *	R-517	R-678	R-738	
R-209 *	R-259 *	R-520	R-679	R-739	
R-210 *	R-261	R-525	R-713	R-739ST1 *	
R-213 *	R-272	R-528	R-715	R-739ST2 *	
R-216	R-278	R-554	R-716	R-744	
R-217 *	R-278ST	R-555	R-726		
R-218 *	R-291	R-604	R-728		
R-219	R-291ST	R-604ST	R-753		
R-223 *	R-300	R-605	R-754		
R-223ST *	R-311	R-605ST	R-755		
R-226 *	R-314	R-607	R-756		
R-227 *	R-322	R-661	R-757		
R-229 *	R-325	R-752	R-759		
R-232 *	R-330	R-758	R-760		
R-234 *	R-338		R-761		
R-234ST *	R-341		R-762		
R-235 *	R-342		R-786		
R-237 *	R-348		R-788		
R-238 *	R-349		R-790		
R-239 *	R-349ST		R-791		
R-241 *	R-354		R-794		
R-243 *	R-356				
R-260	R-368				
R-264 *	R-374				
R-265	R-380 *				
R-326	R-603				
R-854	R-606				
	R-606ST				
	R-608				
TOTAL=36	TOTAL=38	TOTAL=23	TOTAL=30	TOTAL=14	TOTAL=2
* = pozos sin curva					

Tabla # 3, Lista de pozos de los bloques H1 a H5

H1			H2		H3	H4	H5
R-100 *	R-177 *	R-248 *	R-134 *	R-318	R-378	R-430	R-436
R-122 *	R-178 *	R-254	R-149 *	R-318ST	R-384	R-518	R-441
R-127 *	R-179 *	R-262	R-149ST	R-320	R-395	R-519	R-531
R-130 *	R-179ST *	R-263 *	R-270	R-320ST	R-396	R-527	R-532
R-136 *	R-180 *	R-263ST *	R-270ST	R-321	R-398	R-529	R-535
R-141 *	R-181 *	R-266	R-271	R-327	R-407	R-538	R-549
R-144 *	R-182	R-268	R-271ST	R-329	R-410	R-553	R-568
R-148 *	R-183 *	R-280	R-275	R-329A	R-414	R-572	R-569
R-150 *	R-184 *	R-281 *	R-275ST	R-333	R-510	R-573	R-570
R-153 *	R-185 *	R-281ST	R-277	R-334	R-510ST	R-580	R-574
R-153ST *	R-186 *	R-283	R-282	R-339	R-511	R-705	R-575
R-154	R-187 *	R-303	R-287	R-343	R-511ST	R-710	R-576
R-157 *	R-188 *	R-304	R-287ST	R-344	R-512	R-711	R-680
R-159	R-189	R-304ST *	R-289	R-344ST	R-521	R-712	R-681
R-161 *	R-191 *	R-305	R-290	R-346	R-539	R-730	R-682
R-162 *	R-192 *	R-312	R-290ST	R-346ST	R-581	R-732	R-683
R-163 *	R-193 *	R-351	R-292	R-350	R-582	R-734	R-684
R-164 *	R-193ST *	R-363	R-294	R-355	R-583	R-736	R-685
R-165 *	R-198 *	R-366	R-294ST	R-355ST *	R-583ST	R-741	R-714
R-167 *	R-198ST *	R-366ST *	R-295	R-359	R-590	R-748	R-717
R-167ST *	R-199 *	R-371	R-295ST	R-361	R-591	R-750	R-731
R-168 *	R-204 *	R-392	R-298	R-362	R-593	R-751	R-742
R-169 *	R-205 *	R-530	R-301	R-367	R-595	R-763	R-743
R-170 *	R-211	R-78 *	R-301ST	R-367ST	R-596		R-745
R-171 *	R-212 *	R-855	R-307	R-813-E	R-598		R-747
R-172 *	R-220 *		R-307ST	R-852	R-637		R-779
R-173 *	R-221		R-308		R-816-E		R-780
R-174 *	R-222 *		R-310				R-782
R-176 *	R-236 *		R-315				R-784
R-176ST *	R-246 *		R-315ST				
TOTAL =87			TOTAL = 56		TOTAL =27	TOTA =23	TOTAL =29
* = pozos sin curvas							

CAPÍTULO II GEOLOGÍA REGIONAL

MARCO ESTRATIGRÁFICO REGIONAL

La historia Precámbrico-Paleozoico del noroeste de Venezuela no es bien conocida debido a la escasez de controles radiométricos que ayuden a establecer edades con mayor precisión. Además, las relaciones estratigráficas se complican debido a los diferentes eventos metamórficos sobreimpuestos que han ocurrido en el área.

La cuenca de Maracaibo contiene sedimentos depositados desde el Jurásico hasta el Holoceno; no obstante el mayor volumen de sedimentación conocido ocurre durante el Cenozoico. La figura II.1 muestra una sección generalizada E-O de la cuenca y en la figura II.2 se observa la columna estratigráfica generalizada de la Cuenca de Maracaibo.

Dos principales unidades de basamento pueden ser reconocidas para la cuenca: una constituida por capas metasedimentarias del Paleozoico Superior, denominada Formación Mucuchachí y equivalentes con tendencia NW-SE a lo largo del Arco de Mérida; la otra está conformada por las capas rojas jurásicas de la Formación La Quinta las cuales rellenan el sistema de graben de tendencia NNE (Lugo, 1991).

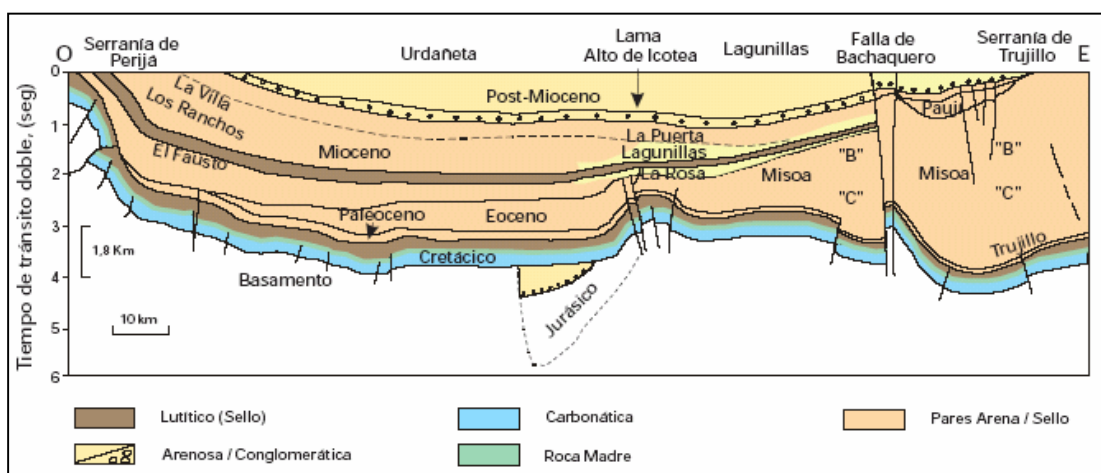


Figura II.1. Sección O-E de la Cuenca de Maracaibo.

Tomado de Ostos y Yoris, 1997

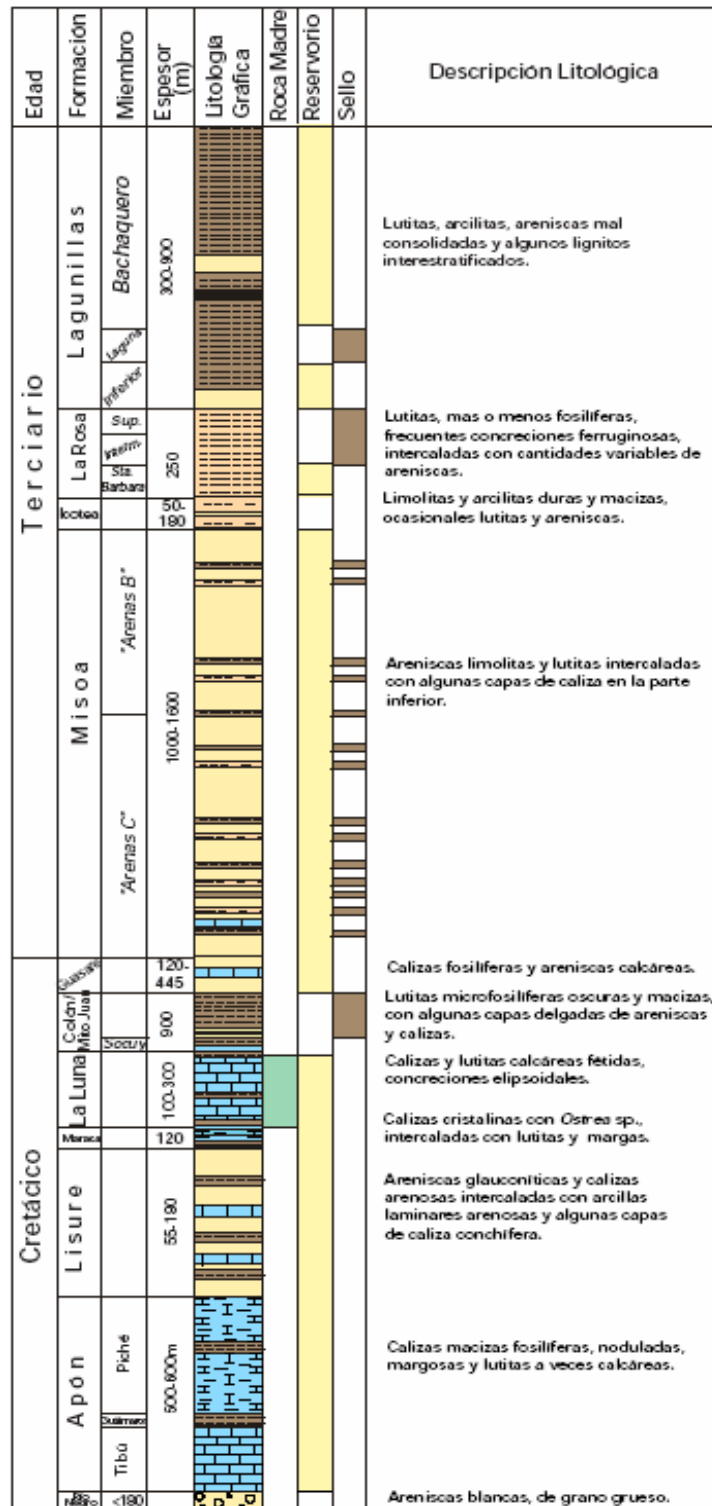


Figura II.2 Columna estratigráfica compuesta del Lago de Maracaibo (Fuentes Parnaud *et al.*, 1995, González de Juana *et al.*, 1980 y Roger *et al.*, 1989).

Tomado de Ostos y Yoris, 1997

Triásico-Jurásico

Durante el Jurásico, la Cuenca de Maracaibo formaba parte de un sistema mayor de grábenes que se extendía a lo largo del noreste de Sudamérica (Figura II.3). Todos estos grábenes fueron rellenados por sedimentos tipo “Capas Rojas”, volcánicas de diversos tipos (eventualmente clásticos) y calizas de invasiones marinas. En la Cuenca de Maracaibo estos sedimentos corresponden a la Formación La Quinta, compuestos de capas rojas de origen continental e intercalado con flujos de lava (GONZÁLEZ DE JUANA *et al*, 1980).

En el transcurso del Jurásico Tardío tienen lugar las primeras etapas de apertura del Océano Atlántico la cual está reconocida en la Cuenca de Maracaibo con el inicio del relleno de los semi-grabenes con sedimentos marinos. Esta sedimentación se inicia desde el norte de la cuenca, y más concretamente sobre la parte sur de la Península de la Guajira (AUDEMARD, 1991).

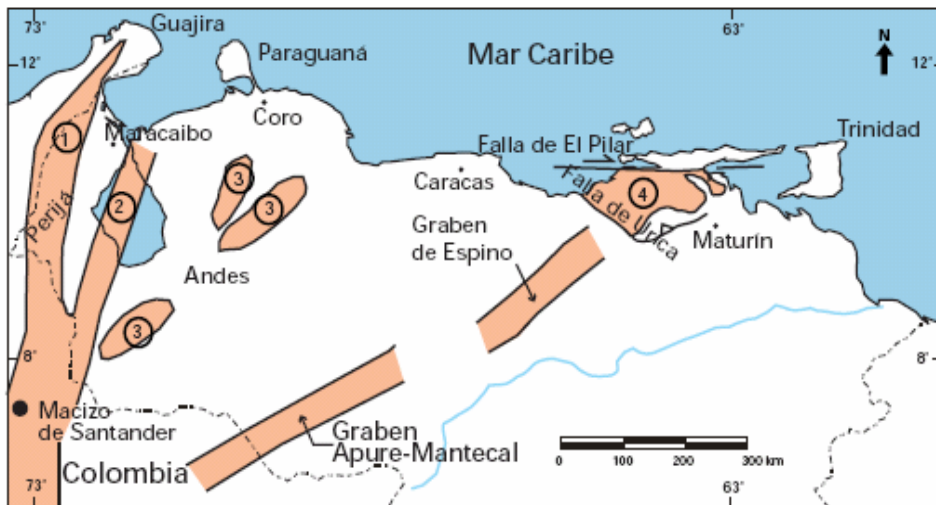


Figura II.3. Distribución de las rocas jurásicas en Venezuela mostrando que las mismas se depositaron en grabenes. Aflorando en la Sierra de Perijá (1), como parte del basamento en el subsuelo de la Cuenca de Maracaibo (2), en los Andes (3), en el subsuelo de las cuencas de Barinas-Apure y Oriental (graben de Apure-Mantecal y Espino) y han sido interpretadas como involucradas en profundidad en los corrimientos de la Serranía del Interior (4).

Tomado de Ostos y Yoris, 1997.

Cretácico

En el Cretácico Temprano se inicia la transgresión causada por la subsidencia gradual del borde de Guayana, que continuó hasta el Santoniense, y por la subida del nivel del mar a escala mundial (VAIL *et al.*, 1977). La sedimentación transgresiva del Cretácico comienza con los clásticos básales de origen continental de la Formación Río Negro (LA CRUZ, 2000).

Durante el Aptiense y Albiense se estableció un ambiente marino somero estable, el cual propició la formación de una plataforma de sedimentos carbonáticos que constituyen el Grupo Cogollo (Formación Apón, Formación Lisure y Formación Maraca) Figura II.4.

En el Albiense se produjo un importante influjo clástico y se desarrollaron ambientes con condiciones oscilantes de oxigenadas a reductoras que se reflejan en la depositación de arenas glauconíticas, calizas y lutitas de la Formación Lisure. Para finales del Albiense Tardío se encuentran delgadas capas de calizas fosilíferas de la Formación Maraca.

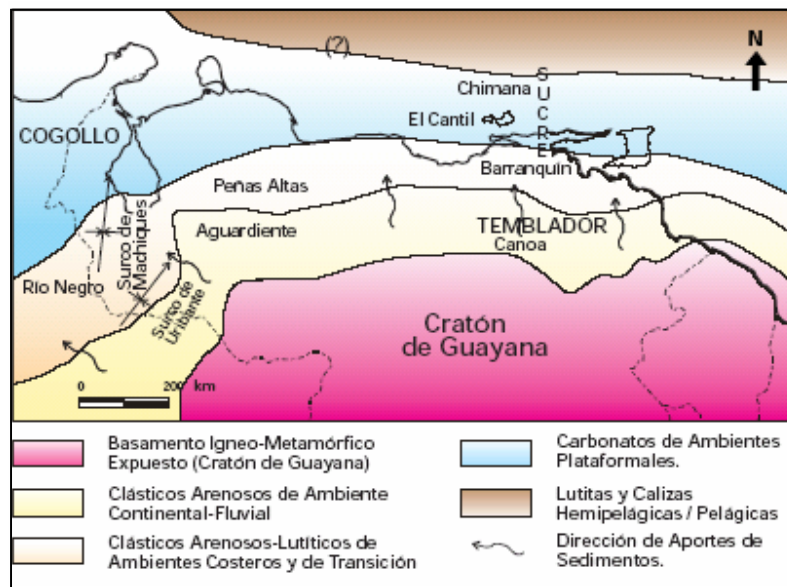


Figura II.4. Distribución de facies sedimentarias dominantes durante el Neocomiense-Albiense (Cretácico Temprano).

Tomado de Ostos y Yoris, 1997

Las condiciones de máxima inundación se alcanzaron del Cenomaniense al Campaniense Temprano (GALEA, 1989), es entonces cuando ocurre la sedimentación en condiciones euxínicas de secuencias de sedimentos finos de calizas y lutitas calcáreas negras, fosfáticas, ricas en materia orgánica, que constituyen la Formación La Luna, considerada la principal roca madre en la cuenca de Maracaibo. Figura II.5

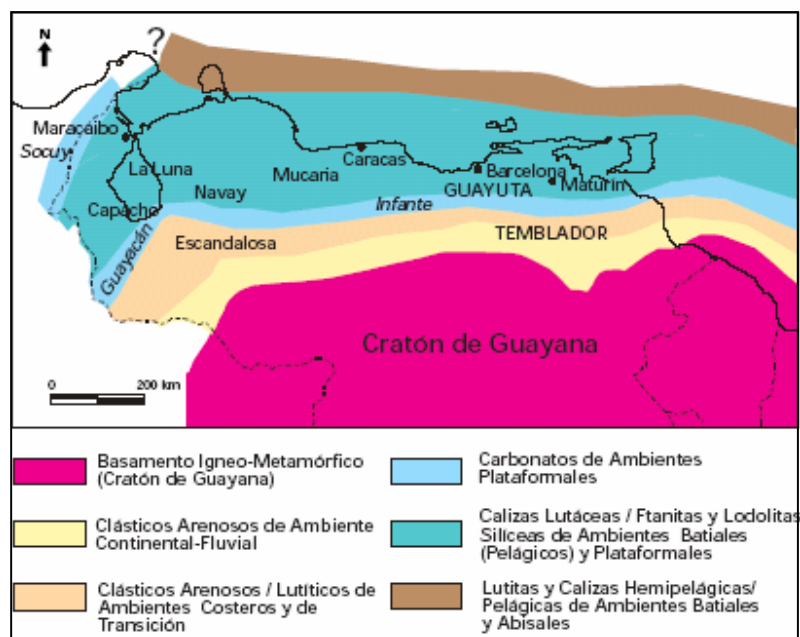


Figura II.5. Distribución de facies sedimentarias dominantes durante el Cenomaniense-Campaniense (Cretácico Tardío).

Tomado de Ostos y Yoris, 1997

Esta etapa de máxima transgresión es seguida en el Campaniense por un período de escasa sedimentación representado por las capas glauconíticas y fosfáticas de los Miembros Tres Esquinas y Socuy de la Formación Colón, que evidencian el inicio de una regresión. En el Maestrichtiense Tardío, aparecen intervalos arenosos que en algunas partes de la cuenca se conoce como Formación Mito Juan (AUDEMARD, 1991).

Cenozoico

La gran mayoría de las unidades terciarias al noroeste de Venezuela refleja la evolución de un cinturón plegado que avanza desde el oeste- noroeste al este-sureste, figura II.6.

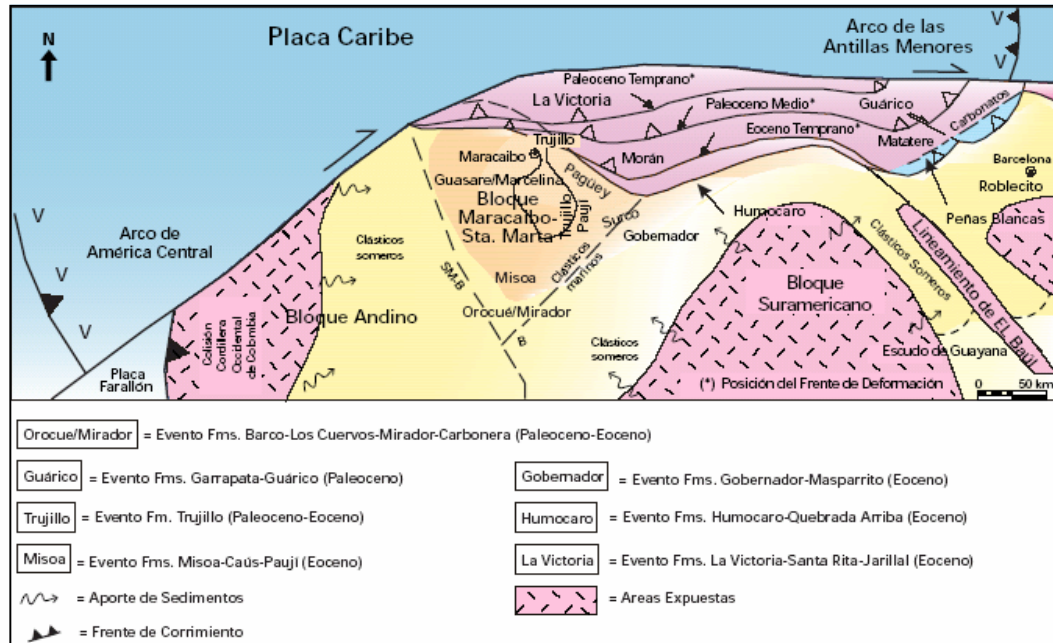


Figura II.6 Migración del frente de deformación del Caribe hacia el este-sureste y sedimentación epi/perisutural asociada durante el Paleoceno-Eoceno.

Tomado de Ostos y Yoris, 1997.

El Paleoceno en el área del Lago de Maracaibo está compuesto de calizas y areniscas calcáreas de la Formación Guasare, que representa ambientes más someros y que refleja una mayor lejanía de los frentes de deformación. La Formación Guasare grada hacia el noroeste a las lutitas de la Formación Marcelina y hacia el oeste cambian a los sedimentos gruesos del Grupo Orocué, (Lugo, 1991).

Para esta época, una amplia costa deltaica y un cinturón litoral fueron desarrollados al oeste (aproximadamente en la posición actual de la Sierra de Perijá) mientras que al sureste y al norte del escudo de Guayana prevalecían aún las condiciones marinas (AUDEMARD, 1991).

La estratigrafía del Eoceno en la Cuenca de Maracaibo es difícil de calibrar debido a la falta de control paleontológico y los cambios en las facies sedimentarias, las cuales varían de ambientes marinos abiertos a condiciones sedimentarias más restringidas y continentales. Los depósitos del Eoceno Temprano conocidos están representados por la Formación Mirador de carácter fluvial al suroeste del lago, por la Formación Misoa fluvio deltaica y por la sedimentación turbidítica de la Formación Trujillo en la parte este-noreste de la misma localidad.

Para el Eoceno Medio, el sistema fluvio-deltaico representado por la Formación Misoa muestra su máxima expresión. Hacia finales del Eoceno Medio, ocurre una considerable deformación que expone las rocas ya depositadas, por consiguiente, muchas de las unidades fueron erosionadas. De esta manera las unidades post Eoceno Medio de la cuenca, son discordantes con respecto a las unidades inferiores (AUDEMARD, 1991).

Durante el Eoceno Tardío se produce una fuerte compresión oblicua lateral derecha a lo largo del límite de las placas Suramérica y del Caribe. Este hecho se refleja a través de la distribución de todas las unidades sedimentarias presentes al norte de Sudamérica (AUDEMARD, 1991). Ocurre un levantamiento generalizado de la Cuenca de Maracaibo y un periodo de fallamiento importante. Se produce la erosión profunda del Eoceno Medio, removiendo casi totalmente el conjunto Paují y Mene Grande y la remoción parcial de Misoa hacia el oeste de la Cuenca (AUDEMARD, 1991).

Durante el Oligoceno y Mioceno, la erosión continua sobre grandes extensiones de la parte norte-noreste del lago y comienza la sedimentación no marina hacia el oeste-suroeste, la cual se preserva solo en los sinclinales y es conocida como Formación Icotea, que se encuentra en forma esporádica rellenando depresiones de la superficie eocena erosionada (AUDEMARD, 1991, Figura II.7)

La cuenca de Maracaibo subsidia en conjunto, inclinándose al oeste, al tiempo que era invadida otra vez por las aguas del mar, depositándose sobre la superficie de la discordancia los sedimentos de la Formación La Rosa, con un conjunto de lutitas marinas fosilíferas que marcan la extensión máxima de la transgresión. Sobre la

Formación La Rosa en forma transicional y localmente interdigitada se sedimentó la Formación Lagunillas (GONZÁLEZ DE JUANA, *et al.*, 1980).

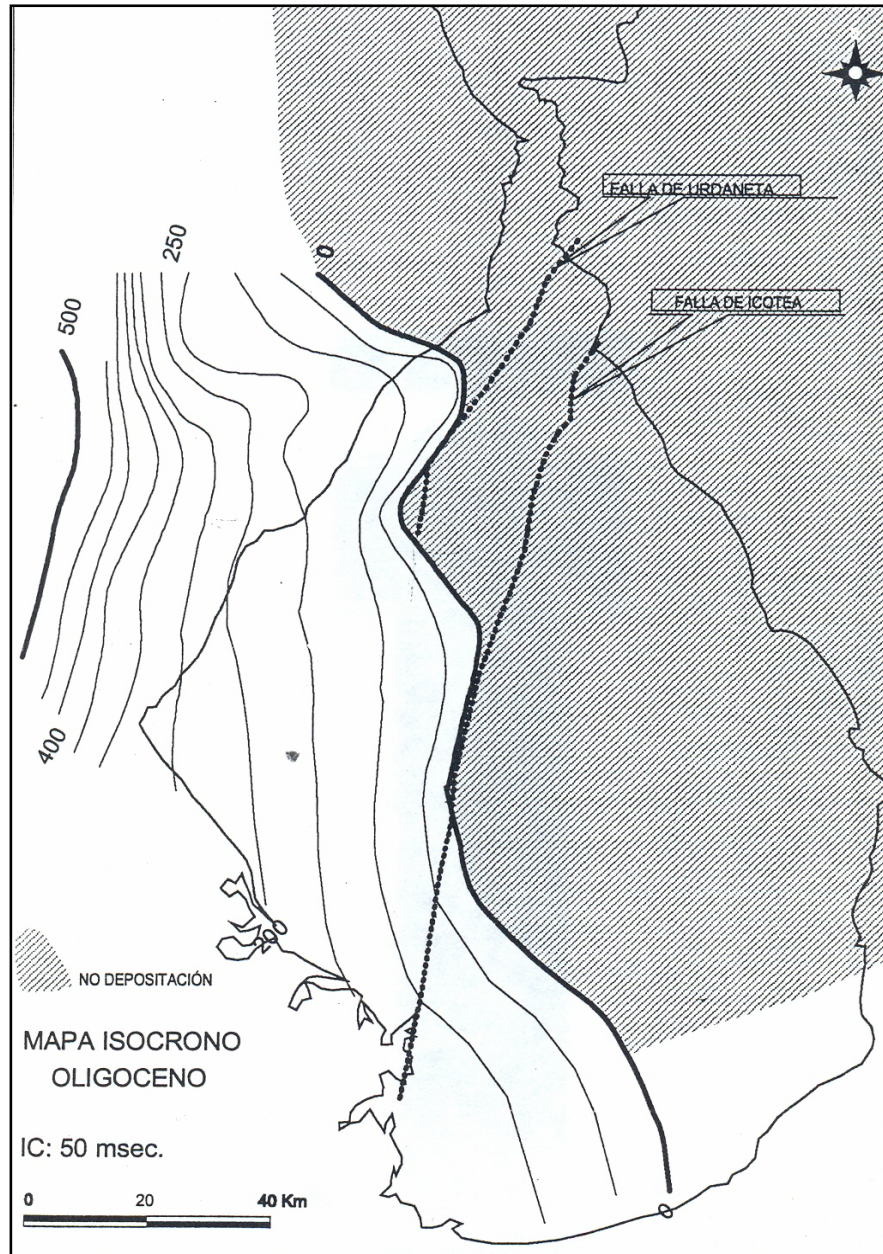


Figura II.7. Mapa isocrono para el Oligoceno, Formación Icotea. Los depósitos expuestos al este de la fallas de Urdaneta e Icotea proveen los clásticos para la cuña oligocena al oeste en un sistema encadenado de bajo nivel.

Tomado de Lugo, 1991

Durante el Mioceno Tardío al Plioceno, continuó la subsidencia de la cuenca de Maracaibo, solo que inclinándose hacia el sur más que al oeste. Los sedimentos más jóvenes, como la Formación Isnotú, son sedimentos continentales compuestos por arcillas sub-aéreos junto con arenas fluviales gruesas y conglomerados (AUDEMARD, 1991).

AUDEMARD (1991), menciona que para la cuenca de Maracaibo los depósitos Mioceno Tardío al Holoceno se espesan al sureste, donde más de 8 Km. de sedimentos fluvio deltaicos se encuentran adyacentes en la parte noroccidental del frente de montaña andino. El espesor de este intervalo a lo largo del flanco surandino es aproximadamente la mitad del espesor observado en el flanco norandino.

Esta sedimentación divergente, evidencia el levantamiento de los Andes de Mérida (ROJAS, 2000). Por lo tanto para este lapso de tiempo los Andes de Mérida sustituye a la Sierra de Perijá como la principal fuente de sedimentos (figura II.8).

