



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ESTUDIO GEOLÓGICO DE LA FORMACIÓN
SOCORRO EN EL CAMPO LA VELA,
ESTADO FALCÓN

Trabajo de grado realizado por:

ALBA ROSA PEREZ V.

Para optar al título de:

MAGISTER SCIENTIARUM EN

CIENCIAS GEOLOGICAS

Caracas, Diciembre 2013



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



Comisión de
Estudios de
Postgrado

VEREDICTO

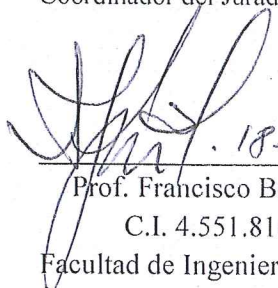
Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el **Trabajo de Grado** presentado por la **ING. ALBA ROSA PEREZ** portadora de la Cédula de Identidad No 13.894.564, bajo el título **“ESTUDIO GEOLOGICO DE LA FORMACION SOCORRO, CAMPO LA VELA, CUENCA DE FALCON”**, a fin de cumplir con el requisito legal para optar al grado académico de Magister Scientiarum en Ciencias Geológicas dejan constancia de lo siguiente:

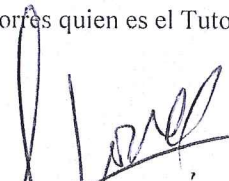
1.- Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día 18 de Diciembre de 2013, a las 10:00 a.m., para que la autora lo defendiera en forma pública, lo cual realizó en el salón Zuloaga, mediante un resumen oral de su contenido, posteriormente respondió a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado.


2.- Finalizada la defensa del trabajo, el jurado decidió aprobarlo, por considerar, sin hacerse solidario con la ideas expuestas por la autora, que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado

Para dar este veredicto, el jurado integrado por los Profesores Francisco Barrios, Juan Torres y Mauricio Bermúdez estimó que el trabajo examinado representa en su conjunto un aporte importante al conocimiento geológico del área de estudio. Esta investigación presenta un enfoque novedoso dentro del área de Geología-Geofísica; por lo cual se le aprueba con la calificación de **“Excelente”**, de acuerdo a lo establecido en el artículo 53 del Reglamento de Estudios de Postgrado de la UCV.

En fe de lo cual se levanta la presente ACTA, a los diez y ocho (18) días del mes de Diciembre del año 2013, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado, actuó como Coordinador del Jurado el Prof. Juan Torres quien es el Tutor.


18-12-13
Prof. Francisco Barrios
C.I. 4.551.816
Facultad de Ingeniería, UCV


Prof. Juan L. Torres (Tutor)
C.I. 3.398.353
Facultad de Ciencias, UCV


Prof. Mauricio Bermúdez
C.I. 12.378.742
Facultad de Ingeniería, UCV

JR/18-12-2013

Página 1 de 1



A large, jagged rock formation, possibly a sea stack or a cliff, dominates the left side of the image. The rock is light brown and has several sharp peaks and recessed areas. At the base of the rock, waves are crashing, creating white foam. The foreground shows a sandy beach. The sky is blue with scattered white clouds. The overall scene is a coastal landscape.

Dedicatoria

A mi madre, por todo su amor, sacrificio y apoyo...

A mi padre, quien siempre me cuida desde el cielo...

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado y acompañarme todos los días.

A mi madre, por brindarme todo su apoyo durante mi carrera, quien siempre ha confiado en mí y ha sido mi fortaleza durante todos estos años.

A mi Alma Mater, La Universidad Central de Venezuela, donde me he formado académicamente desde pre-grado y a quien le debo grandes experiencias.

A mi tutor, una excelente persona, el Profesor Juan L. Torres, quien con sus conocimientos, experiencia y paciencia ha sido la persona que me ha motivado y apoyado con este trabajo, su ayuda ha sido fundamental para completarlo.

A Luis Porras, un excelente profesional con quien trabajé en Vinccler y sus enseñanzas han contribuido a que sea técnicamente mejor hoy en día.

A Vinccler Oil and Gas, la empresa avaló este estudio y quien me dió la oportunidad de desempeñarme en diversas facetas de la geología.

Al jurado, los profesores Mauricio Bermúdez y Francisco Barrios por la lectura de este trabajo y sus comentarios.

A la escuela de Geología, Minas y Geofísica y los profesores que me instruyeron durante estos años.

A mis compañeras de clases Maria de Los Ángeles Gonzalez y Milena Quijada por todo su apoyo, sus consejos y en especial su amistad.

A mis compañeras de clases y amigas Jeannette Rodríguez y Karmele León por todo su apoyo.

A Igor por su motivación, compañía y por todo su apoyo.

A mis hermanos Adriana, Marcos y Miriam, gracias por estar conmigo, por su confianza y cariño.

A Ana Maria Rodríguez por toda su ayuda y colaboración.

A todos... Muchas gracias.

"El agradecimiento es la memoria del corazón." – Lao-tse

INDICE GENERAL

Contenido	página
Resumen	1
1. CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	4
1.1. Objetivo General	8
1.2. Objetivos específicos	8
1.3. Ubicación geográfica del área de estudio	9
1.4. Base de datos	10
1.5. Metodología	11
1.6 Trabajos previos	17
2. CAPÍTULO II	
2.1. Marco geológico regional	19
2.2. Geología estructural regional	26
2.2.1. Teoría <i>Pull apart</i>	26
2.2.2. Modelo de colapsos extensionales de una cuenca retroarco	32
2.2.3. Otras teorías	34
2.2.4.1 Teoría de <i>rifting</i> e inversión	36
2.3. Geología local en el campo La Vela	38
2.3.1 Estructura	39
2.3.2. Estratigrafía del Campo La Vela	41
2.2.3. Estratigrafía de la Formación Socorro	42

3. CAPÍTULO III

3.1 Estudio estratigráfico de la Formación Socorro	48
3.1.1 Estratigrafía del campo La Vela	49
3.2 Estudio de Estratigrafía Secuencial	66
3.2.1 Estratigrafía Secuencial	66
3.2.1.1 Sistemas encadenados	69
3.2.1.2 Parasecuencias	71
3.2.2 Análisis secuencial - Formación Socorro	71
3.3 Estudio bioestratigráfico	76
3.4 Estudio estructural de la Formación Socorro	83
3.4.1 Líneas sísmicas	83
3.4.2 Secciones estructurales	85
3.4.3 Mapas Estructurales	86
3.5 Análisis Petrofísico	103
3.5.1. Determinación de la Porosidad, Volumen de Arcilla y Saturación de Agua	104
3.5.1.1 Estudio de Porosidad	104
3.5.1.2 Volumen de Arcilla	105
3.5.1.3 Estudio de permeabilidad	106
3.5.1.4 Saturación de agua	106
3.5.2 Mapas isópacos	113
3.5.2.1 Mapas de Arena Neta	113

4. CAPÍTULO IV

4.1 Conclusiones	117
------------------	-----

4.2 Referencias bibliográficas	121
--------------------------------	-----

INDICE DE ILUSTRACIONES

Fig. 1 Ubicación geográfica del área de estudio.	9
Fig. 2 Diagrama con metodología utilizada.	12
Fig. 3 Generación de cuencas <i>Pull- apart</i> en la zona de placa del Caribe y Suramérica.	19
Fig. 4 Mapa paleo geográfico del Estado Falcón en el Mioceno Inferior.	22
Fig. 5 Modelo sedimentario esquemático durante el Oligoceno-Mioceno temprano para la cuenca de Falcón.	24
Fig. 6 Imagen de satélite del Anticlinal La Vela.	25
Fig. 7 Marco tectónico regional	26
Fig. 8 Evolución de las cuencas <i>pull apart</i> Falcón y Bonaire	28
Fig. 9 Modelos de generación de cuencas <i>pull apart</i> episuturales	30
Fig. 10 Modelo de orógeno de floración para la cuenca Falcón-Bonaire	33
Fig. 10-A Modelo original conceptual para la cuenca de Falcón.	34
Fig. 11 Modelo conceptual propuesto para la cuenca de Falcón.	35
Fig. 12 Mapa estructural Campo La Vela-Tope Formación Cerro Pelado	40
Fig. 13 Descripción litológica de las unidades en el campo La Vela	42
Fig. 14 División de la Formación Socorro mediante correlación estratigráfica.	46
Fig. 15 Paleoambientes del miembro informal Socorro Superior.	47

Fig. 16 Sección estratigráfica Formación Socorro.	51
Fig. 17 Muestras de canal pozo LV-14	58
Fig. 18 Muestras de canal pozo LV-18	59
Fig. 19 Muestras de canal pozo LV-20	60
Fig. 20 Carta estratigráfica integrada pozo LV-6	61
Fig. 21 Carta estratigráfica integrada pozo LV-10	62
Fig. 22 Carta estratigráfica integrada pozo LV-12	63
Fig. 23 Carta estratigráfica integrada pozo LV-16	64
Fig. 24 Carta estratigráfica integrada pozo LV-20	65
Fig. 25 Superficies límites importantes en estratigrafía secuencial	70
Fig. 26 Parasecuencias en función de aportes terrígenos	71
Fig. 27 Estratigrafía secuencial de tercer y cuarto orden pozo LV-6	74
Fig. 28 Análisis de parasecuencias, Formación Socorro- campo La Vela	75
Fig. 29 Ubicación de líneas sísmicas en el campo La Vela.	88
Fig. 30 Imagen de satélite, Campo la Vela	88
Fig. 31 Líneas sísmicas 98-CORO ESE	89
Fig. 32 Línea sísmica 98-CORO ESE, campo La Vela bloque estructural Sur.	90
Fig. 33 Línea sísmica 98-CORO ESE en sentido NNO-SSE	91
Fig. 34 Línea sísmica LVE-03, campo La Vela bloque Sur	91
Fig. 35 Sección estructural pozos LV-10-LV-6X campo La Vela	92
Fig. 36 Sección estructural esquemática a través del campo La Vela	93
Fig. 37 Sección estructural pozos LV-10-LV-12-LV-16 campo La Vela	94

Fig. 38	Sección estructural pozos LV-16-LV-20-LV-6X campo La Vela	95
Fig. 39	Sección estructural pozos LV-16-LV-10-LV-13 y LV-7 campo La Vela	96
Fig. 40	Mapa estructural tope Formación Socorro.	97
Fig. 41	Mapa estructural tope Formación Socorro-domo sur del Campo La Vela.	98
Fig. 42	Mapa estructural al tope del yacimiento Socorro Superior 1	99
Fig. 43	Mapa estructural al tope del yacimiento Socorro Superior 2	100
Fig. 44	Mapa estructural al tope del miembro informal Socorro Medio	101
Fig. 45	Mapa estructural al tope del miembro informal Socorro Basal	102
Fig. 46	Evaluación petrofísica pozo LV-10 (Socorro Superior 1)	111
Fig. 47	Evaluación petrofísica pozo LV-10 (Socorro Superior 2)	111
Fig. 48	Evaluación petrofísica pozo LV-20 (arenas basales)	112
Fig. 49	Mapa isópaco de arena neta Formación Socorro	114
Fig. 50	Mapa isópaco de arena neta gasífera del yacimiento de gas Socorro Superior 1 LV10	115
Fig. 51	Mapa isópaco de arena neta petrolífera del yacimiento de petróleo Socorro Superior 2 LV10	116

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Estratigrafía del Neógeno del área de La Vela y Coro	49
Tabla 2	Subdivisiones de la Formación Socorro en pozo LV-10	54
Tabla 3	Tope y base de Formación Socorro en pozos LV-12 – LV-20	56

Tabla 4 Terminología, duración y jerarquía de ciclos o secuencias	69
Tabla 5 Estudio bioestratigráfico LV-6	78
Tabla 6 Estudio bioestratigráfico LV-7X	80
Tabla 7 Estudio bioestratigráfico LV-9	81
Tabla 8 Sumario petrofísico en el pozo LV-10	109
Tabla 9 Sumario petrofísico en el pozo LV-12	109
Tabla 10 Sumario petrofísico en el pozo LV-14	109
Tabla 11 Sumario petrofísico en el pozo LV-16	110
Tabla 12 Sumario petrofísico en el pozo LV-17	110
Tabla 13 Sumario petrofísico en el pozo LV-19	110
Tabla 14 Sumario petrofísico en el pozo LV-20	110

RESUMEN

El campo La Vela está ubicado en la parte norcentral del estado Falcón, a unos 10 km hacia el este de la ciudad de Coro, capital del estado Falcón; comprende un anticlinal alargado con eje principal suroeste-noreste, originado por el plegamiento de unidades Terciarias sobre el denominado 'Corrimiento de Guadalupe' y adicionalmente a un grupo de fallas inversas secundarias a este corrimiento, como consecuencia de la inversión tectónica de la cuenca de Falcón que generó una compresión de edad Mioceno medio a superior de dirección NO-SE (Audemar, 1995).

En el presente trabajo se realizó un estudio geológico de la Formación Socorro asociado al campo La Vela, estableciendo inicialmente correlaciones estructurales y estratigráficas a partir de la información relacionada con los pozos preexistentes, que han sido identificados con la siglas 'LV-n' (La Vela); dichos pozos corresponden a unas perforaciones iniciales (LV-1, LV-2, LV-3, LV-4 en la zona NE, mientras que la LV-5 se ubicó en la zona SO) que se llevaron a cabo entre 1925 y 1932 por parte de la compañía Creole Petroleum Corporation (Creole); posteriormente en los ochenta, la Corporación Venezolana del Petróleo (Corpoven) realizó tres nuevas perforaciones (LV-6 [NO], LV-7 [C] y LV-8 [SO]). La información obtenida sirvió como base para realizar el actual estudio, respaldado por la empresa Vinccler¹, a mediados de los años dos mil, llevándose a cabo una decena de perforaciones (desde la LV-9 hasta LV-20, principalmente ubicadas en el SO de la zona).

Hasta Agosto de 2007 se habían perforado 21 pozos en la estructura anticlinal del campo La Vela, de los cuales se utilizó la información en diecisiete de ellos [LV-1, LV-2, LV-3, LV4, LV-5 (Creole); LV-6, LV-7 y LV- 8 (Corpoven) y los pozos LV-10, LV-12, LV-14, LV-16, LV-17, LV-18, LV-19 y LV-20 (Vinccler), para ser utilizada como base en el presente trabajo. Los pozos LV-11 y LV-13 fueron

¹ Actualmente ausente del país.

abandonados durante la perforación debido a problemas mecánicos; el pozo LV-15 no penetró la Formación Socorro mientras que el pozo LV-21 se encontraba en proceso de perforación. En todos esos pozos se han comprobado la existencia de hidrocarburos líquidos y gaseosos en prácticamente toda la columna estratigráfica.

A partir de la información geológica obtenida de los registros eléctricos en los pozos LV-06, LV-07 y LV-10, se ha propuesto dividir a la Formación Socorro en cuatro miembros informales: superior, medio, inferior y basal; adicionalmente se ha propuesto una subdivisión adicional para el miembro superior, constituyéndose en los yacimientos Socorro Superior 1 y Socorro Superior 2, lo cual permitió definir las reservas en dichos yacimientos de forma más precisa.

Con la evaluación geológica de dichos yacimientos y las pruebas de producción realizadas en campo, se proyectaron nuevas reservas estimadas, tanto de gas, en 13.207 MMPCS de gas libre y 7.705 MMPCS de gas asociado, como de petróleo, en 2.420 MBLS.

Para la elaboración del estudio estructural, fueron interpretadas las líneas sísmicas 2D que permitió visualizar la estructura anticlinal que constituye el campo La Vela, la cual a su vez está segmentada en varias sub-estructuras, debido a la ocurrencia de fallas inversas secundarias, paralelas al corrimiento de Guadalupe y también por fallas normales preexistentes con sentido NO-SE.

Con toda la información obtenida de los pozos perforados por Vinccler (LV-10 a LV-20), se pudo evidenciar la complejidad estructural del campo La Vela, y específicamente en el domo sur, donde fueron detectadas diversas fallas inversas y normales, identificadas como 'LV-6' y 'LV-7'², que al repetirse ocasionan una omisión parcial de la Formación Socorro en el campo La Vela.

² Se decidió identificarlas con el nombre de los pozos en los que fueron detectadas.

En relación con el estudio estratigráfico se realizó una sección que permitió ratificar la presencia de un miembro superior de la Formación Socorro, más específicamente identificado como yacimiento Socorro Superior 1 ya que presenta continuidad lateral. A su vez, en el miembro Socorro Superior, se detectó un yacimiento distinto, identificado como Socorro Superior 2, habiendo sido detectado en los pozos LV-10 y LV-12. Se hace necesario resaltar que en los miembros Socorro Inferior y Socorro basal (arenas basales), también fueron observados yacimientos a partir de la perforación de pozos en el flanco sureste del campo.

El estudio bioestratigráfico permite indicar que la Formación Socorro comprende edades entre el Mioceno Tardío y el Mioceno Medio. Adicionalmente se puede aseverar que el proceso sedimentario generó un ambiente depositacional transicional a nerítico medio, de acuerdo al análisis bioestratigráfico realizado en los pozos LV-6, LV-7, LV-8, LV-9 y LV-12.

Los parámetros petrofísicos muestran que los pozos LV-10, LV-14, LV-16 y LV-17 presentan porosidad efectiva entre 16% y 20% en el miembro Socorro Superior. El pozo LV-20, ubicado en las arenas basales de la formación, presenta la porosidad efectiva más alta (27 %).

De acuerdo con el patrón de apilamientos observado en los perfiles de pozos, puede afirmarse que la Formación Socorro en su totalidad, presenta una secuencia progradante conformada por ocho (8) parasecuencias.

Finalmente se confirmó que el tope de la Formación Querales, correspondiente a una superficie de máxima inundación, marca el límite inferior de la secuencia.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2005, la empresa estatal venezolana Petróleos de Venezuela, Sociedad Anónima, (PDVSA) y la compañía Vinccler Oil and Gas, C.A. (Vinccler), constituyeron una empresa mixta, que fue denominada 'PetroCumarebo' y se estableció a unos 30 km al este de la ciudad de Coro, en la región nororiental del estado Falcón Venezuela.

En el año 2005, la empresa Vinccler llevó a cabo la perforación de los pozos LaVela-9 (LV-9) y LaVela-10 (LV-10) en el Campo La Vela. Producto de dichos trabajos de perforación se descubrieron yacimientos de crudo y gas, que estratigráficamente están asociados con la Formación Socorro. El hecho relevante de lo anterior resulta en que por primera vez se descubren pozos con potencial de explotación asociados a la Formación Socorro en el campo La Vela, aunque debe mencionarse que anteriormente hubo hallazgos en el Campo Cumarebo (Vinccler).

El campo La Vela nunca ha sido puesto en producción de forma continua ya que no posee facilidades de superficie y además sus yacimientos tienen una alta relación gas-petróleo. Las reservas probadas remanentes oficiales del campo se estiman en 66.543 MMMPC de gas asociado y 4.985 MMBSL de petróleo.

Durante el año 2007 en Vinccler, se propone un estudio que permita mejorar el conocimiento geológico de la Formación Socorro pues no había sido objeto de evaluación en el Campo La Vela, con la finalidad de optimizar el desarrollo económico de las reservas descubiertas en estos nuevos yacimientos.

En superficie la Formación Socorro está constituida por varios afloramientos localizados en la parte occidental del estado Falcón cerca de la zona de Cumarebo (sector nororiental). En la sección tipo de dicha formación, ubicada cerca de la población de Socorro, fue observado un intervalo de areniscas en la parte superior e infrayacen lutitas basales que constituyen yacimientos en el campo Cumarebo (Macellari, 1995). La Formación Socorro tiene 1.570 m de espesor promedio, aunque al sur de Coro sólo presenta un espesor de 660 m, como consecuencia de un proceso de depositación en un ambiente costero al oeste, el cual gradualmente se fue transformando en un ambiente marino hacia el este (Macellari, 1995).

Hasta la fecha del inicio del presente trabajo, la Formación Socorro, no ha sido objeto de un estudio geológico detallado en el Campo La Vela, por lo cual se hace necesario realizarlo, tomando en cuenta que dicha área resulta muy compleja desde el punto de vista estructural. Este hecho hace necesario que los cuerpos de arena asociados deban ser detallados, para reducir así riesgos en las fases de perforación, y de esa manera se evitarán correlaciones erróneas y consecuentemente hacer de la producción una etapa más eficaz. Todo ello permitirá optimizar un plan de desarrollo de los recursos hidrocarburíferos descubiertos a mediados de los dos mil en esta formación en el Campo La Vela. Por otra parte resulta que lo relevante del presente estudio es que la información obtenida de los pozos perforados, permitirá realizar una delimitación más precisa de los cuerpos de arena al poder correlacionar dichos cuerpos a lo largo del campo, con lo cual se reducirá al mínimo los riesgos en las fases de perforación y producción.

Algunos de los riesgos planteados incluyen la identificación de estructuras que propicien pérdida o repetición de yacimientos, y para ello se pretende utilizar la información generada durante la perforación y correlacionarla con datos

disponibles de registros geofísicos de pozos y de la bioestratigrafía, entre otros; con ello se logrará definir con más precisión el tamaño del campo en toda la extensión, establecer la arquitectura del yacimiento así como sus heterogeneidades.

El área de estudio se circunscribe a la parte norcentral de la cuenca de Falcón, el Campo La Vela, se ubica en el noroeste de Venezuela, a unos 5 Km al este de la población denominada La Vela, ubicada a su vez a unos 5 km de la ciudad de Coro. Ha sido explorada de manera intermitente desde 1912, dando como resultado el descubrimiento de varios campos productores de hidrocarburos.

El campo La Vela fue descubierto por la Creole Corporación en el año 1933, con la perforación de 5 pozos, cuatro de ellos en la zona noreste desde 1923 y el último en la zona suroeste hacia mediados de la década de los 30'; aunque se encontraron yacimientos de gas no fueron comerciales para ese entonces. El potencial hidrocarburífero del campo se inició con la perforación del pozo La Vela 2X, el cual encontró gas en la Formación Cerro Pelado (Mioceno Temprano). Todos los pozos fueron perforados en la parte alta de la estructura, excepto el pozo LV-5X que se perforó en una estructura distinta al suroeste del campo.

Posteriormente, entre 1982 y 1985, Corpoven, S.A., para aquel entonces filial de Petróleos de Venezuela, perforó tres pozos profundos en la estructura (LV-6X, LV-7X y LV-8X). En dichos pozos se encontró petróleo y gas en cinco reservorios pertenecientes a las formaciones Caujarao, Socorro, Cerro Pelado, (Pecaya/Pedregoso. Los principales son Socorro, Cerro Pelado y Pecaya/Pedregoso.

En el año 2000, Vinccler Oil & Gas, pasó a ser la operadora del bloque Falcón Este, el cual está conformado por un área de exploración denominada Agua

Salada y un área de producción conformada principalmente por los campos La Vela y Cumarebo.

En Julio 2003, Vinccler, Oil and Gas, C.A. realizó un estudio integral para sustentar el plan de desarrollo del campo, el cual contemplo en su fase inicial la rehabilitación y prueba de los pozos LV-6X, LV-7X y LV-8X, a fin de estimar las reservas del campo con mayor precisión, y además con el objeto de optimizar la ubicación de los pozos de desarrollo.

Toda la integración de la información recabada hasta el presente, la cual fue generada a partir de los pozos perforados en el campo La Vela, es determinante para el desarrollo del estudio geológico correspondiente a la Formación Socorro en este campo, y ello constituye un paso importante para la caracterización de estos yacimientos de crudo y gas.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Generar un estudio geológico de la Formación Socorro, Campo La Vela, ubicado en la parte norcentral del estado Falcón, mediante correlaciones estructurales y estratigráficas a partir de la información relacionada con los pozos antiguos (preexistentes) y aquellos recientemente perforados en el área. Dicho estudio se podrá construir a partir de la interpretación de los cuerpos sedimentarios presentes, basándose en información asociada con los pozos (datos de perfiles, muestras de canal, datos estructurales y estratigráficos, datos de petrofísica, datos de bioestratigrafía, y algunos otros disponibles). Con el procesamiento de la información disponible y la interpretación adecuada, se podrá generar un estudio que permita la caracterización geológica de la Formación Socorro con una orientación hacia la exploración y producción petrolera.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diferenciar litoestratigráficamente la unidad geológica seleccionada
2. Realizar correlaciones entre los pozos del área
3. Elaborar secciones estratigráficas/estructurales de la Formación Socorro
4. Elaborar la bioestratigrafía de la unidad (edades y ambientes)
5. Generar los correspondientes mapas estructurales e isópacos
6. Interpretar petrofísicamente el subsistema geológico

1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se identifica como Campo La Vela ubicado a unos 5 Km al este – noreste de la población de La Vela de Coro (Municipio Colina, estado Falcón). Geográficamente se encuentra en la zona norcentral del estado Falcón, al sur de la región costa afuera conocida como La Ensenada de la Vela, tal como se muestra en la figura 1:

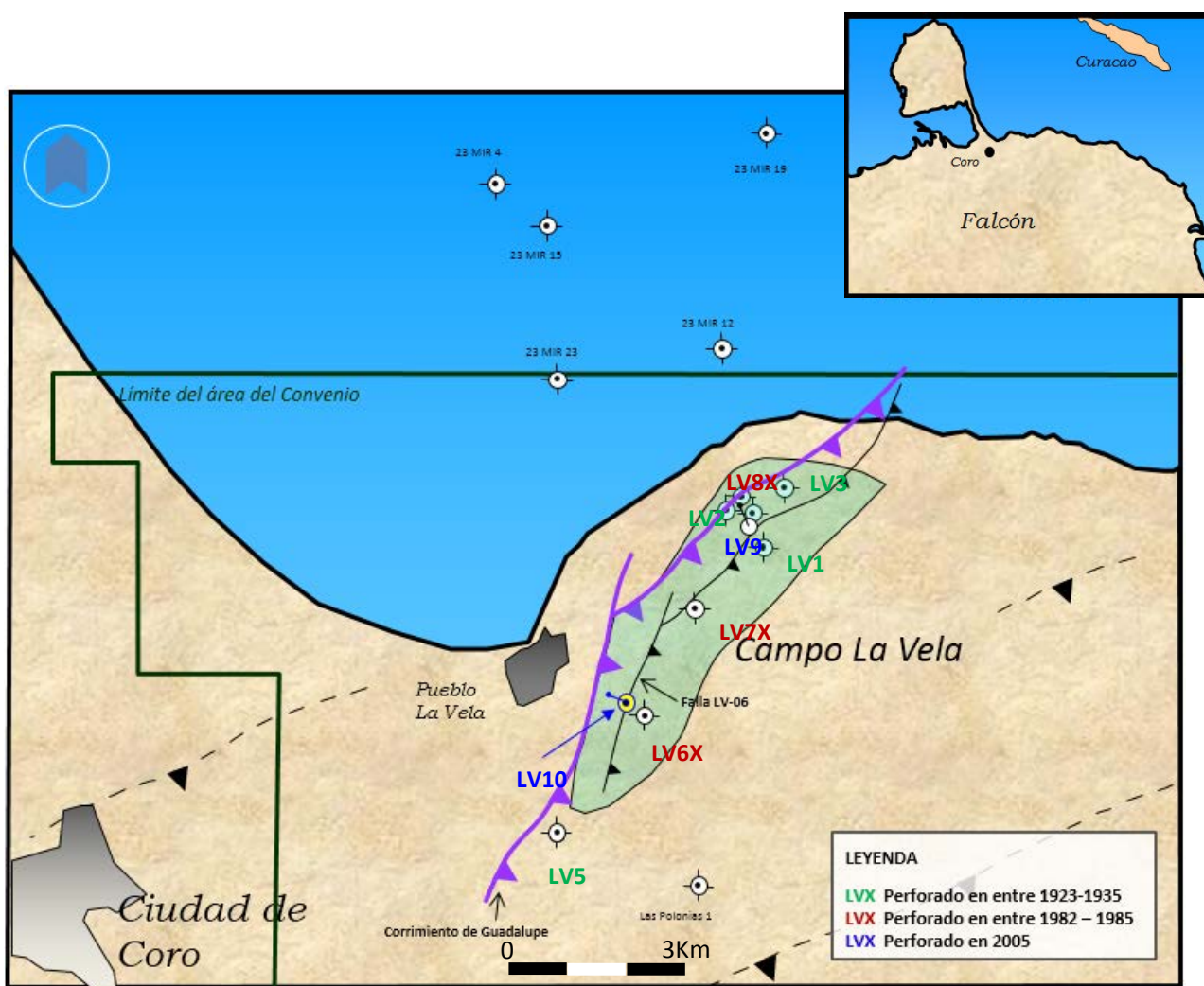


Figura 1. Ubicación geográfica del Campo La Vela (Vinccler Oil and Gas, 2005)

1.4 BASE DE DATOS

La información utilizada para la elaboración del presente estudio puede dividirse en cuatro (4) grupos principales:

1.4.1. Datos de Sísmica:

La información sísmica es un dato relevante para la caracterización de yacimientos ya que permite obtener una imagen de las variaciones laterales de las formaciones de estudio.

En el Campo La Vela se cuentan con 86 Km. de sísmica 2D correspondiente a diversos levantamientos realizados en años anteriores. La figura 29 muestra la localización de las líneas sísmicas en el campo La Vela.

1.4.2. Datos de Pozos:

Los registros geofísicos de pozos aportan información de los yacimientos por medio de mediciones indirectas, realizadas en la pared del pozo. El aspecto relevante de esta información es la posibilidad de realizar una estimación de las propiedades, de manera casi-continua y a condiciones de yacimiento.

Es este estudio se incluye perfiles de 18 pozos (LV-1 a LV-10, LV-12, LV-14 a LV-20), los cuales presentan curvas de rayos gamma, potencial espontáneo (SP), resistividad/conductividad y densidad-neutrón. Estos perfiles fueron utilizados para la construcción de las secciones estratigráficas, correlaciones entre pozos e interpretación petrofísica.

1.4.3. Muestras de Canal:

Las muestras de canal se obtienen durante la perforación, son los fragmentos de roca cortados por la barrena y sacados a la superficie a través del sistema circulatorio de perforación, el recorte es recolectado en los *shakers* para su análisis.

Para efectos del presente estudio se realizó el análisis sedimentológico de 14 muestras de pozos y análisis bio-estratigráficos de 5 pozos (LV-6, LV-7, LV-8, LV-9 y LV-12).

1.4.4. Reportes Varios:

Informes internos de Vincler Oil and Gas, cartas cronoestratigráficas, datos de producción, fluidos y registros de presiones.

1.5 METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos propuestos se planificó una serie de procedimientos basados en la necesidad de generar un estudio geológico que incluye petrofísica, y en el cual se describan las características que controlan la capacidad de almacenamiento y de producción de los yacimientos, usando toda la información que se tenga disponible. Dicho estudio comprende un análisis estructural, estratigráfico y petrofísico de la Formación Socorro, los cuales se representan según el esquema que se ilustra en la figura 2, y que se describirá posteriormente.

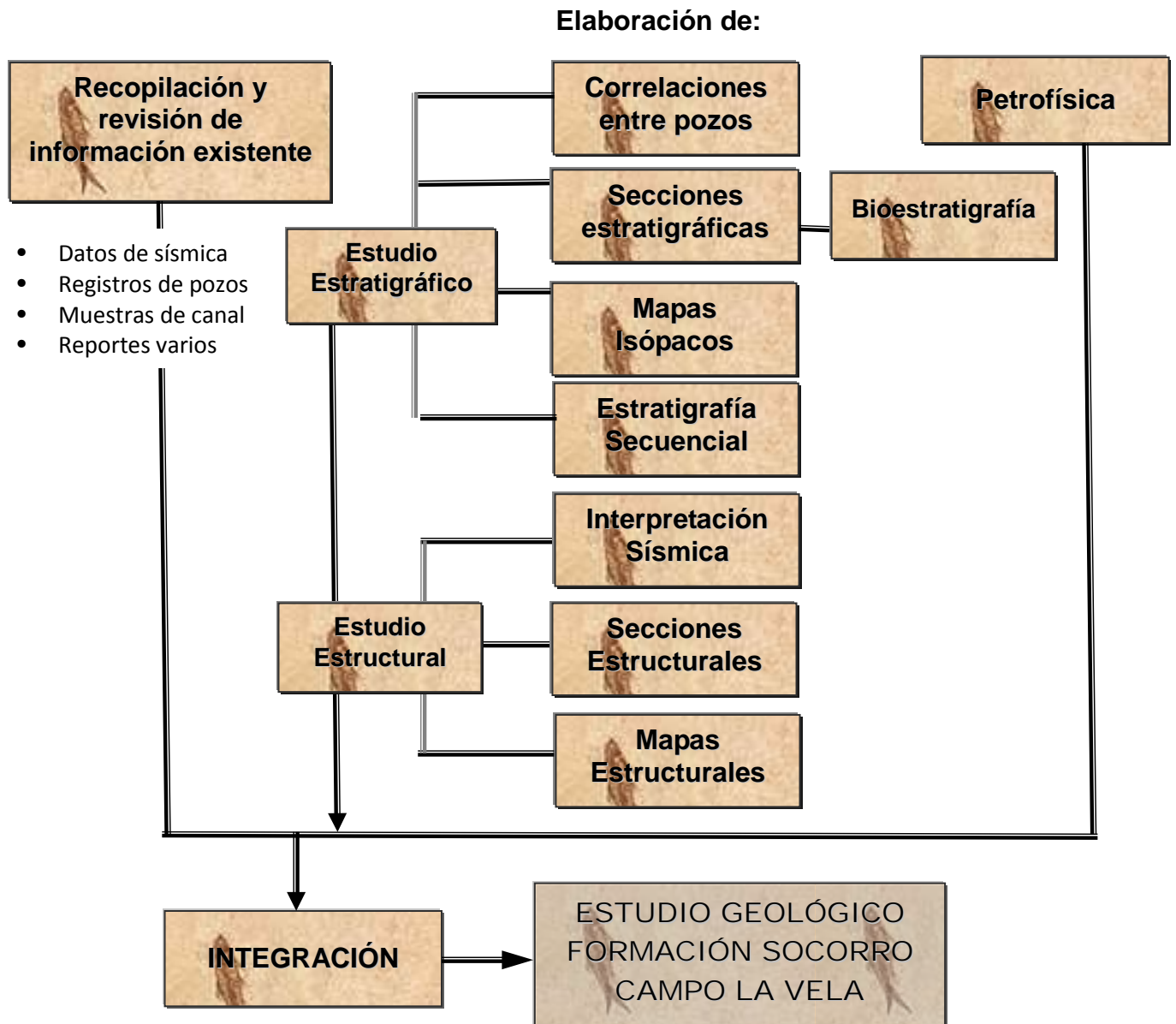


Figura 2. Diagrama con la metodología utilizada para realizar el estudio geológico de la Formación Socorro en el Campo La Vela.

1.5.1 Recopilación y revisión de la Información

Durante el período de elaboración del proyecto y de manera continua, se llevó a cabo la correspondiente revisión bibliográfica así como la recopilación de toda información disponible y pertinente (registros de pozos, estudios petrofísicos,

análisis de núcleos, datos sísmicos, estudios estructurales, entre otros) la cual está relacionada con estudios realizados principalmente en el campo Cumarebo; ello permitió mejorar y aumentar el conocimiento geológico de esta unidad estratigráfica.

1.5.2 Estudio Estratigráfico:

El estudio estratigráfico comprendió un trabajo de correlación que potencialmente involucra un considerable número de disciplinas tales como: sísmica, estratigrafía de secuencias, sedimentología, interpretación de registros de pozos, y bioestratigrafía.

Establecimiento de correlaciones entre pozos

Con la información obtenida de los pozos existentes en el campo La Vela (LV-6, LV-7, LV-8), los pozos perforados en el 2005 (LV-9 y LV-10), y los pozos recientemente perforados, en el 2007, en el domo sur del campo La Vela (LV-11, LV-12, LV-14, LV-16, LV-17 LV-18, LV-19 y LV-20); así como, en integración con secciones sísmicas, fue establecido un conjunto de correlaciones entre dichos pozos lo cual permitió definir las continuidades laterales y verticales de la Formación Socorro; que a su vez, permitieron identificar, desde el punto de vista estratigráfico y estructural, las arenas de interés en la Formación Socorro.

Elaboración de secciones estratigráficas

Con los intervalos estratigráficos definidos, de la información obtenida de los pozos y con el uso de la información sísmica, fueron realizadas diferentes secciones estratigráficas que permitieron ilustrar discordancias, cambios en espesor estratigráfico, cambios de facies, además de otras características estratigráficas de importancia, que coadyuvaron a la elaboración del estudio correspondiente a la Formación Socorro en el campo La Vela.

1.5.3 Estudio Estructural:

El estudio estructural está relacionado con los esfuerzos y deformación que determinan el tipo y orientaciones de la estructura que forma el yacimiento, se refiere a la definición de la estructura geológica, fallas, y límites que presenta el yacimiento.

Generación de secciones estructurales

Fueron elaboradas secciones estructurales que permitieron definir la geometría y la extensión de las unidades arenosas correspondientes al bloque estructural del domo Sur del Campo La Vela.

Mapas Estructurales

Se elaboraron mapas estructurales mediante la combinación de datos de registros de pozos y secciones sísmicas complementados con la integración de mapas de fallas. Ello permitió mostrar la configuración de las estructuras de dicha formación en el campo La Vela, dando como resultado la correspondiente interpretación estructural.

Fueron elaborados los siguientes mapas estructurales:

- Mapa Estructural al tope Formación Socorro previo a la perforación de los pozos en 2007
- Mapa estructural al tope de la Formación Socorro - Domo Sur del campo La Vela
- Mapa estructural en tope del yacimiento Socorro Superior 1
- Mapa estructural en tope del yacimiento Socorro Superior 2

-
- Mapa estructural en tope del miembro informal Socorro Medio
 - Mapa estructural en tope del miembro informal Socorro Basal (arenas basales)

Mapas Isópacos

Los mapas isópacos generados permitieron delinear e ilustrar el espesor de la unidad estratigráfica, y con la ayuda de los registros de pozos, se definió el intervalo de arena neta hidrocarburífera, que representa el espesor vertical agregado de roca-yacimiento con calidad porosa presente en el intervalo estratigráfico. De igual forma, estos mapas contribuyen a realizar el análisis del ambiente depositacional y permite conocer, entre otras características, el potencial hidrocarburífero del yacimiento.

Para efectos de este estudio se elaboraron mapas de Arena Neta (AN) de la formación Socorro y de los yacimientos Socorro Superior 1 LV-10 Y Socorro Superior 2 LV-10.

1.5.4 Estudio Petrofísico:

Petrofísica

Con los datos de los registros de los pozos (rayos gamma, resistividad, perfil sínico y densidad-neutrón) se llevó a cabo una evaluación petrofísica de la unidad bajo estudio, que incluyó, entre otros: datos de porosidad, permeabilidad, saturaciones, fluidos y litologías a partir de registros y muestras de pozos. Este tipo de información se recopila también con la finalidad de realizar comparaciones y, de esta forma, obtener un valor agregado a la hora de distinguir las mejores arenas de la Formación Socorro.

Para realizar la evaluación petrofísica se utilizaron los modelos Simandoux para saturación en arenas arcillosas; Lineal para determinar la arcillocidad (Vsh),

Gaymard para determinar la porosidad efectiva (PHIE) y Timur para estimar la permeabilidad (k).

1.5.5 Estudio Bioestratigráfico:

Bioestratigrafía

El estudio bioestratigráfico basado en foraminíferos y palinomorfos de muestras captadas de recortes de perforación de los pozos LV-12, LV-16 y LV-20 en el campo La Vela, específicamente de la Formación Socorro, permite establecer períodos que contribuyen a la determinación de edades y ambientes depositacionales de la unidad estratigráfica.

A partir de los estudios presentados anteriormente, de los cuales se obtuvo la información correspondiente a la perforación de 10 pozos en el campo La Vela, que incluye también la información de los pozos más recientemente en el domo Sur de dicho campo (LV-9, LV-10, LV-12, LV-14, LV-16, LV-17, LV-18, LV-19 y LV-20), y integrado con los estudios geológicos de superficie, los estudios petrológicos y los petrográficos de la Formación Socorro, se logró integrar toda la información recabada y ello ha permitido elaborar un estudio de la Formación Socorro en el campo La Vela, el cual será presentado en los siguientes capítulos.

1.6 TRABAJOS PREVIOS

Wheeler (1963) realizó un trabajo de la estratigrafía del Oligoceno y Mioceno Inferior de Falcón occidental y nororiental, en el cual se muestra un conjunto de mapas isópacos mostrando que esa parte de la cuenca de Falcón consistía en una depresión orientada en dirección este-noroeste y con dos áreas de espesores máximos: uno en Falcón occidental y otro en Falcón oriental. Los mapas de facies sedimentarias demostraron que las lutitas fueron depositadas predominantemente en las partes más profundas de la cuenca durante el periodo Pecaya-Pedregoso-Agua Clara, mientras que las calizas arrecifales, las areniscas y las lutitas fueron depositadas hacia los bordes de la cuenca.

Padrón (1985) realizó un estudio de facies petrográfico-diagenéticas en los ambientes de depositación de las formaciones Cerro Pelado, Querales y Socorro donde encuentra que la Formación Socorro, representada en la parte oeste de la secuencia miocena, está asociada a una etapa de franca regresión, tiempo para el cual el antiguo delta presentó una “migración” hacia el oeste, lo cual se evidencia a partir de la secuencia arenoso-lutítica del río Urumaco, mientras que hacia el este (quebrada Santa Rosa) se destaca la influencia marina.

Por su parte, Diaz de Gamero (1985), en un trabajo donde estudia la estratigrafía de Falcón nororiental, hace una interpretación de la historia geológica con ayuda de criterios sedimentológicos modernos y utilizando la microfauna de foraminíferos. El análisis de los datos sedimentológicos y de micropaleontología revela que la Formación Agua Salada se depositó en un ambiente de agua marina profunda, batial, donde se reconocieron varios eventos como: una subsidencia al final del Oligoceno que resultó en un intervalo con foraminíferos aglutinados y un probable hiato en el inicio del Mioceno. Un delta de progradación muy rápida que alcanzó el área al final del Mioceno Temprano donde la cuenca sufrió una nueva subsidencia y el complejo deltaico quedó cubierto por una sección lutítica depositada en condiciones marinas de agua profunda. La construcción de una

serie de plataformas carbonáticas aisladas durante el Mioceno Medio, posiblemente sobre altos topográficos establecidos en el evento tectónico anterior.

Rey (1990) llevó a cabo un estudio detallado de las unidades litoestratigráficas definidas en la secuencia Mioceno Tardío-Plioceno, así como estableció la determinación del marco paleogeográfico en la región norcentral de Falcón, específicamente de las formaciones Codore y La Vela.

En 1995, Macellari realizó una investigación en la cual relacionó la sedimentación cenozoica y con el proceso de tectonismo asociado a la cuenca *pull apart* situada al suroeste del Caribe, en la cual se refiere a la estratigrafía del Mioceno Medio-Superior de la parte central de la cuenca de Falcón, y donde describe a la Formación Socorro como afloramientos localizados al oeste de Falcón y en la zona de Cumarebo.

Esteves (1997) realizó un estudio estratigráfico en el Distrito Miranda del Estado Falcón, donde explica que las formaciones Socorro y Caujarao representan la transición entre una sección lutítica -arenosa a una lutítico-calcárea. La Formación Socorro fue sedimentada en lagunas, barreras y playas desarrolladas durante el Mioceno medio y la Formación Caujarao en un complejo próximo-costero, compuesto por laguna, barrera y playa, con bajo aporte de material clástico hacia la playa, lo que favoreció el desarrollo de barras playeras muy conchíferas.

López (2005), realizó una integración y actualización geológica del noreste del estado Falcón, en el que estudia la Formación Socorro indicando que está constituida por lutitas grises, yesíferas, areniscas y calizas margosas en paquetes de capas delgadas, las cuales determinan un ambiente marino-costero; nerítico interior, de poca profundidad y poca energía. Las localidades estudiadas fueron las de Cerro Etribado, La Montañita y Valle Florida.

CAPÍTULO II

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La historia geológica de la Cuenca de Falcón comienza en el Eoceno Tardío (≈ 57 Ma) y con una depositación continua desde el Oligoceno (≈ 30 Ma) hasta el presente. La mencionada cuenca está localizada en el límite entre la placa del Caribe y la placa de Suramérica (figura 3), entre las cuales existe un movimiento de corteza dextral oeste-este. De acuerdo a Ostos, 2005, en Falcón la sedimentación comenzó en el Eoceno, ocurriendo justo al sur del frente de la deformación, esta deformación estuvo asociada al fallamiento dextral (*strike-slip*) (Figura 3). El carácter *pull apart* de esta cuenca ha sido discutida por Muessig (1984), Macellari (1995) y Audemar (1998).

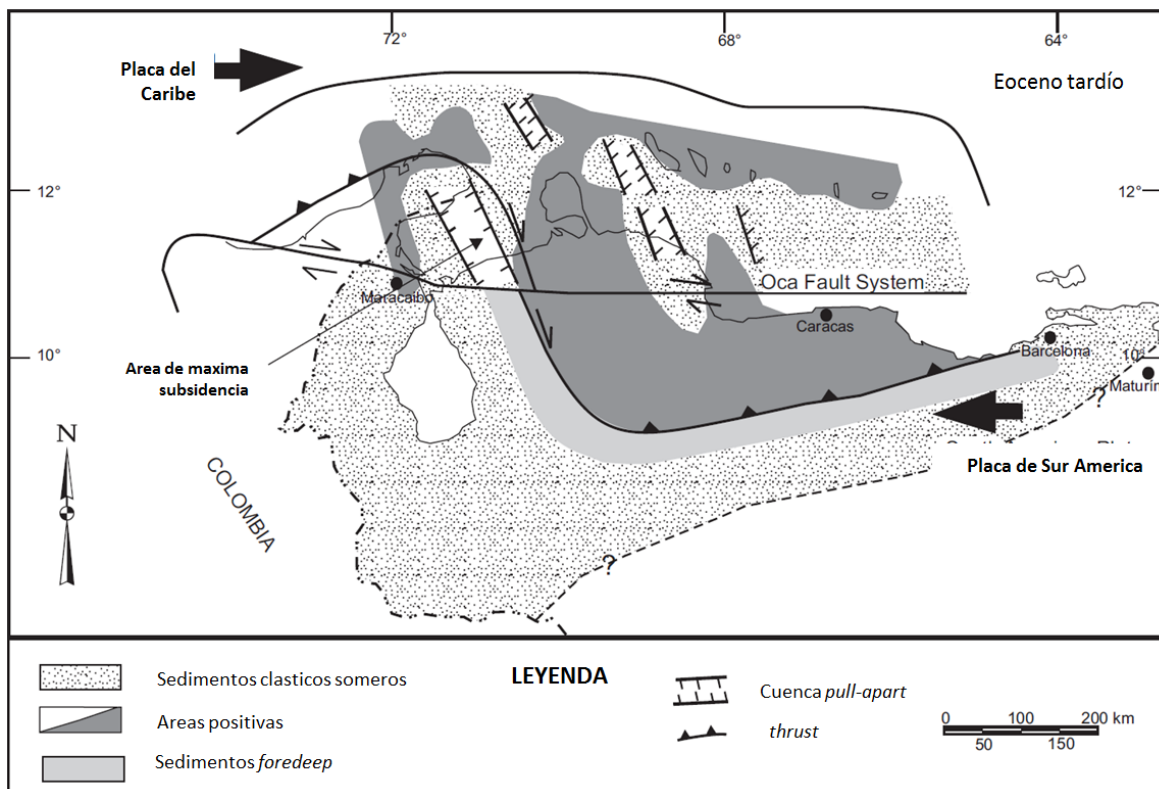


Figura 3: Generación de cuencas *pull-apart* en la zona de placas del Caribe y Suramérica (en Marino Ostos, 2005)

La cuenca de Falcón, asociada a la región de Falcón, Venezuela, es una cuenca sedimentaria insaculada, producto de la interacción entre las placas Suramericana y Caribe, esta última individualizada después del período orogénico del Eoceno Tardío (Figura 3). Esta cuenca alcanzó su máximo desarrollo y profundización en el Oligoceno medio y superior y el comienzo del Mioceno inferior y se relleno durante el lapso sub-siguiente, de forma que vino a perder sus características peculiares hacia el comienzo del Mioceno medio. Durante los lapsos más jóvenes del Mioceno las zonas meridionales y en parte centrales de la cuenca se levantaron como areas positivas, capaces de aportar sedimentos a los ambientes marinos de Falcon centro-norte y Falcon nor-oriental; durante estos mismos periodos Falcón nor-occidental no muestra sedimentación marina (figura 4) (González de Juana, et al., 1980)

Según Audemard, 1995, La cuenca terciaria de Falcón aflora actualmente sobre unos 36.000 Km², en el Noroccidente venezolano. Esta región durante el Oligoceno y el Mioceno temprano fue principalmente una cuenca marina abierta al Este y estaba rodeada por tierras emergidas casi completamente por el Sur y Oeste y parcialmente por el Norte. Su sedimentación ha sido bastante continua en el tiempo, excepto por 3 discordancias angulares de algun significado regional, pero no siempre afectando la totalidad de la cuenca, tal como es el caso del surco de Urumaco o de su extremidad oriental más marina profunda (Agua Salada). La cuenca de Falcón solía ser la extremidad más occidental de la cuenca de Bonaire, localizada a lo largo de la costa norte de la Cordillera de la Costa, hasta que fue intensamente plegada y tectónicamente invertida por una compresión de dirección NW-SE durante el Mioceno medio y superior (Audemar, 1995).