Hacia finales del Mioceno y principios de Pleistoceno, se producen cambios significativos en la cuenca. Los Andes de Mérida y la Sierra de Perijá alcanzan la elevación que muestran actualmente. Debido a estos levantamientos, la cuenca de Maracaibo desvía la orientación de su inclinación de oeste a sur-sureste permitiendo que una gran cantidad de sedimentos entraran por el norte de la antefosa andina, (Lugo, 1991).

Los Andes se caracterizan por movimientos verticales de gran magnitud si se compararan con su poco acortamiento hacia la cuenca de Maracaibo; es por ello que los sedimentos que provienen del levantamiento andino se concentran cercanos a los Andes y la influencia de las áreas levantadas del norte aportan gran cantidad de sedimentos.

Para tiempos de la Formación Isnotú, La Sierra de Perijá y los Andes de Mérida alcanzan la elevación actual y debido a estos levantamientos la cuenca cambia su orientación de oeste a sur-suroeste permitiendo la depositación de una gran cantidad de sedimentos en la antefosa al norte de los Andes,(LUGO, 1991; Figura II.9).

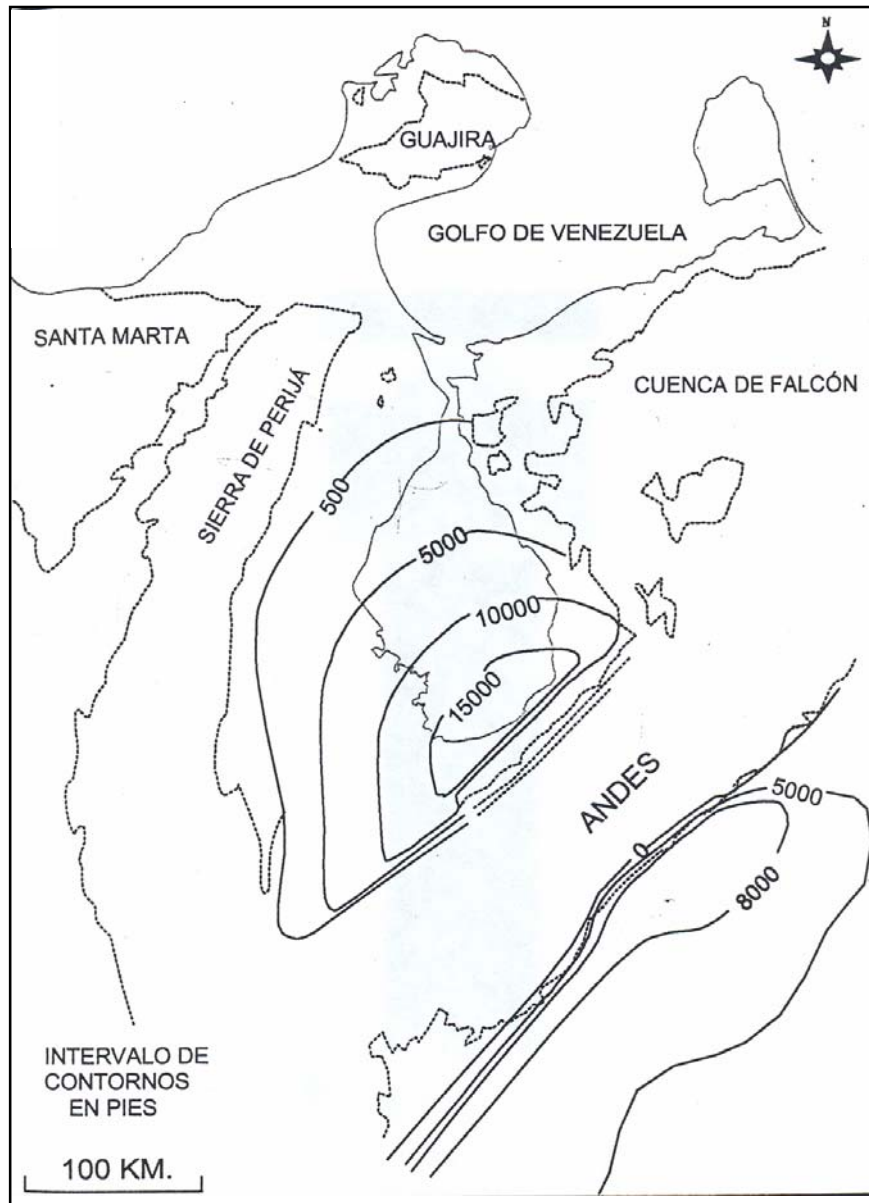


Figura II.8. Mapa isopaco simplificado del Mioceno Tardío al Plioceno
Tomado de Audemard, 1991

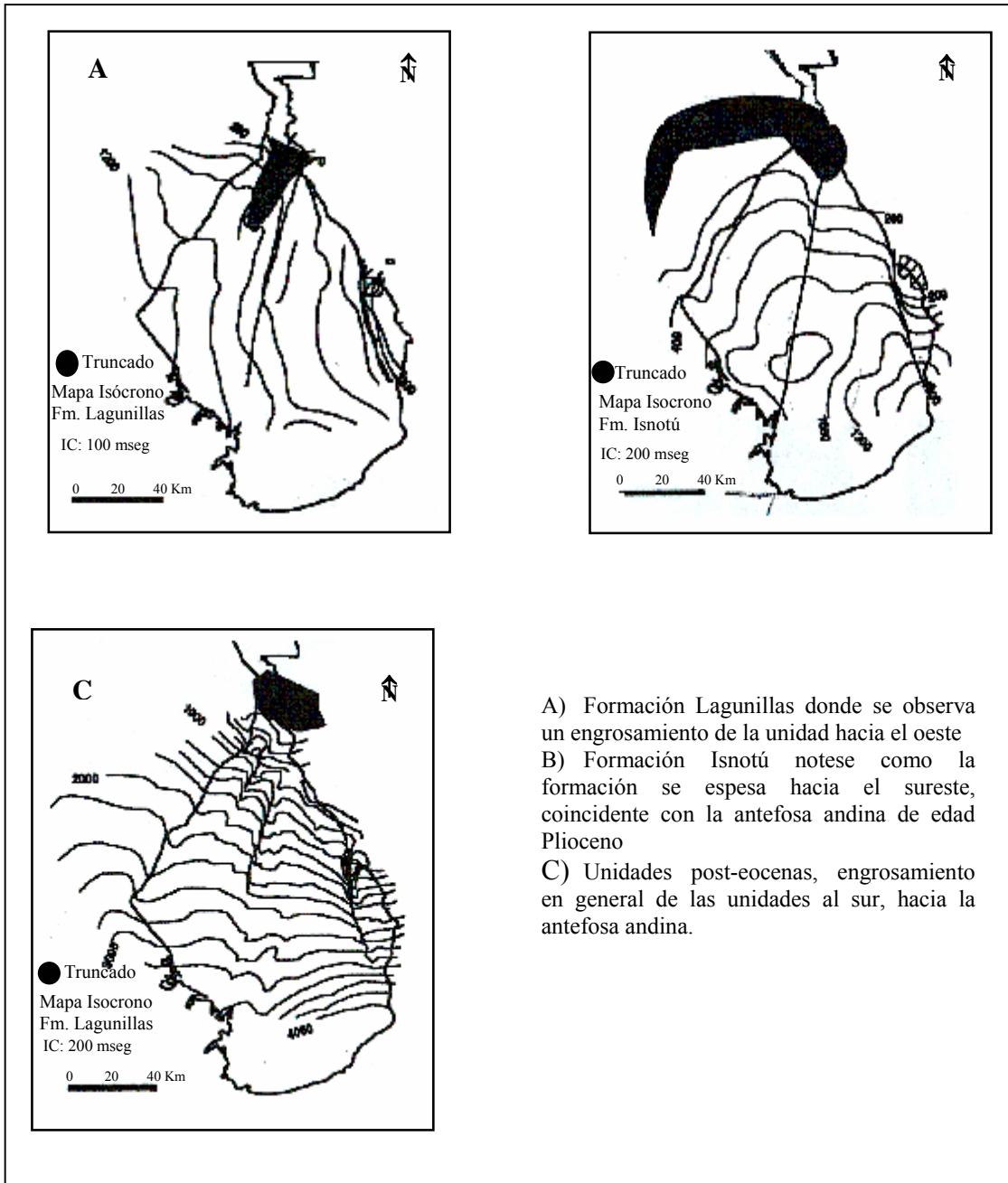


Figura II.9. Mapas isocronos para las unidades, Formación Lagunillas; Formación Isnotú y formaciones post eocenas.

Tomado de Lugo, 1991

MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL

La Cuenca de Maracaibo está enmarcada por tres alineamientos orogénicos mayores: La Sierra de Perijá al oeste, Los Andes de Mérida al sureste y la Serranía de Trujillo al este; el marco se completa con el sistema de la falla de Oca al norte de la Cuenca (GONZÁLEZ DE JUANA, “*et al*”, (1980). Estos elementos tectónicos mayores fueron calificados por MILLER “*et al*”, (1958) como “cinturones móviles”. Dentro de los cinturones móviles se desarrolla un gran sinclinorio que integra estructuralmente a la cuenca petrolífera de Maracaibo; dentro del mismo se conocen diversos alineamientos tectónicos, alguno de los cuales no tienen importancia para la producción de petróleo. SUTTON (1946), STAFF (1948) y MILLER “*et al*”, (1958) consideran que tales alineamientos son paralelos al elemento tectónico mayor cercano.

La figura II.10, muestra algunos de los elementos estructurales mayores y los alineamientos tectónicos dentro de la cuenca, señalando los esfuerzos compresivos que ejercieron el levantamiento de los Andes de Mérida y la Sierra de Perijá en la Cuenca de Maracaibo.

Numerosos eventos tectónicos han afectado la configuración de la cuenca y sus tendencias estructurales; las cuales para la época pueden ser divididas, según LUGO (1991), en seis tendencias estructurales a saber:

- Fallas mayores de orientación NNE-SE, entre las cuales se encuentran las fallas de Icotea, Pueblo Viejo, Urdaneta y Lama.
- Fallas de corrimiento NW-SE, se localizan en las áreas de Centro Lago, Lagunillas, Bachaquero y Ambrosio, poseen en general una vergencia sur-suroeste lo cual indica un transporte tectónico desde el norte-noreste, ocurrido durante el Eoceno Temprano a Medio.

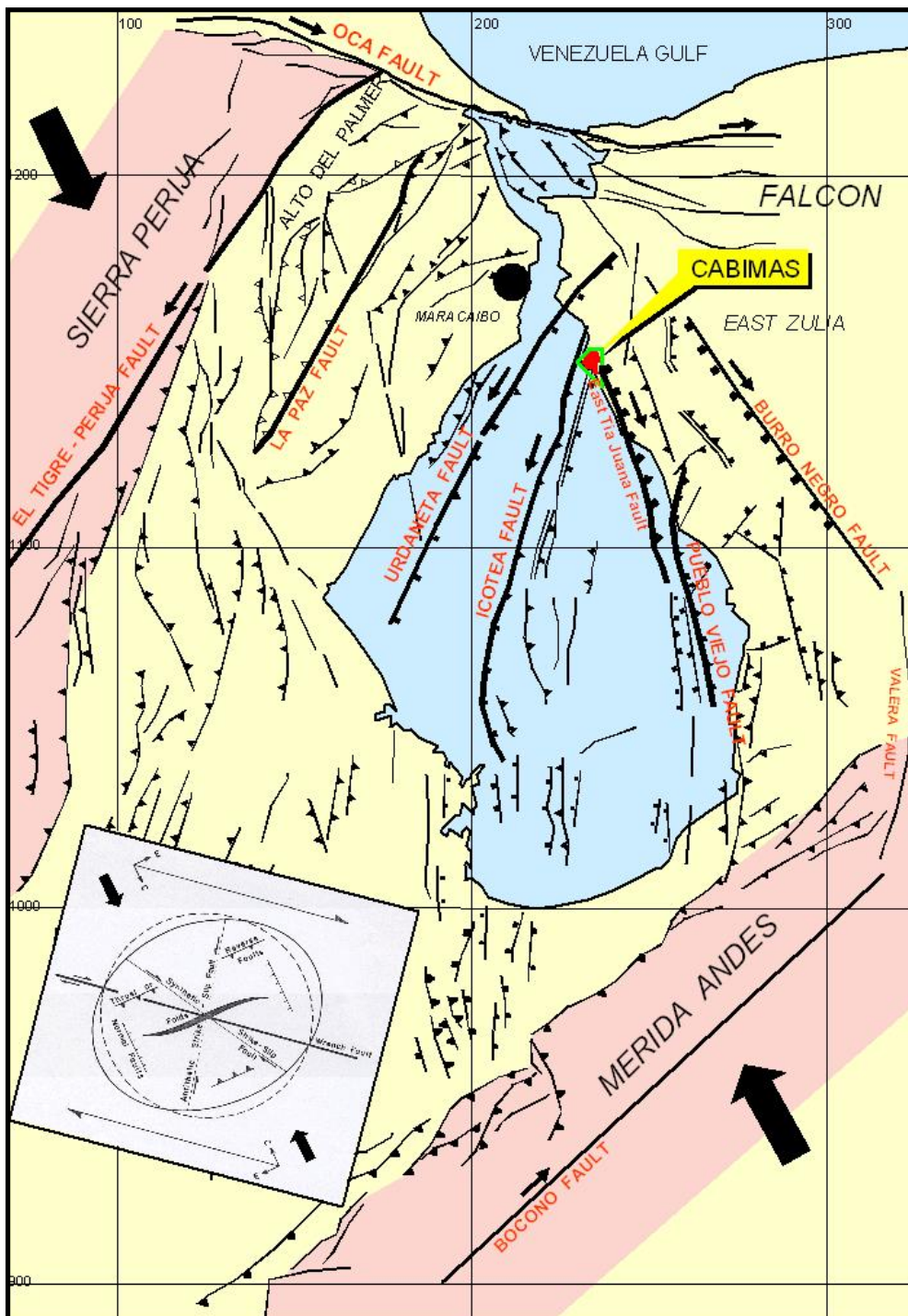


Figura II.10. Sistemas estructurales mayores que limitan la Cuenca de Maracaibo.

Tomado de Espinoza *et al.*, 2000

- Fallas normales de orientación NW-SE, las cuales son numerosas hacia la parte norte del lago y afectan en su mayoría a las unidades del Eoceno, observándose que su actividad afecta hasta la discordancia del Eoceno-Mioceno. Algunas de estas fallas posteriormente fueron reactivadas durante el Mioceno.
- Pliegues en sentido NE-SW, muchos de ellos de edad Mioceno que afectan toda la sección sedimentaria de la cuenca y constituyen las principales trampas de hidrocarburos.
- Fallas de corrimiento N-S con vergencia principal al oeste, su ocurrencia es mayor en las áreas de Perijá y en menor proporción y relieve en la Costa Oriental de Maracaibo, su formación se asocia a una compresión regional con sentido E-W durante el Mioceno-Holoceno.
- El evento más reciente se evidencia hacia el área sur de la Cuenca de Maracaibo, durante el Mioceno Tardío. Debido al levantamiento andino ocurre reactivación e inversión de las fallas pre-existentes lo cual genera planos de despegue subparalelos a los planos de estratificación.

PARNAUD *et al.*, (1995) definen seis supersecuencias, limitadas por discordancias, que evidencian la dinámica evolución de las cuencas en el Mesozoico-Cenozoico, que va de un proceso de extensión a uno de colisión, estas supersecuencias son:

- La supersecuencia A fue depositada durante un episodio de apertura de corteza del Jurásico.
- La supersecuencia B corresponde al margen pasivo subsiguiente, durante el Cretácico Temprano al Tardío.
- La supersecuencia C marca la transición a un régimen compresivo en el Cretácico Tardío y Paleoceno Temprano. La compresión es el resultado de la colisión y abducción del arco volcánico pacífico al oeste con la placa suramericana.
- La supersecuencia D pone de manifiesto el desarrollo de la cuenca antepaís del Paleoceno Tardío-Eoceno Medio, al frente del arco volcánico pacífico y el emplazamiento de las napas de Lara.

- Las supersecuencias E y F se atribuyen a las modificaciones en la cuenca de antepaís debidas a la colisión Eoceno Tardío-Pleistoceno del arco de Panamá. En la figura II.11 se observa la evolución de las supersecuencias.

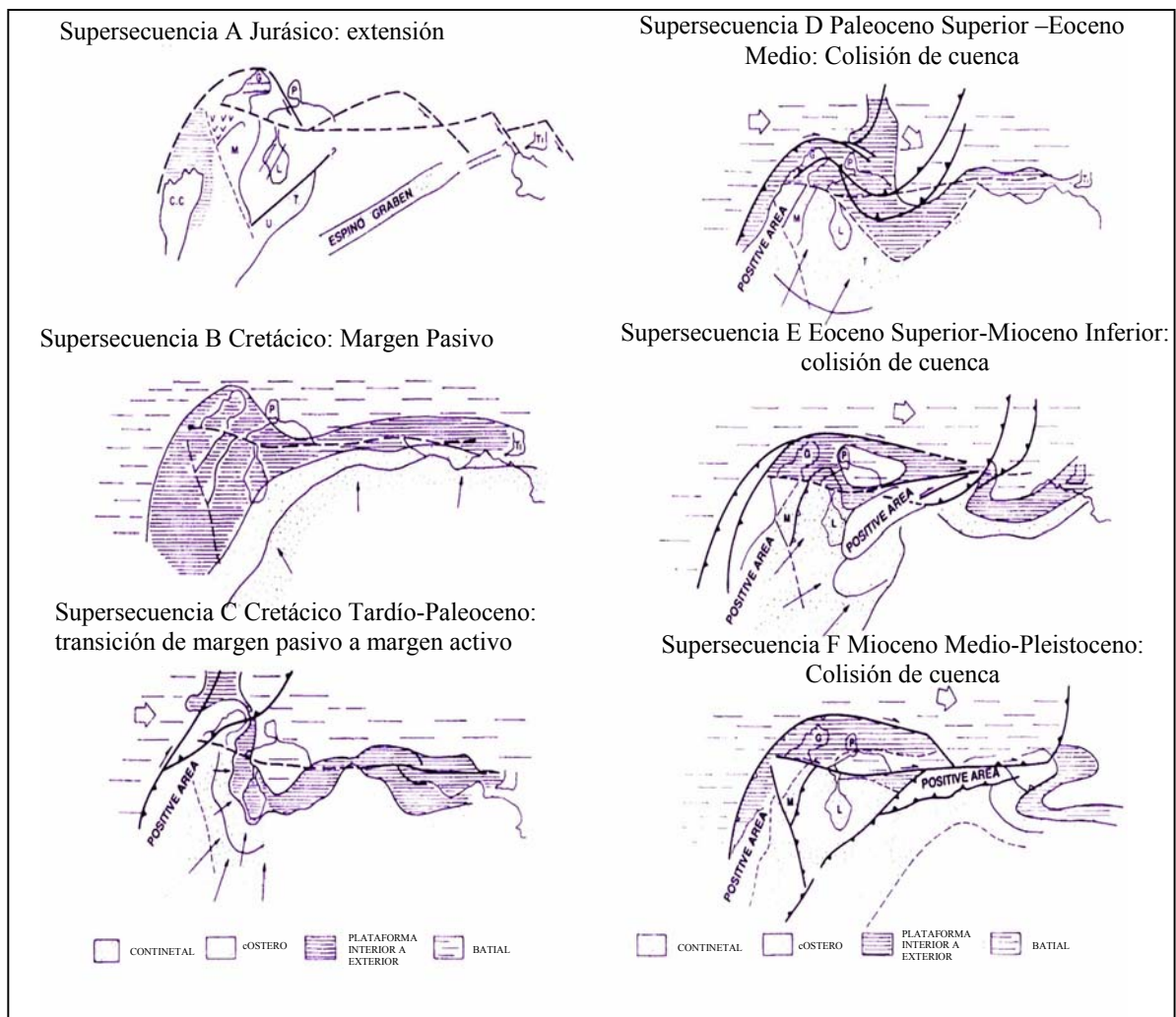


Figura II.11. Evolución geotectónica de Venezuela, supersecuencias A-F. Símbolos: M, Machiques; U, Uribante; T, Trujillo; L, Lago de Maracaibo; CC, Cordillera Central; G, Guajira; P, Paraguay; Ti, Trinidad.

Modificado de Parnaud *et al.*, 1995

En la Cuenca de Maracaibo los sistemas de fallas de Icotea y Pueblo Viejo son los elementos estructurales más grandes e importantes que intervinieron en la conformación de dicha cuenca. Estas fallas alineadas en orientación NNE-SSO, son sistemas susceptibles a la reactivación/inversión durante los diferentes regímenes tectónicos que afectaron la cuenca y su relleno sedimentario (LUGO, 1992). Estos períodos son (figura II.12):

1. Activación continúa desde la apertura continental jurásica hasta el Eoceno Temprano. Originalmente, este evento tectónico pudo haberse iniciado cuando se formó el arco de Mérida en el Paleozoico Superior, tiempo en el cual las fallas de Icotea y Pueblo Viejo conjuntamente con las fallas de Valera, Carache y Tigre actuaron como límites entre bloques tectónicos (LUGO, 1992), pero el sistema estructural de la Cuenca de Maracaibo se restableció en el Jurásico, cuando la apertura continental, que separó la Placa Norteamericana de la Suramericana, dio inicio a un régimen tectónico extensional (LUGO, 1992).

Durante la formación de este “rift” se consolida el paleo-margen suramericano y, contemporáneamente, forma grábenes y semi-grábenes de dirección NNE-SSO, los cuales fueron rellenados con espesas secuencias volcánicas y clásticas de origen continental de la Formación La Quinta (Jurásico) y Río Negro (Cretácico Inferior, LUGO, 1992).

Durante el Cretácico hasta el Paleoceno ocurrió un hundimiento progresivo de la cuenca producto de la subsidencia termal, sin desarrollo tectónico de importancia. Durante este tiempo se comenzaron a depositar sedimentos con alto contenido de materia orgánica bajo condiciones euxínicas representadas por la Formación La Luna.

Al finalizar el Paleoceno y durante el comienzo del Eoceno Temprano, se desarrolló la primera fase de compresión producto del movimiento de la placa del Caribe, el cual provocó el emplazamiento de las napas de Lara creando una antefosa en la parte oriental de la Cuenca de Maracaibo y de este modo una cuenca flexural o de antepaís. La antigua plataforma Cretácica fue deformada por el descenso en forma escalonada hacia dicha fosa, mediante fallas normales de dirección NO-SE (AUDEMARD, 1991).

En este período, como consecuencia de la colisión oblicua de la placa del Caribe con la Suramericana, también se produjo una rotación horaria de la cuenca, facilitada por la reactivación de algunas estructuras Jurasicas de rumbo NE, como fallas transcurrentes sinestrales (AUDEMARD, 1991).

2. Reactivación por inversión tectónica durante los sistemas transpresivos del Eoceno Tardío-parte media y Mioceno Medio a Tardío. Este régimen puede ser dividido en tres periodos:
 - a) Parte media del Eoceno Tardío en el que se delinearon los principales estilos estructurales. Está caracterizado por varios estilos relacionados: a) fallamiento continuo en dirección NNE mostrando estructuras positivas en flor a lo largo de las fallas de Icotea, VLE y posiblemente Pueblo Viejo, b) fallamiento normal en *echelon* alineados al noroeste y c) fallamiento inverso y anticlinales alineados en *echelon* en la dirección noreste.
 - b) Eoceno Tardío a Mioceno Temprano, caracterizado por un periodo de relativa tranquilidad tectónica, donde la Cuenca de Maracaibo estuvo sujeta a un régimen erosivo desde el Eoceno Tardío hasta el Mioceno Temprano, durante el cual las estructuras transpresivas fueron truncadas.
 - c) Mioceno Medio a Tardío donde se rejuvenece el sistema transpresivo (LUGO, 1992), caracterizado por una componente transpresiva mayor, donde se da una deformación gradual mayor hacia el norte de las trazas de fallas de Icotea, Urdaneta y Pueblo Viejo. En este lapso de tiempo, algunas fallas activas en episodios anteriores, tal como la falla de Urdaneta y algunas fallas en *echelon* son reactivadas e invertidas como pequeños corrimientos de vergencia al oeste-noroeste. En este tiempo la mayor evidencia de transpresión se reconoce a lo largo de la falla de Pueblo Viejo, donde estructuras en flor son reconocidas del Mioceno Medio a Plioceno.

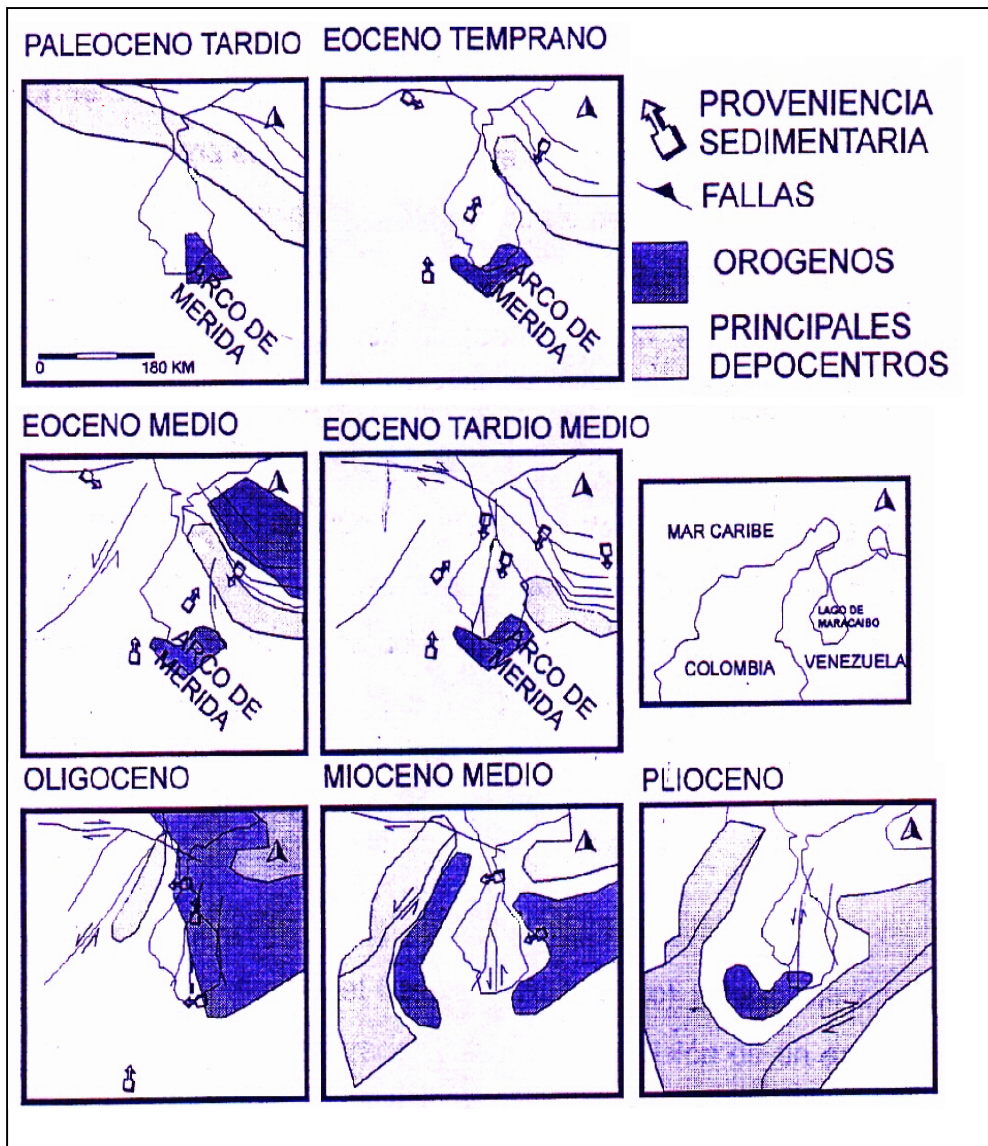


Figura II.12. Mapa paleotectónico, que muestra cronológicamente los episodios tectónicos durante el periodo terciario en la cuenca de Maracaibo.

Tomado de Lugo, 1991

3) Inversión tectónica durante el período Plioceno a Pleistoceno por la compresión E-O. Este evento afectó a las fallas de Icotea y Pueblo Viejo. Este periodo está asociado a los últimos pulsos de levantamiento a lo largo de la Sierra de Perijá y Andes de Mérida, y en la Cuenca de Maracaibo se expresa por corrimientos cortos bivergentes alineados norte-sur (LUGO, 1992).

El ambiente tectónico presente, parcialmente es el resultado de la colisión del arco de la isla de Panamá con la punta noroeste de Sudamérica. Este evento final se inició en el Mioceno Tardío. Como resultado de esta interacción, los Andes de Venezuela se desarrollan y reemplazan a la Sierra de Perijá como sistema montañoso. La emergencia de este núcleo de basamento divide y modifica la configuración inicial de la antefosa en dos cuencas distintas; la actual Cuenca de Maracaibo al norte, y la Cuenca Barinas-Apure al sur (AUDEMARD, 1991).

El levantamiento andino (Plioceno), el cual termina de separar completamente las cuencas de Maracaibo y Barinas-Apure, con la formación de todo un sistema estructural que incluye la reactivación de estructuras antiguas e involucra inclusive el basamento ígneo-metamórfico. Figura II.13

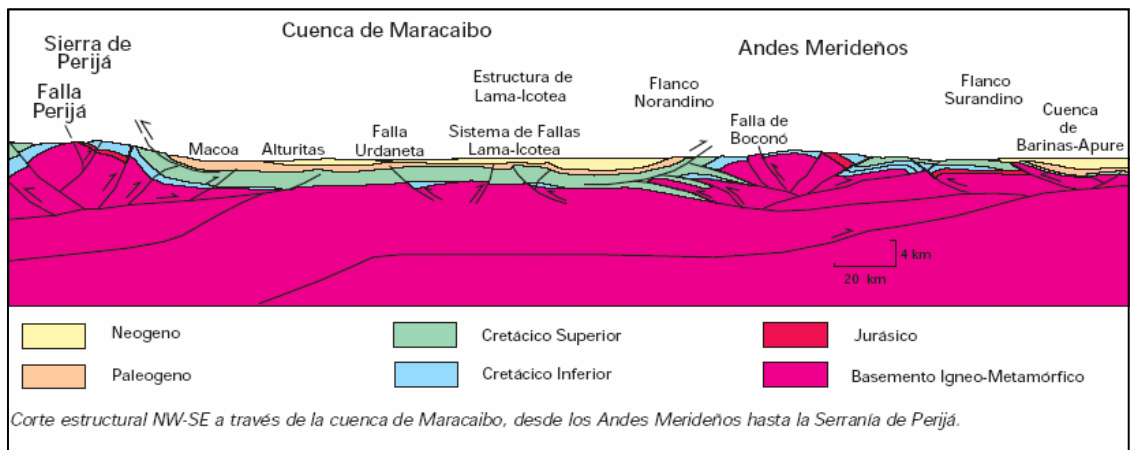


Figura II.13. Corte estructural NO/SE a través de la Cuenca de Maracaibo, desde los Andes Merideños hasta la Sierra de Perijá,

Tomado de Ostos y Yoris, 1997

CAPÍTULO III GEOLOGÍA LOCAL

MARCO ESTRATIGRÁFICO LOCAL

La estratigrafía del área Cabimas para el Mioceno se puede resumir en la columna de la figura III.1, con su respectivo registro tipo. En los anexos I y II se muestran las columnas detalladas, que fueron tomadas y modificadas de Geoclástica (1998) de los pozos R-329A y R-821; el pozo 329A se ubica en el área de estudio, mientras que el R-821, está al sur de la zona. La ubicación de ambos pozos se muestra en el anexo III y en la figura IV.14.

El marco estratigráfico local de la sección de estudio fue realizado en función de las descripciones estratigráficas correspondientes al núcleo R-329A. A continuación se describen las unidades estratigráficas presentes en dicho núcleo.

Formación Icotea

Consiste de areniscas de grano fino poco consolidadas de color negro y blanco intercaladas con lutitas, con penetración de raíces. Su contacto inferior es discordante sobre el Eoceno y pasa transicionalmente a la Formación La Rosa.

Formación La Rosa

Esta formación está conformada por tres niveles, de base a tope se tiene:

- Miembro La Rosa Basal denominado Santa Bárbara: está en contacto concordante sobre la Formación Icotea o sobre la superficie discordante del Eoceno. Son areniscas de grano fino poco consolidadas intercaladas con lutitas, se observan algunas areniscas laminadas de grano muy fino y láminas de limo. La impregnación de hidrocarburos en las areniscas va de alta a media. Presenta fragmentos y conchas fósiles; se lograron observar bandas y nódulos de siderita. Este miembro están altamente bioturbado con icnofacies del tipo cruziana y skolithos.
- Miembro La Rosa Intermedia denominado Lutita de la Rosa: son lutitas laminadas que varían de color gris claro a verdes, con algunas

intercalaciones de areniscas; presenta fragmentos fósiles re TRABAJADOS y conchas de foraminíferos; se observan raíces y paleosuelos. Este miembro muestra una bioturbación de alta a moderada, con icnofacies del tipo cruziana; se observan bandas y nódulos de siderita.

- Miembro La Rosa Superior: consiste de areniscas poco consolidadas y lutitas intercaladas, que pasan transicionalmente al Miembro Lagunillas Inferior. Muestra impregnación de hidrocarburos de alto a moderado; se observan fragmentos fósiles. La bioturbación va desde baja a moderada, con icnofacies del tipo cruziana.

Miembro Lagunillas Inferior

Su contacto inferior con la Formación La Rosa es concordante y su contacto superior al Miembro Ojeda es concordante y transicional. Son areniscas y lutitas intercaladas; en la base de esta unidad las areniscas están altamente impregnadas de hidrocarburos, y muestran un color negro, mientras que hacia el tope de este miembro las areniscas son de color negro a gris.

El grado de las bioturbaciones es variable, hacia la base es alto, mientras que hacia el tope va de moderado a bajo, con icnofacies del tipo cruziana y skolithos. Hacia el tope muestra intercalaciones de láminas de carbón, así como penetración de raíces. Son comunes los nódulos y microesférulas de siderita.

Este miembro ha sido dividido desde el punto de vista de producción en varias unidades, por Maraven, Shell y modificado por Preussag y Suelopetrol; de base a tope se tienen:

- Arenas Cabimas
- Arena La Salina
- Arenas inferiores
- Lutitas intermedias
- Arenas superiores

El contacto con el Miembro Ojeda está marcado por una capa de lutita carbonosa y representa un marcador en los pozos que no tienen registros.

Miembro Ojeda

Son areniscas muy finas arcillosas a limolíticas de color claro con intercalación de lutitas, con abundante microesférulas de siderita y penetración de raíces y algunas láminas de carbón.

UNIDADES OPERACIONALES

En la zona de estudio se definieron las unidades que se listan en la tabla # 4 desde el punto de vista de Geología/Yacimiento. Estas unidades fueron nombradas y definidas por MARAVEN, SHELL y modificadas por PREUSSAG ENERGIE y SUELOPETROL. La figura III.1 muestra las divisiones correspondientes al Mioceno, así como también los yacimientos post Eoceno.

Para definir o establecer el contacto entre la unidad LLC y LLA, se estableció la unidad LLA_B, son lutitas de poco espesor; entre la unidad LLG y LLA también se estableció una unidad, LLG_B, son lutitas de poco espesor. Estas unidades fueron definidas, debido a que las unidades LLG, LLA, LLC corresponden o forman parte de los yacimientos post Eocenos

Las unidades RB2-IC son consideradas como una sola desde el punto de vista de producción. En la tabla # 4 se observan los espesores promedios para cada unidad.

Tabla # 4. Unidades y espesores promedios para cada unidad

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPEJOR PROMEDIO (pies)
IC	Formación Icotea	50-80
RB2	Arenas Basales de la Formación La Rosa	100-220
RI	Lutita Intermedia de la Formación La Rosa	100-180
RS	Arena Superior de la Formación La Rosa	70-120
LLC	Arena Cabimas – Miembro Lagunillas Inferior de la Formación Lagunillas	20-50
LLA	Arena la Salina- Miembro Lagunillas Inferior de la Formación Lagunillas	40-80
LLG	Arenas Inferiores- Miembro Lagunillas Inferior de la Formación Lagunillas	60-180
LLI	Lutitas Intermedia- Miembro Lagunillas Inferior de la Formación Lagunillas	30-60
LLS	Arenas Superiores - Miembro Lagunillas Inferior de la Formación Lagunillas	150-200
OJ	Miembro Ojeda de la Formación Lagunillas	100-180

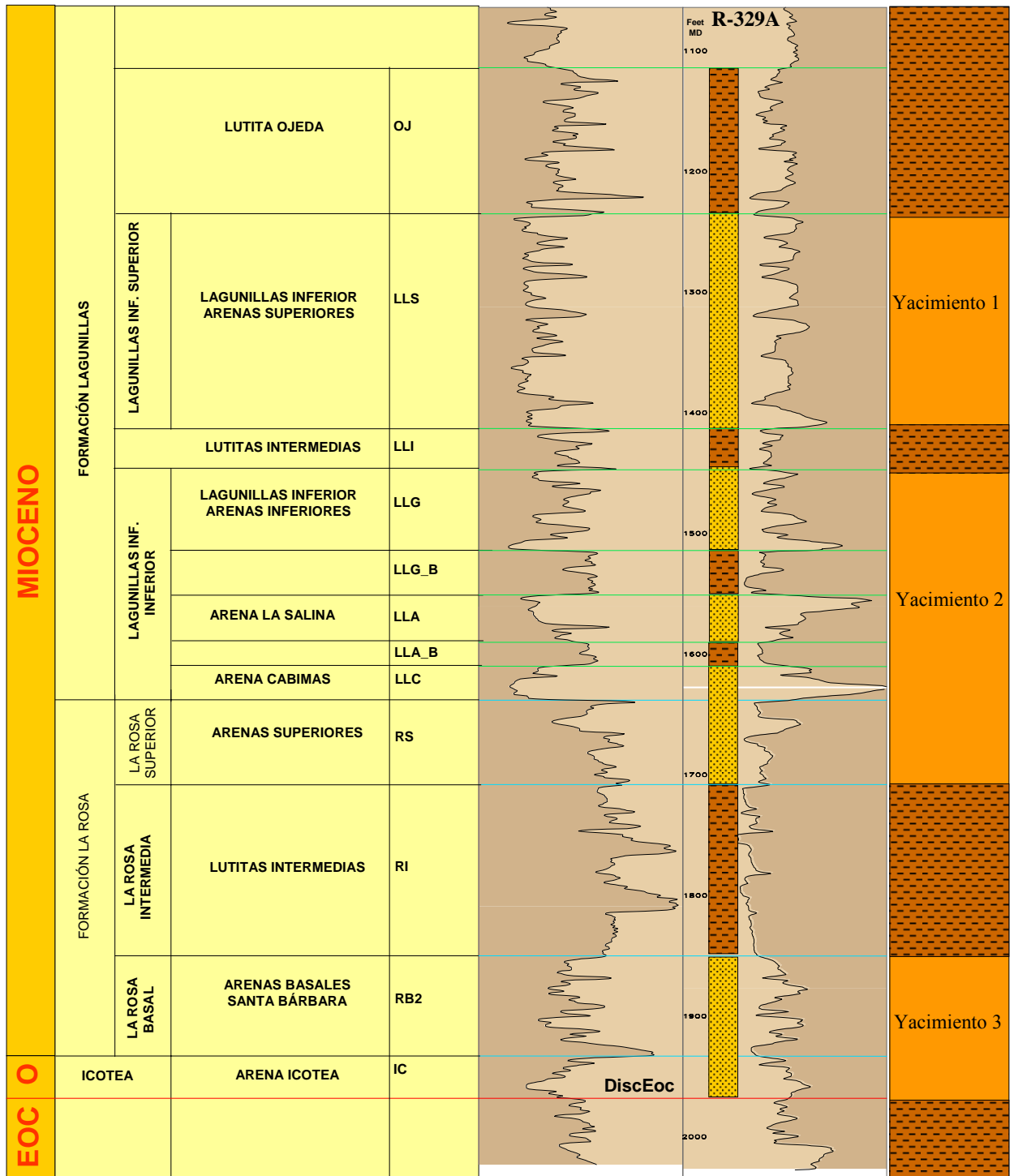


Figura III.1. Columna Litológica del Área Cabimas, con su respectivo registro tipo, mostrando las unidades correspondientes y la división por yacimiento para el Mioceno.

MARCO ESTRUCTURAL LOCAL

Estructuralmente el área de estudio se caracteriza por ser un monoclinal con rumbo al noroeste y buzamiento al suroeste; el mismo está siendo afectado por dos sistemas de fallas mayores a saber: la falla Principal de Cabimas y la falla Límite de Cabimas, con orientación preferencial norte-sur y norte/noroeste-sur/suroeste respectivamente.

Por falta de información sísmica en el área de estudio, el mapa estructural a nivel del Miembro Lagunillas Inferior, figura III.2, fue realizado usando los topes definidos para esta unidad, con profundidades bajo el nivel del mar.

La falla Principal de Cabimas divide el campo en dos zonas, una este y otra oeste; al este se ubica la parte deprimida. La Falla Límite de Cabimas se desarrolla en la parte este del área, y funciona como límite del área, con bloque deprimido al oeste. La figura III.3 muestra una sección estructural este-oeste, donde se señalan las dos principales fallas en el área de estudio.

Estos sistemas de fallas mayores, pueden ser continuación de los sistemas de fallas de Icotea y Pueblo Viejo, que pasan al este y oeste del área respectivamente.

En la parte norte del área se desarrolla un sinclinal con buzamiento suave al sur, denominado Sinclinal de Cabimas, se encuentra limitado por fallas con orientación NE-SO y desplazamiento vertical variable de hasta 500 pies además también esta siendo afectado por la falla principal de Cabimas.

En el área hay otros sistemas de fallas menores, ubicados al noroeste y suroeste, estas fallas menores pueden ser continuación del sistema de falla Icotea que pasa justo al oeste del Área Cabimas, costa afuera en el Lago de Maracaibo.

La zona noroeste (bloque F2), es un área altamente fallada con respecto al área este (figura II.2), algunas fallas presentan orientación preferencial NNE-SW, y muestran un patrón subparalelo a la falla Principal de Cabimas, mientras se presenta otro conjunto de fallas con una orientación casi perpendicular al fallamiento antes expuesto. Esta zona se caracteriza por presentar un gran número de pozos fallados; el tope del Miembro Lagunillas Inferior alcanza una profundidad de -2050 pies, mientras que la zona al este alcanza profundidades de hasta -700 pies; la estructura

que se genera podría tratarse de una fosa (graben), que solo se pudo producir a nivel local (anexo V, lámina III). Esta estructura no puede ser definida con precisión por falta de información sísmica, además de la falta de una buena resolución de los registros de pozos que esta zona se ubican, hay que señalar también que no todos los pozos aquí ubicados tienen curvas, lo cual dificulta tener un buen control de la estructura que aquí se genera.

El conjunto de falla menores que se ubican en la zona suroeste del área, Punta Icotea (bloque H1), presenta una orientación preferencial NNE-SO, hay que señalar que esta zona tampoco tienen buena resolución los registros de pozos y en muchos casos los pozos no tienen curvas, además de la falta de información sísmica. Es importante señalar que en esta zona el tope del Miembro Lagunillas Inferior alcanza profundidades de hasta 2300 pies bajo el nivel del mar, y justo al este de esta área se logran profundidades de 700 pies bajo el nivel del mar, generando un levantamiento estructural que podría tratarse del domo de Icotea, que señalan en el informe geológico vol.1 de MARAVEN (1986).

Al observar el relieve actual del área de estudio en la sección Oligo-Mioceno, se puede constatar la importancia que tiene la estructura en la configuración actual del mismo; es decir, el relieve de la estructura al nivel del Miembro Santa Bárbara es de aproximadamente -3600 pies al oeste en Punta Icotea y de -300 pies al nivel de la Falla Límite de Cabimas al este, alcanzando un salto promedio de -3000 pies. Al sureste del área Cabimas se observan afloramientos de la Formación La Rosa discordante sobre la Formación Misoa (figura IV.16). Al nivel del Miembro Lagunillas Inferior, se alcanza un salto promedio de -2000 pies desde Punta Icotea a la Falla Límite de Cabimas en el este; al norte del área se pudo observar afloramientos de La Formación Lagunillas, en contacto con la Formación La Puerta, (figura IV.14).

El anexo V muestra algunas secciones estructurales del área Cabimas y el anexo VI es el mapa estructural del Miembro Lagunillas Inferior.

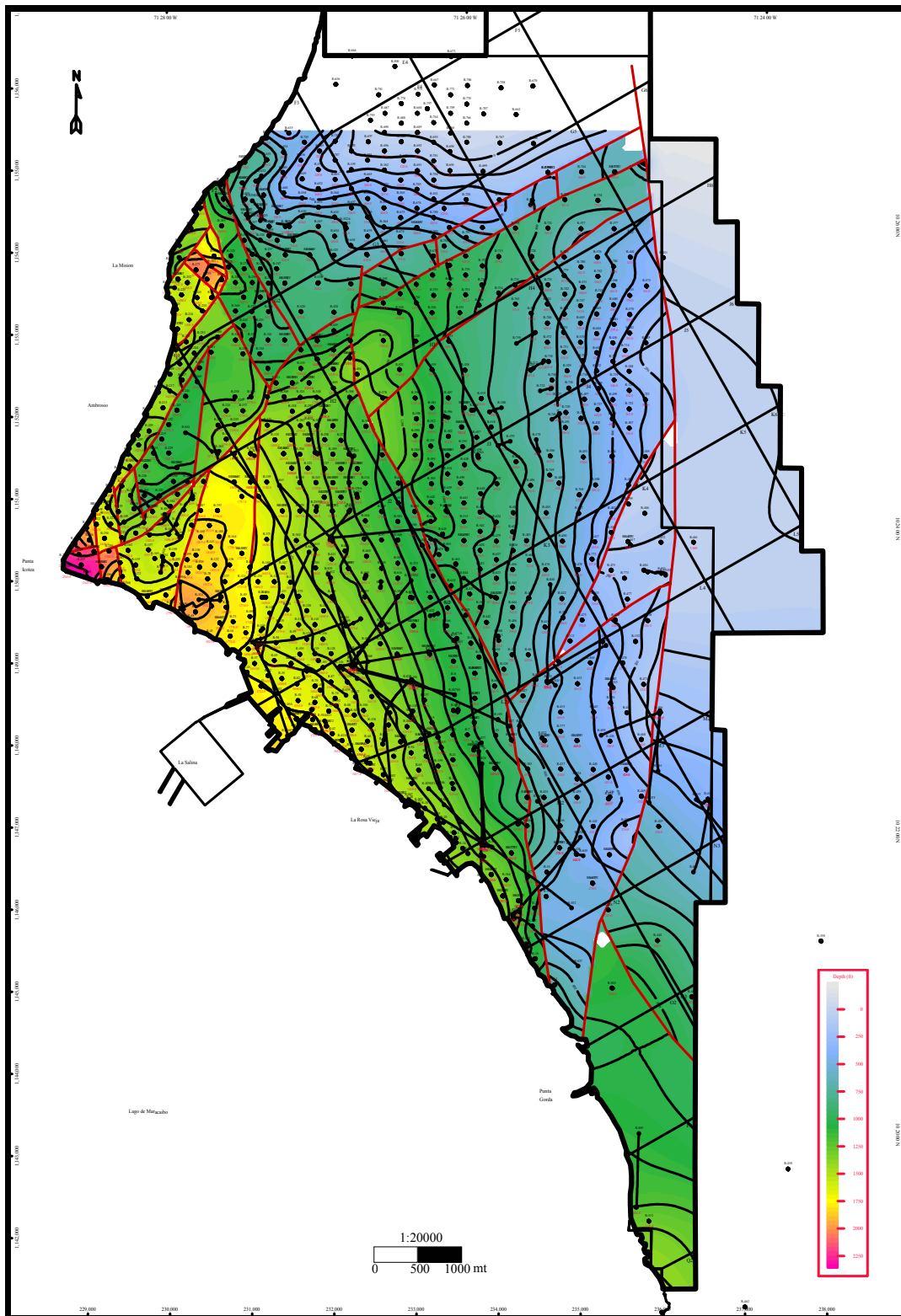


Figura III.2. Mapa estructural Miembro Lagunillas Inferior (ver anexo VI)

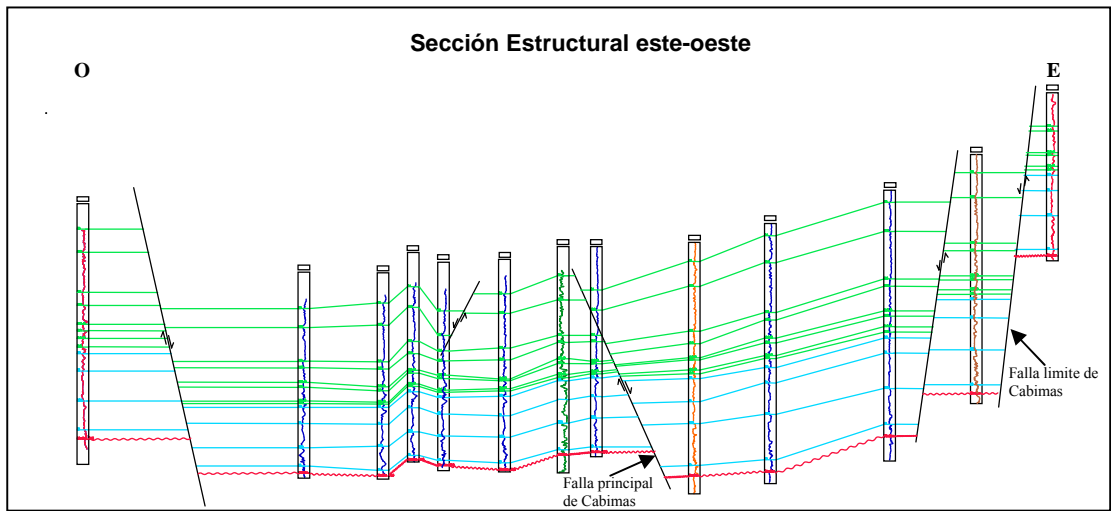


Figura III.3. Sección estructural este-oeste, donde se señalan la falla principal de Cabimas y la falla límite de Cabimas. (Ver anexo V, lamina I).

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DE FACIES SEDIMENTARIAS

GENERALIDADES

Facies: Se define como facies al conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas que caracteriza una roca y la diferencia de otra. El análisis de facies permite describir y clasificar un cuerpo sedimentario, así como los procesos y ambientes responsables de su sedimentación (WALKER, 1992).

Los criterios para el reconocimiento de facies sedimentarias se pueden dividir en físicos, químicos, biológicos y ambientales.

- Físicos: color, textura y estructuras sedimentarias depositacionales
- Químicos: composición mineralógica de la roca
- Biológicos: contenido fósil.
- Ambiental: procesos sedimentarios que lo originan

La descripción de las facies sedimentarias permite establecer la arquitectura de los yacimientos, así como la mineralogía de la roca; esto ayuda a jerarquizar los intervalos más prospectivos.

El determinar la asociación de facies sedimentarias es clave para interpretar los ambientes sedimentarios.

La calibración de las facies sedimentarias con los registros de pozos determina la respuesta del registro ante determinadas facies, para luego correlacionarlas mediante extrapolación de las mismas (electrofacies) a los pozos del área que no tengan núcleo.

Para SERRA (1986) y ORTEGA y SEGURA (1989), una electrofacies es el conjunto de las respuestas de los perfiles de pozos que caracteriza a un estrato y permite distinguirlo de otros, así como identificar secuencias sedimentológicas, marcadores y comparar intervalos entre pozos.

La descripción de las facies sedimentarias ayuda a establecer la geometría, la orientación y la distribución de los cuerpos sedimentarios.

Los perfiles más usados para determinar las electrofacies son aquellos cuya respuesta está más influenciada por los cambios litológicos que por los fluidos contenidos en las rocas, particularmente los perfiles de rayos gamma (Gamma Ray), este perfil generalmente refleja el contenido de lutitas contenido en una formación.

Los perfiles de pozos en general son usados para identificar y correlacionar rocas del subsuelo, determinar la porosidad de las rocas recipientes potenciales, la naturaleza de los fluidos que contienen, la saturación de hidrocarburos, espesor permeable de la capa y permeabilidad.

DESCRIPCIÓN DE FACIES SEDIMENTARIAS

La descripción litológica para el área de estudio se realizó en 765.5 pies recuperados del núcleo correspondiente al pozo R-329A, adicionalmente se consideró la descripción del núcleo R-821 con 735 pies, por su cercanía al área de estudio y por presentar características similares. La totalidad de los intervalos de perforación se reseñan en la tabla # 5.

Tabla # 5. Núcleos recuperados

Pozos	Profundidad de perforación (pies)	Intervalo Recuperado
R-329A	1950.5-1185	765.5 pies
R-821	1385-650	735 pies
Total		1500.5 pies

Estos resultados fueron extrapolados a toda la zona de estudio, por medio de los registros de pozos; sin embargo hay que señalar que los pozos ubicados en la zona noroeste (bloque F2) y suroeste (bloque H1 y G1) en más del setenta por ciento no tienen curvas o registros, pero tienen información estratigráfica proveniente de las perforaciones, estas descripciones estratigráficas, fueron calibradas con pozos que si tenían registros, generando buenos resultados, en cuanto a la ubicación de los topes.

Para describir cada una de las facies observadas en los núcleos se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: características macroscópicas, características

microscópicas (petrográficas); hay que señalar además que se tuvo la oportunidad de visitar algunos afloramientos ubicados en la zona de estudio, permitiendo de esta manera tener un mayor control de las características que definen a cada facies descrita en los núcleos.

Las fotomicrografías que se muestran en este trabajo fueron tomadas de Geoclástica (1998), sin embargo la evaluación petrográfica que se muestra fue realizado en el laboratorio de petrografía de la Escuela de Geología, esto se realizó con la finalidad de definir las características texturales de las facies; estas características son mostradas en la tabla # 6.

En el estudio petrográfico se tomaron en cuenta los siguientes aspectos: tamaño de grano, escogimiento, redondez, porosidad, composición mineralógica, accesorios, matriz, tipo de contacto y alteración.

La tabla # 7 muestra un estudio de difracción de rayos X (tomado de Delgado/Goesten, 1983) al núcleo R-329A.

Para estudiar las características macroscópicas se tomaron en cuenta los siguientes aspectos: litología, granulometría, grado de bioturbación, icnofósiles, impregnación de hidrocarburos, color, minerales accesorios, fragmentos fósiles, estructuras sedimentarias.

Se identificaron siete (7) facies, las cuales se describen a continuación:

Facies SB Arenas Moteadas-horadadas

Son areniscas poco consolidadas de color negro, su tamaño varía entre arenisca fina y limo; esta facies se caracteriza por estar altamente bioturbada, con icnofacies del tipo cruziana y skolithos (*ophiomorpha* y *thalassinoides*); presenta conchas y fragmentos fósiles, especialmente a nivel del Miembro Santa Bárbara (figura IV.1).

Esta facies es típica de toda la sección miocena con excepción del Miembro La Rosa Intermedia, se caracteriza por estar altamente impregnada de hidrocarburos, y es quizás esto lo que genera su coloración. Muestra gránulos, nódulos y bandas de

siderita, láminas de arcilla y hacia el tope del Miembro Lagunillas Inferior se distinguen fragmentos de carbón.

En cuanto a la mineralogía mayormente granos de cuarzo monocristalinos y policristalinos (figura IV.1.C) los cuales representan aproximadamente un 60%, fragmentos de rocas sedimentarias, feldespatos en pequeño porcentaje y minerales accesorios como turmalina, glauconita y opacos. La matriz es arcillosa.

Presenta una porosidad primaria del tipo interpartícula, intrapartícula y por disolución, que representa aproximadamente entre 15% y 20% (figura IV.1.C, azul epoxy) y que no solo se observa al microscopio sino también en las muestras de núcleo, debido a que están impregnadas de hidrocarburos, lo cual señala que esta facies tiene una buena porosidad.

Dentro de las características texturales se tiene que los contactos son mayormente grano-matriz, escogimiento de medianamente escogido a mal escogido, y una redondez de muy angular a angular.

La tabla #7 (Delgado/Goesten, 1983), muestra los tipos de arcilla de acuerdo a la profundidad y se observa que en el rango de profundidad señalado en la figura IV.1 se caracteriza por ser arcillas del tipo caolinita e illita mayormente, además presenta montmorillonita.

Facies SL Arenas con laminación paralela

Son areniscas con laminación paralela de color gris a marrón, su granulometría es fina a muy fina; esta facies presenta una bioturbación de baja a moderada, con icnofacies del tipo cruziana (*thalassinoides*); hacia el tope del Miembro Santa Bárbara esta facies presenta conchas fósiles. (Figura IV.2)

La facies SL es típica del Miembro Santa Bárbara, se observaron bandas de siderita. La estructura sedimentaria que presenta es laminación fina

Dentro de los componentes minerales se tiene granos de cuarzo monocristalinos y policristalinos (figura IV.2.C), feldespatos, fragmentos de roca y opacos en menor porcentaje, la matriz es arcillosa.

Presenta una porosidad interpartícula y por disolución, con un porcentaje de 15 % aproximadamente, que se relaciona con el grado de impregnación de hidrocarburos de medio a alto que se observa en las muestras de núcleo.

Dentro de las características texturales, se tiene una redondez desde angular a medianamente angular y escogimiento medianamente escogidos, el tipo de contacto es mayormente grano matriz.

Según la profundidad que se muestra en la tabla # 7, la difracción de rayos X arroja que los minerales de arcilla tienen proporciones iguales de caolinita, illita y montmorillonita, con un pequeño porcentaje de clorita.

Facies Sm Arena arcillosa clara con micronódulos y raíces

Son areniscas color gris claro, su tamaño varía entre limo y areniscas muy fina; presenta penetración de raíces y paleosuelos, con abundantes microesférulas de siderita; no se observa bioturbada ni presenta fragmentos o conchas fósiles, ni estructuras sedimentarias.(Figura IV.3).