La generación de esta subcuenca extensional de Falcón asociada a transcurrancia, especialmente al norte del estado Falcón, fue evolucionando particularmente a medida que la placa Caribe avanzaba hacia el este durante el Oligoceno (González de Juana, et al., 1980)

La forma característica de la cuenca fue definida en el Oligoceno Temprano por la sedimentación de la Formación El Paraíso, y según Díaz de Gamero (1977) es considerada como un complejo deltaico progradante, originado en los terrenos recién levantados hacia el oeste y suroeste (González de Juana, et al., 1980).

Hacia el final del Oligoceno y comienzos del Mioceno, la parte central de la cuenca sufrió una subsidencia rápida que la situó a profundidades de 1.500 m, lo cual conllevó al sometimiento de ambientes profundos hasta el borde sur del Alto de Dabajuro, el cual continuó parcialmente emergente. El Alto de Paraguaná también continuó emergente, pero su prolongación hasta el Alto de Coro, se situó a profundidades adecuadas para el desarrollo de arrecifes en su borde sur, donde avanzó un pronunciado talud hacia la zona central profunda (González de Juana, et al., 1980).

En el Mioceno cesó la subsidencia de la cuenca y comenzó su relleno dando lugar a la disminución de su profundidad. La Formación Agua Clara, de aguas moderadamente profundas a someras, cubre grandes extensiones de terreno llegando desde el norte hasta el Alto de Paraguaná. En la parte noroccidental de la cuenca, distrito Buchivacoa y Alto de Dabajuro, el Mioceno Medio se caracteriza por poseer levantamiento y plegamiento posiblemente concomitantes, con movimientos contemporáneos registrados en la cuenca del Lago de Maracaibo (González de Juana, et al., 1980).

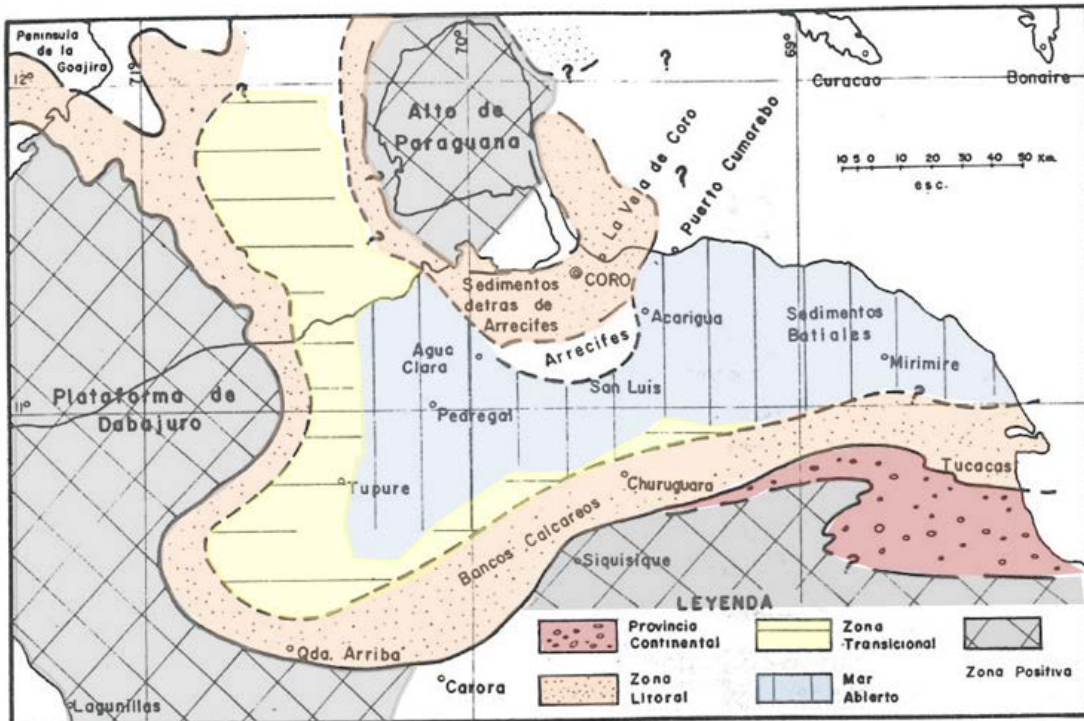


Figura 4: Mapa paleo geográfico del Estado Falcón en el Mioceno inferior
(Modificado de Gonzalez de Juana, et al., 1980)

A partir de la depresión de Urumaco, este período se caracterizó por transgresiones y regresiones más locales entre los ambientes deltaicos de la Formación Cerro Pelado y los marinos de la secuencia Socorro – Querales. Durante este período, en la zona noroccidental, se sedimentó la secuencia continental del Grupo La Puerta, productor de petróleo y, más hacia el este, la mencionada secuencia de Socorro – Querales y Caujarao – Urumaco, la cual durante el Mioceno Tardío gradó a las formaciones Codore – La Vela y equivalentes, con un carácter menos marino (González de Juana, et al., 1980).

Durante toda esta evolución la parte oriental de la cuenca permaneció subsidente, con indicación de paleopropfundidades de más de 500 m y hasta probablemente 1.500 m. Las formaciones reconocidas como rocas madres de petróleo del Grupo Agua Salada se sedimentaron en estos períodos (González de Juana, et al., 1980).

Las condiciones paleogeográficas cambiaron solamente en el Mioceno Tardío, cuando un levantamiento general sedimentó las calizas limolíticas impuras de la Formación Punta Gavilán, discordantes sobre el Grupo Agua Salada, en la parte oriental y las rocas semejantes de la Formación El Veral en la región de Cumarebo. Este levantamiento marca el período de orogénesis tardía, Mioceno Tardío – Plioceno, responsable de la última deformación estructural de Falcón, posiblemente relacionada con el levantamiento final del sistema andino y los movimientos jóvenes detectados en la cuenca del Lago de Maracaibo, particularmente en la región de Mene Grande (González de Juana, et al., 1980).

En la región de Falcón se identifican ambientes epicontinentales que van desde marinos profundos turbidíticos (Formación Pecaya) hasta los más someros, tanto clásticos (Formación Cerro Pelado) como carbonáticos (Formación San Luis). El final del relleno durante el Plioceno incluye a clásticos conglomeráticos-marinos de la Formación La Vela y los continentales del conglomerado de Coro (Plio-Pleistoceno).

Según Porras (2000) para el periodo Oligoceno – Mioceno Temprano continua la tectónica de colapso extensional y subsidencia de la cuenca, acentuándose el desarrollo de ambientes marino profundos en la parte central, donde se depositaron inicialmente la Formación Paraíso, la cual según Gonzalez de Juana, et al (1980), representa la fase inicial de la transgresion oligocena, y posteriormente la Formación Pecaya, en profundidades que alcanzan hasta los 1000 m (Gonzalez de Juana, et al, 1980). Sobre los altos estructurales al margen norcentral de la cuenca se depositaron las calizas arrecifales de la Formación San Luis y sobre el margen sur se depositaron las calizas de la Formación Churuguara (Gonzalez de Juana, et al, 1980, Wheeler, 1963, Díaz de Gamero, M., 1977). Hacia el sureste se depositó la Formación Casupal, en ambientes deltaicos a marino someros. En el Golfo Triste se perforo una sección de hasta 3000 pies de

conglomerados, areniscas y lutitas de ambiente somero, probablemente equivalentes a esta formación.

Este tipo de relaciones estratigráficas son típicas de zonas bajo regímenes extensivos, donde se depositan calizas de aguas someras sobre los altos estructurales, sedimentos clásticos de aguas someras en los márgenes de la cuenca, provenientes de la erosión de los altos estructurales, y lutitas de ambientes profundos en el centro de las cuencas y grabenes. En el modelo que se muestra en la figura 5, se exponen las variaciones en las facies sedimentarias durante el Oligoceno en Falcón oriental (Porrás, 2000).

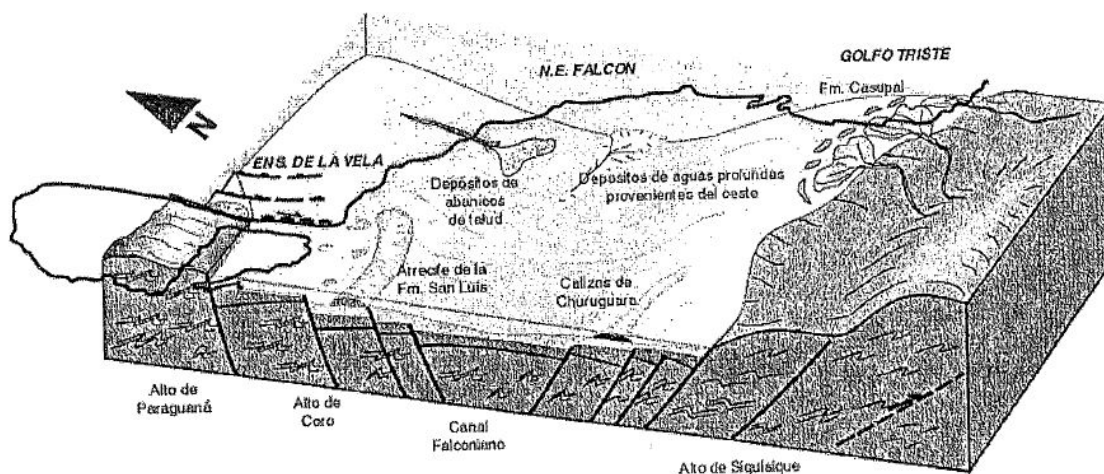


Figura 5: Modelo sedimentario esquemático durante el Oligoceno – Mioceno Temprano para la Cuenca de Falcón – Bonaire (Porrás, 2000)

Guzman et.al., (2006) en su estudio sobre la depositación de la cuenca de Maracaibo, menciona que en el Mioceno Medio debido a la bajada del nivel relativo del mar en la cuenca de Falcón, la línea de costa avanzó hacia el este del canal de falcón, los valles se tonaron incisos y subsecuentemente llenos por sedimentos estuarinos transgresivos.

La columna sedimentaria en el subsuelo del área de La Vela se soporta sobre un basamento ígneo metamórfico sobre el cual existe un espeso cuerpo de lutitas correspondientes a la Formación Pecaya (Oligoceno), concordante con la Formación Pedregoso (Mioceno Temprano); sobre esta última existe un grupo de unidades en secuencia concordantes denominadas: Formación Agua Clara, la Formación Cerro Pelado, las formaciones Querales y Socorro, como también las formaciones Caujarao y La Vela.

El rango estructural predominante es un gran pliegue anticlinal, con dirección preferencial suroeste – noreste, formado por el cabalgamiento de la cobertura sedimentaria sobre el corrimiento de Guadalupe, subparalelo a la dirección general del Anticlinorio de Falcón. Además se reconocen dos sistemas de fallas, uno extensional noreste-sureste y uno de orogenismo suroeste-noreste (Figuras 6 y 7).



Figura 6: Imagen de satélite Anticlinal La Vela

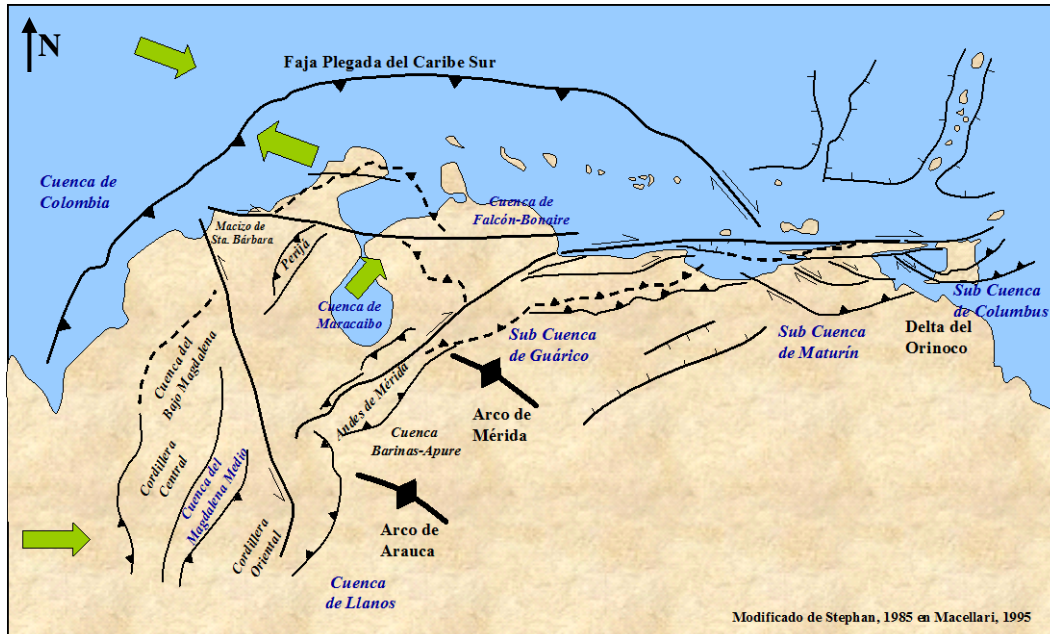


Figura 7: Marco tectónico regional

2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

Se ha llevado a cabo un conjunto de trabajos, algunos de los cuales se describen mas adelante, y que han aportado interpretaciones estructurales relacionadas con la reconstrucción de las placas mayores y la morfología que actualmente presenta la cuenca de Falcón. A continuación se presentan algunas teorías acerca de la generación de la cuenca lo cual permite tener una idea sobre el origen de la misma.

2.2.1 Teoría "Pull-Apart"

Muessig (1984) propone que la cuenca de Falcón se originó en el Cenozoico a consecuencia de efectos transtensionales relacionados con fallas transcurrentes como las Fallas de Oca y San Sebastián. El autor explica el modelo basado en las siguientes evidencias:

-
- ✓ La estratificación de un complejo Oligoceno-Mioceno y rápida subsidencia histórica de la cuenca.
 - ✓ Fallas transcurrentes sinsedimentarias este-oeste y fallas normales con dirección noroeste.
 - ✓ Anomalías de gravedad positiva indicativas de una relativa capa densa de corteza.
 - ✓ Volcanismo basáltico alcalino e intrusión ígnea en dirección noroeste.

El desarrollo de una estructura *pull - apart* en la cuenca de Falcón refleja la evolución tectónica del periodo Terciario donde un largo bloque de corteza reflejó al bloque de Bonaire (Silver *et. al.*, 1975). Este bloque estuvo sujeto a cizallamiento dextral, entre la placa del Caribe y la placa suramericana (Muessig, 1984).

Pindell *et al.* (1998) menciona un modelo de evolución entre el Golfo de México y la Placa del Caribe e indica que desde el Eoceno, la Placa del Caribe ha migrado hacia el este 1100 km, con una velocidad de 2 cm/año.

Muessig (1978) indica que la cuenca de Falcón se originó durante el Eoceno Tardío a Oligoceno, en una zona tipo *pull — apart*, debido a movimientos transcurrentes entre la Placa del Caribe y la Placa Suramericana. Este autor define este límite de placas como una falla transformante y la expresa como una serie de fallamientos dextrales a lo largo de una línea que permite conectar la Falla de Oca con la Falla de San Sebastián.

Estos movimientos transcurrentes a lo largo de las fallas generaron la extensión en dirección noroeste, produciéndose así fallamientos normales y provocando el adelgazamiento de la corteza y la generación de magmas basálticos alcalinos. Esto le permite a Muessig (1978) mencionar su teoría que las islas de los Monjes y La Orchila, la península de Paraguaná y la cuenca de Falcón fueron casi

juxtapuestas antes de la extensión oligocena. El autor presenta dos modelos, en los cuales explica el origen de la cuenca (figura 8).

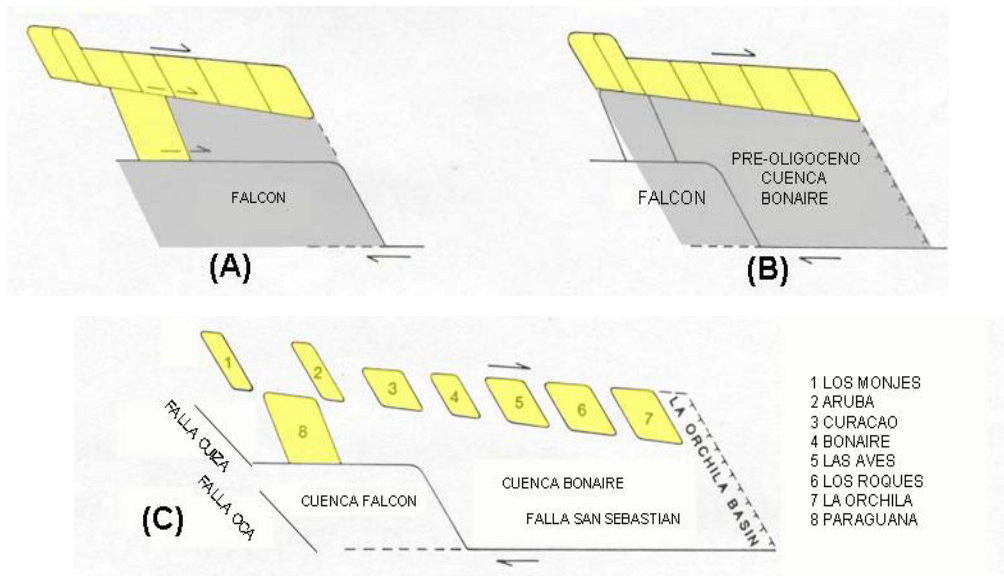


Figura 8: Evolución de las cuencas *pull-apart* Falcón y Bonaire (Muessig, 1978)

Cabrera (1985), menciona en su trabajo la historia tectónica sedimentaria del área y resume los principales aspectos que intervienen:

1. Fase extensional (Eoceno Tardío - Oligoceno Tardío): Se formó el graben tipo de la ensenada La Vela, donde se observan fallas de crecimiento en dirección noroeste -suroeste, que favorecen a la sedimentación de grandes espesores de la Formación Pecaya y sus equivalentes.
2. En el Mioceno Temprano la transgresión de Agua Clara, produce la máxima actividad de fallas de crecimiento y resulta la cobertura parcial de los paleo altos.
3. Al final del Mioceno Temprano se produce la erosión total de las estructuras preexistentes y en este período cesa la fase extensional.

4. En el Eoceno Medio a Mioceno Tardío, se representa un período de relativa estabilidad y se rellenó el graben con sedimentos provenientes de las rocas que pertenecen a las formaciones Socorro, Caujarao y equivalentes.

5. Se produce la fase compresional Mioceno Tardío - Plioceno — Reciente y como consecuencia se activa la inversión de la cuenca, formándose el anticlinorio de Falcón en dirección este - oeste con declive al este; la deformación pliocena tiene como límite actual el corrimiento de Guadalupe en las costas falconianas.

Numerosos autores coinciden con Muessig (1978), en el proceso de generación de la cuenca, la cual resulta de la existencia de transgresión localizada a lo largo del límite dextral entre las placas Caribe y Sudamericana (Erlich y Barrett, 1990; Ostos, 1990; Macellari, 1995; Pindell et al., 1998).

Macellari (1995) analiza la estratigrafía del Eoceno hasta el reciente en una serie de *cuenclas pull - apart* episuturales. Durante el Oligoceno - Mioceno, el eje de subsidencia máxima de esta serie de cuencas estuvo ubicado más hacia el este, en el Surco de Urumaco y al este de la ensenada de La Vela un depocentro con ubicación este - noroeste - oeste suroeste en la cuenca de Falcón, como respuesta flexural a la carga producida por un frente de cabalgamiento que avanza desde el sur (Macellari, 1995), este modelo permitió explicar los flujos basálticos orientados en el centro de la cuenca falconiana.

Macellari (1995) explica a través de gráficos su modelo de evolución tectónica para la cuenca de Falcón. En la figura 9-A, se muestra en el Eoceno Tardío, un desplazamiento entre las dos placas, resultando la formación de una extensa zona *pull - apart* en el margen norte de Sudamérica, entre el *ridge* de Curazao y el sistema de fallas San Sebastián — Oca.

En la figura 9-B, se observa que durante el Oligoceno y Mioceno comenzó un estrechamiento de la *cuencla pull - apart*, por el empuje de material alóctono,

debido a que los ejes de máxima subsidencia migraron hacia el oeste entre Urumaco y la bahía de La Vela. El desplazamiento continuó a través de la falla de Oca y se formó un frente de empuje que avanzó progresivamente al norte formándose una cuenca *foreland* con orientación ENE-OSO (Macellari, 1995).