Esta facies caracteriza mayormente al Miembro Ojeda y a las arena superiores del Miembro Lagunillas Inferior.

Dentro de los componentes minerales se tiene, cuarzo monocristalino y policristalino (figura IV3.C), fragmentos de rocas, feldespatos y minerales accesorios como circón, moscovita, siderita. La matriz es arcillosa y representa más del 30%.

La porosidad es intrapartícula, por disolución e interpartícula; con porcentaje bajo. Presenta un escogimiento de moderadamente escogido a mal escogido, el tipo de contacto es predominantemente grano matriz.

Según se muestra en la tabla # 7 a una profundidad de 1204.9 pies, representa la facies Sm, con minerales de arcilla del tipo caolinita e illita.

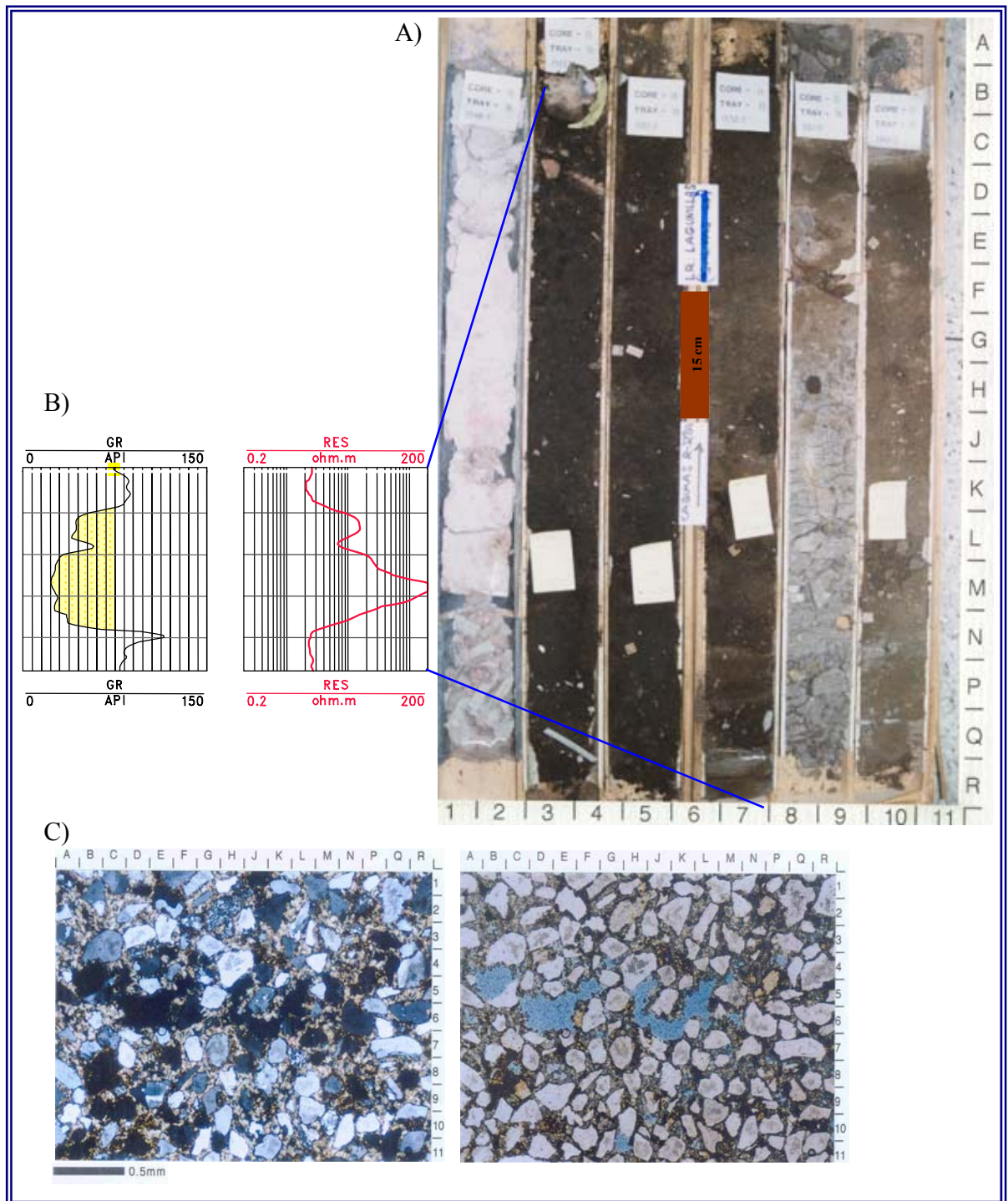


Figura IV.1. Facies SB. Profundidad 1552-1561 pies A) Núcleo; B) Respuesta en registro; C) Fotomicrografías, destacando la porosidad interpartícula (D5 y J5)

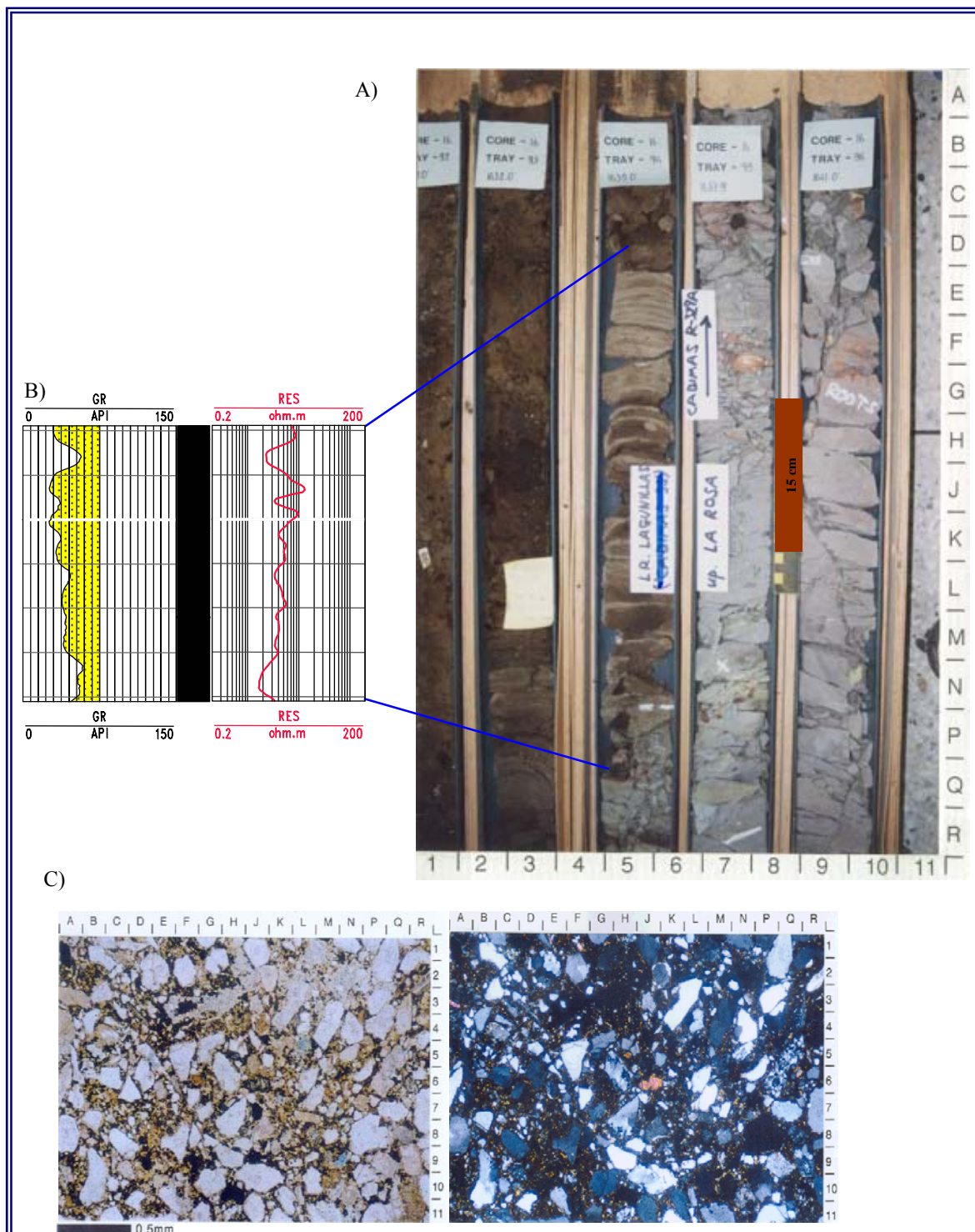


Figura IV.2. Facies SL, entre C5-P5, profundidad de 1632'-1643.6'. A) Núcleo; B) patrón del registro; C) Fotomicrografía, se observan los granos de cuarzo policristalinos (H9).

Facies heterolíticas ShS lutitas intercaladas con arenas

Consiste de areniscas de color gris, poco consolidadas, intercaladas con lutitas de color marrón, su tamaño varía entre areniscas finas a muy finas y lutitas; esta facies presenta una bioturbación moderada, con icnofacies del tipo cruziana (*thalassinoides*) y tubos horizontales rellenos de arena.

La proporción de areniscas y lutitas es variable e incluye algunas intercalaciones de limo. Esta facies presenta laminación fina. (Figura IV.4).

Las areniscas presentan impregnación de hidrocarburos moderada. Se logran observar bandas de arcilla y siderita así como nódulos de siderita. Esta facies es típica del Miembro La Rosa Superior.

Facies ShB lutitas laminadas a bioturbadas

Son lutitas de color gris a verdes, con laminación fina y algunas láminas finas de areniscas; presenta bioturbación media a alta con icnofacies del tipo cruziana (*thalassinoides*). Una de las características que muestra esta facies es la penetración de raíces.

Esta facies está asociada a arcillas desde muy claras a oscuras al nivel del Miembro La Rosa Intermedia, al nivel de este miembro muestra conchas y fragmentos fósiles de foraminíferos calcáreos; además también se lograron observar algunas capas de conglomerado intercaladas en estas arcillas. Presenta nódulos y bandas de siderita. (Figura IV.5)

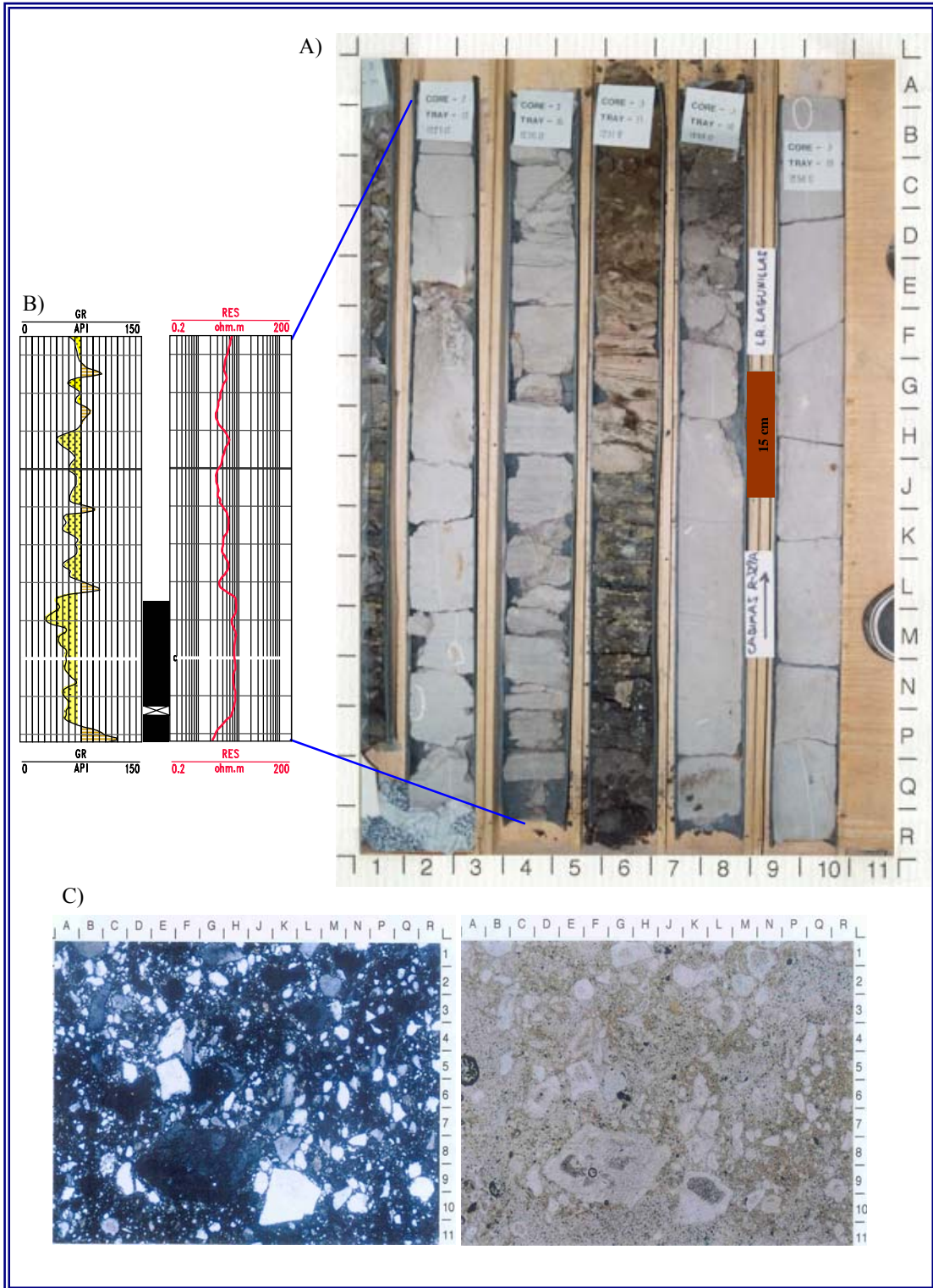


Figura IV.3. Facies Sm. Profundidad 1635-1338 pies, entre E7 a R10 y entre B-8 a R-10. A) Núcleo; B) patrón del registro; C) Fotomicrografía, se observan los granos de cuarzo monocristalinos (K10).

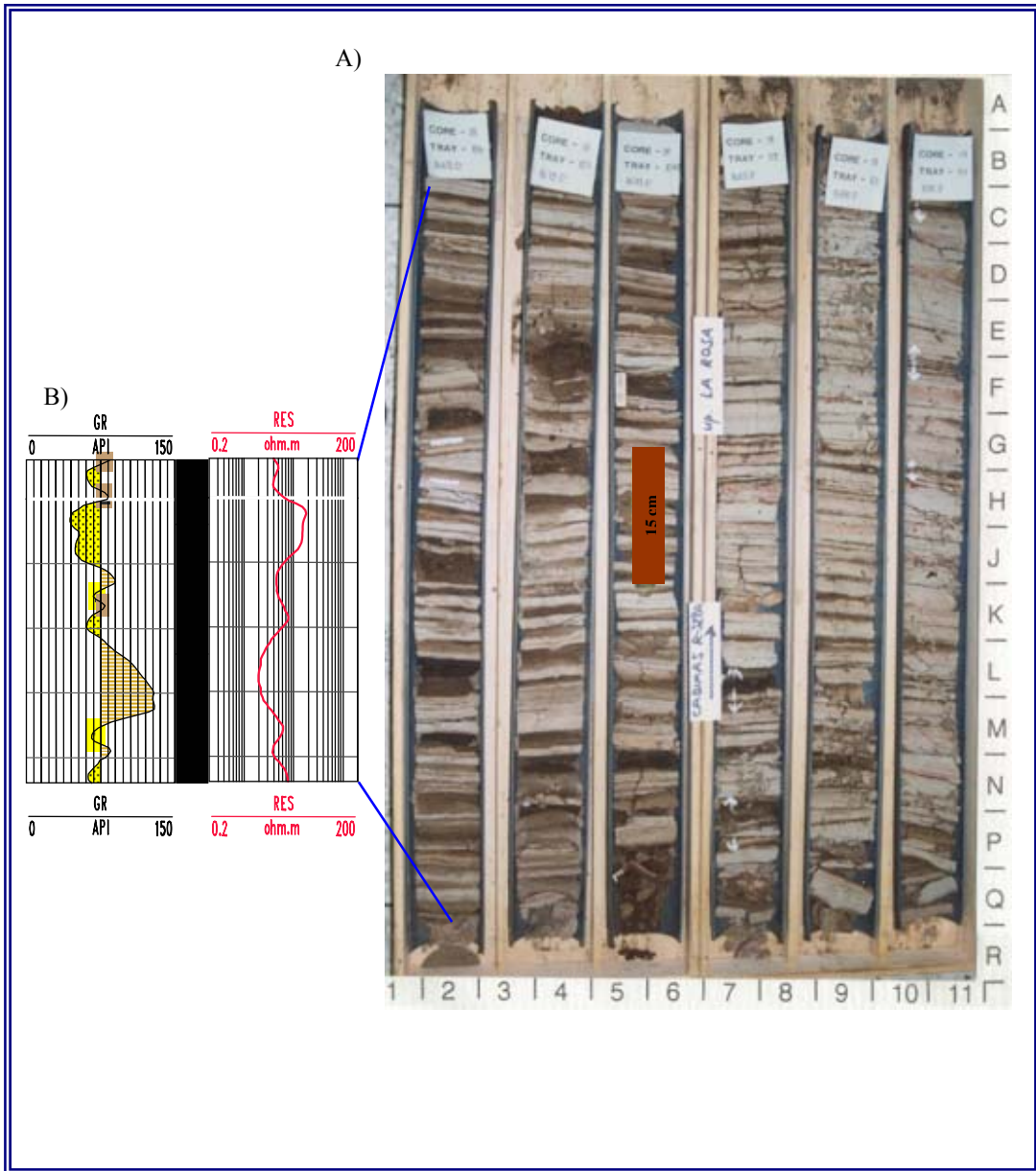


Figura IV.4. Facies ShS. Profundidad 1669-1672 pies, R-329A. A) Núcleo; B) patrón del perfil.

Facies Sh lutitas con micronódulos y raíces

Son lutitas desde claras a oscuras, tamaño arcilla, muestra laminación fina con algunas láminas finas de arena; presenta bioturbación de media a alta con icnofacies del tipo cruziana (*thalassinoides*).

Esta facies está asociada a la facies ShB especialmente al nivel del Miembro La Rosa Intermedia, donde muestra conchas y fragmentos fósiles. Presenta nódulos, bandas y microesferulas de siderita, además se observan intraclastos de cuarzo y láminas de carbón al nivel de las arenas superiores del Miembro Lagunillas Inferior. (Figura IV.6).

Facies C Carbón

Carbón, tipo amorfo, esta facies es típica de las arena superiores del Miembro Lagunillas Inferior y es un buen marcador, porque define el contacto entre la unidad LLS y la unidad OJ, por baja resistividad del carbón. (Figura IV.7).

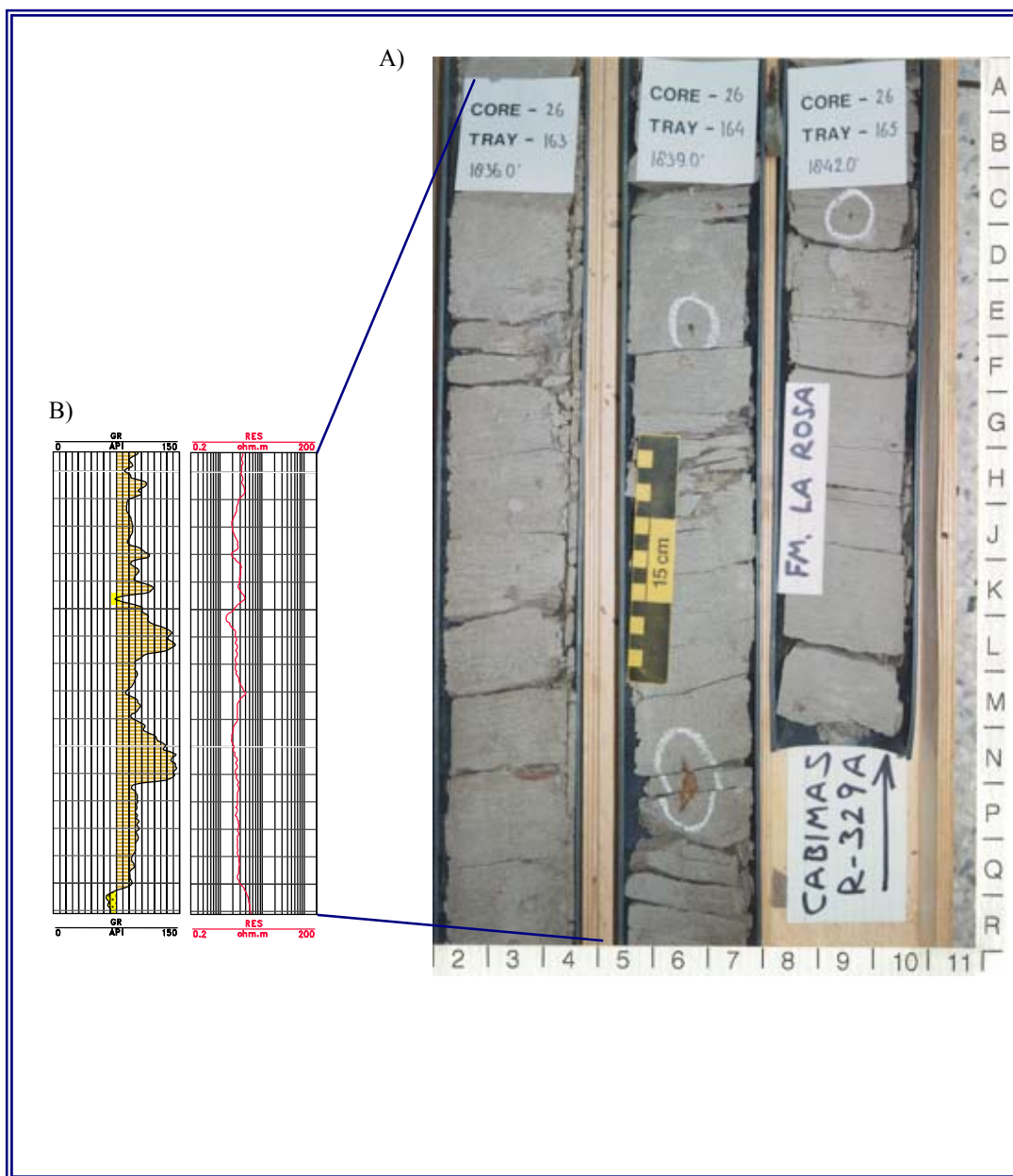


Figura IV.5. Facies ShB .Profundidad de 1839-1842 pies, R-329A. A) Núcleo; B) patrón del registro.

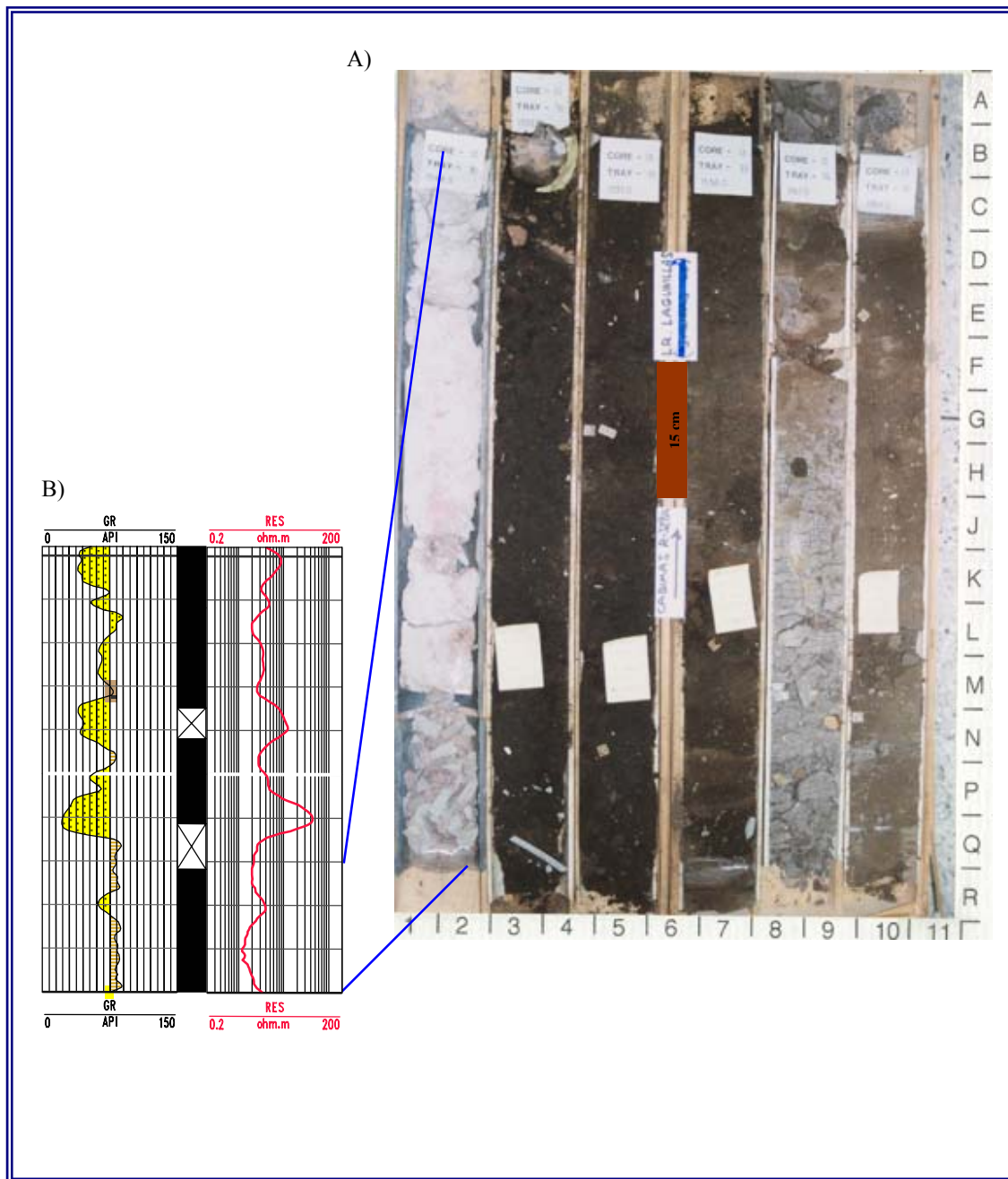


Figura IV.6. Facies Sh. Profundidad 1548-1552 pies, entre A1 a Q-1 y B8 a Q8. Pozo R-329A. A) Núcleo; B) patrón del registro.



Figura IV.7. Facies C. Profundidad 1253.5-1255 pies, desde J6 a R6. Pozo R-329A

Tabla # 6. Características texturales núcleo R-329A

Profundidad (pies)	1185.8	1312.4	1552	1633.9	1926.3
Tamaño de grano	Arena fina a media	Arena fina a media	Arena media	Arena fina a muy fina	Arena fina a muy fina
Escogimiento	MedE	MedE-ME	MedE-ME	MedE	ME-MmE
Redondez	A	MA-A	MA-A	MA-A	A-SA
Contacto	Grano-matriz	Tangencial-longitudinal-grano matriz	Grano-matriz	Tangencial-longitudinal	Grano-matriz
Porosidad	Intrapartícula-disolución-interpartícula	Interpartícula	Interpartícula	Interpartícula	Interpartícula-disolución
Clasificación (Pettijohn, Potter y Siever, 1972)	Grauvaca lítica	Grauvaca Feldespática	Grauvaca lítica	Arenisca lítica o grauvaca lítica.	Grauvaca Lítica
Leyenda MedE: medianamente escogido; ME: mal escogido; MmE: muy mal escogido; A: angular; MA: muy angular; SA: subangular					

La tabla # 7 (tomada de Delgado y Goesten, 1983) muestra el análisis de difracción de rayos x al núcleo del pozo R-329A.

Tabla # 7. Análisis de Difracción de Rayos X, para el pozo 329A tomado de Delgado/Goesten (1983)

Muestra Profundidad (pies)	Caolinita	Illita	Montmorillonita	Clorita	Mezcla
1204.9	4	3	1?	0	2-3
1289.5	4	3	2	0	2
1506.0	3-4	3	0	0	2
1550.3	3-4	3	2	0	2-3
1556.1	3	3	3	1	0
1667.8	3	3	3	1	0
1866.2	3	3	3	1	0
1922.0	3-4	3	3	1-2	0
1941.8	4	2	2	0	1
1948.5	4	2	0	0	2
1952.3	4	2-3	0	1	2
1957.7	4	3	0	0	1-2
1964.4	3	2-3	3 mica	0	0
1972.5	2	2	2	3-4	0
1983.7	3	2-3	3	1-2	1

5= Exclusivamente presente

4= Predominantemente presente

3= Considerablemente presente

2= Evidentemente presente

1= Escasamente evidente

0= No aparente

Características Macroscópicas en afloramiento

En el área de estudio solo se pudo ubicar un afloramiento señalado en la figura IV.8 como el punto 2, las principales características tomadas en cuenta son: color, grado de bioturbación, granulometría, contactos, presencia de fósiles, minerales accesorios, estructuras sedimentarias, icnofósiles. En la figura IV.8 también se señalan otras zonas donde se ubican afloramientos que no se están en el área, los cuales son señalados en este trabajo por su cercanía a la zona de estudio, y porque la Formación La Rosa aflora y esta en contacto discordante sobre la Formación Misoa.