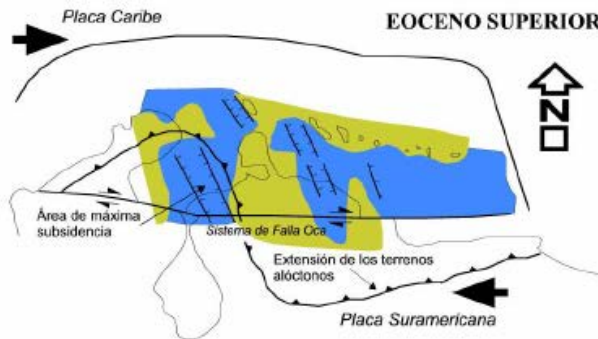


Figura 9-A: Modelo de generación de cuencas *pull-apart* episuturales (suroeste Caribe) por el desplazamiento de las placas Caribe y Suramericana en el Eoceno Tardío. Macellari (1995)

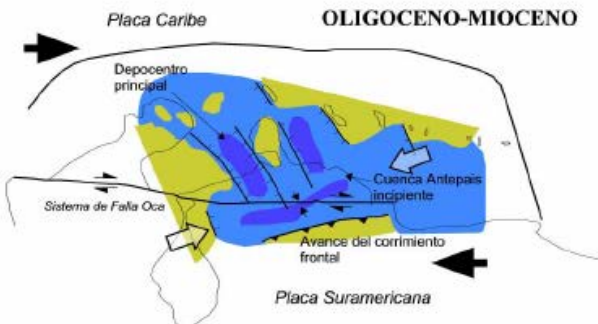


Figura 9-B: Modelo de generación de cuencas *pull-apart* episuturales (suroeste Caribe) por el desplazamiento de las placas Caribe y Suramericana en el Oligoceno – Mioceno. Macellari (1995)

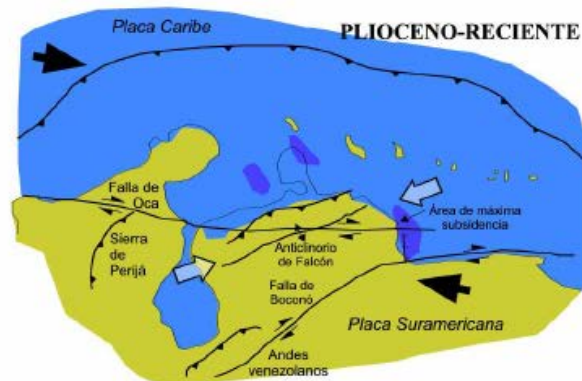


Figura 9-C: Modelo de generación de cuencas *pull-apart* episuturales (suroeste Caribe) por el desplazamiento de las placas Caribe y Suramericana en el Plioceno reciente. Macellari (1995)

Kellogg y Bonini, (1982), citado en Macellari (1995) indica que el movimiento transpresivo a lo largo de la falla del margen de Sudamérica durante el Plioceno resultó en una subducción de bajo ángulo de la placa del Caribe por debajo del *ridge* de Curazao; debido a esto el empuje frontal del anticlinorio de Falcón migró al norte y cesó la acción de las fallas con orientación NO - SE, activando el

desplazamiento transcurrentes dextrales activos a lo largo de la falla de Boconó. Este desplazamiento, sumado al continuo movimiento del sistemas de fallas de Oca, resulta en la formación de un depocentro en la cuenca *pull - apart* al suroeste de la cuenca de Falcón.

Erlich y Barrett (1990), establecen que para la reconstrucción, el bloque de Margarita el cual está delimitado por una línea imaginaria alrededor de Tobago/Margarita - Araya/Paria y parte norte de Trinidad (aproximadamente 100-125 km), es necesario mover cerca de 50 km de la falla de Oca y aproximadamente 50 km la falla de Boconó, generando la clausura parcial de la cuenca de Falcón, por lo que se apoya en la tesis de Muessig (1978), para el modelo de génesis del Bloque de Margarita. El movimiento diferencial producido por el arrastre a lo largo del margen sur del límite de la placa del Caribe - Sudamérica causó extensión y transtensión en las cuencas de Falcón y Bonaire.

Ostos (1990) señala que durante el Oligoceno Falcón, Bonaire y la baja Guajira se desarrollaron como consecuencia de un fallamiento transcurrente dextral al norte de Sudamérica. Las ofiolitas de Siquisique ubicadas al sur de Falcón fueron empujadas hacia la misma dirección antes del desarrollo de la *cuenca pull - apart*. La falla de Oca (transcurrente dextral) pudo haber causado compensación de la Península de la Guajira, aunque ésta estuvo inactiva en el Oligoceno.

El bloque de Maracaibo - Santa Marta comenzó a moverse al norte por la megacizalla de Boconó (Oligoceno Tardío - Mioceno Temprano), relacionada al límite de la subducción tipo Andino en el oeste de Sudamérica, resultando en el desarrollo del cinturón deformado del Sur - Caribe (Case *et al.*, 1984, citado por Ostos, 1990).

En el Mioceno Tardío al presente las cuencas de Falcón y Maracaibo fueron invadidas por los mares. Sin embargo, las cuencas del Golfo de La Vela y Golfo Triste fueron levantadas en el Mioceno Tardío, lo cual está relacionado a la reactivación de las fallas (transcurrentes) E - O o fallas con tendencia N-S o NE-SO (transcurrentes) conjugadas a la mega falla de Boconó (Ostos, 1990).

La evolución tectónica del límite meridional de la placa del Caribe durante el Plioceno - Cuaternario está caracterizada por las continuas migraciones hacia el norte y el este del bloque de Maracaibo - Santa Marta y el terreno transpresional respectivamente (Erlich y Barret, 1990).

2.2.2 Modelo de colapsos extensionales en una cuenca retroarco

Porras (2000) menciona que el origen de la cuenca de Falcón -Bonaire está asociado a colapsos extensionales internos dentro de una cuenca de retroarco (*back arc*), en un orógeno en flotación que colisionó oblicuamente con el extremo noroccidental de la placa sudamericana (figura 10), suturándose diacrónicamente de oeste a este desde el Cretácico Tardío hasta comienzos del Mioceno Temprano. Este modelo está basado en el esquema del orógeno en flotación introducido por Oldow et al. (1990), en el cual pueden ocurrir simultáneamente desplazamientos transcurrentes (paralelos a la sutura) y contraccionales (perpendiculares a la sutura). El autor indica la existencia de estos sistemas en cuencas de ante - arco (*fore arc*) y retro arco (*back arc*) que se desarrollan en márgenes convergentes.

El autor identifica tres periodos principales:

- ✓ Un periodo de extensión que va desde el Eoceno Tardío hasta la parte media del Mioceno Temprano. En este tiempo se comienza a generar la cuenca de Falcón - Bonaire, como colapso tectónico detrás de la colisión entre las placas del Caribe y Suramérica; a partir de este proceso se comienzan a generar estructuras extensionales tipo graben.

- ✓ La fase compresiva: que comenzó hacia el final del Mioceno Temprano inicios del Mioceno Medio. No es sino hasta el Mioceno Medio que esta fase

comienza afectar la cuenca de la orogénesis Andina causada por la inversión tectónica de la porción centro - occidental de la cuenca (Anticlinorio de Falcón). Los efectos de la compresión andina generaron el desarrollo de fallas inversas o corrimientos con vergencia norte - noroeste, los cuales cortan la sección terciaria, generando pliegues de dirección noroeste suroeste.

✓ Desarrollo simultáneo de estructuras compresivas y distensivas: Plioceno Tardío - Reciente, durante este tiempo el margen entre las placas presenta una componente mayormente transcurrente en dirección este - oeste. Estos movimientos generaron estructuras de grandes dimensiones, donde se observan efectos transpresivos y transtensivos contemporáneos.

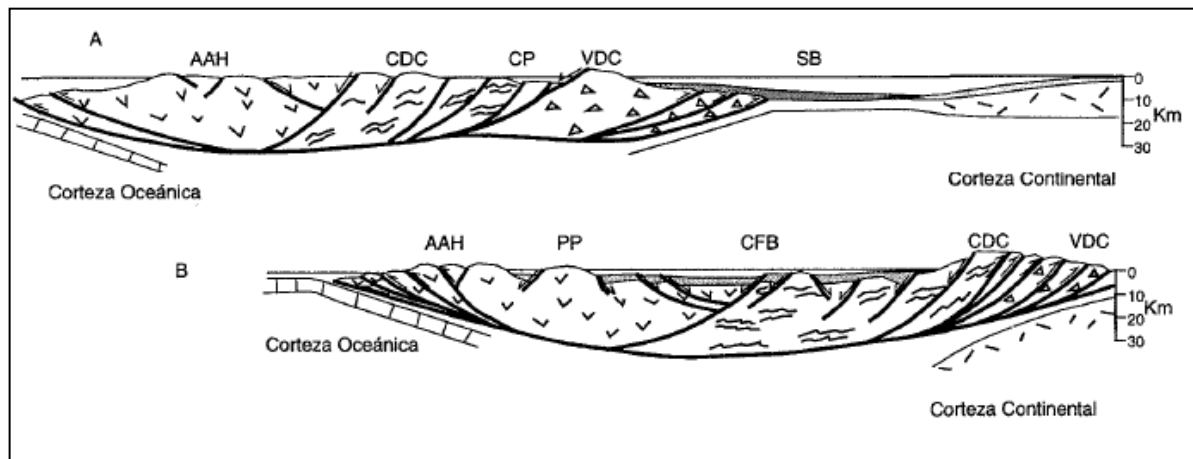


Figura 10: Modelo de orógeno de flotación para la cuenca de Falcón-Bonaire. (a) Configuración tectónica para el Paleoceno- Eoceno medio. (B) configuración tectónica para el Eoceno Tardío. (SB) Surco de Barquisimeto, (CP) Cuenca de retroarco de Paracotos, (VDC) Arco de islas de Villa de Cura, (CDC) Terrenos de la Cordillera de la Costa, (AAH) Alto de las Antillas Holandesas, (PP) Alto de Paraguaná, (CFB) Sedimentación marina en el centro de la cuenca y continental a somera en los márgenes.

(Porras, 2000)

2.2.3 Otras Teorías

Otro modelo conceptual de la cuenca de Falcón fue propuesto por Goddar y Boesi (1991), para conocer el hábitat de hidrocarburo de la cuenca. Este modelo está basado en la forma de bote de la cuenca con un eje este - oeste y una sección central angosta localizada entre los pueblos de Churuguara y San Luis; esta forma es la que determina la distribución sedimentaria de la cuenca durante el Oligoceno - Mioceno (figura 10-A). Este modelo incluye la tendencia noroeste de los *horts* y *grabens* mencionados que son responsables por la extensión norte del desarrollo de la cuenca sedimentaria central.

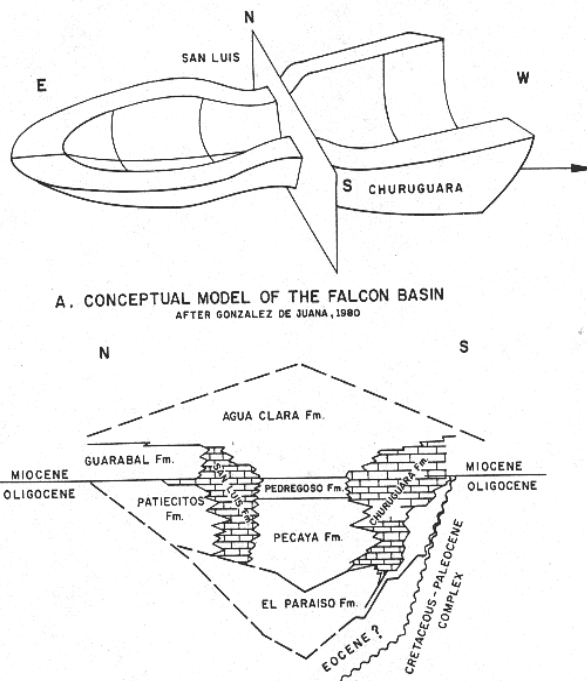


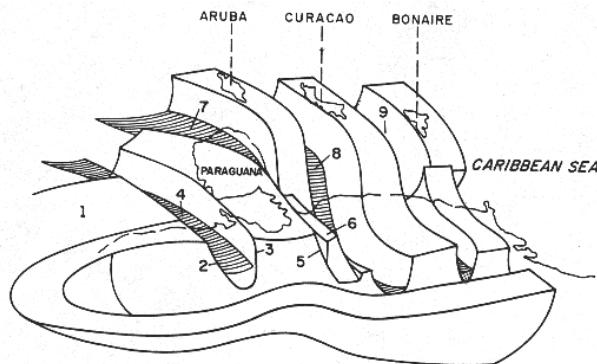
Figura 10-A: Modelo original conceptual para la cuenca (después de González de Juana et. al, 1980) y B) una compilación estratigráfica (después de Wheeler, 1963) basado sección transversal a través del centro de la cuenca entre San Luis y Churuguara Goddar y Boesi (1991)

El modelo estratigráfico y sedimentario que proponen los autores es el siguiente:

✓ Eoceno Tardío: en el Eoceno la sedimentación continuó sin interrupciones en otras regiones de Venezuela, y comenzó la formación de la cuenca de Falcón. También ocurrieron movimientos orogénicos en el sur del Caribe, estos

movimientos fueron responsables de la generación de las islas de Aruba, Bonaire y Curazao, que aún están presentes como remanentes hoy en día.

✓ Oligoceno: con el incremento de la subsidencia, la cuenca tomó forma alargada con un costado inclinado. Se desarrollaron surcos sinsedimentarios con orientación noroeste en el sector norte con un sector angosto en el área central, estos pueden ser atribuidos a fuerzas desde el sur que empujaron la región entera otra vez y levantaron la región en la parte norte al cual corresponde el alto de Paraguaná (figura 11).



Legenda:

- | | |
|------------------------|----------------------|
| 1. Plataforma Dabajuro | 6. Horst La Vela |
| 2. Falla Lagarto | 7. Depresión Aruba |
| 3. Falla Sabaneta | 8. Depresión Curazao |
| 4. Depresión Urumaco | 9. Depresión Bonaire |
| 5. Falla Los Medanos | |

Figura 11: Modelo conceptual propuesto para la cuenca de Falcón. Tomado de Goddar y Boesi (1991)

✓ Mioceno: Los esfuerzos complejos comenzaron a incrementarse durante el Mioceno, causando sucesivas modificaciones paleogeografías que transformaron la compleja distribución de facies que se encuentran hoy. Durante el Mioceno Temprano la transgresión marina noroeste llega a su fin. En el flanco norte y la región Caribe, los surcos sinsedimentarios continuaron llenándose así como continuó la subsidencia, estos factores están relacionados a la extensión tectónica.

En la sedimentación del Mioceno Medio la actividad tectónica estuvo parcialmente controlada, la inversión de la cuenca comenzó en este tiempo siendo responsable

del levantamiento y erosión de los sedimentos que fueron depositados en el canal. La posición ocupada por el eje de la cuenca en el Oligoceno - Mioceno Temprano ahora se convierte en el eje de la fila conocida como anticlinorio de Falcón. Este fue el inicio de las subcuencas y la separación del área en dos zonas distintas, hacia el sur facies marinas poco profundas, lagunar y sedimentos fluviales predominantemente y hacia el norte se desarrollaron facies marino profundas a costeras de transición.

Al final del Mioceno, movimientos tectónicos relacionados a movimientos laterales a lo largo del límite de placas Caribe - Sudamérica fueron evidentes. El área de depositación fue hacia el mar Caribe y la sedimentación fue derivada principalmente del sur como depósitos de reciclaje.

✓ Plioceno: Una tardía actividad tectónica tomó lugar en el Plioceno, afectando principalmente el área de Falcón y fue responsable por el levantamiento del sistema montañoso. Los procesos sedimentarios responsables de las terrazas aluviales, costas y dunas a lo largo de la zona de piedemonte, posiblemente han sido afectados por la actividad tectónica. Un período orogénico también ocurrió durante el Pleistoceno, generándose ciclos regresivos. Esta repetición dió como resultado un número de terrazas de diferentes edades pero con el mismo desarrollo de depositación. Estos pueden ser observados hoy a lo largo del plano costero.

2.2.3.1 Teoría de *Rifting* e inversión

Audemard (1995) resume la evolución tectónica de la cuenca de Falcón en las fases siguientes:

Fase 1. El *rifting* Oligoceno - Mioceno Temprano:

La cuenca de Falcón surge durante una fase de *rifting* de edad Oligoceno a consecuencia de un campo de esfuerzo regional distensivo, cuyo esfuerzo mínimo

esta orientado N15°0; la subsidencia tectónica de la cuenca culmina en el límite Oligoceno -Mioceno con las intrusiones y coladas basálticas y la colmatación sedimentaria durante la subsidencia térmica. Está representada por los depósitos lutíticos neríticos de la Formación Agua Clara de edad Mioceno Temprano.

Fase 2. Cierre de la cuenca de Falcón:

El cierre de la cuenca de Falcón se inició en el límite entre el Mioceno Temprano y el Mioceno Medio a Tardío, Plioceno y Cuaternario.

a. La inversión tectónica de edad Mioceno Medio - Tardío: Durante el Mioceno Medio y Tardío la cuenca de Falcón sufrió un proceso de inversión tectónica originado por un campo de esfuerzos regional caracterizado por esfuerzos mínimos y máximos subhorizontales con al orientado N15°O. Este régimen tectónico estructural de la cuenca de Falcón genera un gran anticlinorio. Más aún, es igualmente responsable del plegamiento general de la cuenca de Falcón, cuyos pliegues parecen cilíndricos y están orientados en dirección OSO-ENE. Esta inversión induce el desplazamiento de los procesos sedimentarios hacia el flanco norte del anticlinorio, con depositación de la secuencias de llanura costera y de plataforma marina.

b. La compresión Mioceno - Plioceno: esta fase en particular es responsable de la discordancia que separa las formaciones La Puerta, Codore, El Veral de las formaciones Urumaco y Caujarao. Está discordancia no es de importancia regional pero puede ser observada en diversos sitios de la cuenca de Falcón, a excepción de la plataforma de Coro. En este período se produjo una fase tectónica en la plataforma de Coro, lo cual indica que la zona fue sometida a una continua fase de compresión desde el límite Mioceno - Plioceno.

c. La compresión Plioceno - Pleistoceno (Cuaternario): Es la fase responsable de la configuración actual de la cuenca y continúa hoy en día, ella constituye la

última trilogía de fases compresivas caracterizada por esfuerzos máximos que siempre han estado ubicados en el cuadrante NO.

Gorney et.al., (2007) realizó una compilación de estudios geológicos y de nuevos datos costa afuera para examinar las relaciones geológicas y tectónicas entre las cuencas de Falcón-Bonaire y las Antillas Menores. En su trabajo se infieren 3 fases tectónicas: 1) Eoceno tardío- Oligoceno Temprano con abertura norte-sur de 3-6 Km de espesor, la cuenca Falcón –Bonaire ocurrió a lo largo este-oeste en un sistema de fallas normales que han estado invertidas localmente por fases tectónicas tardías. 2) Fallas normales nor-oeste que cortan transversalmente las fallas normales antiguas de la cuenca Bonaire y las Antillas Menores formando profundidades, *rifting* submarinos con más de 4 Kms. de relleno sedimentario y canales de aguas profundas entre islas de las Antillas Menores. Los datos de pozos costa afuera y sedimentos en tierra indicaron que esta segunda fase de apertura ocurrió principalmente durante el Oligoceno a Mioceno Temprano y permanece activa al presente. 3) La inversión de la cuenca de Falcón comenzó durante el Mioceno Medio, cuya fase de inversión se refleja en el presente con patrones de tendencia este-noreste en los *fold-thrust belt* a lo largo del rumbo de la cuenca.

2.3 GEOLOGÍA LOCAL EN EL CAMPO LA VELA

El campo La Vela está ubicado en el extremo norcentral del anticlinorio de Falcón y representa el pliegue más septentrional en la cuenca antes de pasar a la provincia extensional que caracteriza el subsuelo en la Ensenada de La Vela hacia el norte (Figura 1).

El campo La Vela (cuenca de Falcón), es un área tectónicamente compleja donde existe una superposición de estilos estructurales extensionales y compresionales, producto de la evolución tectónica de la cuenca (Figuras 3 y 7).

2.3.1 Estructura

El campo La Vela es un anticlinal alargado de rumbo suroeste-noreste, formado por el cabalgamiento de rocas terciarias sobre el corrimiento de Guadalupe, el cual se constituye en una falla inversa de rumbo suroeste-noreste en la parte norte y que se enrumba hacia una dirección más norte-sur en la parte sur del campo. En la parte central del campo, donde este corrimiento cambia su rumbo, se ha identificado en superficie la traza de la falla de Carrizal (Kavanagh de Petzall, 1959), la cual es una falla de rasgadura de rumbo NNE-SSO, con cierto componente dextral. Esta falla aún no ha sido interpretada en profundidad con las líneas sísmicas existentes.

Esta anomalía estructural es muy importante para el desarrollo del campo, ya que divide el mismo en dos subestructuras: una al noreste donde se perforaron los pozos LV-8X y LV-9, junto con los pozos someros LV-1 a LV-4 y la otra, al suroeste, donde se perforaron los pozos LV-6X y LV-10.

Adicionalmente, el campo se encuentra segmentado por fallas inversas menores sintéticas al corrimiento de Guadalupe. En el tope de la Formación Cerro Pelado, las trazas de estas fallas inversas secundarias, dividen al campo en dos escamas estructurales: una escama sur sobrecorrida sobre las fallas identificadas operacionalmente como La Vela 6 y La Vela 7 y otra escama norte que cabalga sobre el corrimiento de Guadalupe. Para una mejor comprensión estructural del campo La Vela y el manejo de los mapas estructurales e isópacos de los yacimientos y prospectos, se dividió el área de estudio en tres zonas: la zona Sobrecorrida (SC), la zona de Bajo Corrimiento1 (BC1) y la zona de Bajo Corrimiento 2 (BC2). La zona BC1 se encuentra en la escama intermedia y debe su nombre a que se encuentra en el bajo corrimiento de las fallas inversas menores presentes en los pozos LV-6X y LV-7X; sin embargo, este bloque también cabalga al corrimiento de Guadalupe (Figura 12).

De acuerdo a la interpretación sísmica, generada en los años 1996 y 1998, el bloque basal (autóctono) del anticlinal de La Vela se extiende hacia el norte, noreste y este, hacia la Ensenada de La Vela. Este bloque basal fue perforado (pozo LV-8X) descubriéndose los yacimientos Caujarao Bajo Corrimiento, anteriormente identificados como Formación La Vela. Hacia el norte, este bloque continúa dentro de la provincia extensiva de la Ensenada de La Vela, en la cual existen yacimientos a nivel de las formaciones Caujarao, Socorro y Agua Clara (Miembro Cauderalito) así como en el basamento, además de las capas conglomeráticas que descansan discordantemente sobre el basamento.