Dentro de las principales características observadas en afloramientos se puede señalar el alto grado de bioturbación y los nódulos, que puede ser asociado con las bioturbaciones y los nódulos de siderita que muestra los núcleos.

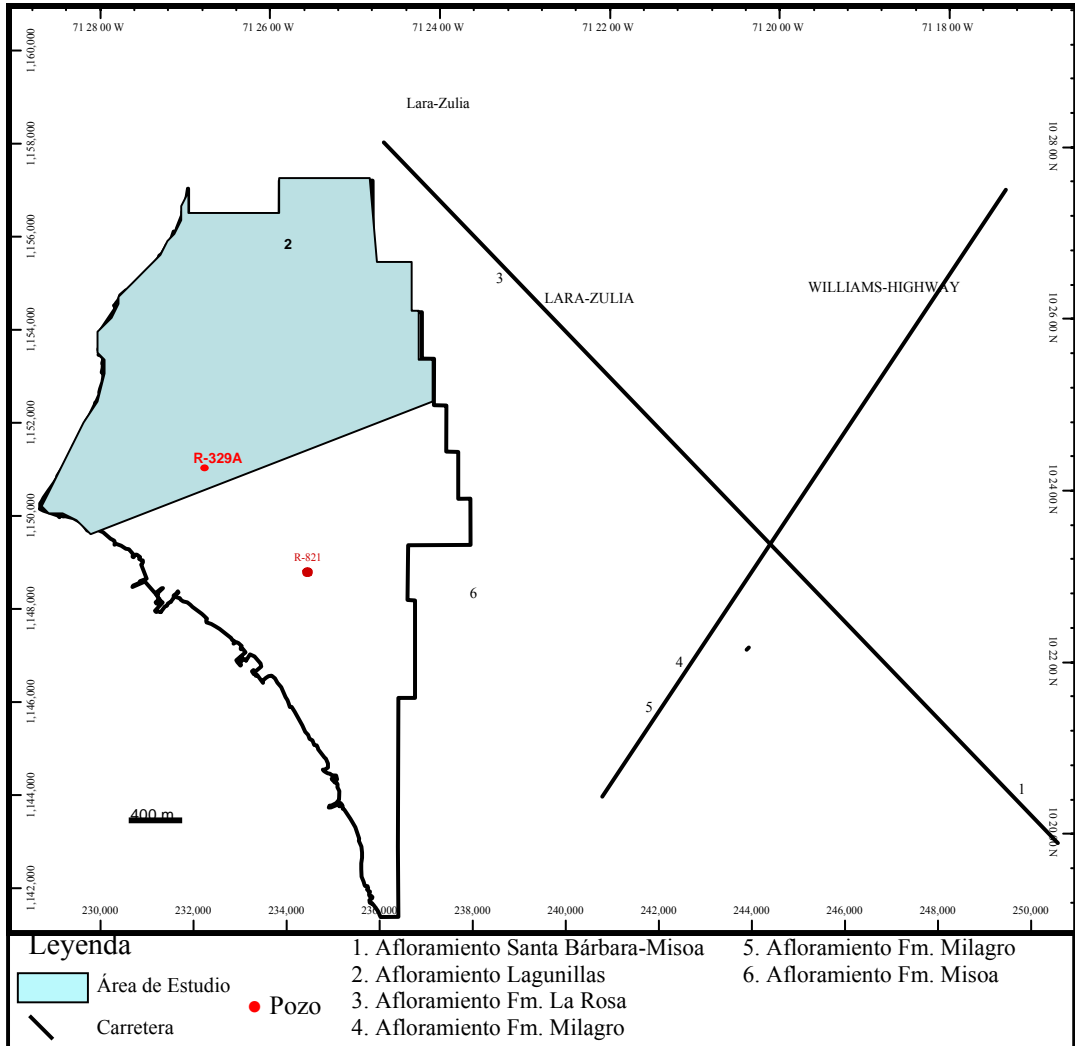


Figura IV.8. Mapa del Área Cabimas, mostrando: ubicación de los afloramientos, ubicación de los pozos R-329A y R-821.

Las figuras IV.9 y IV.10, representan a la Formación Lagunillas, señalado como el punto 2 en la figura IV.8; las características más resaltantes son: areniscas intercaladas con lutitas, con granulometría tamaño fino a arcillosa; muestra un alto grado de bioturbación (figura IV.10) del tipo horizontales y verticales (*ophiomorpha*, *thalassinoides*); otras observaciones que hay que señalar, es la gran presencia de nódulos, bandas, microesférulas de sideritas (figura IV.9), típico de la facies SB y SL, no se observaron fragmentos ni conchas fósiles.

Una de las limitantes para ubicar este afloramiento es el acceso



Figura IV.9. Afloramiento del Miembro Lagunillas Inferior

El Miembro Santa Bárbara, consiste de areniscas intercaladas con lutitas, altamente bioturbadas. No se observan fragmentos ni conchas fósiles. Se encuentra en contacto discordante sobre la Formación Misoa (figura IV.11); este afloramiento se señala en el punto 1 del mapa de ubicación de afloramiento.



Figura IV.10. Bioturbaciones horizontales y verticales de la Formación Lagunillas

El afloramiento señalado en la figura IV.11 no se ubica en el área de estudio, sin embargo, se hace mención debido a que se puede observar el contacto discordante entre la Formación La Rosa y las unidades eocenas (Formación Misoa). La Formación La Rosa son areniscas de color rojizo, mientras que el contacto con la Formación Misoa son lutitas desde gris, amarillas y color rosado, infrayacente se observan areniscas color marrón.



Figura IV.11. Miembro Santa Bárbara, discordante sobre la Formación Misoa. Representa el punto 1 en la figura IV.8

RELACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS, MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS

La relación que muestran las distintas características observadas en núcleo, afloramiento y las características texturales provenientes del análisis petrográfico, es señalada a continuación:

Granulometría: la granulometría de las areniscas es fina a muy fina a limosas y arcillosas, en afloramiento y núcleos las areniscas son deleznales y poco consolidadas, con mucha intercalación de arcillas.

La mineralogía que caracteriza a las facies corresponde a granos de cuarzo monocristalinos y policristalinos, con pequeños porcentajes de feldespatos y fragmentos de rocas, y una menor proporción de minerales opacos, estos minerales se encuentran dentro de una matriz arcillosa. Presentan un escogimiento de moderadamente escogido a mal escogido, con una redondez de angular a muy angular.

La historia diagenética que afecta las secuencias de estudio, se puede señalar como una diagénesis temprana, con una baja compactación, mostrando evidencias de cementación, principalmente sobrecrecimiento de cuarzo y alteración de los granos de feldespatos en minerales de arcilla.

Una de las características más importantes que se observan en los núcleos es la impregnación de hidrocarburos, típica de la facies SB, lo que permite definir a esta facies como areniscas petrolíferas, que se traduce en una buena porosidad; esta característica se puede asociar a la porosidad determinada bajo el microscopio, que se define como una porosidad primaria interpartícula en un. El rango de la porosidad en las muestras es de aproximadamente del 15% al 20%.

La tabla # 7, muestra los minerales de arcilla presentes en el núcleo recuperado del pozo R-329A, siendo el más abundante la caolinita, illita y monmorillonita. La mayor proporción de caolinita, según la profundidad, se ubica en el Miembro Ojeda y la Formación Icotea. La illita se encuentra en proporciones iguales en toda la sección. En la Formación La Rosa (Miembro Santa Bárbara y Miembro La Rosa Superior) según la profundidad que se muestra en la tabla # 7, presenta cantidades proporcionales de caolinita, illita y montmorillonita.

Bandas y nódulos de siderita: característica que se pueden observar tanto en los núcleos como en los afloramientos; en las secciones finas estudiadas también se logro observar siderita.

Bioturbaciones: la sección de estudio se caracteriza por estar altamente bioturbados, característica esta que puede ser observada en afloramiento y núcleos; son comunes las icnofacies del tipo cruziana y skolithos (*thalassinoide*, *ophiomorpha* y estructuras verticales sin identificar, figura IV.16), típicas de aguas someras.

En la descripción de las facies solo se logró observar dentro de las estructuras sedimentarias laminación paralela, señalando una disminución del nivel de energía, que permite que las arcillas se depositen por suspensión o decantación.

Dentro del contenido fósil que se logró observar, es común hallar fragmentos re trabajados asociados al Miembro La Rosa Intermedia especialmente hacia la base de esta unidad, lo cual señala un ambiente marino poco profundo.

CAPÍTULO V MARCO AMBIENTAL

GENERALIDADES

El ambiente depositacional del área de estudio se determinó sobre la base de la asociación de icnogéneros identificados, la sucesión vertical de facies sedimentarias y análisis de las electrofacies a través de correlaciones que permitieron extrapolar la facies obtenidas del análisis de núcleos a toda el área.

Las muestras analizadas en trabajos anteriores (MARAVEN, 1986) que incluyen estudios de palinología han arrojado resultados estériles, lo que dificulta determinar el marco ambiental con precisión, razón por la cual es importante señalar la función que ejerce la descripción de las icnofacies en el área de estudio.

Los icnogéneros identificados en los núcleos R-329A y R-821, están representados por las icnofacies skolithos y cruziana.

Los tipos de bioturbación identificadas en los núcleos se distinguen por ser abundantes y presentar poca diversidad en cuanto a número de icnogéneros se refiere, sin embargo al estudiar la asociación de trazas fósiles reconocidos en los núcleos se determina que es una mezcla de los icnogéneros correspondientes a la icnofacies skolithos y cruziana, por lo que no se puede interpretar una icnofacies específica, entre esta icnofacies se encuentran *thalassinoides*, bioturbaciones horizontales y verticales sin identificar. Es importante mencionar que en el afloramiento que se ubica en la zona de estudio correspondiente al Miembro Lagunillas Inferior, son típicas las estructuras verticales y horizontales, como se observa en la figura V.1.

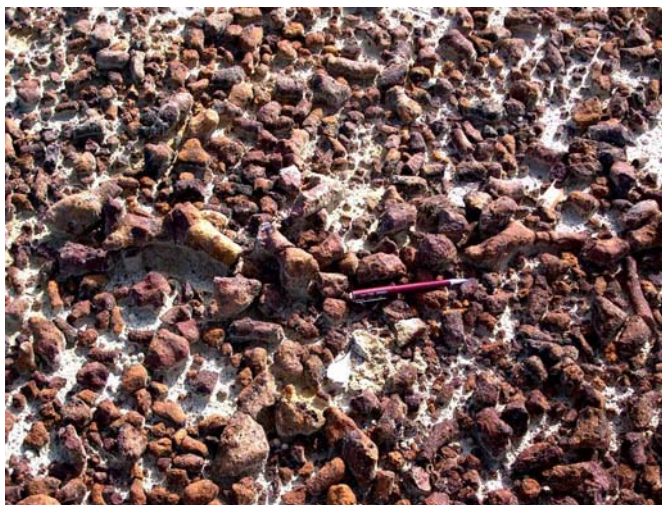


Figura V.1 icnofacies observada a nivel de afloramiento

ANÁLISIS AMBIENTAL

El tipo de ambiente que define y caracteriza al área de estudio incluye un ambiente marino poco profundo y ambiente intermareal, asociado a depósitos de canales y barras de marea.

La Formación Icoatea y el Miembro Santa Bárbara de la Formación La Rosa; consisten de areniscas de grano fino intercaladas con lutitas; se desarrollan en un ambiente marino poco profundo, que incluye ambiente de playa a anteplaya. Este tipo de ambiente ha sido definido en función de las características que muestran las facies SB y SL típicas de esta sección; la facies SB muestra una bioturbación intensa con icnofacies del tipo cruziana típica de la zona litoral; otra característica que hay que mencionar es que el Miembro Santa Bárbara, muestra conchas y restos fósiles, indicativa de ambientes próximocosteros. Hacia el tope del Miembro Santa Bárbara se desarrollan depósitos de canales de marea; este depósito es inferido a partir, de las características que muestran la facies (SB y SL); y la forma que muestran las curvas de los pozos (ver figura V.2).

Los patrones que muestran los registros de pozos, hacia el tope de la unidad RB2 (ver figura V.3), son típicos de un canal, en las correlaciones estratigráficas mostradas en el anexo IV, se puede observar la continuidad de los espesores de arena.

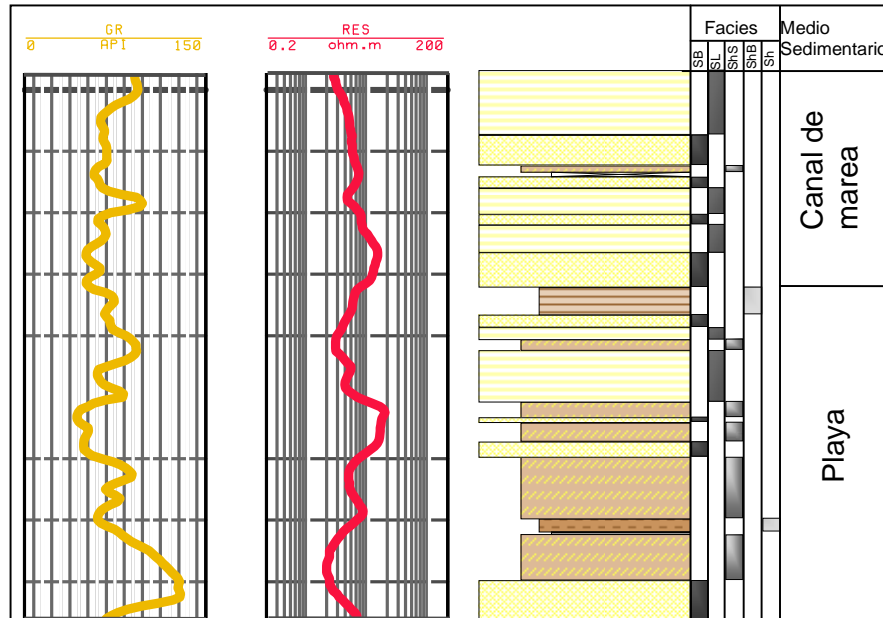


Figura V.2, sección correspondiente a la unidad SB2

La unidad RI son arcillas y lutitas gris a verdes, desde moderada a altamente bioturbadas con icnofacies del tipo cruziana; la facies típica es la ShB, asociada con la facies Sh; son comunes los fósiles de foraminíferos calcáreos; estas características señalan un ambiente marino somero (figura V.4), asociado a la llanura alta del ambiente intermareal; esta unidad muestra restos de plantas y paleosuelos lo cual supone exposición aérea, señalando que para este periodo de tiempo hubo variaciones del nivel relativo del mar. Las figuras V.3 y V.8, muestran dos correlaciones donde se observa a continuidad lateral para esta unidad.

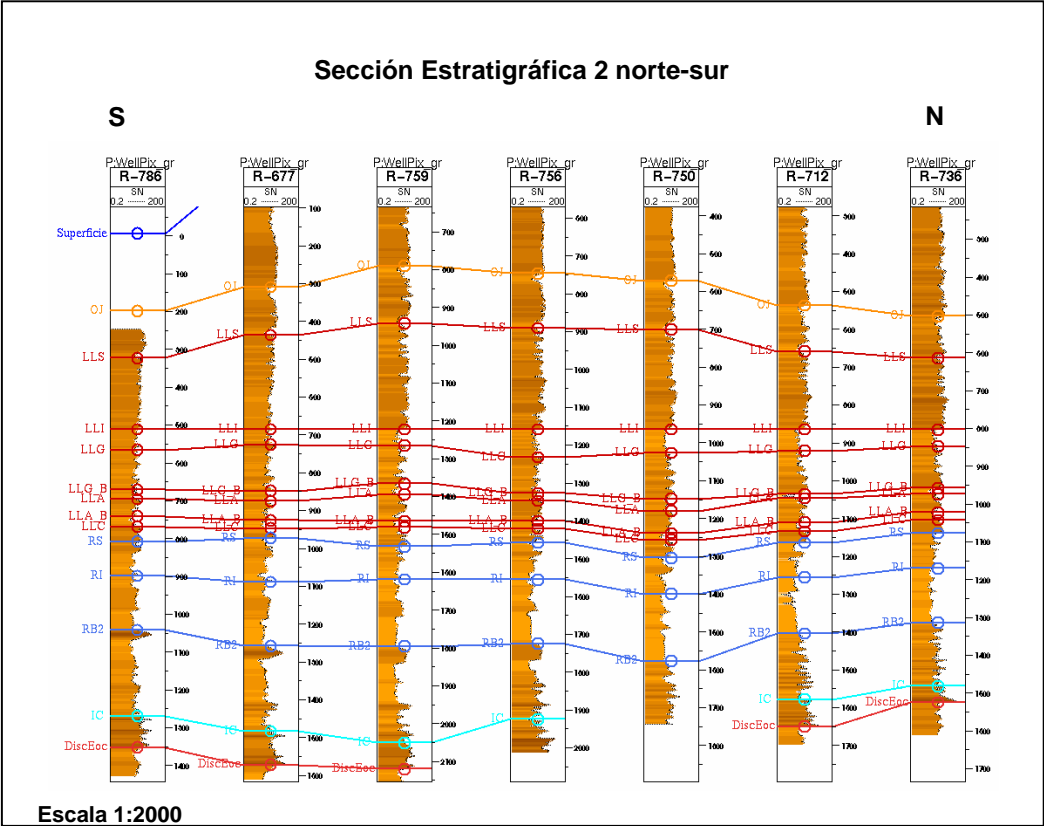


Figura V.3. Correlación norte-sur, que muestra la geometría de canal hacia el tope del RB2

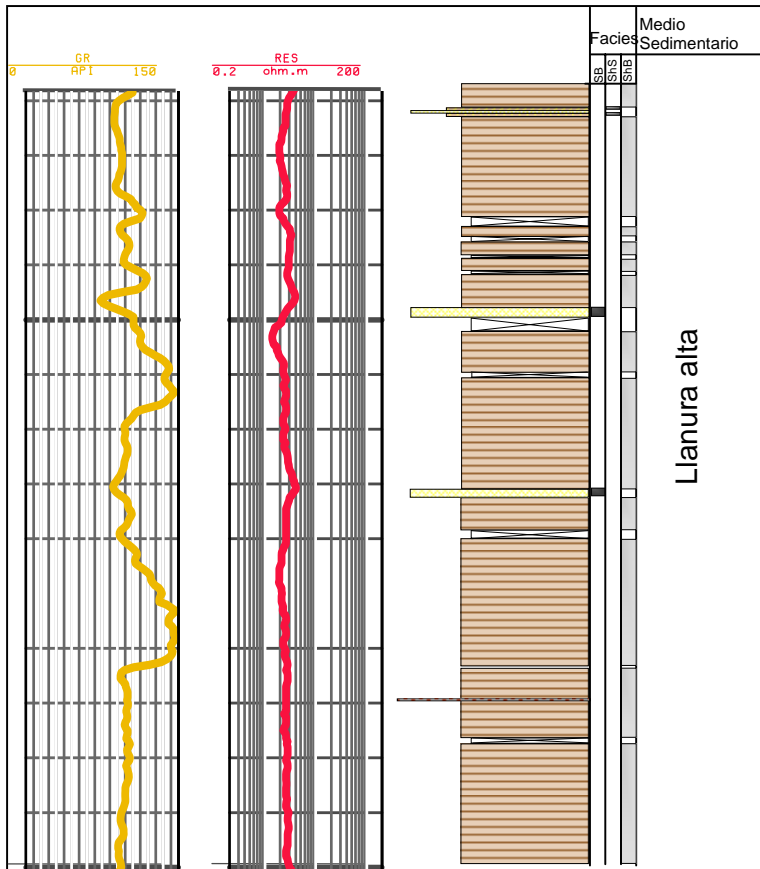


Figura V.4. Sección que muestra la unidad RI

Otra característica que hay que señalar es que en la unidad RI, se pudieron haber generado depósitos de tormenta, ya que en los núcleos se pudieron observar dos pies de espesor de conglomerados (figura V.5), además de muchos fragmentos de conchas y fósiles retrabajados.

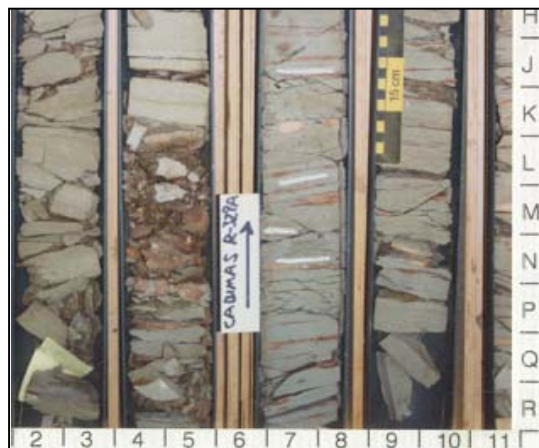


Figura V.5. Núcleo que muestra una sección de conglomerado, al nivel de la Rosa Intermedia (K4 - P4). La profundidad de 1804'-1815'

Los miembros La Rosa Superior y Lagunillas Inferior, se depositaron dentro de un ambiente intermareal, con influencia de canales y barras. El Miembro la Rosa Superior se pudo haber depositado dentro de la zona intermedia del ambiente intermareal; mientras que las arenas inferiores del Miembro Lagunillas Inferior se pudieron haber depositado como parte de canales y barras costeras, asociado a islas de barreras; las arenas superiores se desarrollaron como parte de la zona intermedia del ambiente intermareal. El Miembro Ojeda se deposita en un ambiente de marisma en la parte supramareal.

El tipo de ambiente, que caracteriza a la Rosa Superior, Lagunillas Inferior y Ojeda, fue deducido a partir de las siguientes características:

- Se genera una secuencia granodecreciente, típica de los depósitos hallados en este ambiente.
- Muestra una alternancia a escala pequeña de varios ciclos sedimentarios, generando una geometría laminar.
- Se observan abundante presencia de bioturbaciones tipo skolithos y cruziana, que se presentan en facies típicas de ambientes de playa, y próximo costeros.
- Hacia el tope se observan capas y laminas de carbón, propias de la parte supramareal.
- Penetración de raíces que provienen de la zona supramareal en la llanura arcillosa.

La unidad RS se deposita en forma transicional sobre la unidad RI; la facies ShS caracteriza esta unidad, alternancia de areniscas y lutitas, con una bioturbación moderada e icnofacies del tipo cruziana; estas características señalan un ambiente intermareal en la zona intermedia (figura V.6).

La unidad RS pasa en forma transicional a las arenas inferiores (arena Cabimas) del Miembro Lagunillas Inferior.

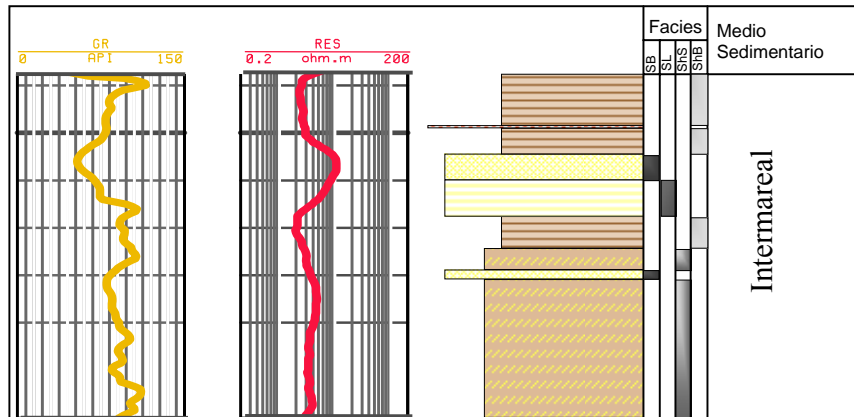


Figura V.6. Sección de la unidad RS

Arena Cabimas (LLC), se ubica hacia la base del Miembro Lagunillas Inferior; son areniscas de grano fino; la facies SB es característica de esta unidad altamente bioturbada; muestra un alto contenido de hidrocarburo, lo que señala una buena porosidad. Su ambiente sedimentario esta asociado a depósitos de canales de marea (figura V.7), en los registros se puede observar la estructura típica que define a un canal (figura V.8).

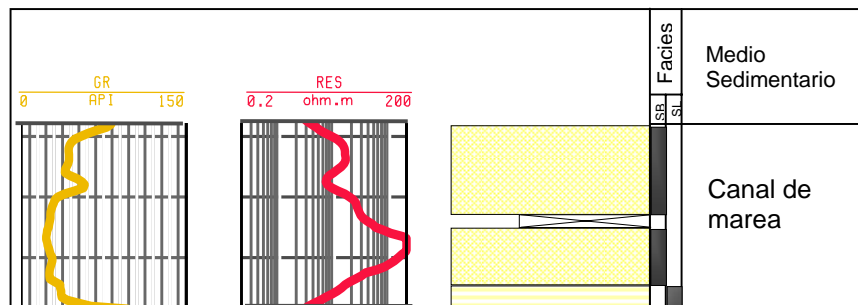


Figura V.7. Sección de la unidad LLC

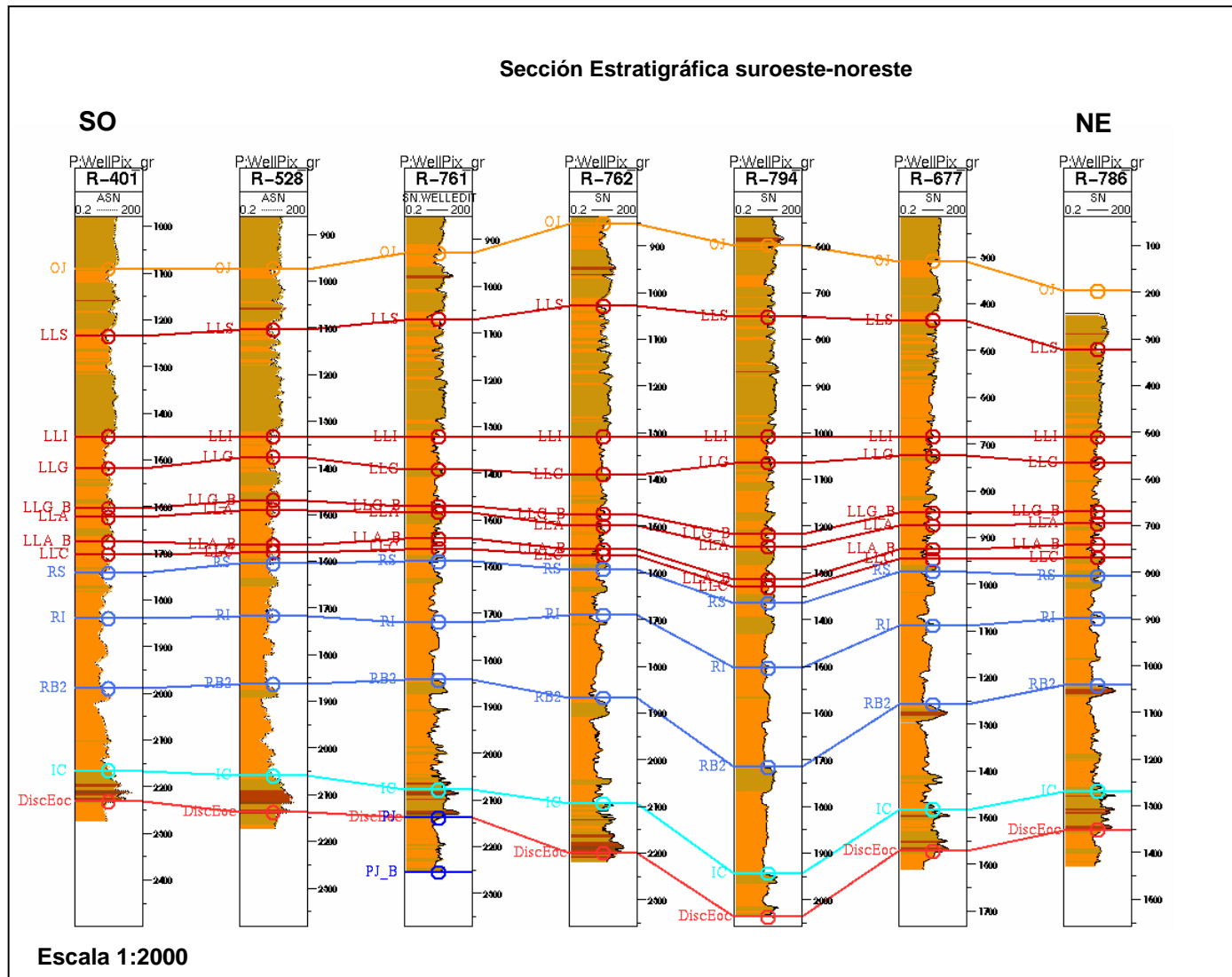


Figura V.8. Correlación estratigráfica suroeste-noreste, donde se muestra la continuidad lateral de los espesores para cada unidad.

Suprayacente a la unidad LLC está la unidad LLA (arenas la Salina), son areniscas y lutitas intercaladas; la facies SB típica para esta unidad, así como el patrón que muestran los registros de pozos (forma de embudo), señalan que su ambiente sedimentario son depósitos de barras de mareas (figura V.9). Estas arenas están impregnadas de petróleo, indicando una buena porosidad.

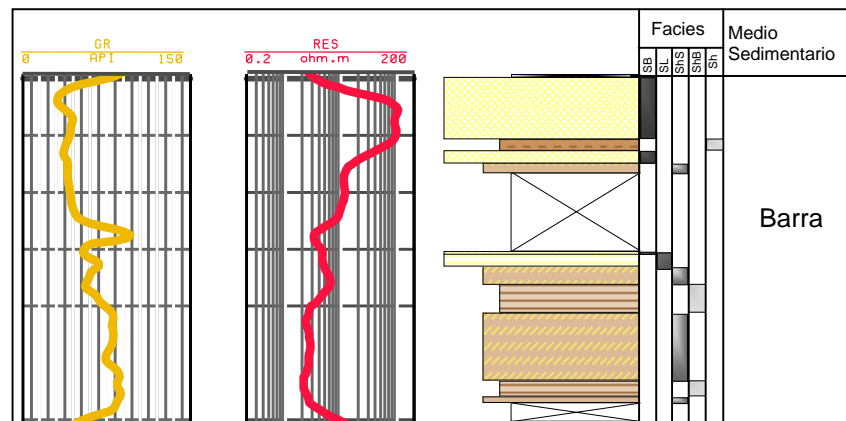


Figura V.9. Sección correspondiente a la unidad LLA

La unidad LLG, son areniscas intercaladas con lutitas; esta unidad esta asociada al ambiente intermareal en la zona intermedia (figura V.10); muestra penetración de raíces, que pueden provenir de la zona supramareal.

Suprayacente a la unidad LLG se encuentra la unidad LLI, son lutitas con algunas intercalaciones de areniscas, que se desarrolla a escala regional, la cual ha sido reseñada en trabajos anteriores (ARATA *et al.*, 1985; CHACARTEGUI, 1985); en las secciones estratigráficas (anexo IV) es el *datum* utilizado. Esta unidad pudo haber sido depositada como parte de la llanura arcillosa dentro del ambiente intermareal; además se observa penetración de raíces, que pueden provenir de la zona supramareal.

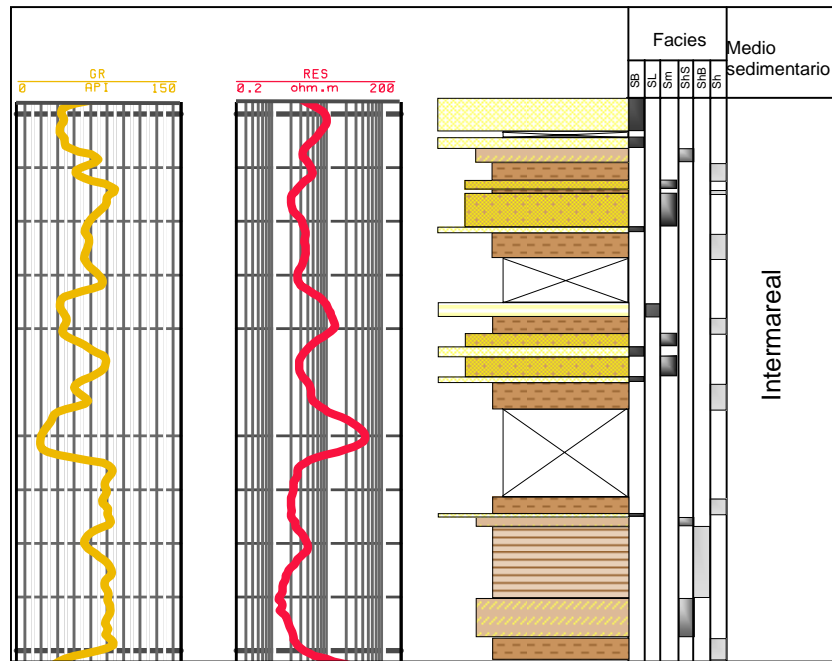


Figura V.10. Sección correspondiente a la unidad LLG

En contacto con la unidad LLI se encuentra la unidad LLS; son areniscas y lutitas intercaladas, con algunas intercalaciones de carbón. La alternancia de las facies arenosas y lutíticas que caracteriza esta unidad, indica un ambiente intermareal en la zona intermedia (figura V.11); con influencia de la zona supramareal, debido al contenido de carbón que se observa en esta unidad, además de la penetración de raíces que muestra.

La unidad OJ es típico del ambiente de marisma en la zona supramareal (figura V.12). Son areniscas de grano muy fino limolítica a lutítica con intercalación de lutitas, presenta raíces y láminas de carbón, propia de este tipo de ambiente. El contacto entre LLS y esta unidad se caracteriza por presentar una capa de carbón de aproximadamente 1 pie de espesor, lo cual hace que en el perfil de resistividades este contacto sea marcado y definido por la baja resistividad del carbón (figura V.20).

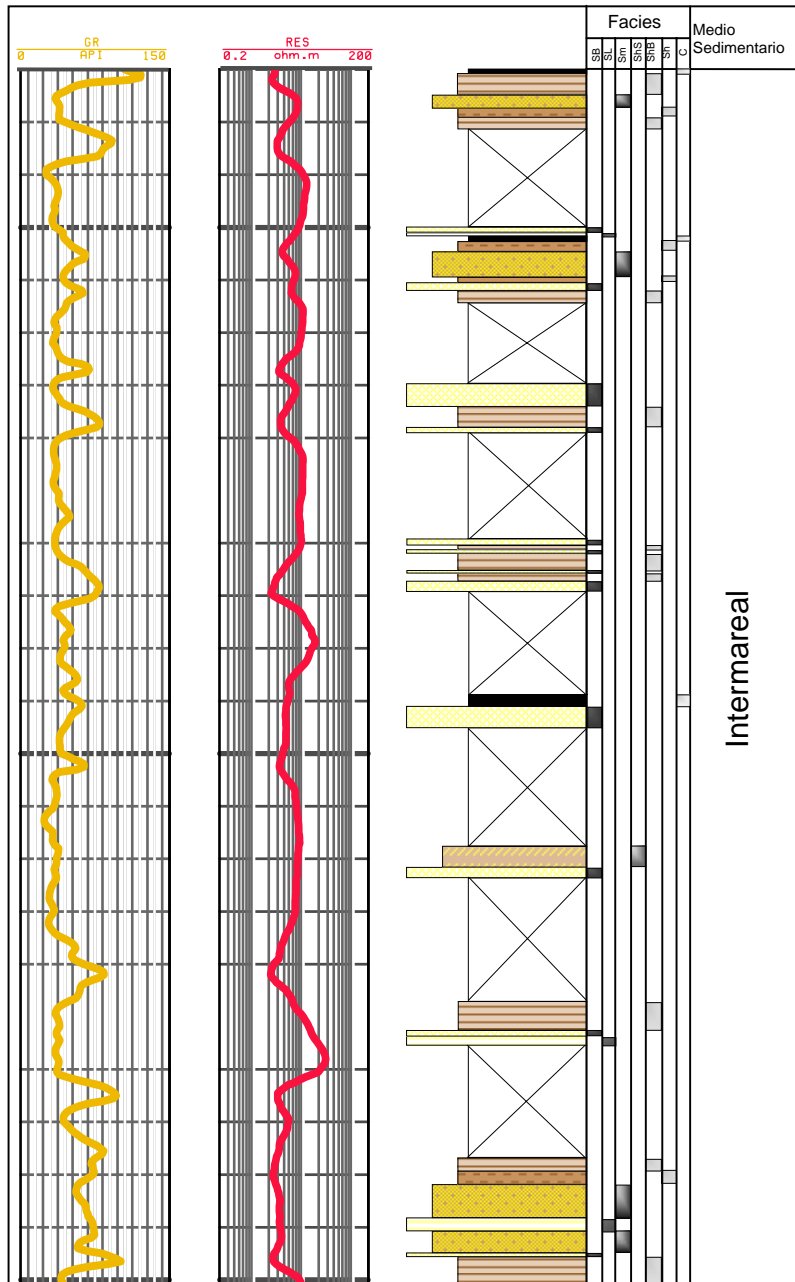


Figura V.11. Sección correspondiente a la unidad LLS

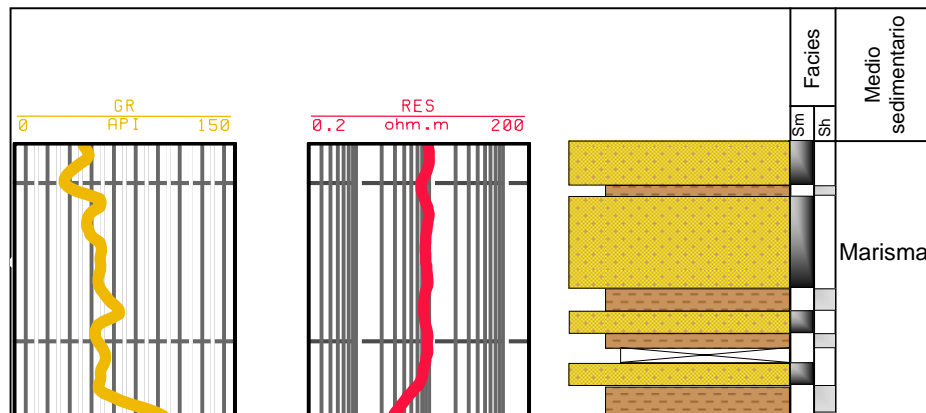


Figura V.12. Sección correspondiente a la unidad OJ

Sistema La Rosa- Lagunillas Inferior

Una secuencia sedimentaria elemental muestra una evolución continua de la litología, la cual puede diferenciarse de otra secuencia elemental adyacente.

La Formación Icotea, Miembro Santa Bárbara y el Miembro La Rosa Intermedia, fueron depositados dentro de un sistema transgresivo de corta duración que influyó en el Mioceno Temprano. La Formación Icotea representa la base del sistema transgresivo; esta formación se depositó sobre la superficie discordante del Eoceno; el nivel máximo de la transgresión está señalado por el Miembro La Rosa Intermedia, esta unidad además marca el inicio del ciclo regresivo que caracteriza al Mioceno.

El Miembro La Rosa Intermedia; se caracteriza por una gruesa sección de lutitas gris a verdes, con fragmentos y conchas fósiles; de esta unidad se pasa a las areniscas del Miembro La Rosa Superior, donde se observa un cambio abrupto de litología de una unidad a otra; esta diferencia señala que se ha pasado de un sistema transgresivo a uno regresivo. El ciclo regresivo incluye además al Miembro Lagunillas Inferior y al Miembro Ojeda.

Dentro del sistema de la Formación La Rosa y el Miembro Lagunillas Inferior, se observa el desarrollo de dos secuencias granodecrecientes; una secuencia es la formada por la Formación Icotea, Miembro Santa Bárbara y la Rosa Intermedia; y la otra secuencia esta constituida por el Miembro La Rosa Superior, Miembro Lagunillas Inferior y el Miembro Ojeda (ver figura V.13).

La primera secuencia de la Formación Icotea, Santa Bárbara y La Rosa Intermedia; son areniscas y areniscas intercaladas con lutitas que pasan a las lutitas del Miembro La Rosa Intermedia, en el tope de esta secuencia. Su contacto inferior es discordante y su contacto superior es transicional a la Rosa Superior. Esta secuencia se deposita dentro de un ambiente marino poco profundo.

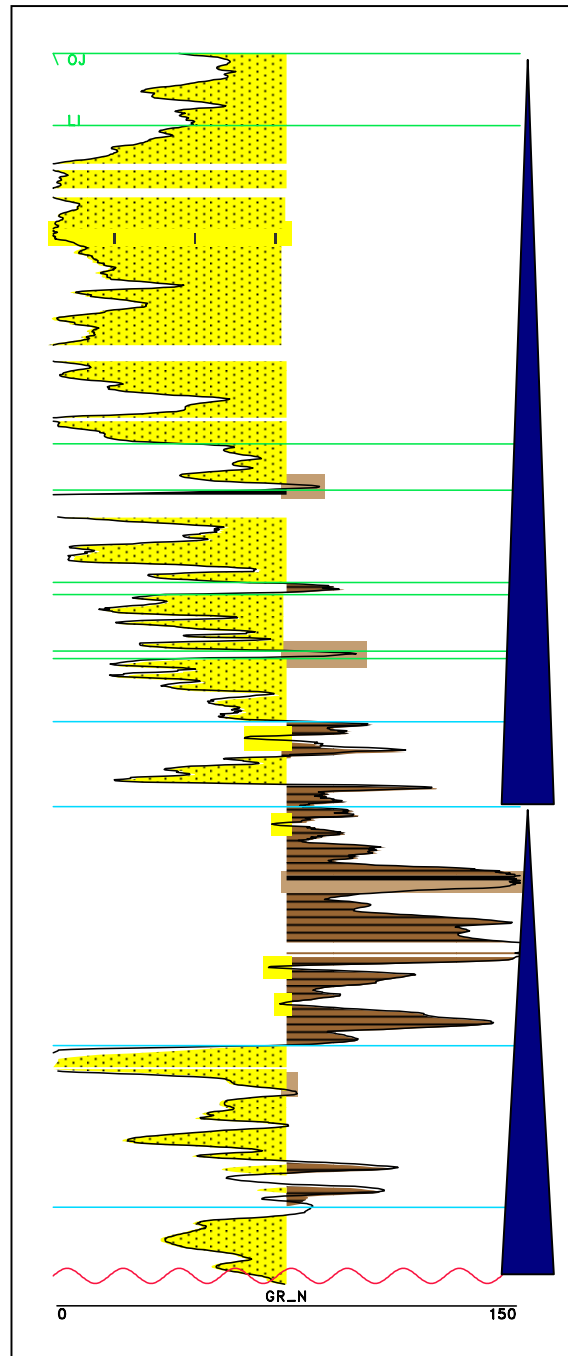


Figura V.13. Secuencias granodecrecientes del Mioceno, RI marca el contacto entre la secuencia 1 y la secuencia 2

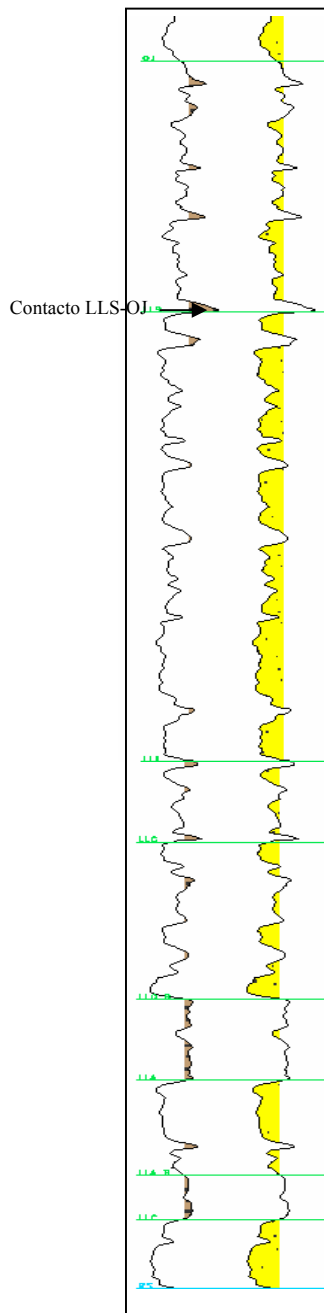


Figura V.14. Sección Miembro Lagunillas Inferior

El Miembro Santa Bárbara representa una secuencia granocreciente; mientras que al nivel del Miembro La Rosa Intermedia no hay cambio significativo en el tamaño de grano, presenta algunas intercalaciones esporádicas de conglomerados, que pueden representar depósitos de tormenta, y algunas intercalaciones de areniscas.

La segunda secuencia va desde areniscas en la base, unidad RS, y areniscas intercaladas con lutitas a areniscas de grano muy fino limosas a lutíticas, unidad OJ; hacia el tope de esta secuencia se observan capas y láminas de carbón (figura V.14).

La unidad RS puede representar una secuencia granodecreciente con areniscas y lutitas intercaladas. El Miembro Lagunillas Inferior, presenta un patrón irregular, dentro de la cual se pueden observar secuencias granodecreciente o granocreciente. La unidad LLC, que se ubica hacia la base del Miembro Lagunillas Inferior, representa una secuencia agradante a granodecreciente. Suprayacente a la unidad LLC se encuentra la unidad LLA, representa una secuencia granocreciente; la unidad LLG esta asociada a una secuencia granocreciente; para la unidad LLS, son areniscas y lutitas intercaladas, el patrón que muestra esta secuencia es irregular.

CAPÍTULO VI CONTROLES SOBRE LA ACUMULACIÓN DE HIDROCARBUROS

Controles estratigráficos en la acumulación de hidrocarburos

La característica litológica es uno de los parámetros fundamentales que afecta la acumulación de hidrocarburos, ya que los grandes espesores de areniscas pueden ser rocas reservorios y permitir la acumulación de grandes volúmenes de hidrocarburos; los yacimientos a nivel del Mioceno en el área Cabimas, están asociados a las areniscas. Actualmente en el área de estudio hay 46 pozos, lo cuales producen del Mioceno; en la tabla 8 se observa la lista de estos pozos.

Tabla # 8. Lista de pozos activos en el área de estudio

F2	F3	G2	G3	G4	G6	H1	H2	H3	H5
R-276	R-302ST	R-155	R-408ST	R-563ST	R-571ST	R-141	R-149ST	R-582	R-743
R-319ST	R-316ST	R-278ST	R-411ST			R-159	R-271ST		
	R-331ST	R-291ST	R-604ST			R-161	R-275ST		
	R-353ST	R-300	R-605ST			R-181	R-287ST		
	R-404ST	R-311				R-187	R-290ST		
	R-502	R-349ST				R-363	R-292		
	R-566ST	R-606ST				R-371	R-294ST		
							R-307ST		
							R-315ST		
							R-318ST		
							R-320ST		
							R-344ST		
							R-346ST		
							R-361		
							R-367ST		

La facies SB, caracteriza en un gran porcentaje a las unidades que incluyen a la sección de estudio; facies que presenta la mejor porosidad y además están asociadas con el desarrollo de canales de marea. Las facies en las muestras recuperadas de los núcleos van desde altamente impregnadas de hidrocarburos con la facies SB y de alta a moderadamente impregnada con la facies SL y ShS, lo cual señala una buena porosidad.

La facies SB está altamente bioturbada, demostrando la importancia de las bioturbaciones en la producción de hidrocarburo. Arata (1985) señaló la importancia de las horadaciones como posible factor de comunicación vertical entre cuerpos de areniscas a través de lutitas bioturbadas.

Los pozos que están activos, producen en muchos casos, en conjunto de las unidades LLG, LLA, LLC, RS, RI, RB2 y IC, lo que se señala como una completación no selectiva; lo cual dificulta en muchos casos poder definir cuales son las areniscas responsables de la producción de hidrocarburos, o determinar la facies con mayor potencial petrolífero. En algunos casos, el Miembro La Rosa Intermedia, que se trata de una gruesa sección de lutitas, también fue completada. Es importante, mencionar, sin embargo, que estas unidades están asociadas a las facies más prospectivas, como son la facies SB, SL y ShS.

Los mayores espesores de areniscas no necesariamente están asociados a las zonas productivas, es decir, los pozos activos se ubican al oeste y sur-suroeste del área. Las figuras VI.1 a VI.5 muestran los mapas de espesor para diferentes unidades estratigráficas del área de estudio, tomando para ello los topes definidos entre las distintas unidades.

La figura VI.1, muestra el mapa de espesor para el Miembro Santa Bárbara, este mapa incluye a la Formación Icotea, debido a que ambas unidades son consideradas una sola por motivos de producción. Los mayores espesores para esta unidad están representados por el color rojo al noreste con valores de 436 pies, al suroeste también se muestran espesores 371 pies; los menores espesores están representados por el color azul señalados hacia el sur-suroeste con valores de 104 pies; esta unidad alcanza espesores promedios de 280 pies. Los intervalos isopacos son de 50 pies.

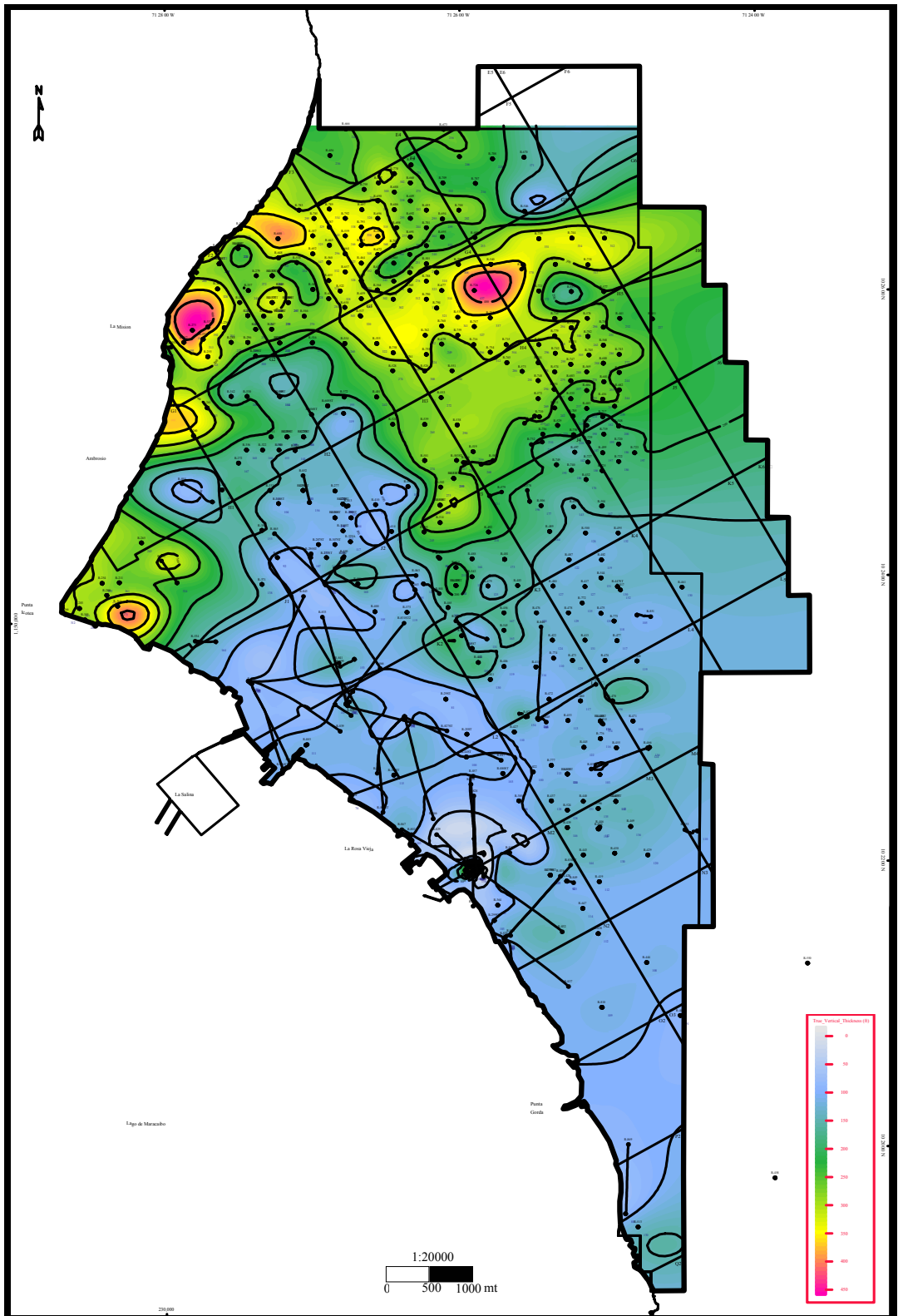


Figura VI.1 Mapa isopaco del Miembro Santa Bárbara.

La figura VI.2, muestra el mapa isopaco del Miembro La Rosa Superior, los mayores espesores tienen valores de 180 pies y representa del 5 al 10 por ciento del área de estudio, que se ubican al centro del mapa en color rojo, al oeste también muestra espesores máximos de 135 pies; los menores espesores se localizan en la parte central del mapa con valores de 42 pies y representa el ochenta por ciento del área; los espesores promedios son de 100 pies, se observa en color verde. Los intervalos isopacos para esta unidad son de 10 pies.

La figura VI.3, muestra el mapa isopaco para el Miembro Lagunillas Inferior, con intervalos isopacos de 50 pies. Los mayores espesores se presentan hacia el noreste y suroeste con valores de 670 pies y 580 pies respectivamente; los menores espesores están en color azul con valores de 360 pies; el espesor promedio para esta unidad es de 500 pies. Dentro de esta unidad se lograron realizar dos mapas, correspondientes a las unidades informales arenas la Salina y arenas Cabimas.

La figura VI.4 muestra el mapa isopaco para la unidad LLA (arenas la Salina) correspondiente al Miembro Lagunillas Inferior, con intervalos isopacos de 10 pies. Los mayores espesores alcanzan de 100 a 120 pies al noreste y hacia el suroeste; los menores espesores se localizan al sur-suroeste y noroeste con valores de 40 pies; los espesores promedios son de 60 pies.

La figura VI.5, muestra el mapa isopaco para la unidad LLC (arenas Cabimas), Los intervalos isopacos para esta unidad son de 2 pies. Los mayores espesores son de 48 pies al centro del área de estudio; los menores espesores se ubican al norte con valores de 15 pies; el espesor promedio es de 25 pies.

Es importante hacer notar que los mayores espesores para las unidades descritas anteriormente, se observan hacia la zona correspondiente al sinclinal de Cabimas al noreste y al suroeste que representan las mayores profundidades al nivel del Miembro Lagunillas Inferior y del Miembro Santa Bárbara.

En el mapa de espesor correspondiente a la unidad LLA (figura VI.3) al oeste se observa un espesor constante de 60 pies, lo que puede señalar un tipo de facies en particular, en este caso podría tratarse de la facies SB, que puede asociarse con la

geometría que muestran las curvas en el mapa de electrofacies, correspondiente a la unidad LLA (figura VI.6).

La figura VI.7 muestra un mapa de electrofacies de la unidad LLA, donde se logra observar que las áreas que actualmente están en producción están asociadas a barras costeras especialmente hacia el oeste de la falla principal de Cabimas, con espesores promedio de 50 pies.

La figura V.13 muestra una correlación estratigráfica este-oeste donde se observa la continuidad lateral de los espesores de arena, especialmente de la parte superior del Miembro Santa Bárbara y de las arenas inferiores del Miembro Lagunillas Inferior, unidades estas que están relacionadas con la facies más prospectivas.