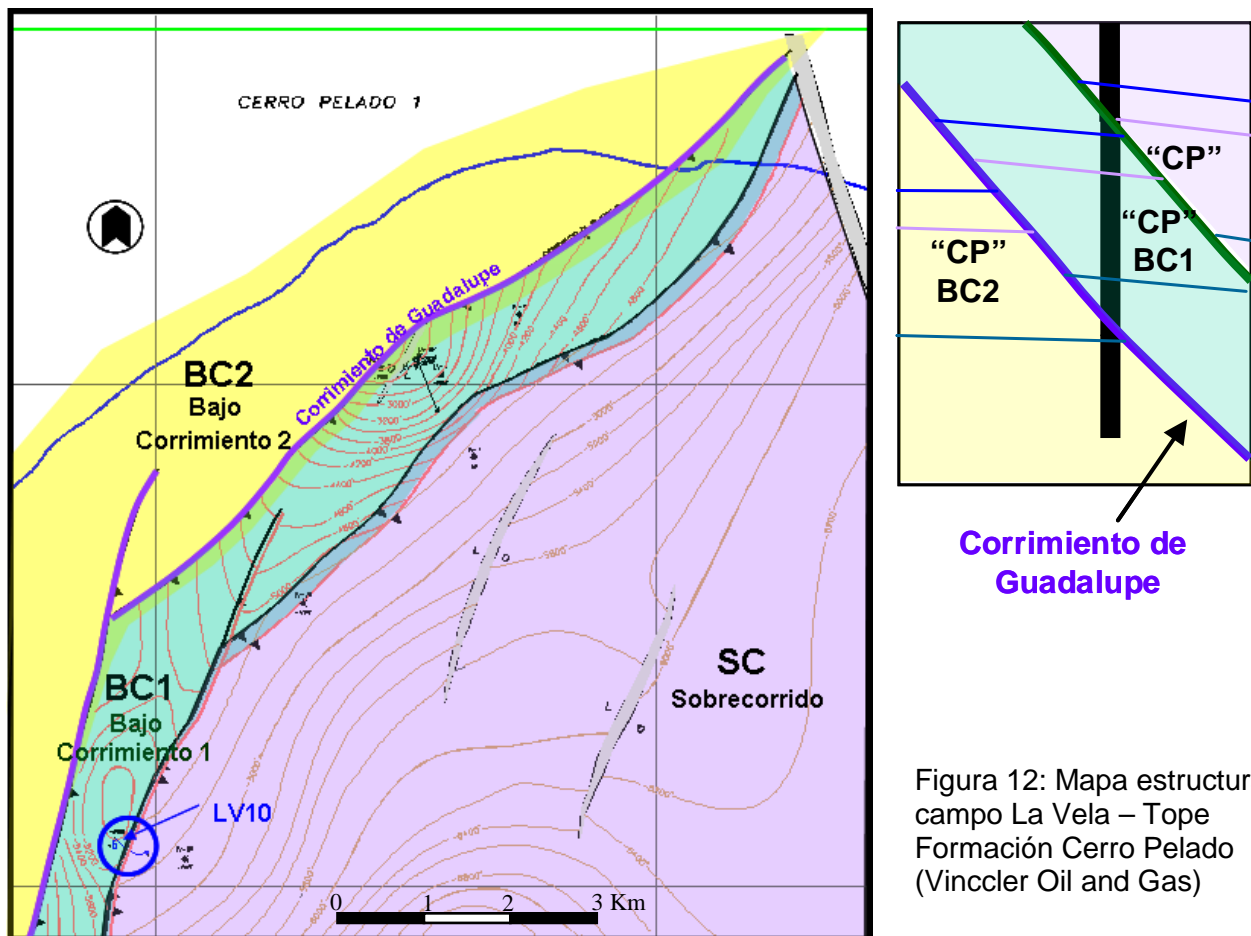


Figura 12: Mapa estructural campo La Vela – Tope Formación Cerro Pelado (Vinccler Oil and Gas)

Hasta el presente se han perforado 21 pozos en esta estructura anticlinal del campo La Vela, de los cuales se utilizaron 17 para obtener la información utilizada en este trabajo (LV-1 a LV-10, LV-12, LV-14, LV-16 a LV-20). Estos pozos han

probado la existencia de hidrocarburos líquidos y gaseosos en casi toda la columna estratigráfica.

2.3.2 Estratigrafía Campo La Vela

La estratigrafía del área de La Vela y Falcón Central ha sido estudiada por varios autores, desde principios de los años 20 hasta el presente. Inicialmente fue estudiada por autores como Hodson (1926), Liddle (1928) y González de Juana (1937), quienes adoptaron la nomenclatura del Mioceno de Falcón Occidental al área de La Vela. Posteriormente Payne (1951) propuso una nueva nomenclatura para las unidades al este de la Plataforma de Coro, pero esta propuesta no fue aceptada formalmente. Mas recientemente autores como Vallenilla León (1961) el mismo González de Juana (1971), Díaz de Gamero (1977), Wozniak y Wozniak (1987) y Rey (1990, 1994) han realizado estudios detallados de la estratigrafía del área, los cuales fueron analizados por Hunter (2004).

La estratigrafía del área está conformada por rocas de edad Oligoceno - Plioceno las cuales descansan discordantemente sobre un basamento ígneo-metamórfico de edad Cretácico (González De Juana et al., 1980).

La columna estratigráfica (Figura 13) difiere entre cada pozo debido a que estos cruzan distintas fallas inversas en sus trayectorias, lo cual dificulta significativamente la correlación exacta de los distintos niveles estratigráficos. Adicionalmente, la sección inferior, correspondiente a la parte basal del Mioceno Inferior y al Oligoceno, contiene muy poca fauna y una litología de carácter continental a deltaico, por lo que se limita ocasionalmente la diferenciación en esta unidad. Originalmente a esta sección se le identificó como formaciones Pecaya de edad Oligoceno y Pedregoso de edad posiblemente Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano, sin embargo, la perforación reciente de los pozos LV-9 y LV-10 han aportado datos geológicos importantes que sugieren una secuencia continental más parecida a la Formación Patiecitos o Guarabal.

EDAD	FORMACION	LITOLOGIA	DESCRIPCION LITOLOGICA
Reciente Pleistoceno			La Vela: Sección compuesta por calcarenitas de color crema intercaladas con arcillas blandas a duras, lutitas y areniscas calcáreas.
Plioceno	La Vela		Caujarao: Arcillas y lutitas grises a verdosas, en ocasiones calcáreas, intercaladas con calcarenitas gris claro de grano muy fino a fino.
Mioceno	Tardío	Caujarao	
	Medio	Socorro	Socorro: Arcillas y lutitas grises a verdosas, calcáreas interestratificadas con areniscas calcáreas de grano muy fino a fino y en ocasiones calizas arenosas.
	Temp.	Querales	Querales: Principalmente lutitas duras, fisiles de color gris, en ocasiones calcáreas. Se observan capas delgadas de calcarenitas y dolomitas.
		Cerro Pelado	Cerro Pelado: Principalmente lutitas gris oscuro con capas de areniscas cuarzosas de grano fino.
	Agua Clara	Agua Clara: Principalmente lutitas de color gris oscuro con un incremento en la parte inferior del porcentaje de calcarenitas de color crema.	
Oligoceno	Mioceno Tardío-Oligoceno Sin Diferenciar (*)		Arenisca: Gris oscuro, moderadamente consolidada, grano fino. Calcarenita: Gris verdoso, gris claro, moderadamente consolidada, friable, grano fino-medio, inclusiones glauconíticas. Limolitas: marrón rojiza, moderadamente dura, en la parte blanda, arenosa, levemente calcárea Lutita: Gris verdoso, moderadamente dura, en bloque, inclusiones de pirita, en parte limosa Caliza: Beige, gris, blanca, moderadamente dura, inclusiones de glauconita, pirita y minerales oscuros
Cretácico	Igneo-metamórfico		Basamento: Esquistos vítreos, micáceos, de color verdoso a negruzco.

(*) La escasez de fauna ha dificultado la definición de edad de esta unidad. Las capas rojas observadas parecen corresponder con las encontradas Costa Afuera.

Figura 13: Descripción litológica de las unidades presentes en el campo La Vela (Vinccler Oil and Gas C.A., Informe interno pozo LV-10, 2005)

2.3.2.1 Estratigrafía de la Formación Socorro

La Formación Socorro fue referida originalmente por Hodson (1926), bajo el nombre de “Serie Socorro” quien indicó que está compuesta por areniscas yesíferas y lutitas arcillosas abigarradas, con localidad tipo en Socorro, al sur de Urumaco, distrito Democracia, estado Falcón. Por otra parte Payne (1951), en la

región de Cumarebo, sustituye el nombre de Formación Socorro por el de Formación Mosquito, dividida en una unidad inferior de lutitas y otra superior, arena de San Francisco o su equivalente lateral, Caliza de Dividive, y colocando la Arena Loma como unidad superior de la Formación Ricoa, infrayacente, mientras que el Miembro Portachuelo, es el inferior de la unidad superior, Formación Caujarao. Este esquema formacional no tuvo aceptación, aunque las unidades menores persisten en la literatura geológica. Gamero y Díaz de Gamero (1963), estudiaron detalladamente la Formación Socorro en la región de la Mesa de El Saladillo, al suroeste de Coro, y la subdividieron en dos unidades: una inferior, o facies lutítico-margosa y una superior calcáreo-arenosa. Díaz de Gamero (1977), precisa la edad de la unidad en base a los foraminíferos planctónicos. Lorente (1986), estudia la microflora de este intervalo en varias localidades de Falcón occidental. Wozniak y Wozniak (1987) estudian la Formación Socorro al norte de la serranía de San Luis. Díaz de Gamero *et al.* (1988), definen rigurosamente el intervalo de Querales como formación independiente, quedando la Formación Socorro restringida a la parte predominantemente arenosa del intervalo Querales-Socorro.

Díaz de Gamero (1989), establece la extensión geográfica y estratigráfica de la Formación Socorro, con un nuevo esquema de correlación para la sección sedimentada sobre el Alto de Coro, demostrando que las unidades conocidas anteriormente como formaciones Cerro Pelado y Querales al norte de la serranía San Luis corresponden a la parte inferior de la Formación Socorro.

Desde el punto de vista litológico en su área tipo, Díaz de Gamero (1989), describe la unidad en la región del Surco de Urumaco como constituida de lutitas con intercalaciones de areniscas, con algunas calizas arenosas conchíferas y carbones en su parte inferior. Las areniscas son el elemento distintivo de la formación, de grano fino a medio, micácea, con manchas ferruginosas, generalmente bioturbadas, muestran estratificación cruzada planar, en menor grado festoneada, con laminación paralela y ondulada hacia el tope. Al oeste, rara

vez son calcáreas y sólo muestran restos dispersos de bivalvos, mientras que al este, las areniscas calcáreas son muy comunes, con numerosos restos de moluscos y, frecuentemente, el tope de las capas pasa transicionalmente a calizas coquinoideas arenosas.

Hambalek, *et al.* (1994) subdividen la Formación Socorro en la quebrada El Paují en tres miembros informales: El miembro inferior consiste en una secuencia alterna de areniscas, limolitas y arcillas. El miembro medio es de litología alternante de calizas, areniscas, arcillitas, limolitas y niveles carbonosos. El miembro superior presenta características similares al miembro inferior, pero contiene unos escasos niveles calcáreos.

Al este del surco de Urumaco, sobre el Alto de Coro, la Formación Socorro consiste, según Díaz de Gamero (1989), en un intervalo inferior de lutitas con frecuentes intercalaciones de areniscas, con algunas margas, calizas y carbones, anteriormente considerado como Formación Cerro Pelado. Las areniscas son de grano fino, en paquetes de hasta 6 m de espesor, generalmente lajosas, con rizaduras y estratificación cruzada en la parte inferior del intervalo, donde se asocian a lutitas carbonosas y algunos carbones. La parte superior es más calcárea, con areniscas calcáreas, margas y calizas conchíferas en capas delgadas. El intervalo medio, anteriormente considerado equivalente a la Formación o Miembro Querales, es lutítico, con intercalaciones delgadas de margas y calizas conchíferas y raros carbones en la base. El intervalo superior, al que se restringía anteriormente la Formación Socorro, consiste de lutitas con intercalaciones de areniscas, calizas y margas. Las areniscas son de grano fino, micáceas, con estratificación cruzada, en paquetes de hasta 10 m de espesor, en los que las capas individuales se encuentran separadas por gruesas costras de oxidación.

Según Díaz de Gamero (1989) la edad de la Formación Socorro en el surco de Urumaco ocupa la mayor parte del Mioceno Medio. El ambiente de sedimentación

de la formación en la región tipo es costero-marino, pasando gradualmente a marino abierto al sur de Coro y marino profundo en la región al sur de Cumarebo, donde los foraminíferos bentónicos indican profundidades mayores a 450m (Galea, 1976 en González De Juana et al., 1980).

En el área de Cumarebo, Payne (1951) enumeró las arenas de la Formación Socorro en arena 1 a 7. Sin embargo, operacionalmente se clasifican a las arenas de 12 a 16, comenzando en el tope de la arena 3 de la enumeración dada por Payne. Desde el punto de vista sedimentológico, las arenas 12 a 14 corresponden a ambientes próximos costeros y las arenas 15 a 16 se corresponden con areniscas depositadas en ambientes más profundos de plataforma externa y pueden representar ambientes turbidíticos.

Como parte de la campaña de producción efectuada por la compañía Vinccler Oil & Gas, C.A., a comienzos del año 2005, se realizó la perforación de dos pozos de desarrollo en el campo La Vela del estado Falcón, LV-09 y LV10. El pozo LV-10 está ubicado geográficamente a 770 m al ONO del pozo LV-6X, en la región sur central del campo La Vela, y se encontró que la Formación Socorro está conformada por series alternantes de areniscas, calcarenitas y lutitas con capas de carbón. De acuerdo con la información geológica suministrada por los registros eléctricos y radioactivos en los pozos LV-10, LV-06 y LV-07 (Figura 14), se dividió la Formación Socorro en los miembros: superior, medio y basal, a su vez en el miembro superior fueron identificados los yacimientos Socorro Superior 1 y Socorro Superior 2. El miembro superior de Socorro está compuesto por una alternancia de arenas, lutitas y calizas interpretadas como barras litorales, canales y facies carbonáticas transgresivas (Figura 15).

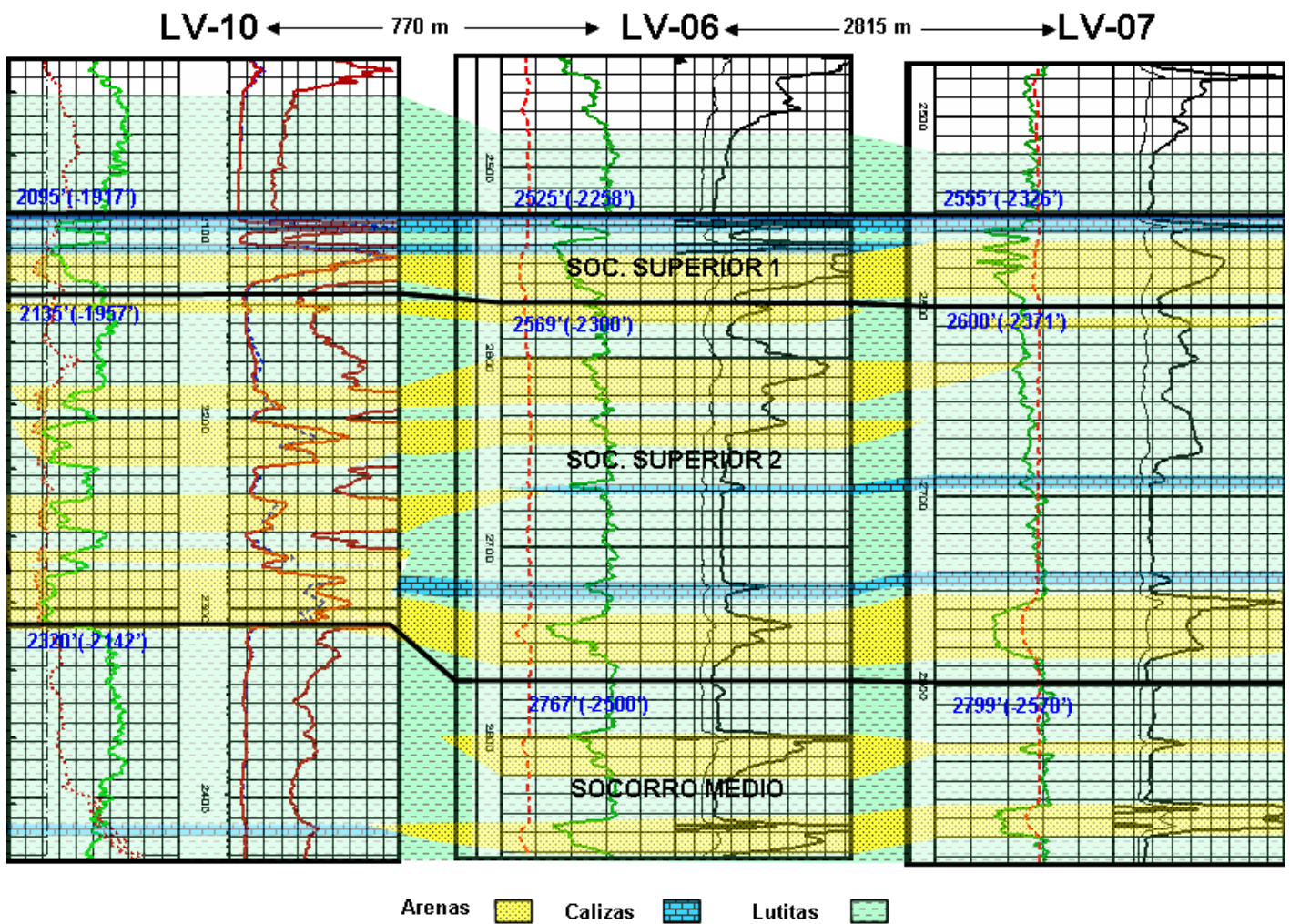


Figura 14: División de la Formación Socorro, mediante correlación estratigráfica (Vinccler Oil and Gas, 2005).

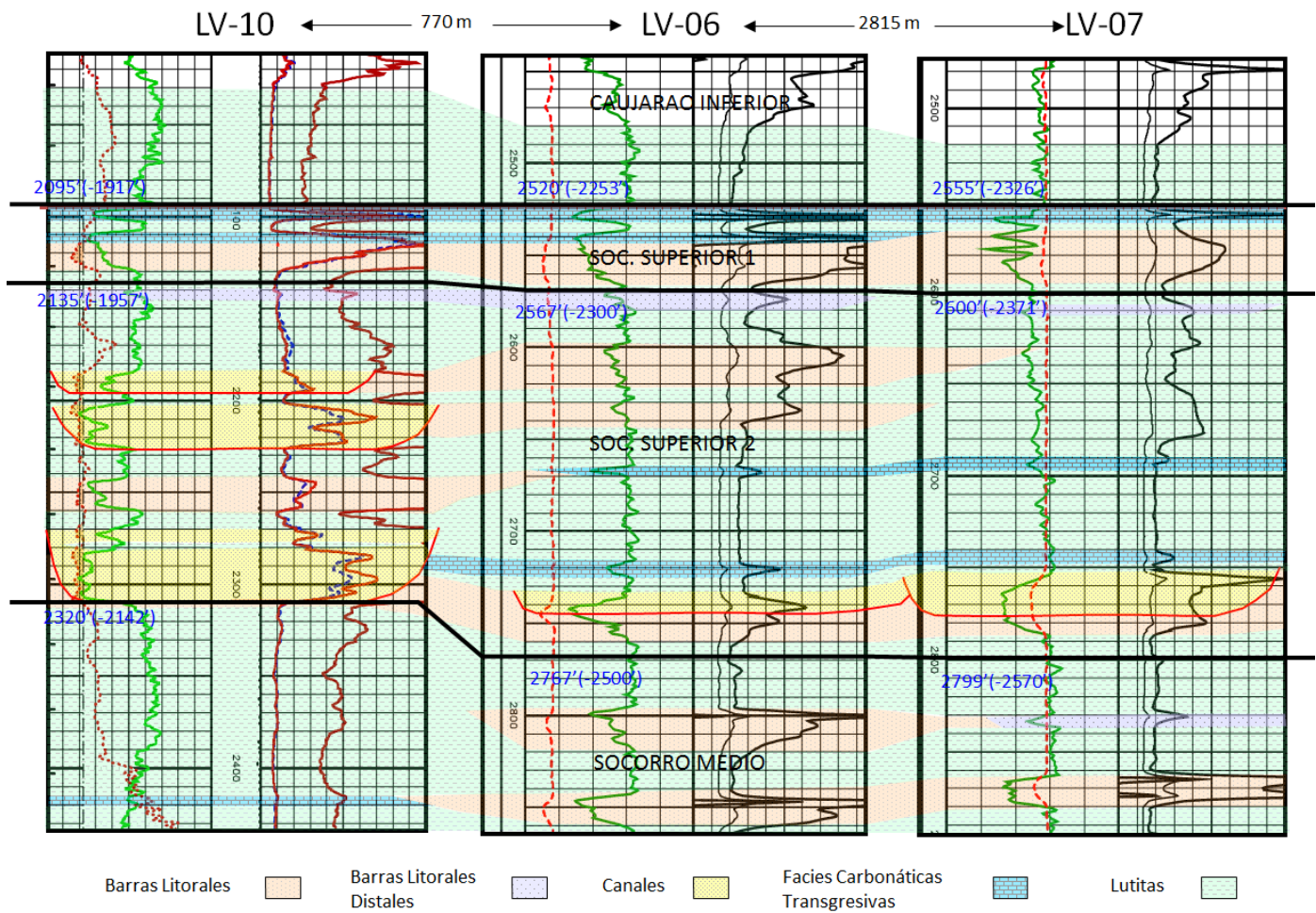


Figura 15: Paleoambientes del miembro informal Socorro Superior (Vinccler Oil and Gas, 2005).

3. CAPÍTULO III

3.1 ESTUDIO ESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN SOCORRO - CAMPO LA VELA

Para generar el estudio estratigráfico se realizó una sección estratigráfica de la Formación Socorro en el campo La Vela, dicha sección incluyó los pozos LV-12, LV-16, LV-20 y LV-6 a fin de determinar la dimensión areal de la Formación Socorro. El *datum* escogido para esta sección fue una caliza continua lateralmente que define el tope de la Formación Socorro y suprayace al yacimiento Socorro Superior 1 (Figura 16).

El miembro (informal) superior de Socorro está compuesto por una alternancia de arenas, lutitas y calizas interpretadas como barras litorales, canales y facies carbonáticas transgresivas. En el miembro Socorro Superior 1 se identificaron los yacimientos Socorro Superior 1 (Gas) y Socorro Superior 2 (petróleo) Figura 16. De acuerdo a lo observado durante la perforación de los pozos, se observó continuidad lateral a lo largo del yacimiento Socorro Superior 1 en el campo La Vela.

El miembro Socorro Superior 2 fue identificado en los pozos LV-10 y LV-12, sin embargo no se observó en el resto de los pozos debido principalmente a que esta parte de la sección se trata de canales apilados localizados al suroeste del campo. Según las muestras captadas en los pozos LV-10 y LV-12, el miembro Socorro Superior 2 está formado por una alternancia de areniscas, lutitas y calizas.

El miembro Socorro medio fue identificado en los pozos LV-16, LV-20 y LV-6 perforados en el domo sur del campo. El miembro Socorro Medio está formado por una alternancia de arenas, lutitas y calizas.

El miembro Socorro Inferior y las arenas basales de Socorro se observaron en los pozos LV-10, LV-20 y LV-6 (figura 26). En el pozo LV-20, localizado en el flanco sureste del campo, según el perfil de resistividad y el cruce de las curvas densidad y neutrón, estas arenas mostraron alta prospectividad de contener hidrocarburos, particularmente gas.

3.1.1 Estratigrafía del campo La Vela

En la Tabla 1 se presenta un resumen de la estratigrafía del Neógeno del área de La Vela y Coro (Hunter, 2004).

EDAD	FORMACIÓN	MIEMBRO	ESPESOR TIPO (MTS)	LITOLOGÍA
Plioceno	La Vela		590	Arcillas con intercalaciones de calizas arenosas, areniscas calcáreas y algunos niveles conglomeráticos
Mioceno Tardío	Caujarao	Taratara	400	Principalmente arcillas con ocasionales niveles de margas
		Mataruca	115	Arcillas con 3 ó 4 capas de calizas de 10 m de espesor
El Muaco		690	Arcillas con algunas capas delgadas de calizas y areniscas de grano fino	
Mioceno Medio	Socorro		663	Intervalo calcáreo y arenoso con lutitas microfósilíferas alternadas con capas de calizas y areniscas delezneables de grano fino.
	Querales			Lutitas y margas microfósilíferas.
Mioceno Temprano	Cerro Pelado		238	Lutitas moteadas interestratificadas con areniscas de grano fino, capas de carbón, algunas calizas y margas delgadas.
	Agua Clara			Lutitas grises, margas y capas delgadas de calizas y areniscas.

Tabla 1: Estratigrafía del Neógeno del área de La Vela y Coro (Hunter, 2004).

A continuación se realiza la descripción que incluye la estratigrafía de los pozos descubridores del campo La Vela (LV-1 a LV-10) y se muestran imágenes de las muestras de ripios de perforación obtenidas de los pozos de desarrollo (LV-14, LV-18 y LV-20)

El campo La Vela fue descubierto en el año 1933 con la perforación del pozo La Vela 2 en la parte alta de la estructura. Anteriormente se había perforado el

pozo LV-1, el cual de acuerdo a Hunter (2004) penetró las formaciones Caujarao, Socorro y probablemente Querales.