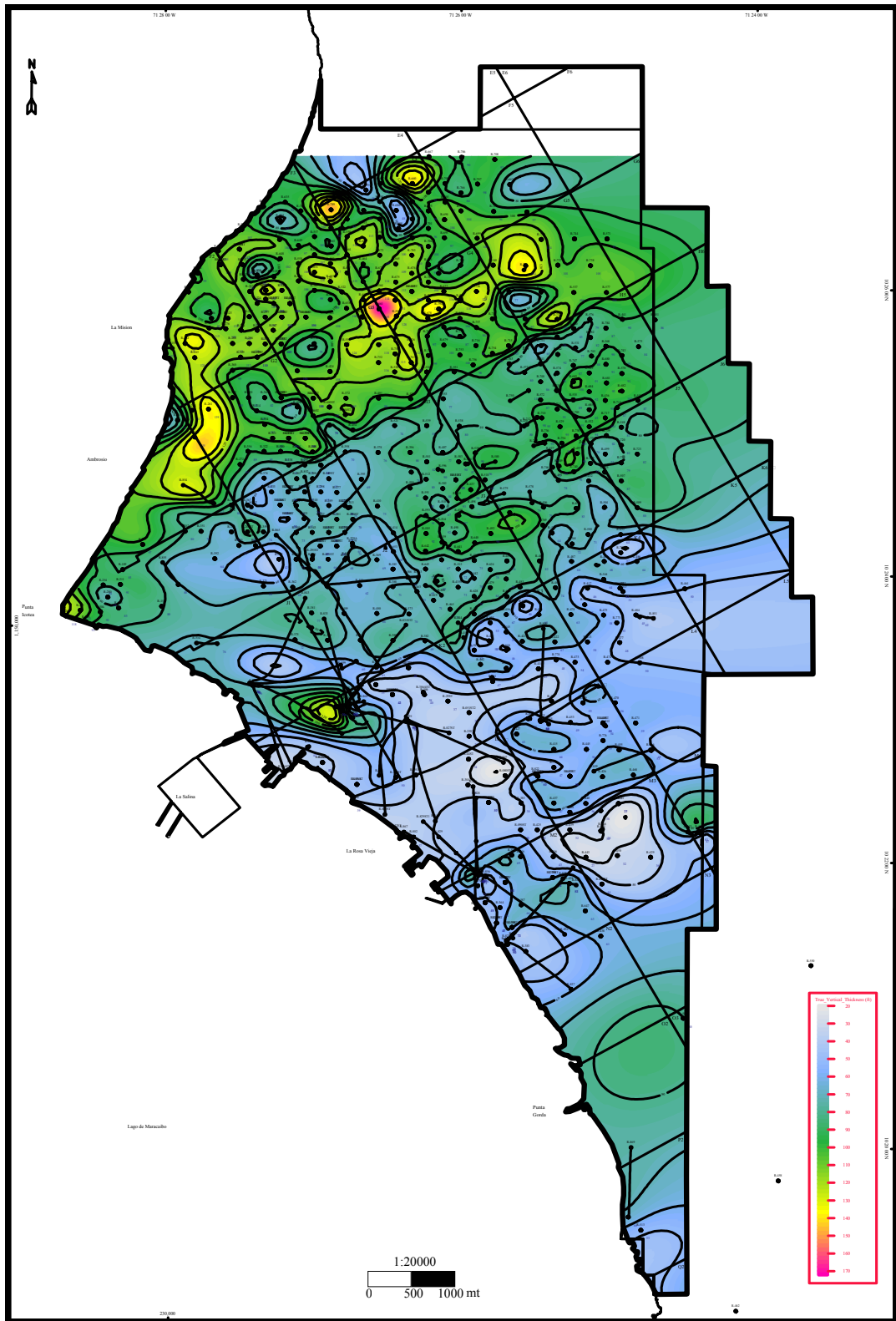


Figura VI.2. Mapa Isopaco, Miembro La Rosa Superior

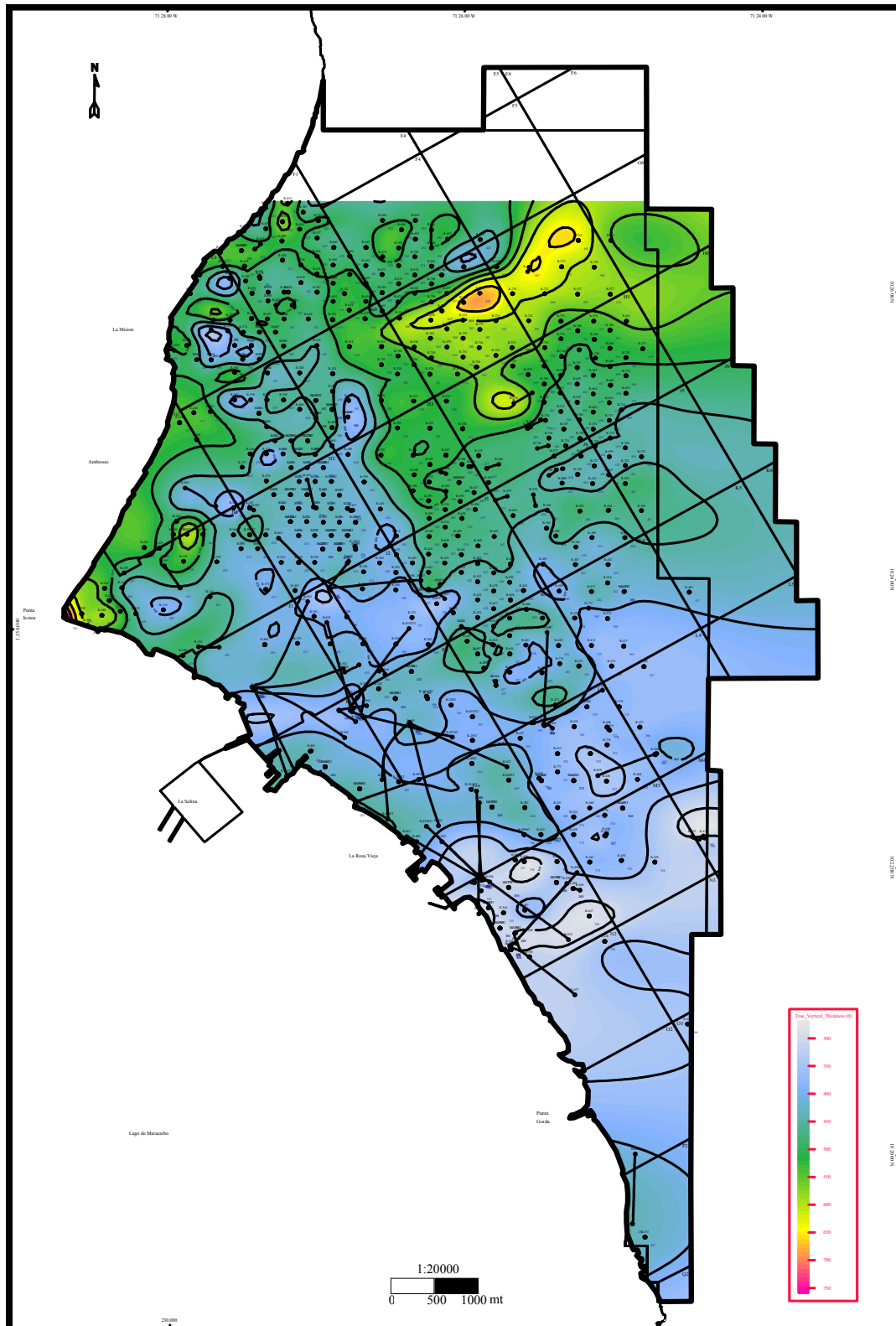


Figura VI.3. Mapa isopaco, Miembro Lagunillas Inferior

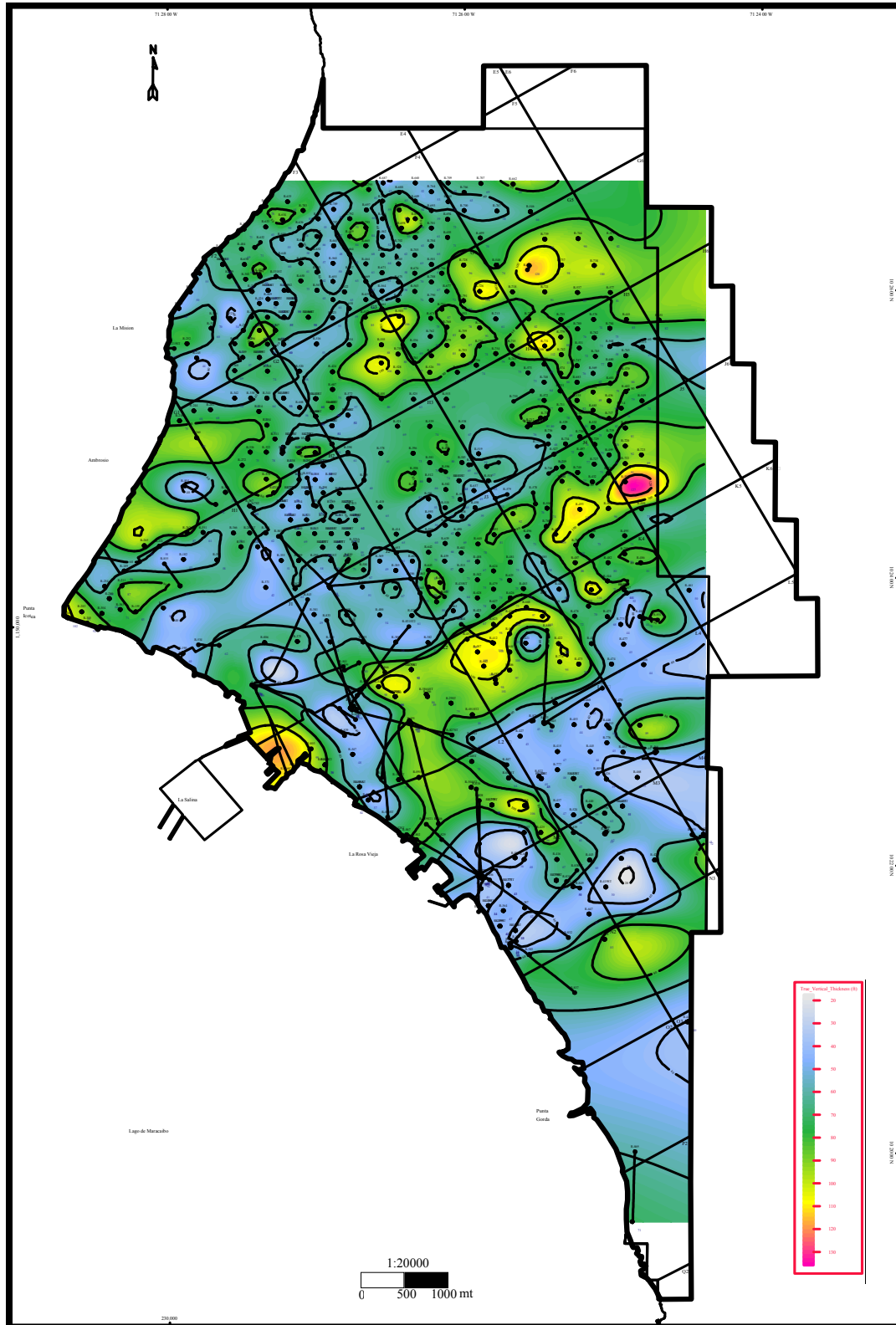


Figura VI.4. Mapa isopaco, arenas la Salina

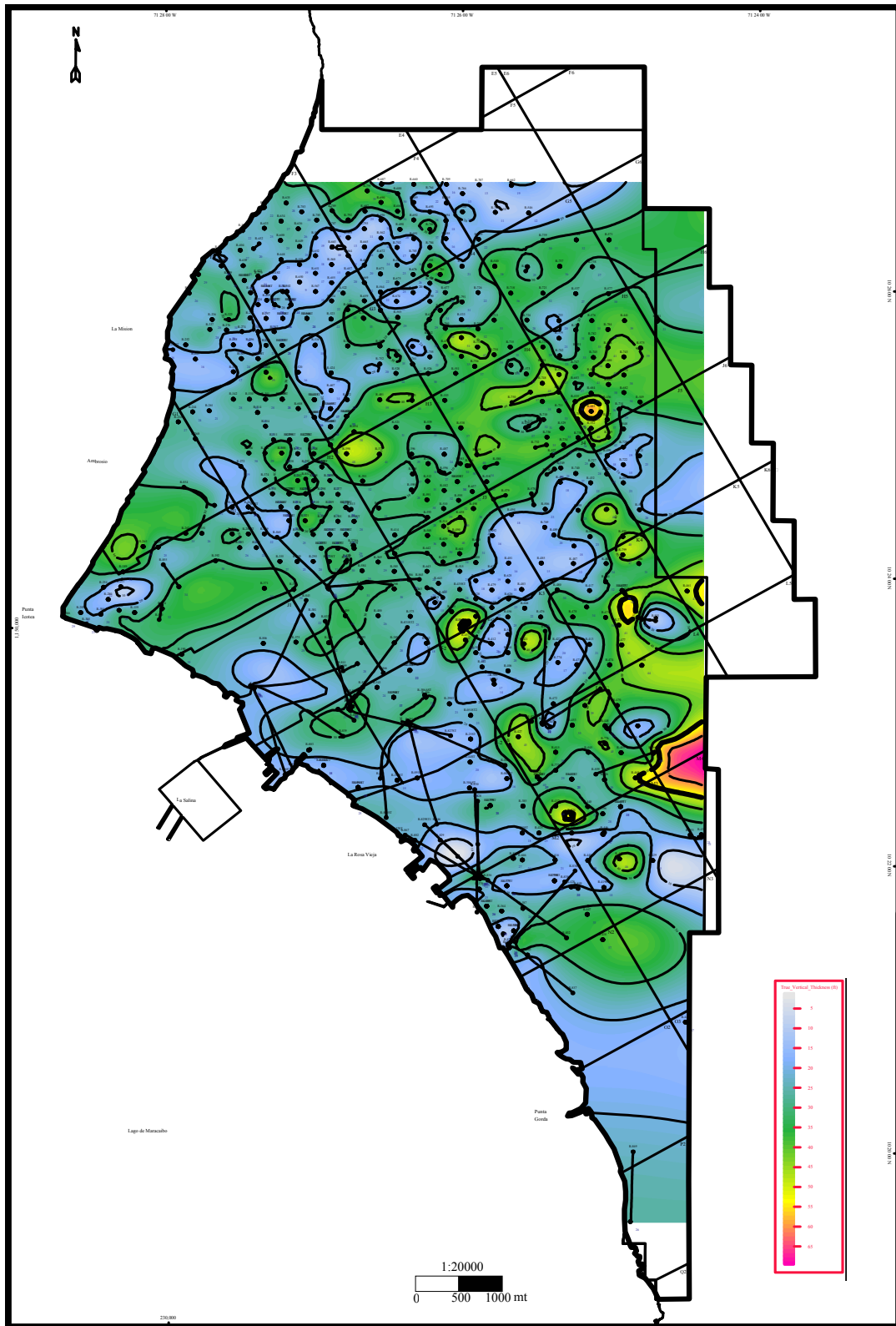


Figura VI.5. Mapa isopaco, arenas Cabimas

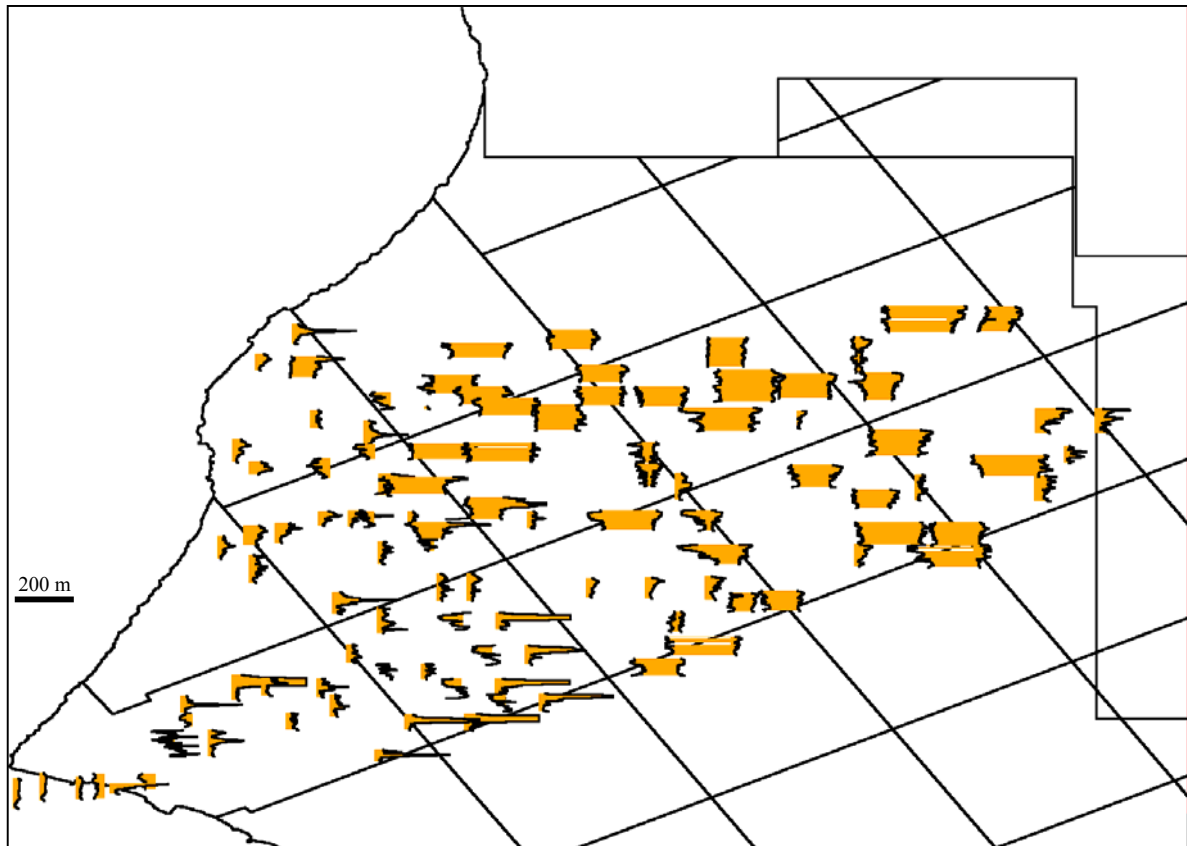


Figura VI.6. Mapa de electrofacies, correspondiente a la unidad LLA.

Controles estructurales

La importancia que ejerce el control estructural en la acumulación de hidrocarburos aún no está bien definida, debido a la falta de información sísmica, que permita mostrar el salto real de las fallas y saber si una determinada falla actúa como trampa estructural; además en la zona no se han realizado estudios petrofísicos que puedan determinar los parámetros petrofísicos y determinar su importancia en la producción de hidrocarburos.

La falla principal de Cabimas divide el área de estudio en dos zonas una este y otra oeste, con un salto variable, desde 100 pies en el norte a cero pies en el sur (figura, VI.7), donde la parte deprimida se ubica hacia el este de la falla, sin embargo los pozos que actualmente están en producción se ubican al oeste, es decir hacia la zona levantada. Las curvas isopacas del Miembro Lagunillas Inferior tienen una

orientación subparalela a la falla principal de Cabimas en la zona oeste, lo cual puede señalar la importancia de esta estructura en la acumulación de hidrocarburos.

En la zona que se ubica entre la falla principal de Cabimas y la falla límite de Cabimas la orientación de las curvas de espesor muestran cierta divergencia con respecto a las estructuras mencionadas, lo cual puede señalar que estas fallas no ejercen ningún control en la acumulación de hidrocarburos.

En la zona noroeste y suroeste que se trata de dos áreas complejas desde el punto de vista estructural, se caracterizan por presentar la mayor cantidad de pozos abandonados, especialmente en el área noroeste, mientras que la parte suroeste se ubican 7 de los pozos que actualmente están en producción, otros inactivos y abandonados, lo cual supone que el factor estructural no es de importancia en las áreas mencionadas.

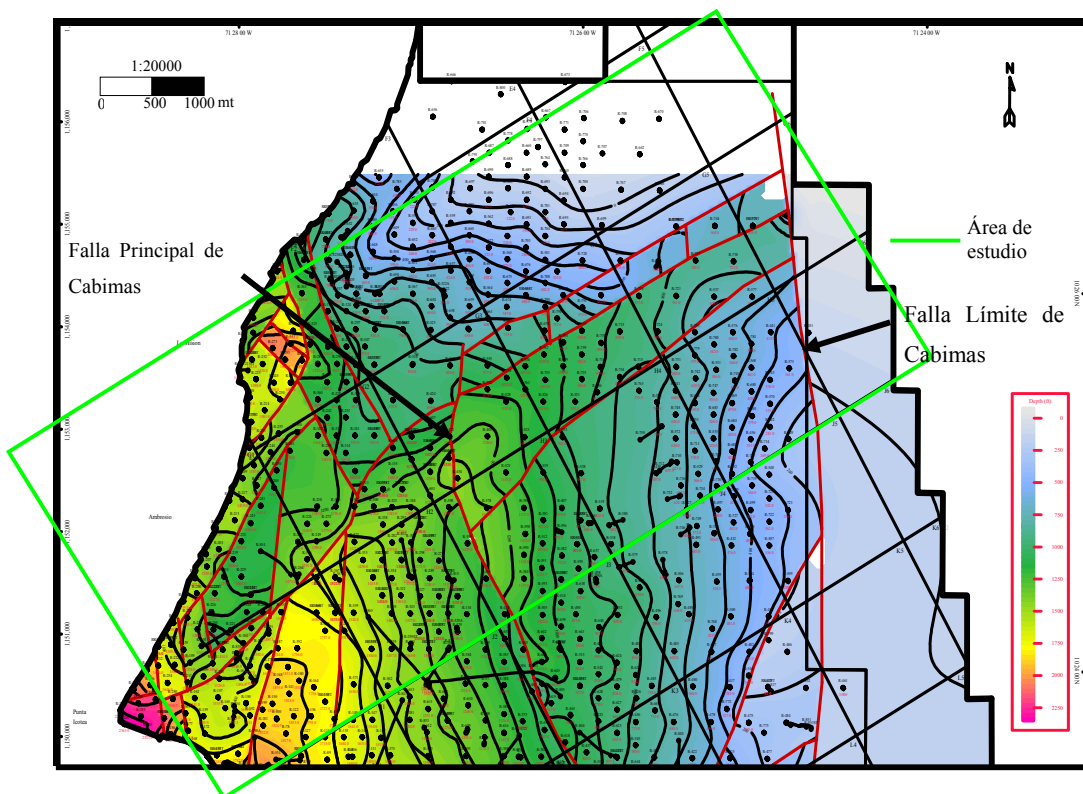


Figura VI.7. Mapa estructural del tope lagunillas Inferior, donde se señala las principales fallas del área

CONCLUSIONES

El tipo de roca que caracteriza el área de estudio, son areniscas de grano fino a muy fino, poco consolidadas con intercalación de lutitas y algunas intercalaciones de limo, hacia el tope de la sección se observan laminas y capas de carbón.

Los minerales detríticos que caracterizan a la zona de estudio son granos de cuarzo monocristalinos y policristalinos, con menor proporción de feldespatos y fragmentos de roca en una matriz arcillosa. Las muestras estudiadas al microscopio fueron clasificadas como grauvacas feldespáticas y líticas.

El tipo de porosidad que predomina es una porosidad interpartícula, con porcentajes promedios de 15% al 20%, que fue determinada tanto al microscopio como en las muestras de núcleo, especialmente en las facies correspondientes SB con impregnación de hidrocarburos alta y las facies SL y ShS que presentan una impregnación de media a moderada.

Las bioturbaciones van de alta a baja, con icnofacies del tipo skolithos y cruziana. Dentro de las facies que presentan el más alto grado de bioturbación esta la facies SB seguida de una bioturbación de media a moderada en las ShS, ShB, Sh y SL; la facies Sm no muestra ningún grado de bioturbación.

Para el Mioceno Temprano se lograron identificar 6 facies sedimentarias, 3 facies arenosas de grano muy fino, una facies heterolítica, 2 facies lutíticas y una facies de carbón; esta última se observa a escala centimétrica.

Los ambientes depositacionales fueron definidos mediante la descripción de las facies y el patrón que muestran los registros de pozos. Unas de las principales características observadas en el estudio de las facies, es el contenido de las icnofacies, skolithos y cruziana, típicos de ambientes costeros; donde los niveles de energía van desde alta a moderada.

El medio sedimentario de los miembros Santa Bárbara y la Rosa Intermedia, es un ambiente marino poco profundo, como ambiente de playa y ambiente intermareal, asociado al desarrollo de canales. Los miembros La Rosa Superior y Lagunillas Inferior, incluyen un ambiente intermareal, con desarrollo de canales y

barras de marea; mientras que el Miembro Ojeda esta asociado al ambiente de marisma en la parte supramareal.

La sección de estudio se enmarca dentro de dos ciclos sedimentarios; uno formado como parte de un sistema transgresivo, y un sistema regresivo. El nivel máximo de la transgresión se alcanza al nivel del Miembro La Rosa Intermedia, que además marca el inicio del ciclo regresivo, que caracteriza a los miembros La Rosa Superior, Lagunillas Inferior y Ojeda. A nivel del Miembro La Rosa Intermedia se pudieron haber generados depósitos de tormenta, que son reconocidos por algunas capas de conglomerados que se observan en esta unidad, así como fragmentos fósiles re TRABAJADOS.

Dentro de la zona de estudio se identificaron dos secuencias granodecrecientes, señalando un descenso del nivel de energía hacia el tope de cada secuencia. La primera secuencia está definida por la Formación Icotea, Miembro Santa Bárbara y el Miembro La Rosa Intermedia y la otra formada por el Miembro La Rosa Superior, Miembro Lagunillas Inferior y el Miembro Ojeda.

Los mapas de espesor, no necesariamente están asociados a las zonas productivas; es decir, los pozos en producción se ubican al oeste de la falla principal de Cabimas; mientras que los mayores espesores se registran al suroeste y noreste. La zona suroeste, coincide con las mayores profundidades señaladas en el área de estudio, y el área noreste se asocia con la ubicación del sinclinal de Cabimas.

La facies con mayor potencial petrolífero es la facies SB, que caracteriza a las unidades que actualmente están en producción. Esta facies presenta las mejores porosidades y esta asociada a depósitos de canales y barras de marea; esta característica constituye uno de los factores más importantes que afecta la producción de hidrocarburos en el área de estudio.

La estructura que domina el área, es un monoclinal con buzamiento suave al suroeste y dos sistemas de fallas mayores, la falla límite de Cabimas y la falla principal de Cabimas; además se logran observar dos sistemas de fallas menores, ubicados al noroeste y suroeste.

La orientación preferencial que muestran los sistemas de fallas principales que definen el área de estudio es subparalelo a la orientación de las fallas mayores de Icotea y Pueblo Viejo. Por lo antes expuesto se puede inferir que el conjunto de fallas que se ubican en el área de estudio pueden ser continuación de los sistemas mayores que afectan la Cuenca de Maracaibo.

La falla principal de Cabimas es posible que influya en la acumulación de hidrocarburos, debido a que los espesores de arena para el Miembro Lagunillas Inferior es subparalelo a esta estructura, además los pozos en producción se ubican al oeste de esta falla; los sistemas de fallas menores señalados al suroeste y noroeste, es posible que no ejerzan ningún control en este aspecto, porque los pozos ubicados en esta área son pozos abandonados o inactivos.

RECOMENDACIONES

- Análisis de facies en futuros núcleos recuperados, debido a que permite tener un mejor control de las características sedimentológicas y por lo tanto es de utilidad en el control de las condiciones depositacionales que reinaron durante la sedimentación de las secuencias del Mioceno.
- Integración de la geofísica y la geología con estudios sísmicos 3D
- Estudio paleontológico detallado con la finalidad de ayudar a definir los contactos netos de las Formaciones del Mioceno inferior a medio y ayudar a definir con precisión el tipo de ambiente de cada secuencia.
- Evaluar los pozos inactivos que presentan un buen desarrollo de arenas y que están relacionados con la facies SB, al nivel de las arenas inferiores Miembro Lagunillas Inferior.
- Evaluación petrofísica de las arenas inferiores Miembro Lagunillas Inferior.
- Completación selectiva de las arenas inferiores del Miembro Lagunillas Inferior, con la finalidad de poder definir cuales son las arenas más prospectivas en la producción.
- Evaluación de las presiones por yacimiento con la finalidad de poder determinar posibles zonas prospectivas.
- Modelo estructural y estratigráfico por yacimiento con la finalidad de poder generar un modelo geológico.

APÉNDICE

Descripción de las Icnofacies

Las trazas fósiles o icnofacies, son estructuras sedimentarias producidas biológicamente que incluyen: pistas, huellas, madrigueras, horadaciones, pelotillas fecales y otras trazas hechas por organismos (PEMBERTON *et al.*, 1992). Están excluidas aquellas estructuras que no reflejan una función en el comportamiento. Las icnofacies son el registro preservado de una asociación contemporánea de huellas relacionadas ambientalmente, que son análogas a una comunidad de organismos (PEMBERTON *et al.*, 1992).

La contribución más significativa de las trazas fósiles ha sido en paleoecología, sedimentología y reconstrucción ambiental, incluyendo el reconocimiento de cambios de facies local y regional, patrones de bioturbación y documentación de parámetros paleoecológicos individuales (PEMBERTON *et al.*, 1992).

Nueve icnofacies han sido reconocidas (figura I), cada una nombrada por un icnogénero representativo: scoyenia, trypanites, teredolites, glossifungites, psilonichnus, skolithos, cruziana, zoophycos y nereites. Estas icnofacies reflejan adaptaciones de organismos trazadores a factores ambientales tales como consistencia del substrato, suministro de alimentos, energía hidrodinámica, salinidad, turbidez del agua, tasa de sedimentación, temperatura y niveles de oxígeno entre otros (PEMBERTON *et al.*, 1992)

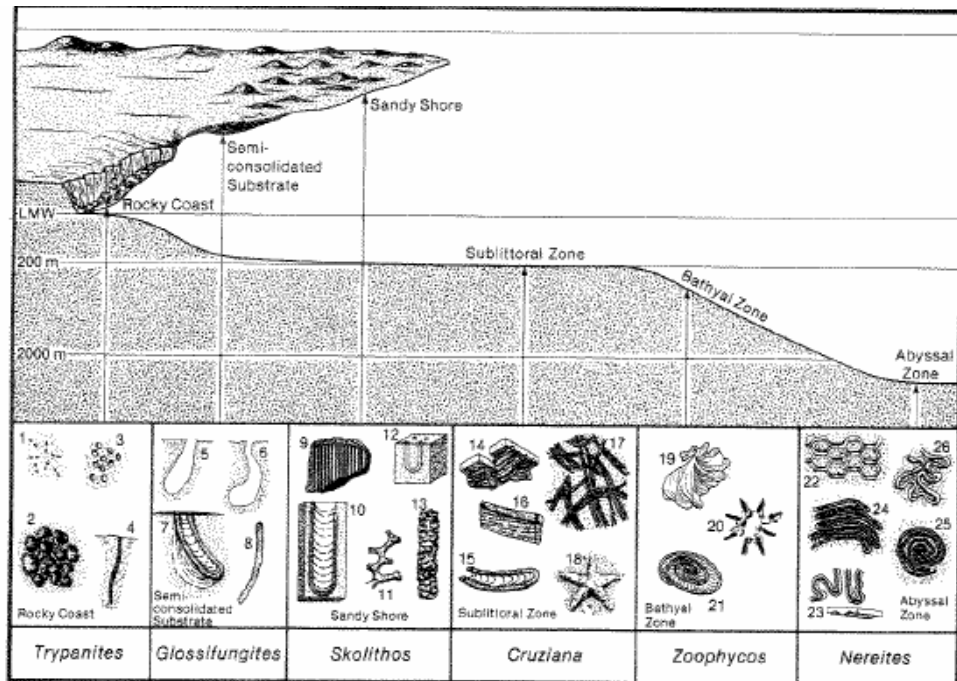


Figura I. Asociación de trazas fósiles.

Tomado de Pemberton *et al.*, 1992

Los icnogéneros identificados en el área de estudio, están representados por las icnofacies skolithos y cruziana, por esta razón ambas serán descritas a continuación.

La icnofacies skolithos es indicativa de niveles de energía relativamente altos, como olas o energía de corrientes y típicamente está desarrollada en sustratos ligeramente lodosos a limpios, bien escogidos, sueltos o cambiantes (PEMBERTON *et al.*, 1992, figura II)

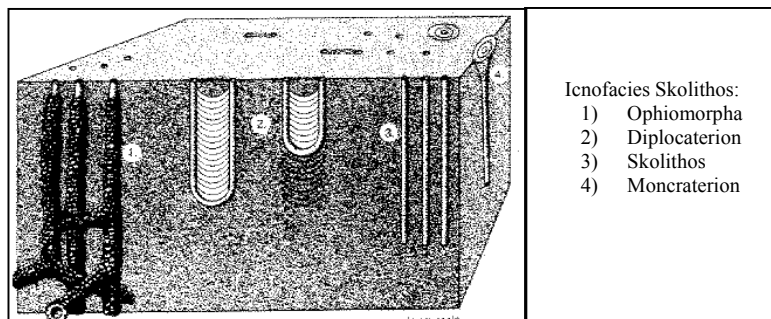


Figura II. Icnofacies skolithos

Tomada de Pemberton *et al.*, 1992

El incremento de los niveles de energía reflejan o resaltan el retrabajo físico, borrando de este modo las estructuras biogénicas y preservando las estructuras sedimentarias físicas. Tales condiciones ocurren en la anteplaya baja y en la anteplaya, barras y puntas de arena que penetran el mar. Debido a la relación entre la agitación del agua, transporte de alimentos y distribución animal, muchos de los organismos trazadores encontrados en estos lugares son alimentadores en suspensión (PEMBERTON *et al.*, 1992).

La icnofacies skolithos está caracterizada por: 1) madrigueras predominantemente verticales cilíndricas o en forma de U; 2) salientes y entrantes de algunas madrigueras en forma de U, las cuales se desarrollan en respuesta a la agradación o degradación del sustrato; 3) pocas estructuras horizontales; 4) pocas estructuras producidas por organismos móviles; 5) baja diversidad, aunque formas individuales pueden ser abundantes; 6) madrigueras habitadas mayormente por alimentadores en suspensión o carnívoros pasivos; y 7) trazas de vertebrados, particularmente en lugares intermareales de baja energía (PEMBERTON *et al.*, 1992).

La icnofacies cruziana es la más característica de sustratos no consolidados, submareales y pobremente escogidos. El rango de condiciones varía desde niveles de energía moderados en aguas someras por debajo de la base las olas de buen tiempo pero por encima de la base de las olas en periodos de tormentas, a niveles de energía en aguas tranquilas más profundas. La tasa de depositación de sedimentos varía desde insignificante a significativa pero no normalmente rápida (PEMBERTON *et al.*, 1992) con niveles reducidos (pero no significativos) de energía, el suministro de alimentos consiste de componentes suspendidos y depositados. Cada una de las fracciones puede predominar localmente, o pueden estar mezcladas. Los organismos característicos incluyen alimentadores en suspensión y de depósitos, también como carnívoros y carroñeros. También pueden ser comunes las huellas de organismos saqueadores que reflejan la abundancia, diversidad y accesibilidad del alimento (PEMBERTON *et al.*, 1992).

La icnofacies cruziana está caracterizada por: 1) asociación mezclada de estructuras verticales, inclinadas y horizontales; 2) la presencia de estructuras construidas por organismos móviles; 3) generalmente alta diversidad y abundancia; 4) estructuras principalmente de alimentación y apareamiento construidas por depósitos de alimentadores (PEMBERTON *et al.*, 1992, figura III)

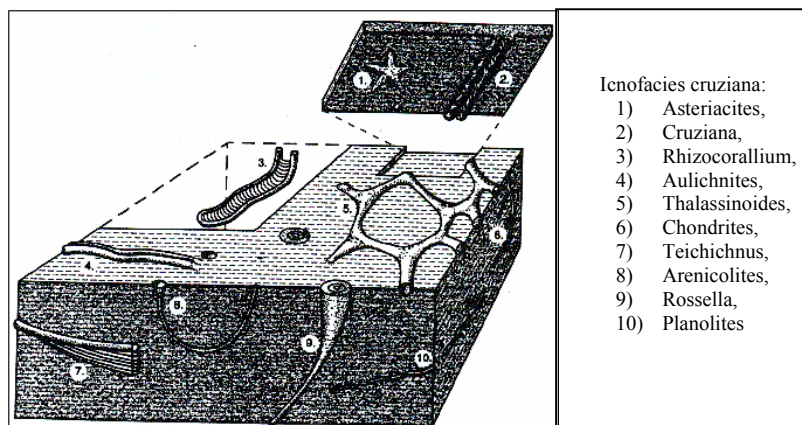


Figura III. Icnofacies cruziana

Tomado de Pemberton *et al.*, 1992

Ambiente Sedimentario

Ambiente sedimentario: Se entiende por ambiente sedimentario al conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas bajo las cuales se acumula un sedimento, es decir, el sitio donde se deposita el sedimento (SWANSON Y EPRCO, 1976).

Para interpretar los modelos sedimentarios se utilizan los perfiles de pozos, así como la información arrojada por la descripción de núcleos, con los cuales se obtiene información sobre la litología, y las características sedimentológicas en general. Con los registros se puede observar, la evolución vertical de las secuencias y las variaciones laterales de los cuerpos sedimentarios, a través de las correlaciones. Figura IV.

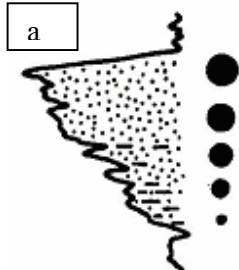
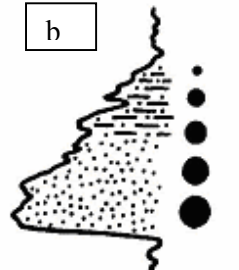
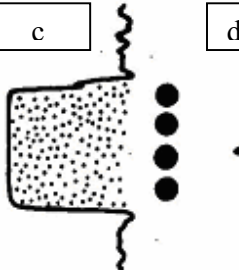

Patron del perfil				
Procesos Deposicionales	Afluencia gradual de arena, incrementándose energía hacia arriba, con terminación abrupta	Afluencia rápida de arena, decreciendo energía hacia arriba, con terminación gradual	Afluencia y terminación rápida de arena, con energía constante	Deposición de arenas intermitentes con pulsos cortos y energía variable
Agua poco profunda	Barras costeras Barras de costa afuera	Relleno de canales fluviales Barras de meandro Relleno de canal de marea	Canales distributarios de deltas Arenas de plataforma Canales entrelazados	Arenas finas transgresivas Arenas de plataforma
Agua profunda	Abanicos turbiditicos	Canal submarino proximal a medio	Canales proximales, con granos y detritus de flujo	Abanicos turbiditicos distales
				Facies transicional de arenas y arcillas

Figura IV. Formas características de los registros en los diferentes ambientes depositacionales: A) tipo embudo, B) tipo campana, c) tipo cilindro, d) tipo aserrado.

Tomado de Pettijohn *et al.*, 1985

Ambiente Intermareal

El ambiente intermareal responde a zonas de fisionomía muy llana que se forman principalmente en costas protegidas por islas de barrera o en costas dominadas por mareas, las cuales se extienden en franjas paralelas a la línea de costa, además, suelen ser interrumpidas por redes de canales y generalmente se depositan sedimentos siliciclásticos. (Figura V)

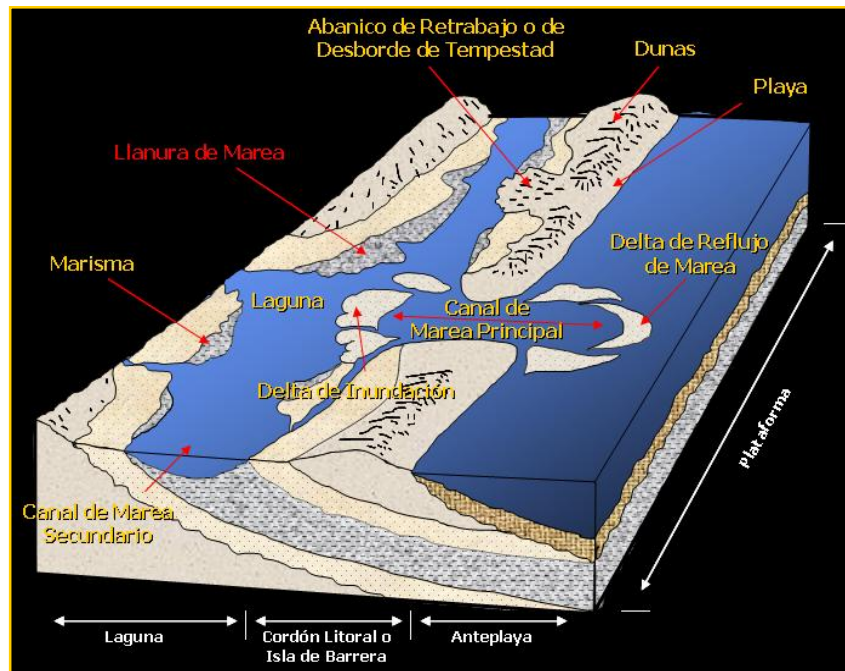


Figura V. Distintos tipos de ambiente, que incluye la llanura de marea
Tomado de Reinson, 1992

El ambiente intermareal se reconoce como una secuencia granodecreciente, donde el material arcilloso de la llanura alta es más proximal que el material arenoso de la llanura baja.

La información arrojada por la calibración perfil-núcleo define un *ambiente intermareal*, que se desarrolla entre la alta marea (*Supratidal*) y baja marea (*Subtidal*); una secuencia típica de este tipo de ambiente comienza con una sección basal predominantemente arenosa, llanura baja (*sand flat*) y grada hacia arriba a arcilla, llanura alta (*mud flat*), la parte superior de la secuencia consta de arcillas limosa y arcillosa con abundantes horadaciones, estructura tubular y penetración de raíces. Dentro de la llanura intermareal se pueden conseguir 4 ambientes sedimentarios, (Creole Petroleum Corporation, 1976, figura VI):

- el canal de marea (*tidal channel*),
- la llanura de marea baja (*sand flat*),

- la llanura alta (*mud flat*),
- marisma (*salt marsh*);

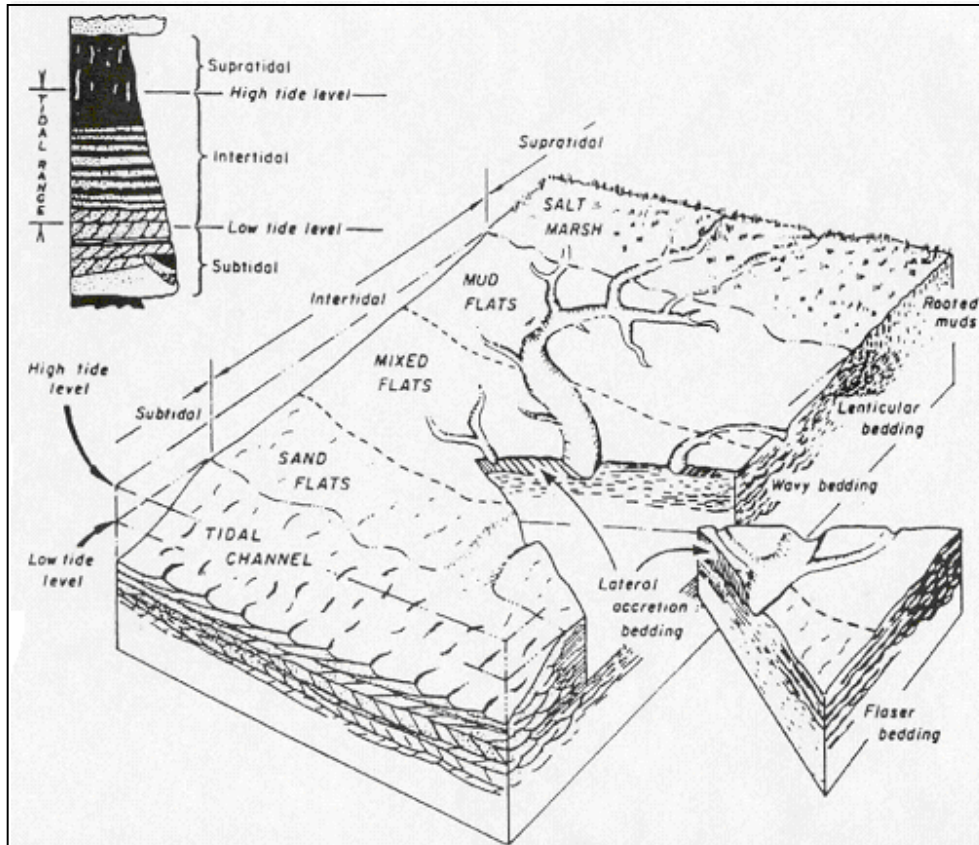


Figura VI. Distribución de los distintos tipos de ambientes sedimentarios dentro de llanura intermareal.

Tomado de Reading, 1996

READING (1996) señala que los criterios más importantes para reconocer los depósitos de llanura intermareal incluyen:

- Dirección bimodal concurrente formando estratificación cruzada resultando en la reversión mareal concurrente.
- La ocurrencia de facies es reflejo de una repetición, alternancias en escala pequeña de sedimentos (mareal rítmica) y la ocurrencia en conjunto a gran escala (canales) y las estructuras en escala pequeña (arenas y llanura lodosa) unidas por superposición o yuxtaposición.

- La presencia de abundantes superficies de estratificación flaser.
- Una alta frecuencia de los contactos erosional y cambios abruptos de facies.
- Otro soporte incluye el alto grado de bioturbaciones, aunque los ambientes de llanura mareal a marismas están formados por muchos organismos, debido a que están intermitentemente expuestos, estos son habitados por un número limitado de especies y organismos tales como gasterópodos y bivalvos, crustáceos, foraminíferos, diatomeas, y algas azules-verdes (cianobacterias). Muchos de estos organismos producen material fecal (pellets) en el lodo que se acumula en las llanuras; muchos de ellos solo causan una extensiva bioturbación en los sedimentos y se generan algunas horadaciones de icnofacies Skolithos.

Los sedimentos de llanura de marea son siliciclásticos, están compuestos primariamente por arcillas (lodo) y arenas. Los lodos predominan en la zona supramareal y en la zona intermareal superior, los depósitos de marismas supramareal están caracterizados por abundantes restos de plantas, con eventual turba. Las mezclas de arcillas y arenas se caracterizan por ubicarse en la parte media de la zona intermareal, y la arena domina la parte baja de la zona intermareal, generalmente son canales y depósitos de barra en la zona poco profunda de la zona submareal (READING, 1996)

Los canales de marea grandes son las rutas principales para el flujo y refluo de las mareas. El agua de mareas con su carga de sedimentos se mueve dentro de los canales y hondonadas de distribución, rebasa las orillas y se extiende por las llanuras de marea. Las llanuras se cubren primero con una delgada capa de sedimentos cuya superficie es ondulada por las corrientes; tierra adentro y alejándose de los canales, el sedimento gradúa generalmente de grano grueso a grano fino, reflejando la competencia decreciente de las aguas de marea que se desbordan hacia tierra firme, en consecuencia la llanura baja tiene una superficie arenosa, y la llanura alta consiste predominantemente de limo y arcilla. Cerca al máximo de la marea creciente

prevalecen condiciones de aguas más tranquilas y el material fino se deposita sobre la llanura total de la marea. (Creole Petroleum Corporation, 1976).

Durante la pleamar solo la marisma está fuera del agua, aunque esta también es cubierta intermitentemente por el oleaje rompiente y por las aguas altas asociadas con las marejadas y tormentas. Las mareas menguantes, devueltas de la llanura de marea a los canales mayores por las zanjas y por los arroyos de mareas, forman una superficie irregular en la llanura alta (predominantemente arcilla) y una superficie rizada en la llanura baja (predominantemente arena). Los animales vivientes permanecen sobre la superficie expuesta de las llanuras de marea mientras que las conchas de los organismos muertos son acarreadas hacia los canales de marea y junto con los fragmentos de arcilla forman una delgada capa en el fondo de los canales. El flujo y reflujó de la marea causan una migración rápida, o serpenteo, de los canales de marea más pequeños y hondonados, con el consiguiente desgaste de los sedimentos de llanura de marea y la acumulación de depósitos de canal de marea (Creole Petroleum Corporation, 1976).

En sedimentos detríticos se logran diferenciar tres tipos de secuencias:

-Secuencias Granodecrecientes (*Fining-up*)

Son secuencias de afinamiento de granulometría hacia el tope, lo cual puede señalar un descenso del nivel de energía de las corrientes, a estas secuencias se les define como secuencias positivas. En la base se observa un cambio abrupto de litología, figura IV.b.

-Secuencias Granocrecientes (*Coarsing-up*)

Son secuencias de engrosamiento de granulometría hacia el tope, lo cual puede ser interpretado como un aumento del nivel de energía, también son definidas como secuencias negativas. En el tope se observa un cambio abrupto de litología, figura IV.a

-Secuencias agradantes o cilíndricas

No presenta variación marcada de litología sus variaciones son mínimas (sin cambios verticales aparentes), pero sus contactos supra e infrayacente son abruptos.

Figura IV.c.

Cuerpos sedimentarios

Un cuerpo sedimentario puede ser identificado a través del estudio de núcleos. Sin embargo, se puede inferir un tipo de cuerpo mediante el análisis de curvas de perfiles de pozos, determinando el tipo de ambiente depositacional, su tope, base, evolución interna y la asociación de facies.

Así una secuencia granodecreciente se interpreta como un cuerpo sedimentario acumulado por una corriente de energía decreciente, tales como canal fluvial, canal de marea o abanico submarino.

Una secuencia granocreciente, por el contrario, representa un cuerpo sedimentario depositado por una corriente de energía alta, como arenas de playa, barras costeras y barras de desembocadura.

Una secuencia agradante es depositada en un ambiente que tienen una relativamente constante fuente de alta energía y un abundante abastecimiento de materiales del tamaño de la arena. Estas arenas están formadas por el lavado de las arenas finas y materiales arcillosos, que deja detrás las arenas limpias.

BIBLIOGRAFÍA

- Almarza, R. (1998). <http://www.pdv.com/lexico>. PDVSA INTEVEP. Los Teques
- Ambrose, W., Mendez, M., Akhter, M., Fisher, R., Alvarez, R., Wang, F., Skolnakorn, J. y Baghai, N. (1998). Geological controls on Reservoir Architecture and Hydrocarbon Distribution in Miocene Shoreface, Fluvial, and Deltaic Deposits in the Miocene Norte Area, Lake Maracaibo, Venezuela. Report of Investigation N° 252. 61 p.
- Arata, J., Llerena, J., Arzola, E., López, M., Salazar, J. y Vivas, M. (1985). Geología del Post-Eoceno en el Campo Cabimas, Costa Oriental del Lago de Maracaibo, Venezuela. VI Congreso Geológico Venezolano, (pp. 2747-2778), Sociedad Venezolana de Geólogos.
- Arostegui, G. y Machillanda, C. (1999). Modelo determinístico y estocástico del yacimiento C-2, VLE-326 Bloque V Lamar Lago de Maracaibo. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Audemard, F. (1991). Tectonics of western Venezuela (PH.D. thesis) Rice University, Houston, Texas, 245 p.
- Azuaje, H. (2000). Interpretación Sísmica del Bloque W6, campo Lagunillas, Costa Oriental del Lago de Maracaibo, Estado Zulia. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Boggs, S. (1995). Principles of Sedimentology and Stratigraphy. 2ª Edition, Prentice Hall, New Jersey, pp. 774.

- Borger, H and Lenert, E. (1959). The Geology and development of the Bolivar Coastal field at Maracaibo, Venezuela. *Asoc.Ven.Geol., Min and Petr., Bol Inform.*, 2 (9): 236-256.
- Bueno, E. y Pinto, J. (1997). Geología Estructural del Alto de Icotea, Lago de Maracaibo. *Memorias del VIII Congreso Geológico Venezolano*, pp: 133-140. Sociedad Venezolana de Geólogos.
- Cepeda, R. (1999). Análisis Secuencial Estratigráfico de las Formaciones Icotea, La Rosa, Lagunilla. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Chacartegui, F. (1985). Sedimentación y Diagenesis en la Formación Lagunillas en el área de Ceuta: VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, Tomo I, p: 276-278, Sociedad Venezolana de Geólogos.
- Corrales, I. (1977). *Estratigrafía y Sedimentación*. Edit. Rueda, Madrid, 718 p.
- Creole Petroleum Corporation y Exxon. (1976). *Manual de Facies Clásticas*.
- Delgado and Goesten (1983). Geological Investigations of Cores from well R-329A, H2 block, Cabimas Field, Bolivar Coast, W. Venezuela. Status Report N° 14.
- Díaz, M. (2001). Análisis de Velocidades en el área LL370/LL453. Trabajo especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Espinoza, R., Mastrolorenzo, M., and Tantow, M. (2000). Cabimas Field Miocene/Oligocene, Integrated Reservoir Studies. Report Intern.

- Fimlay, C. y Gou, Y. (1997). Inversión Tectónica de Falla de Pueblo Viejo definida mediante la interpretación de la sísmica 3D en el Campo Bachaquero, Lago de Maracaibo-Venezuela. Memorias del V III Congreso Geológico Venezolano, tomo I, pp: 267-277. Sociedad Venezolana de Geólogos.
- Galea, F. (1989). Microfacies, Edad y Sedimentación de la Formación La Luna, Flanco Norandino, Venezuela. Informe Técnico Maraven, S.A. EPC-12663, 22 p.
- Gamero, E., Gómez, E., Bryant, I. y Coll, M. (1995). Nuevo Modelo Sedimentológico del Miembro Lagunillas Inferior, bloques III/IV, Lago de Maracaibo: Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos, Vol. 20 Nos 1-2, p: 41-68.
- Geoclástica (1998), Core and Outcrop Sedimentology of the Misoa, Icotea, La Rosa & LR Lagunillas intervals, Cabimas Oilfield, Venezuela: Implications for Exploration & Production. Report intern.
- González de Juana, C., Iturralde, J. y Picard, X. (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. FONINVES. Caracas, tomos I y II; 1031p.
- Guzmán, J. (2000) Sistemas Deltaicos Perijá-La Rosa y Perijá-Lagunillas en el Contexto Paleográfico de la conexión marina Maracaibo-Falcón durante el Mioceno Temprano y Medio. Memorias del VII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, Caracas
- Leon, A., Casas, J., Salamanca, L., Agostini, N., Bengochea, X., Muñoz, P., Parra, N. y Antunez, A. (1997). Arena Basal LA Rosa, Bloque I, Venezuela. Expectativas y estrategias. Memorias del VIII Congreso Geológico Venezolano; Tomo I. p: 455-461, Sociedad Venezolana de Geólogos.

- Levorsen, A. (1973). Geología del Petróleo. Edit. Universitaria de Buenos Aires, 2da edición, Argentina, 452 p.
- Lugo, J. (1992). Historia tectónica a lo largo de los Sistemas de Fallas de Icotea y Pueblo Viejo, Cuenca de Maracaibo. VI Congreso Venezolano de Geofísica, pp: 118-124. Caracas, Sociedad Venezolana de Ingenieros Geofisicos.
- Lugo, J and Ochoa, E (1994). Sequence Stratigraphic analysis of northeastern Maracaibo Basin, Venezuela. 14 the world Petroleum Congress, Caracas.
- Lugo, J. (1991). Tectonics and stratigraphic history of the Maracaibo Basin. Austin University, Texas. PHD-thesis. Inédito. 142 p.
- Martinez, A. (1976). Cronología del Petróleo Venezolano. Foninves, Ed. Ciencia y Petróleo, Caracas, 349 p.
- Marquina, M. (2000). Arquitectura de facies y características de producción de un yacimiento del Mioceno del Lago de Maracaibo. Maestría. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Miller, J., Edward, K., Wolcott, P., Anisgard, H., Martin, R. and Anderegg, H. (1958). Habitat of oil in the Maracaibo Basin, Venezuela. En: Habitat of oil. A Symposium, 601-640 L.G. weeks. Assoc. Petr.Geol., 1384 p.
- Ortega, J. y Segura, F. (1989). Curso de Facies Clásticas, Taller de Electrofacies, Laboratorio Geológico el Chaure, Puerto La Cruz, 40 p.
- Ostos, M. y Yoris, F. (1997). Geología de Venezuela. Memorias de la Wec 1997, Evaluación de Pozos, Venezuela, Caracas.

- Pemberton, S., George, J., Eachern, M. and Frey, R. (1992). Trace fossil Facies Models: Environmental and Allostratigraphic significance. Facies models, response to sea level change. Geological Association of Canada Ontario, Canada.
- Pettijohn, F., Potter, P., and Siever, R. (1987). Sand and Sandstone. Second Edition, Springer-Verlag, New York, 533 p.
- Ramón, J. y Cross, T. (1997). Estratigrafía Secuencial en Estratos Continentales es el nivel base de un parámetro útil?. Memorias del I Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Tomo II, pp: 201-207, Sociedad Venezolana de Geólogos.
- Ramón, J. y Cross, T. (1997). Controles Estratigráficos en la arquitectura de canales fluviales: Revisión a los modelos de facies fluviales e implicaciones en caracterización de yacimientos. Memorias del I Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Tomo II, pp: 209-215, Sociedad Venezolana de Geólogos
- Reading, H. (1996). Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy. 3^a edition, Blackwell Science, USA, 688 p.
- Reinson, G. (1992). Tansgressive Barrier Island and Estuarine Systems. Facies Models. Institute of Sedimentary and Petroleum Geology, Canada.
- Rivas, D. y Rojas, T. (1997). Modelo sedimentológico, análisis de facies y estratigrafía del delta del Río Mitare, Estado Falcón. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

- Rojas, A. (2000). Caracterización de Trampas para la Costa Oriental del Lago de Maracaibo Estado Zulia. Maestría. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Schlumberger. (1972). Análisis de Ambientes sedimentarios mediante perfiles de pozos. Caracas, 234 p.
- Schlumberger. (1997). Well Evaluation Conference. Caracas, 840 p.
- Scholle, P. and Spearing, D. (1982). Sandstone Depositional Environments, American Association of Petroleum Geologist. 410 p.
- Serra, O. (1986). Sedimentary Environments from wireline logs. Schlumberger, 272 p.
- Shelton, W. (1973). Models of Sand and Sandstone Deposits: A methodology for determining sand genesis and trend. Bolletín 118 Oklahoma geological Survey, 122 p.
- Soto, C. (1977). Estudio Geológico Sedimentológico para un proyecto de recuperación secundaria en la Costa Bolívar. V Congreso Geológico Venezolano. p: 1493-1501. Sociedad Venezolana de Geólogos.
- Staff of Caribbean Petroleum Company. (1948). Oil fields of Royal-Dutch Shell Group in Western Venezuela. Am. Asoc. Petr. Geol., Bull, 32 (4): pp: 517-628.
- Suárez, G. (2000). Modelaje Sedimentológico Estocástico del Miembro Lagunillas Inferior en un área piloto del Campo Lagunillas COLG Distrito Bolívar,

Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Sutton, F. (1946). Geology of the Maracaibo Basin, Venezuela. American Association of Petroleum Geologist, Bulletin, V.30, n° 10, pp: 1621-1742

Swanson, D. y Eprco. (1976). Guía para el Análisis de los Ambientes de las Facies Clásticas. Lagoven, 62 p.

Talukdar, S. and Marcano, F. (1994). Petroleum Systems of the Maracaibo Basin, Venezuela. AAPG Memoir 60, pp: 463-481.

Tectonic Analysis, INC. (1996). Maracaibo Basin, Venezuela: Tertiary Sedimentation, Tectonics, and Paleogeographic evolution, Caracas.

Tectonic Analysis, INC. (1995). Geodynamic and paleogeographic development of Venezuela and Adjacent basins in Colombia and Trinidad: controls on hydrocarbon systems, M.E.M. Caracas.

Toro, M. and Stell, R. (march, 2002). A higt-frecuency sequence study: a Miocene deltaic and estuarine secession in the Eastern Maracaibo Composite Foreland, Western Venezuela. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Vol 50, N°1, pp: 3-30.

Walker, R. and James, N. (1992). Facies Models: Response to Sea Level Change, Geological Association of Canada, 409 p.

Vail, P., Mitchum, R., Thompsom, S. (1976). Seismic Stratigraphy and Global changes of sea level, par. 4: Global cycles of relatives changes in sea level in

seismic stratigraphy- Applications to hydrocarbon exploration, AAPG, Memoir 26.

Wood, R., Wichmann y Watt, H. (1971). Los perfiles de rayos gamma y neutrónico. Dresser Atlas, Boletín técnico, Argentina, 21 p.

ANEXOS