Según informes del pozo LV-2, éste atravesó una sección de edad Mioceno Tardío a la parte terminal del Mioceno Temprano, penetrando las formaciones Caujarao (parte basal), Socorro, Querales y parte superior de la Formación Cerro Pelado. La revisión realizada por Hunter (2004) basada en el estudio de secciones finas propone que el pozo penetró las formaciones Caujarao, Socorro y Querales antes de atravesar una falla inversa a 2820' y entrar nuevamente en una sección de la Formación Caujarao.

El pozo La Vela 3, se perforó a 1500 m al noreste del pozo LV-2, hasta la profundidad de 4705'. El informe original del pozo indica que el mismo penetró además de las formaciones Caujarao, Socorro y Querales, las formaciones Cerro Pelado y parte superior de la Formación Agua Clara, de edad Mioceno Temprano. A 4100 pies el pozo atravesó el corrimiento de Guadalupe, entrando nuevamente en la Formación Caujarao hasta la profundidad final.

El pozo La Vela 4 fue perforado entre febrero y septiembre de 1934, y encontró una sección continua entre las formaciones Caujarao y Agua Clara hasta la profundidad de 4054' donde atravesó el corrimiento de Guadalupe, entrando nuevamente en la Formación Querales hasta la profundidad final de 4155 pies.

Entre septiembre de 1934 y enero de 1935 se perforó el pozo La Vela 5, ubicado unos 8,7 Km al suroeste del pozo LV-2. Estructuralmente el pozo se perforó en el flanco suroeste de la estructura, encontrando una sección estratigráfica compuesta por las formaciones Caujarao, Socorro y Querales, hasta la profundidad final de 5285', lo cual evidencia un engrosamiento hacia el sur de las unidades estratigráficas del Mioceno Medio a Tardío. El pozo fue completado a la profundidad de 739' como un pozo de agua por no haber penetrado zonas prospectivas.

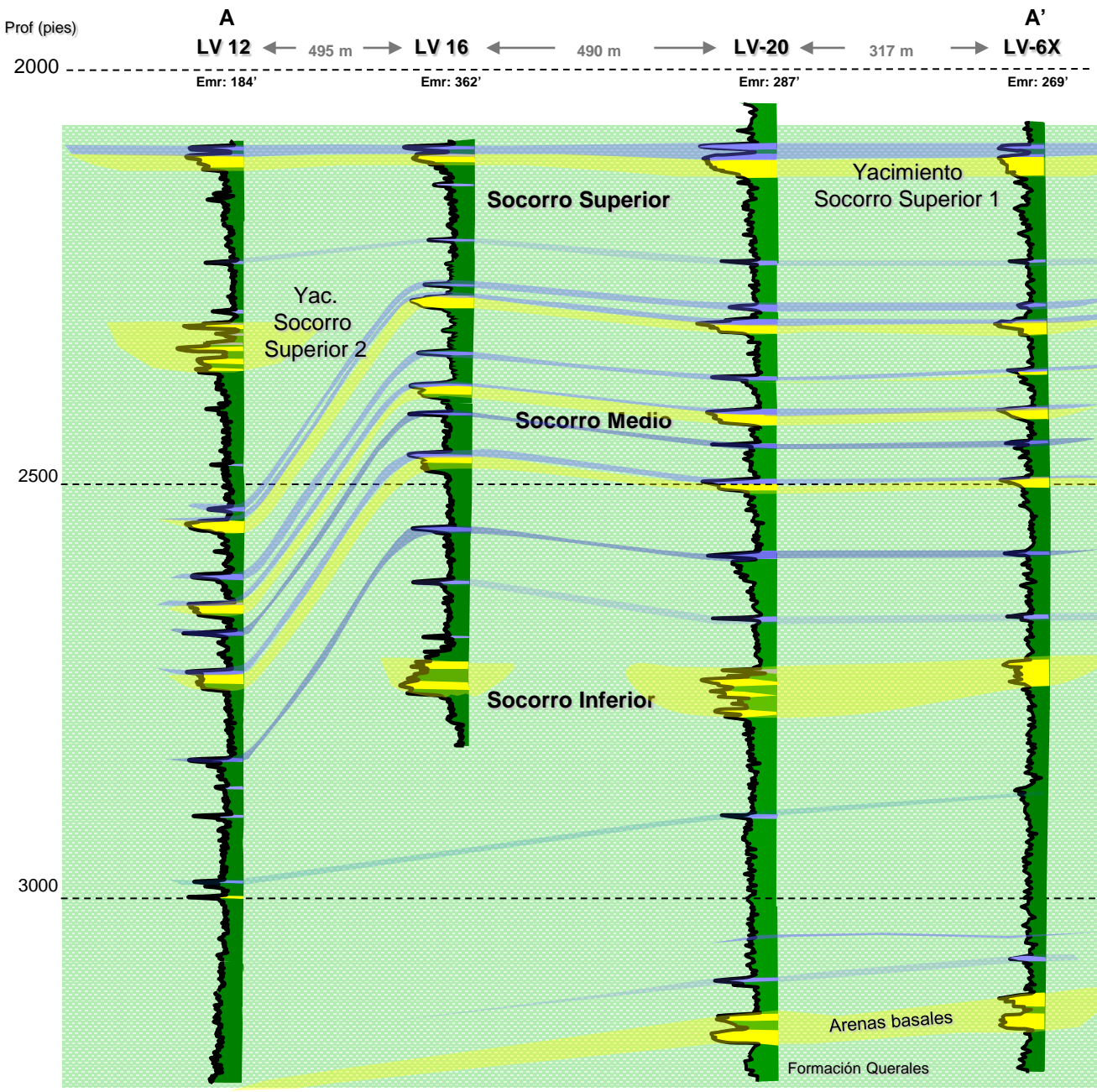
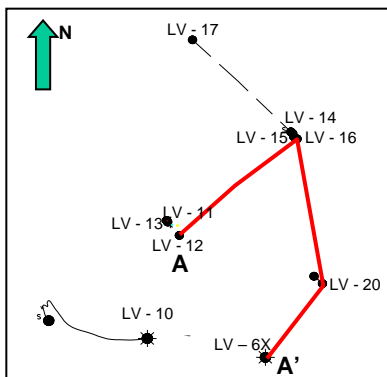


Figura16: Sección Estratigráfica Formación Socorro

100 pies



El campo se cerró después de la perforación de este pozo hasta 1985, cuando PDVSA a través de su filial operadora Corpoven, S.A. ejecutó la perforación de los pozos exploratorios LV-6X, LV-7X y LV-8X.

El pozo LV-6X fue perforado en 1982 hasta la profundidad final de 11039' penetrando según el Sumario Geológico del pozo una sección terciaria desde el Plioceno hasta el Oligoceno. Atravesó el corrimiento de Guadalupe a 9310' entrando nuevamente en una sección repetida de las formaciones Cerro Pelado y Agua Clara. Fue evaluado exitosamente en las formaciones Cerro Pelado y Pedregoso.

De acuerdo a la interpretación original este pozo atravesó la Formación Socorro a los 2525' presentando un espesor de 1065'.

El pozo LV-7X, perforado entre diciembre de 1984 y mayo de 1985, alcanzó una profundidad final de 11200 pies. Al igual que el pozo LV-6X, este atravesó una sección estratigráfica desde el Plioceno hasta el Oligoceno y adicionalmente penetró el basamento ígneo-metamórfico pre-Oligoceno. De acuerdo a las correlaciones estratigráficas y estudios bioestratigráficos realizados para la época, el pozo atravesó una falla inversa a la profundidad de 5610 pies.

De acuerdo a la interpretación original este pozo (LV-7) atravesó la Formación Socorro a los 2555' presentando un espesor de 1105'.

La re-interpretación efectuada con este estudio está bastante ajustada a la interpretación original, con pequeñas diferencias en el tope de la Formación Caujarao (1360' en lugar de 1495'), la posición de la falla inversa LV-7 (5570' en lugar de 5610') y el tope de la Formación Agua Clara (5890' en lugar de 5900'). Adicionalmente, en este estudio se ha preferido darle el nombre genérico Oligoceno "equivalente a Pecaya" a la sección entre 9757' y 11077' en lugar de Formación Pecaya como se denominó originalmente, hasta tanto no se tenga una mejor determinación por medio de estudios bioestratigráficos.

El pozo LV-8X se perforó entre mayo y septiembre de 1985. Después de perforar hasta 9843', el pozo fue taponado a 5450' por problemas operacionales. Previamente se corrieron registros eléctricos hasta 7645'. Originalmente la Formación Socorro fue definida a 350 pies con un espesor de 1100'.

Tanto la interpretación original como la revisión efectuada por Vinccler indican que este pozo penetró una sección terciaria continua entre las formaciones Caujarao y Cerro Pelado hasta la profundidad de 3550' donde ambas interpretaciones ubican el corrimiento de Guadalupe.

Por debajo del corrimiento se interpreta una sección correspondiente a la Formación La Vela, seguida por la secuencia normal de las formaciones Caujarao y Socorro (este pozo fue perfilado solo hasta la profundidad de 7645').

Aún cuando no existen datos bioestratigráficos a partir de 6450 pies, la interpretación original de Corpoven, S.A. indica que el pozo probablemente penetró el tope de la Formación Socorro de edad Mioceno Medio a 6648'.

El pozo LV-10 fue perforado en el año 2005, está ubicado geográficamente a 770 m al ONO del pozo LV-6X, en la región sur central del campo La vela.

La Formación Socorro está conformada por series alternantes de areniscas, calcarenitas y lutitas con capas de carbón. De acuerdo con la información geológica suministrada por los registros eléctricos y radioactivos en los pozos LV-10, LV-06 y LV-07. Se dividió la Formación Socorro en varios miembros: Superior, Medio, Inferior y Basal (Tabla 2). En la tabla 2 se hace mención a los intervalos denominados Bajo Corrimiento (BC), los cuales de acuerdo al mapa estructural de la Formación Cerro Pelado en el campo La Vela, el pozo LV-10 fue perforado en la cresta de un anticlinal fallado en un bloque estructural

denominado BC1, ubicado entre los corrimientos de Guadalupe y LV-6, ambos originados por los esfuerzos tectónicos compresivos que han afectado el área desde el Mioceno Medio.

INTERVALO	PROF. MEDIDA (pies)	PROF. VERTICAL (pies)	PROF. B.N.M. (pies)
Caujarao Superior	918	918	-740
Caujarao Inferior	1688	1688	-1510
Socorro Sup. 1	2095	2095	-1917
Socorro Sup. 2	2135	2135	-1957
Socorro Medio	2320	2320	-2142
Socorro Inferior	2700	2700	-2522
Socorro Basal	3100	3100	-2922
Falla Inversa LV-6	3130	3130	-2952
Socorro Medio BC1	3130	3130	-2952
Socorro Inferior BC1	3431	3431	-3253
Socorro Basal BC1	3863	3863	-3685
Fm. Querales	3900	3900	-3722

Tabla 2: Subdivisiones de la Formación Socorro en pozo LV-10

Con la perforación del pozo LV-10, la evaluación geológica y el comportamiento de producción no solo se determinó la prospectividad de las formaciones objetivos del pozo, sino que también se determinó la existencia de hidrocarburos en las formaciones Caujarao y Socorro, principalmente en su miembro superior. Es importante aclarar que ninguno de los pozos perforados hasta el momento habían mostrado alguna potencialidad de hidrocarburos en dichas unidades.

En vista que se encontraron arenas con hidrocarburos en el miembro Superior de la Formación Socorro y en el miembro Caujarao Inferior, no contemplados en la propuesta original de perforación del pozo LV-10, se completó el pozo oficialmente en estos intervalos, creando los yacimientos Socorro Superior 1 y Socorro Superior 2 como nuevos descubrimientos.

Con la perforación del pozo LV-10 se descubrieron dos nuevos yacimientos en la parte superior de la Formación Socorro, denominados Socorro Superior 1 y 2. Además de ello, de acuerdo a los registros del pozo, se observaron varios

cuerpos prospectivos en la Formación Caujarao y en la parte media y basal de la Formación Socorro, donde se consiguieron dos cuerpos arenosos de unos 15 pies de espesor con mediana resistividad y cruce de las curvas densidad neutrón, indicativo de presencia de gas, las cuales, no fueron probados en este pozo. Se propuso la perforación de nuevos pozos en el domo sur del campo La Vela los cuales fueron perforados entre diciembre 2006 a septiembre 2008 (pozos LV-11 a LV-20) a fin de confirmar la continuidad de los yacimientos Socorro Superior 1 LV 10 y Socorro Superior 2 LV 10 en el sector oriental del anticlinal al sur del campo La Vela y de desarrollar las reservas descubiertas en el pozo LV10.

En las figuras 17 a 19 se podrán observar muestras de canal captadas durante la perforación de los pozos LV-14, LV-18 y LV-20. Las muestras que se describen corresponden a la Formación Socorro.

En las cartas estratigráficas (Figuras 20 a 24) se describe la litología encontrada en la Formación Socorro en los pozos LV-6 a LV-20 como también los correspondientes ambientes sedimentarios.

La tabla 3 describe los topes y bases en los que se encontró la Formación Socorro en los pozos LV-12 a LV-20 al igual que la litología encontrada.

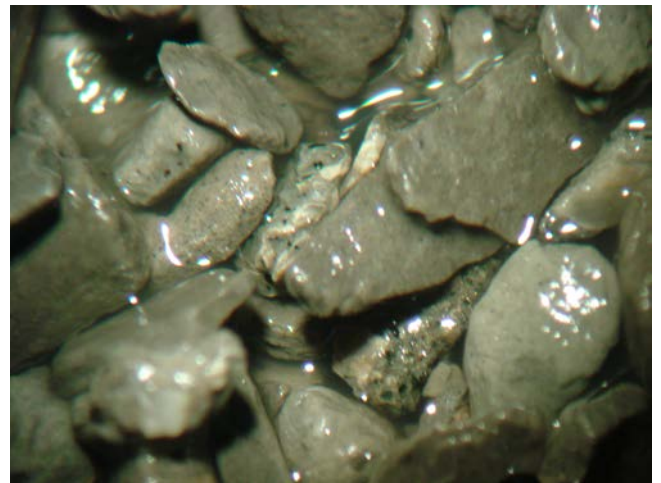
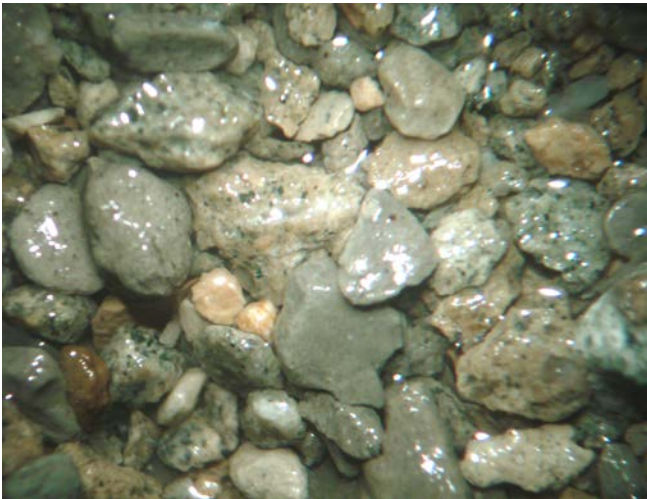
POZOS	TOPE FM. SOCORRO (PIES)	BASE FM. SOCORRO (PIES)	LITOLOGÍA (MUESTRAS DE CANAL)
LV-12	1982 (-1804)	2944 (-2766)	<p>Arenisca: Cuarzo cristalino, gris claro, grano fino a medio, subangular a subredondeado, regular selección, buena consolidación, cemento calcáreo. Accesorios: pirita, glauconita. Regular fluorescencia, corte lento, blanco lechoso.</p> <p>Caliza: Beige, blanca, en bloque, dura a muy dura, en parte arenácea.</p> <p>Lutita: Gris claro, en bloque, en parte sublaminar, blanda, en partes arenosa, ligeramente calcárea, con inclusiones de pirita.</p>
LV-14	2406 (-2044)	No Registro	<p>Arenisca: Gris claro, blanquecina, crema, cuarzo cristalino, grano fino a muy fino, en parte medio, redondeado a subredondeado, mala selección, regular a buena consolidación, matriz arcillosa, cemento calcáreo, con inclusiones piríticas, fragmentos líticos, glauconítica en partes. Accesorio: Pirita.</p> <p>Lutita: Gris claro, hidratable, en bloque, en parte laminar, mala compactación, con inclusiones de pirita, fosilífera, calcárea, en partes carbonácea.</p> <p>Caliza: Beige, en bloque, dura a muy dura, en parte arenácea.</p>
LV-16	2406 (-2044)	No Registro	<p>Lutita: Gris oscuro, en bloques, en parte laminar, quebradiza, carbonosa, micácea, ligeramente calcárea.</p> <p>Arenisca: Cuarzo cristalino, gris claro, grano fino a muy fino, subangular a subredondeado, buena selección, regular consolidación, matriz y cemento calcáreo. Presenta inclusiones carbonosas.</p> <p>Caliza: Mudstone, crema, en bloque, inclusiones de pirita, en partes arenácea.</p>
LV-17	2304 (-1942)	No Registro	<p>Lutita: Gris claro, en partes gris calcárea oscuro, en bloque, firme, en partes arenosa, con inclusiones de carbón y pirita.</p> <p>Arenisca: Cuarzo cristalino, gris claro, gris oscuro, grano fino a muy fino, subredondeados a redondeados, buena selección, buena consolidación, matriz arcillosa, cemento calcáreo, con inclusiones carbonosas y pirita.</p>
LV-18	2323 (-2185)	3670 (-3387)	<p>Lutita: Gris clara en partes verdoso, glauconítica, en bloque, en partes laminar, moderadamente dura, limosa, ligeramente calcárea.</p> <p>Arenisca: Cuarzo cristalino, gris claro, glauconítica, grano fino a muy fino, sub angular a sub redondeado, buena selección, calcáreo, moderada consolidación.</p>
LV-19	1848 (-1653)	No Registro	<p>Arenisca: Cuarzo cristalino, gris claro, en parte gris verdoso, fino, redondeado, buena selección, moderada consolidación, matriz arcillosa, cemento calcáreo, con inclusiones glauconíticas.</p> <p>Lutita: Gris claro, en parte gris oscuro, en bloque, sub físil, moderada compactación, ligeramente calcárea.</p>
LV-20	2470 (-2183)	3542 (-3255)	<p>Arenisca: Cuarzo cristalino, gris claro, grano fino a muy fino, subredondeado, buena selección, moderada consolidación, matriz arcillosa, cemento calcáreo, con algunas inclusiones piríticas y carbonosas. Caliza de menor espesor, de color beige, crema, en bloque, moderadamente dura, en parte arenácea.</p> <p>Lutita: Gris claro a gris oscuro, en bloque, en parte sub laminar, moderadamente compacta, ligeramente calcárea, con inclusiones glauconíticas.</p> <p>Limolita: Beige, gris claro, calcárea, gradando a arenisca de grano muy fino.</p>

Tabla 3: Tope y base de Formación Socorro en pozos LV-12 – LV-20

En las figuras que se presentan a continuación se muestran y describen imágenes de algunas de las muestras de canal captadas en los pozos LV-14, LV-18 y LV-20 en los intervalos correspondientes a la Formación Socorro.

Pozo LV-14

Muestras de canal captadas entre 2000' - 2940' (Formación Socorro)



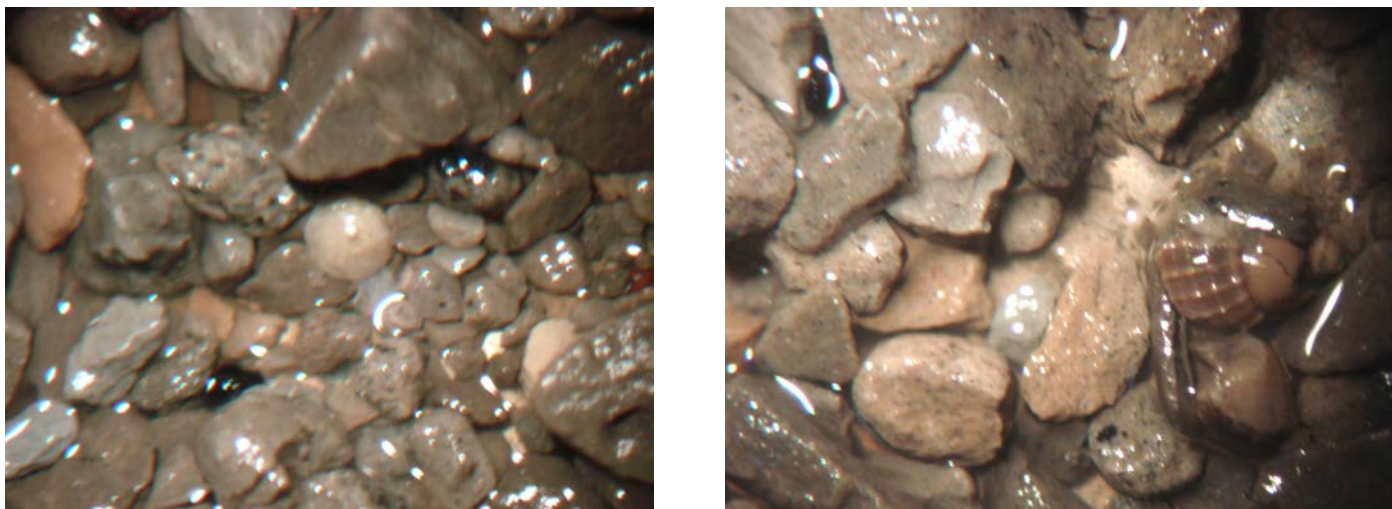


Figura 17: Imágenes de muestras de canal captadas en el pozo LV-14.

Las muestras corresponden a los miembros Socorro superior y Socorro medio y las muestras de canal corresponden en su mayoría a areniscas y lutitas.

Arenisca: Cuarzo cristalina, beige blanquecina, de grano fino, subredondeado a redondeado, buena selección, y moderada consolidación, matriz arcillosa, cemento calcáreo, buena fluorescencia, amarillo pálido, corte moderado, blanco lechoso.

Lutita: Gris claro, en parte gris oscuro y verdosa, en bloque, mala a moderada compactación, calcárea, fosilífera.

Pozo LV-18

Muestras de canal captadas entre 3680' y 3727' (Socorro Inferior)



Lutita: gris oscuro en parte gris claro, laminar, en bloque en parte fisil, moderadamente firme, microcarbonosa.



Figura 18: Imágenes de muestras de canal captadas en el pozo LV-18.

Pozo LV-20

Muestras de canal captadas entre 3490' - 3540' (arenas basales Fm. Socorro)

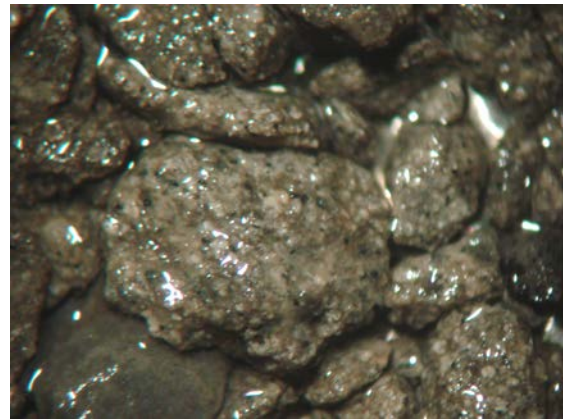
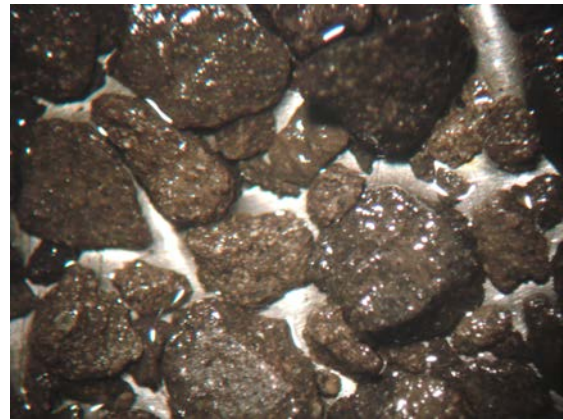
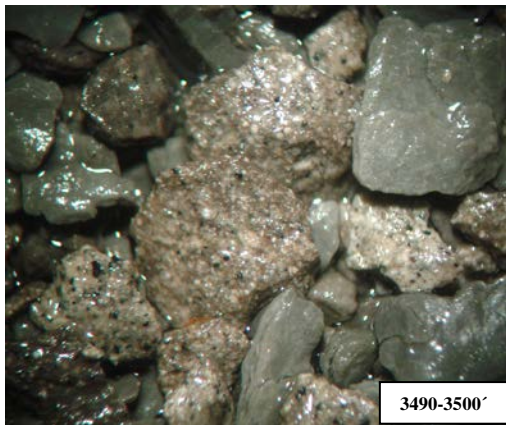


Figura 19: Imágenes de muestras de canal captadas en el pozo LV-20.

Arenisca: Beige en parte gris claro, grano muy fino, redondeado, buena selección, moderadamente consolidada, en parte friable, matriz arcillosa, cemento calcáreo, en parte con inclusiones de glauconita.

Lutita: Gris claro, en parte gris oscuro en bloque, astillosa, en parte laminar, limosa, moderada compactación, en parte arenosa.

CARTA ESTRATIGRÁFICA INTEGRADA
Pozo LV-6X

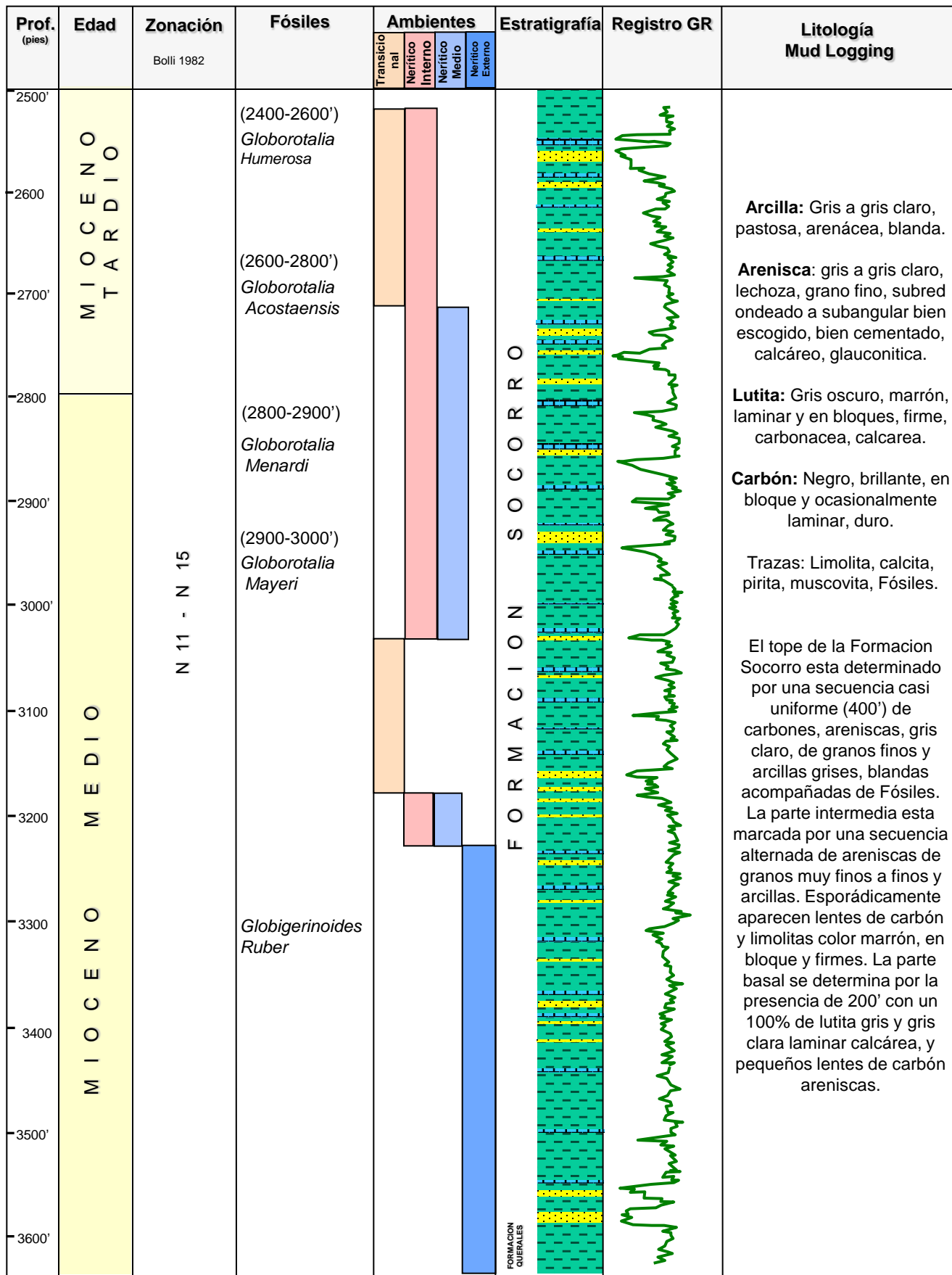


Figura 20: Carta Estratigráfica integrada Pozo LV-6

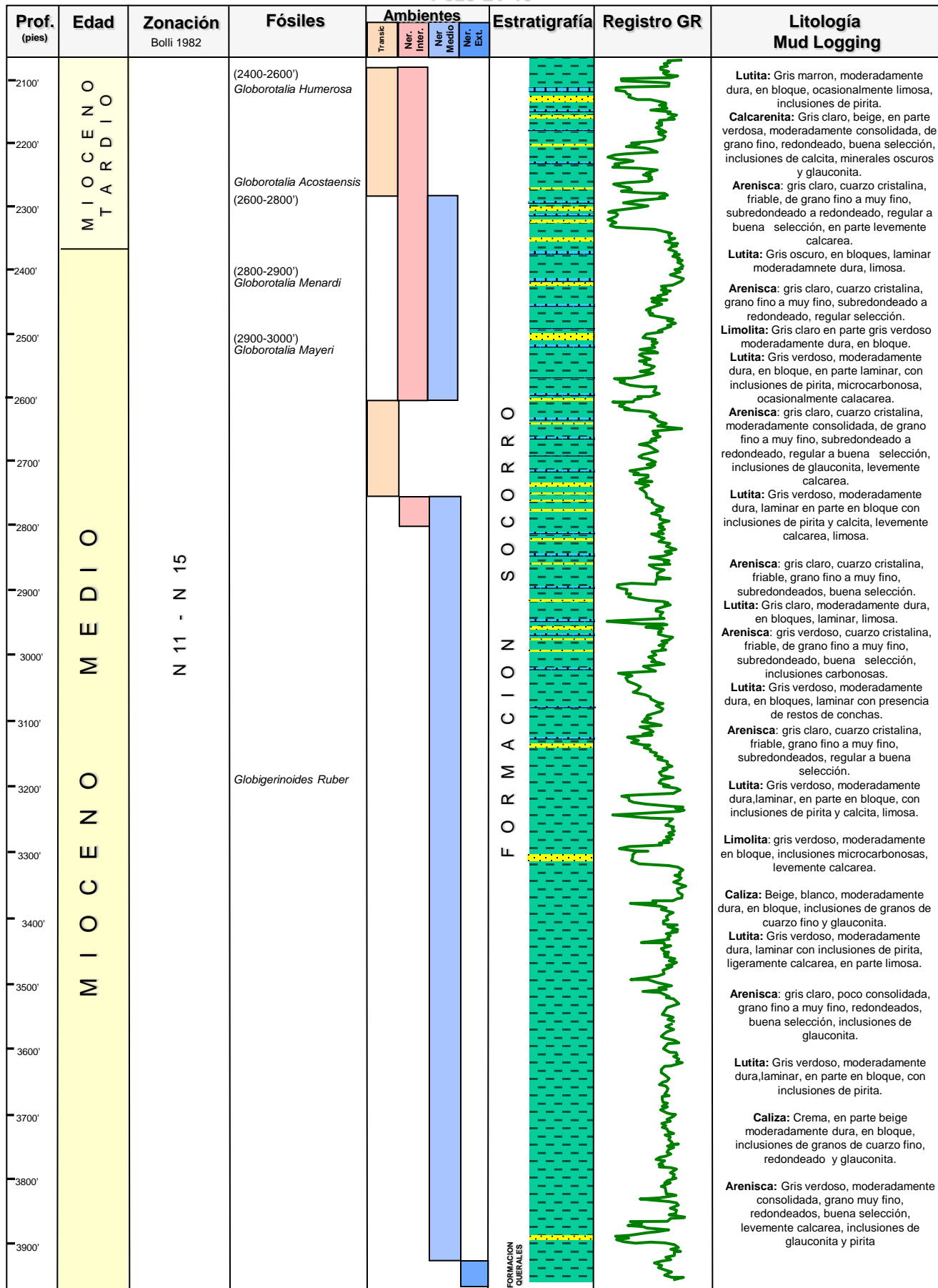


Figura 21: Carta Estratigráfica integrada Pozo LV-10 (Realizada con estudios bioestratigráficos realizados en LV-6 y LV-12)

Pozo LV-12

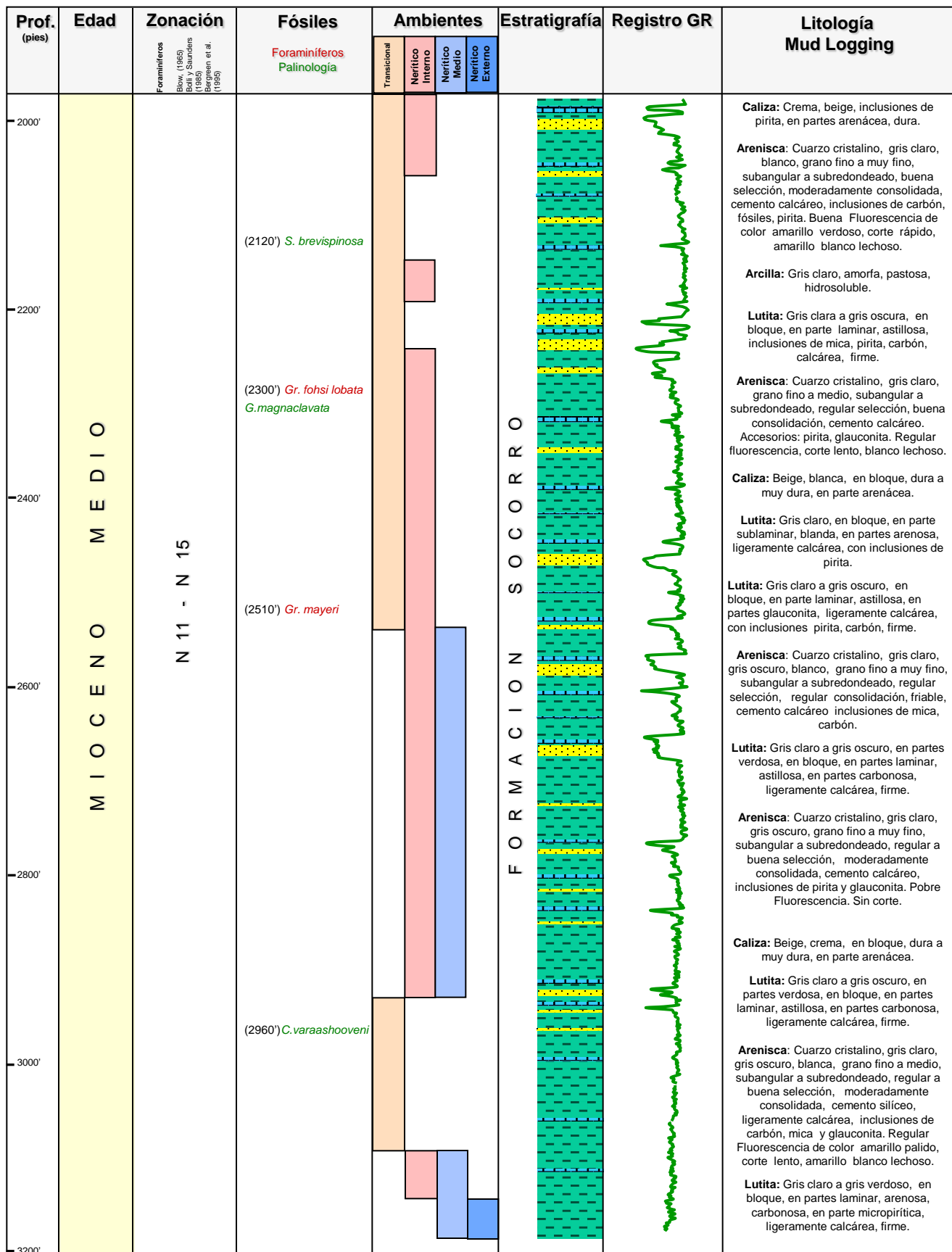


Figura 22: Carta Estratigráfica integrada Pozo LV-12

Pozo LV-16

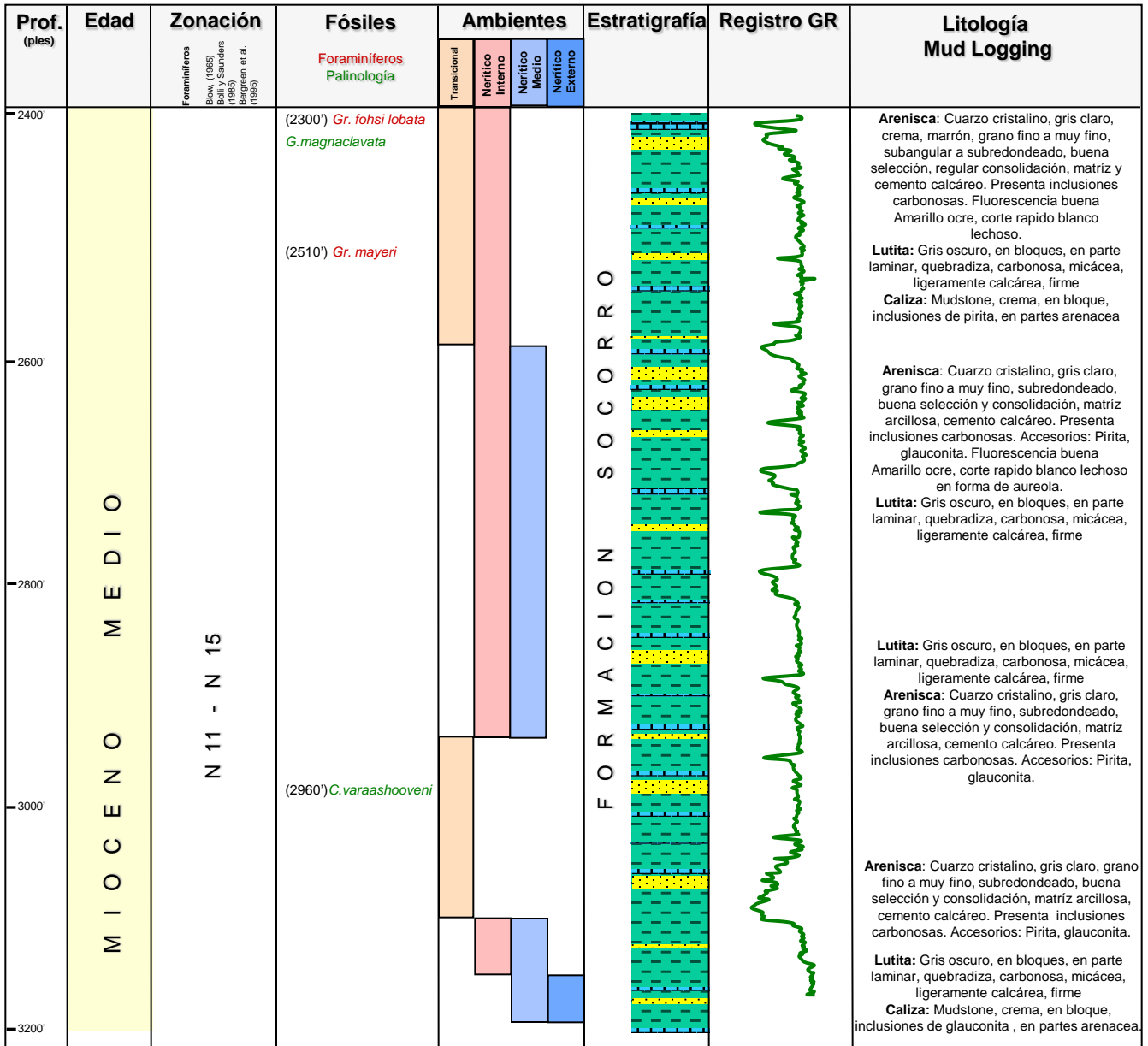


Figura 23: Carta Estratigráfica integrada Pozo LV-16
(Realizada con estudios bioestratigráficos realizados en LV-6 y LV-12)

Pozo LV-20

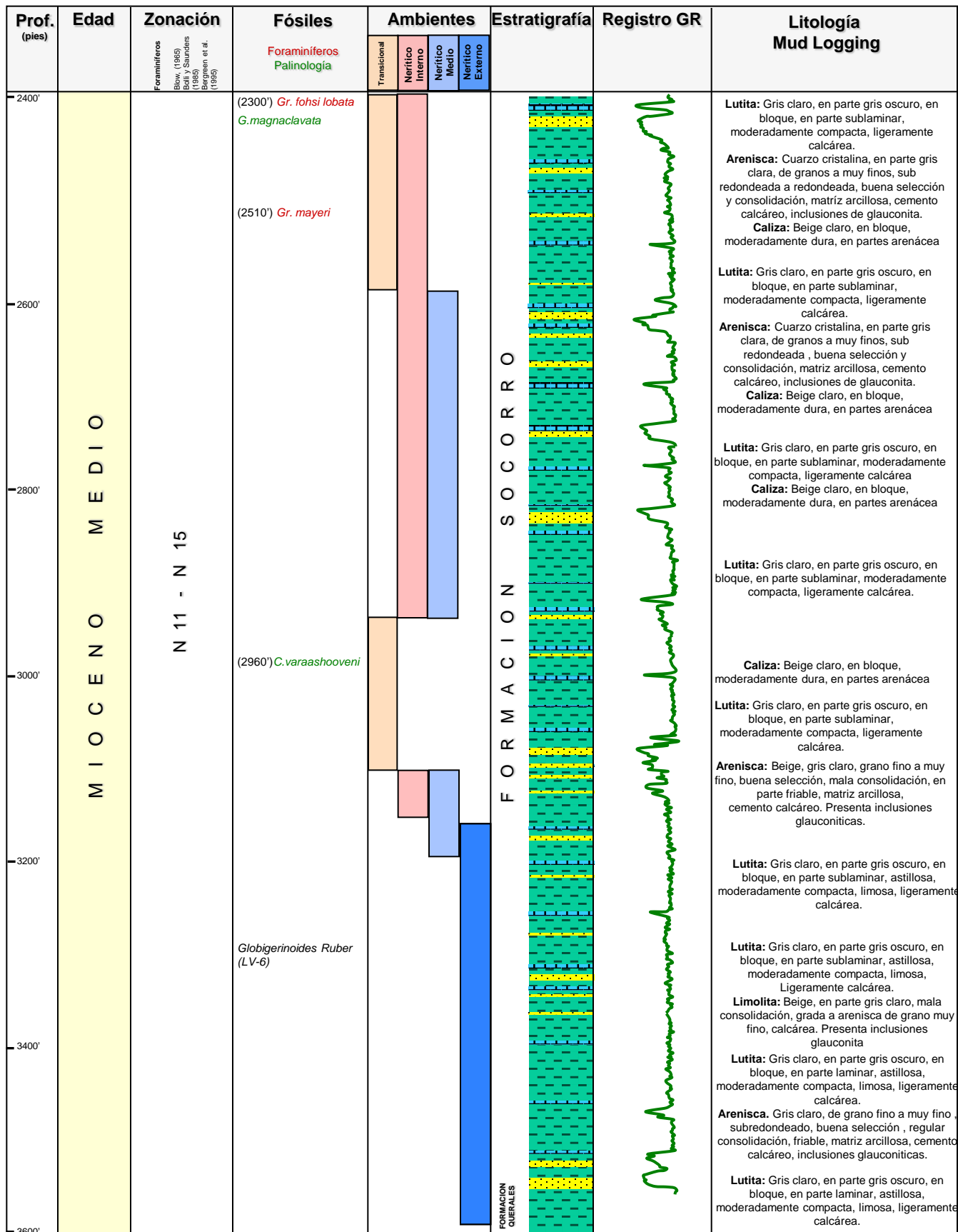


Figura 24: Carta Estratigráfica integrada Pozo LV-20 (Realizada con estudios bioestratigráficos realizados en LV-6 y LV-12)

3.2 ESTUDIO DE ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL

3.2.1 Estratigrafía Secuencial

La estratigrafía secuencial como técnica para la interpretación de datos estratigráficos fue desarrollada por la compañía Exxon, a través de su grupo de investigación encabezado por el Dr. P. Vail, discípulo del Dr. Sloss quien fue el primero en reconocer secuencias sedimentarias delimitadas por discordancias.

Una secuencia estratigráfica es definida como “una unidad estratigráfica que consiste en una sucesión relativamente conformable de estratos relacionados genéticamente, la cual está delimitada en su base y techo por discordancias o sus concordancias correlativas” (Mitchum et al., 1977). Se resaltan aspectos relativos a la identificación de secuencias en secciones sísmicas y su vinculación a cambios eustáticos del nivel del mar. En base al reconocimiento, correlación y datación de las discordancias, a los patrones de las terminaciones sísmicas y en datos de bioestratigrafía y de pozos, fue generada una curva de solapamiento costero (*coastal onlap*) para el Fanerozoico, donde se inferían los cambios eustáticos. En secciones sísmicas se reconocieron unidades limitadas por discordancias y se desarrollaron técnicas inter-regionales de correlación.

La secuencia estratigráfica es un método de interpretación estratigráfica que combina el orden cronológico de la acumulación de sedimentos, la arquitectura de los estratos y las relaciones geométricas de sus facies para determinar el arreglo depositacional y predecir la continuidad de los estratos. La estratigrafía por secuencias identifica las unidades genéticas y superficies límites que componen la sección estratigráfica a través del análisis de afloramientos, núcleos, registros de pozos y datos sísmicos. La estructura formada por las unidades genéticas y superficies son atadas a modelos depositacionales que explican el carácter cíclico de secuencias y superficies para proporcionar una terminología común para cada uno de estos modelos. Su aplicación ha renovado

el análisis estratigráfico, al incorporar los ambientes sedimentarios y facies como componentes de sistemas depositacionales y sistemas encadenados, estos últimos responsables en la arquitectura de secuencias y parasecuencias.

La unidad fundamental de la estratigrafía secuencial es la “secuencia”, introducida por Sloss et al. (1949) para designar a una unidad estratigráfica limitada por inconformidades subaéreas. Una secuencia puede ser dividida en sistemas encadenados (*system tracts*), los cuales están definidos por su posición dentro de las secuencias y por los patrones de apilamiento de parasecuencias, limitadas por superficies de inundación marinas. Los límites de las secuencias y parasecuencias proveen un marco cronológico para la correlación y el mapeo de unidades sedimentarias. Son definidas e identificadas por las relaciones físicas de los estratos, donde se incluyen la continuidad lateral y geometría de los límites de la unidad, por los patrones de apilamiento verticales y laterales y por la geometría lateral de los estratos contenidos en ellas (Vail et al., 1977; Posamentier et al., 1988; Posamentier y Vail, 1988; Weimer et al., 1993). Se forman como resultado de interacciones entre las tasas de eustacia, subsidencia y aporte de sedimentos (Van Wagoner et al., 1988, 1990). Representan ciclos completos de depositación limitados por discordancias (Emery & Myers, 1996).

Estos elementos estratigráficos pueden ser ordenados de acuerdo a su jerarquía en tiempo o duración, ya que se asume que las superficies que limitan cada unidad son líneas de tiempo y superficies con sentido cronológico y pueden ser utilizadas como una aproximación de líneas de tiempo, de tal forma que estas superficies pueden ser utilizadas para la reconstrucción de marcos cronológicos. Las secuencias, pueden ser clasificadas en términos de su orden de duración, denominados: primer orden, segundo orden, tercer orden, cuarto orden, quinto orden, etc. (tabla 4) (Goldhammer et al., 1991 en *Society for Sedimentary Geology, Sequence Stratigraphy*, 1997).

La periodicidad de estos ciclos puede variar desde cientos de millones de años a decenas de miles de años. Ciclos de primero, segundo y tercer orden indican poca periodicidad. Ciclos de cuarto y quinto orden parecen reflejar una mayor regularidad cíclica o mayor frecuencia.

La duración de los ciclos primer orden supera los 50 M.a., son ciclos de *onlap* y *offlap* sedimentario de los supercontinentes y son controlados por la tectono-eustacia. Resultan de un ascenso general del nivel eustático asociado a la ruptura de los supercontinentes, aparición de dorsales oceánicas y desplazamiento de las aguas hacia los continentes. Están distribuidos regionalmente y relacionados a la formación de cuencas sedimentarias. Los ciclos de segundo orden tienen una duración de 3 a 50 M.a. y representan etapas particulares en la evolución de las cuencas. Resultan del agrupamiento de varios ciclos de tercer orden. Pueden ser causados por cambios en la tasa de subsidencia tectónica en la cuenca o por levantamientos en la fuente de aporte de sedimentos. Los ciclos de tercer orden o secuencias, representan la base de la estratigrafía secuencial. Tienen una duración comprendida entre 0,5 y 3 M.a. Son identificados por el reconocimiento de ciclos individuales de creación y/o destrucción del espacio de acomodación. Se considera que estos ciclos son controlados principalmente por la glacio-eustacia, aunque otros mecanismos tectónicos son posibles. Los ciclos de cuarto orden, representan ciclos de somerización de las facies sedimentarias. Su duración es de 0,08 a 0,5 M.a. Están limitados por superficies que indican abrupta profundización. Se asocian a procesos autocíclicos dentro del sistema sedimentario. Los ciclos de Quinto Orden, o ciclos de alta frecuencia, tienen una duración de 0,03 a 0,08 M.a. Son explicados como el resultado de procesos climáticos y orbitales (Goldhammer et al., 1991 en *Society for Sedimentary Geology, Sequence Stratigraphy*, 1997).

Orden de ciclo Eustático	Unidad estratigráfica secuencial	Duración (M.a)	Amplitud relativa del NM (m)	Tasa relativa de caída/elevación del NM (cm/1000 años)
I Orden	Megasecuencia	> 100		< 1
II Orden	Supersecuencia	10 – 100	50-100	1-3
III Orden	Secuencia depositacional secuencia compuesta	1-10	50-100	1-10
IV Orden	Parasecuencias Set de parasecuencias Secuencia de alta energía	0.1 – 1	1-150	40-500
V Orden	Parasecuencia ciclo de alta frecuencia	0.01-0.1	1-150	60-700

Tabla 4: Terminología, duración y jerarquía de ciclos o secuencias (Goldhammer et al., 1991 en *Society for Sedimentary Geology, Sequence Stratigraphy*, 1997)

3.2.1.1 Sistemas encadenados

Son unidades genéticamente asociadas que fueron depositadas en fases específicas del ciclo relativo del nivel del mar. Se definen sobre la base de “superficies límites” y su posición dentro de una secuencia mas el patrón de apilamiento de las parasecuencias permiten su clasificación (Van Wagoner et al., 1990). A continuación se describen tres de los sistemas encadenados que han sido definidos (figura 25).

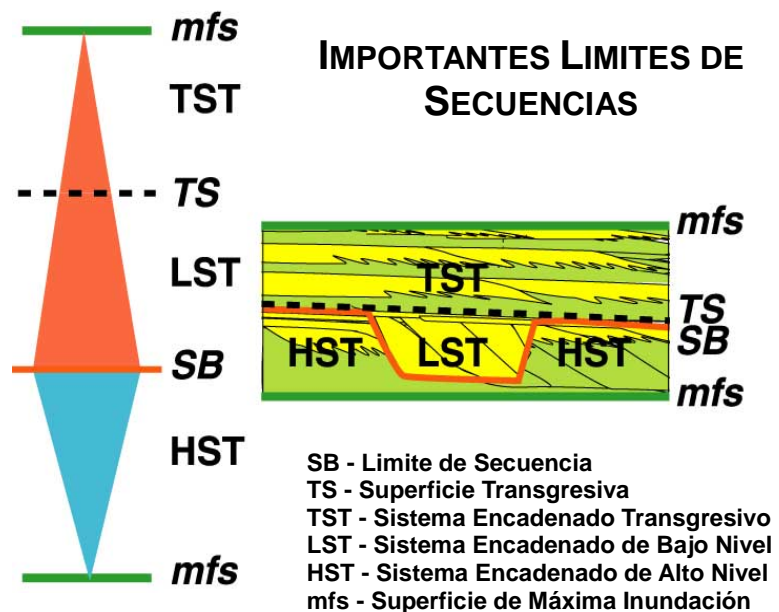
Sistemas encadenados de bajo nivel (*Lowstand System Tract – LST*): Conjunto de depositaciones que se suceden a raíz de un descenso relativo del nivel del mar con la consecuente migración progradante de la línea de costa. Sobre este sistema se encuentra una superficie transgresiva originada por el acuñaamiento

en los topes de sedimentos de plataforma. Los sedimentos de estos sistemas frecuentemente llenan total o parcialmente valles incisos que tuvieron origen en sistemas de alto nivel (HST) y otros depósitos recientes.

Sistemas encadenados Transgresivos (*Transgressive System Tract* – TST): Comprende depósitos que se acumularon desde el comienzo de la trasgresión de la línea de costa hasta el momento de máxima trasgresión, previo a la nueva regresión del sistema encadenado de alto nivel (HST). El TST yace directamente en la superficie transgresiva (TS) que se formó cuando los sedimentos se acuñaron por encima del sistema de bajo nivel infrayacente, y se encuentra por debajo de la superficie de máxima inundación (mfs). Cuando el aporte de sedimentos es alto las parasecuencias son agradantes.

Sistemas encadenados de alto nivel (*High System Tract* – HST): Son los depósitos progradantes que se forman cuando la tasa de aporte de sedimentos excede la tasa de formación del espacio de acomodación. Constituye el sistema encadenado superior de una secuencia estratigráfica, y se encuentra directamente sobre la superficie de máxima inundación. Por encima de este sistema se encuentra un límite de secuencia.

Figura 25: Superficies límites importantes en estratigrafía secuencial. Modificado de Christopher G. St. C. Kendall, University of South Caroline, 2003.



3.2.1.2 Parasecuencias

Las parasecuencias se definen como el conjunto de estratos relativamente concordantes limitados por superficies de inundación (Van Wagoner et al., 1988) y estas pueden ser de carácter agradacional, retrogradacional o progradacional (Figura 26) según la cantidad de material aportado en relación al nivel de base.

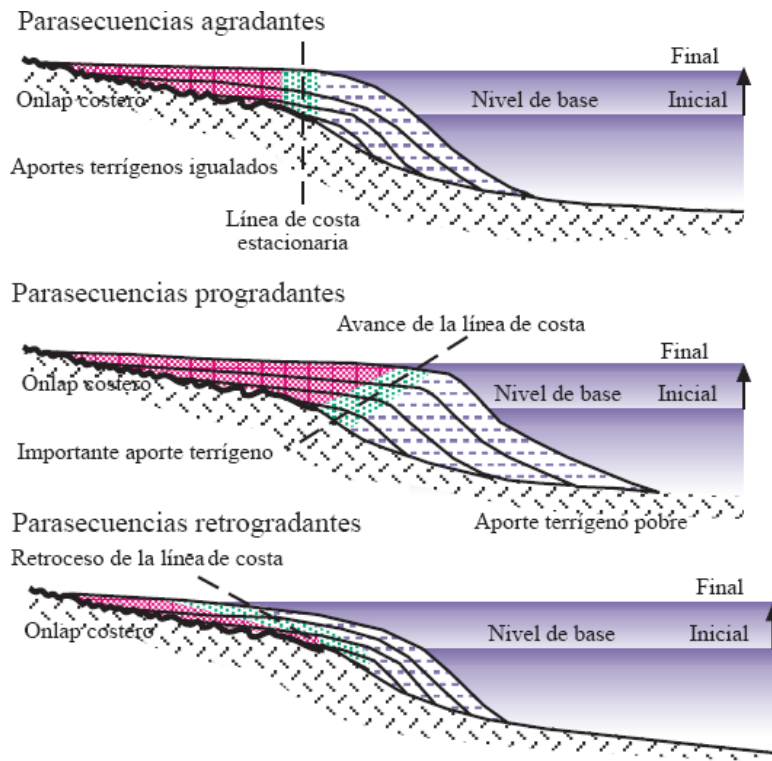


Figura 26: Parasecuencias en función de aportes terrígenos. Modificado Turu V (2002).

3.2.2 Análisis secuencial - Formación Socorro

El desarrollo del estudio estratigráfico local fue logrado mediante la interpretación, análisis e integración de registros de pozos, sísmica, y bioestratigrafía. Técnicas y procedimientos de estratigrafía secuencial fueron aplicados para delinear los patrones de apilamiento, identificar los sistemas encadenados dentro de cada secuencia.

El estudio resultante representa un sistema estratigráfico que contiene secuencias de cuarto y quinto orden.

Las parasecuencias, de quinto orden, registran la evolución estratigráfica de un ambiente marino somero. Se limitan por discontinuas superficies de inundación, muy localizadas, que favorecen la comunicación vertical entre las arenas o yacimientos y que representan ascensos en el nivel del mar.

La estratigrafía de cuarto y quinto orden en el área está controlada por variaciones locales en el espacio de acomodación, sedimentación y paleotopografía.

Pequeños ascensos del nivel del mar se reflejan en amplias invasiones continente adentro. Al contrario, pequeños descensos del nivel del mar, implican progradaciones y exposición subaérea. Mínimas fluctuaciones del nivel del mar favorecen el desarrollo de múltiples secuencias depositacionales.

El desarrollo de las secuencias se sucede principalmente durante las etapas tardías del *lowstand* y en la fase transgresiva. Los depósitos de *lowstand* se corresponden con canales erosivos cuyas incisiones son más evidentes en la sección del Mioceno Inferior.

Los sedimentos de la Formación Socorro fueron acumulados en medios alternados, tanto subacuáticos como subaéreos. Esta indica que la depositación ocurrió en ambientes sedimentarios variables que oscilaron entre barras litorales, plataformas continentales, playas y anteplayas.

De acuerdo al patrón de apilamientos dado por los perfiles de pozos consideramos que la Formación Socorro es una secuencia progradante que se dividió en 8 parasecuencias, en el caso del pozo LV-6, que a su vez están compuestas por una serie alternante de secuencias progradantes y

retrogradantes separadas por superficies de inundación (FS) (Figura 27). Se realizó el análisis secuencial para los pozos LV-12, LV-16, LV-20 y LV-6 y observó un patrón de parasecuencias similar la al observado el pozo LV-6 (figura 28), por lo que el patrón de secuencias definido presenta consistencia en el área.

El miembro Socorro Superior 1 comprende un ambiente marino somero dado por las calizas que se ubican al tope, barras litorales encontradas en Socorro Medio, constituyendo las arenas mas proliferas de la Formación y las arenas calcáreas basales que marcan la base de la Formación Socorro.

La Formación Socorro puede ser considerada en completo como un complejo progradante de barras litorales, sin embargo, las arenas basales observadas en los pozos LV-6, LV-10 y LV-20 pudieran ser parte de un sistema *lowstand*. El tope de la Formación Querales, una superficie de máxima inundación marca el límite de la secuencia.

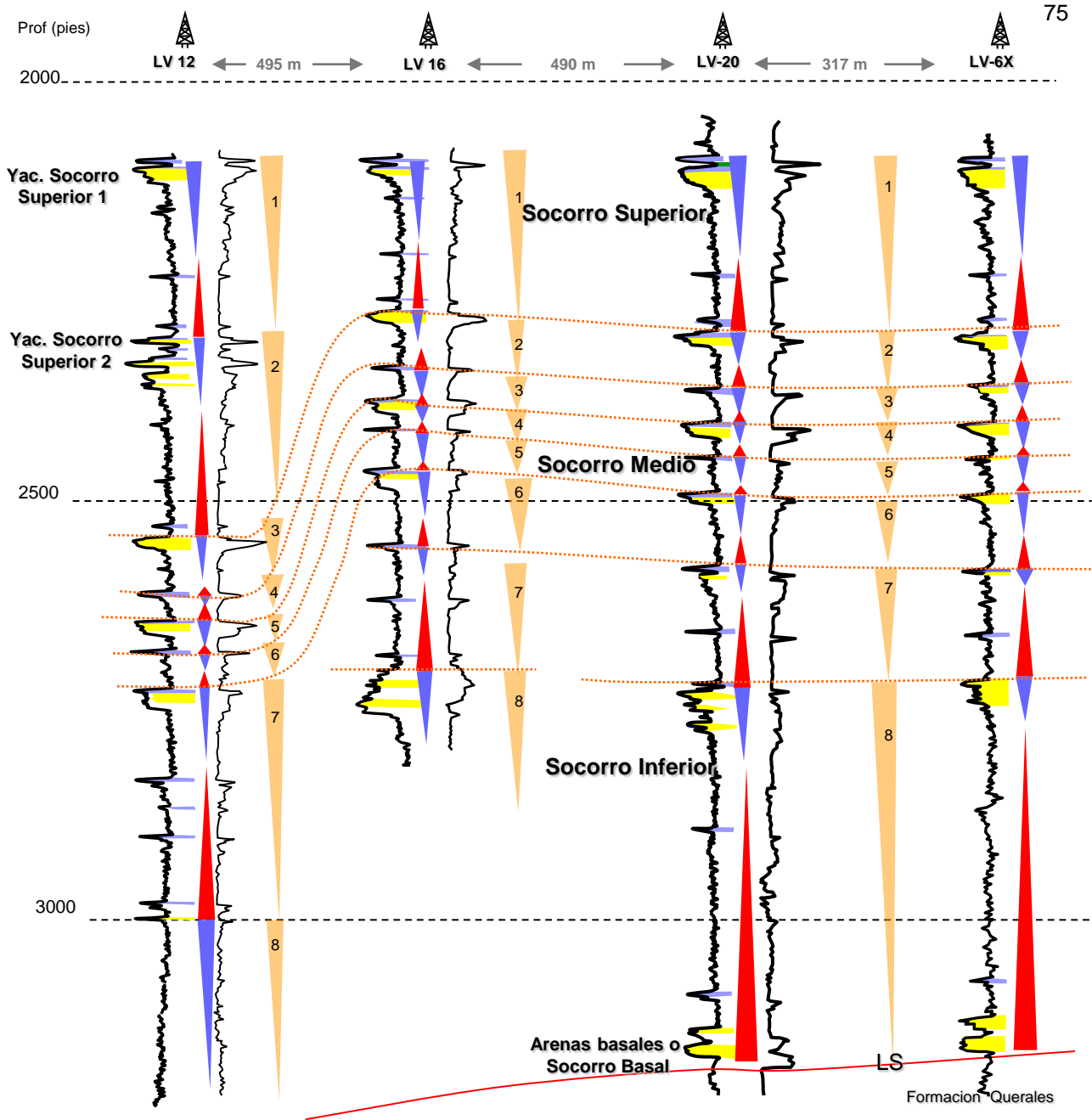
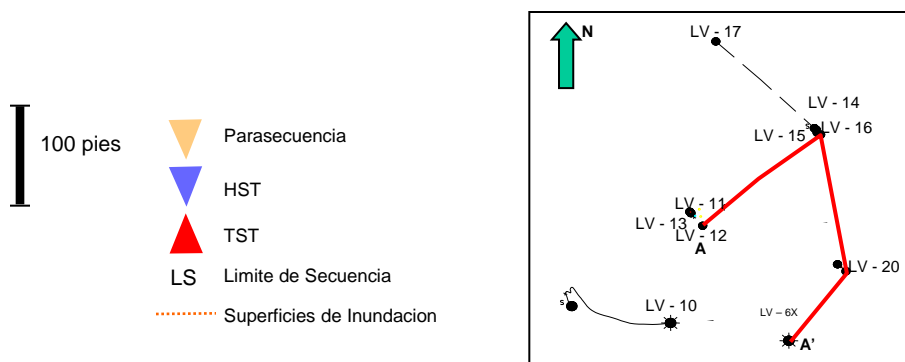


Figura 28: Análisis de parasecuencias, Formación Socorro- campo La Vela



3.2 ESTUDIO BIOESTRATIGRÁFICO

Hasta hace algunos años la bioestratigrafía del subsuelo de Falcón se basaba principalmente en cartas faunales de los pozos exploratorios perforados en los años 40, lo cuales fueron descritos en códigos particulares por cada compañía. La revisión y actualización de estos datos suministró abundante información, la cual posteriormente fue integrada a los datos bioestratigráficos de los pozos perforados recientemente. Los análisis recientes incluyen estudios de foraminíferos planctónicos, bentónicos y palinología.

En el campo La Vela se han realizado análisis bioestratigráficos en los pozos LV-6, LV-7, LV-8, LV-9 y LV-12 los cuales se describen a continuación:

Para el análisis bioestratigrafico fueron tomadas muestras cada 30 pies, dichas muestras fueron originadas de recortes o esquirlas correspondientes a la roca triturada por la barrena en el proceso de perforación, recortes que fueron eliminados a través del lodo de perforación.

El estudio bioestratigráfico del pozo LV-6 realizado por Corpoven, S.A. en 1984, comprendió el estudio micropaleontológico de 210 muestras de canal del intervalo 100' a 11010' y 10 muestras de núcleos convencionales del intervalo 7493'-7515'. Análisis palinológico de 8 muestras de núcleo convencional del intervalo 7493'-7515'. Análisis de nanoplacton calcáreo de 4 muestras de núcleo convencional del intervalo 7493'-7515'.

La determinación de edad se basó en la zonación de foraminíferos planctónicos de Stanforth et al. (1975) y Corpoven S.A (1984). La interpretación de ambientes depende de la presencia y abundancia de la microfauna en general (foraminíferos, ostrácodos, moluscos, etc.) así como de la relación entre foraminíferos planctónicos y bentónicos.

Edad

a) Análisis micropaleontológico

La presencia de *Globoquadrina altispira*, *Globorotalia miocénica*, *Globigerina nepenthes*; *Sphaeroidinellopsis seminulina* indica una edad Plioceno Temprano a Medio para el intervalo 100'-2400' (zona *Globorotalia margaritae* de Stainforth et al, 1975). De acuerdo a la zonación de Bolli es probable que la secuencia 100'-1200' pertenezca a la zona *Globorotalia miocénica* y de 1200' – 2400' a la zona *Globotalia margaritae*.

A 2400' aparece la *Globorotalia acostaensis* (enrollada siniestralmente) sugiriendo una edad Mioceno Tardío (zonas *Globorotalia acostaensis* a *Globorotalia humerosa* de Bolli o zona *Globorotalia acostaensis* de Stainforth et al.) hasta aproximadamente 3000'.

A 3000' se observa *Globorotalia continua*, *Globigerinoides ruber* y *Globorotalia mayeri* que se hacen más abundantes a medida que aumenta la profundidad. A 4420' y 5090' se encuentran por primera vez *Globorotalia fohsi* y *G. peripheroronda*, respectivamente. Por esta razón se concluye una edad Mioceno Medio para el intervalo 3000'-5010', pudiéndose asignar las diferentes zonas (de acuerdo a Bolli) a las siguientes secuencias:

3000'-4420' zona *Globigerinoides ruber*

4420'-5090' zona *Globorotalia fohsi fohsi*

5090'-5610' zona *Globorotalia fohsi peripheroronda*.

Análisis micropaleontológico

El intervalo 100'-1910' está dominado por *Zamphistegina lesssonii*, *Uvigerina isidroensis*, *Globigerinoides spp* que indica un ambiente marino, con buena circulación y profundidades que varían de 10-30 metros.

A 1910' y hasta 3000' disminuye la diversidad de la fauna, por lo que se concluye que la profundidad de las aguas también disminuye, llegando a oscilar entre 0 y 20 metros.

La secuencia 3000'-5600' está representada por abundante fauna planctónica asociada con *Hanzawaia sp*, *Bolivina imporcata*, etc., por lo que se interpreta un ambiente marino con profundidades que varían de 20 - 60 metros, siendo el intervalo más profundo el correspondiente a 4620'- 4840'.

De este informe se concluye que en el pozo LV-6 el tope del Mioceno Tardío está a aproximadamente 2400', mientras que el tope de el Mioceno Medio se ubica a 3000'.

El ambiente en general es marino, siendo los intervalos más profundos 4620'-4840'.

De las conclusiones obtenidas del estudio bioestratigráfico se resume lo siguiente:

PROFUNDIDAD (PIES)	EDAD	POSIBLE FORMACIÓN
100'-2400'	Plioceno	La Vela-Caujarao
2400'-3000'	Mioceno Tardío	Caujarao-Socorro
3000'-5610'	Mioceno Medio	Socorro-Querales-Cerro Pelado

Tabla 5: Estudio bioestratigráfico LV-6 (Corpoven, S.A., 1984)

El pozo LV-7X, se ubica a aproximadamente a 3277 m al nor-noreste del pueblo de la Vela y a unos 2,5 Km. al suroeste del pozo La Vela 1.

Micropalantología en el pozo LV-7X:

La determinación de edades está basada en la zonación de foraminíferos planctónicos de Bolli (1985) y la interpretación de ambientes depende de la ocurrencia, abundancia y diversidad de microfauna bentónica.

Edad:

a) Muestras de canal: La microfauna observada permitió dividir al pozo analizado en los siguientes intervalos:

1) 0' – 250': La fauna plactónica es muy escasa y está representada por: *Globigerinoides inmaturus*; *Orbulina universa*; *Globigerina bulloides*; *Globigerina sp*; *Globigerinoides trilobus*, etc.

Se concluye una posible edad Mioceno Tardío – Plioceno Temprano (zonas de *Globorotalia humerosa* a *G. margaritae*) y con alta probabilidad de restringirse al Mioceno Tardío (zona de *Globorotalia humerosa*).

2) 250'-2000' : La microfauna plantónica es muy abundante en este intervalo y entre las principales especies observadas se pueden mencionar: *Orbulina universa*, *Orbulina suturalis*, *Globigerinoides inmaturus*, *G. trilobus*, *G. obliquus*, *G. obliquus extremus*, *Globorotalia acostaensis (sinistral)* ; *Globoquadrina altispira*; *Globigerina nepenthes*; *Sphaeroidinellopsis multiloba*; *S. disjuncta*; *Globigerina venezuelana*; *Globorotalia menardii "A"*; *Globigerinoides sacculiferus*; *Globorotalia cf*; *G. obesa*, *Globigerina praebulloides*, etc.

3) 2000' – 3500': La aparición de *Globigerinoides ruber*; *Globorotalia siakensis*; *G. continua*; *G. mayeri*; *Globigerinoides subquadratus*, etc., unido a la presencia de una gran cantidad de las especies mencionadas en el intervalo anterior indica una edad Mioceno Medio pertenecientes a las zonas *Globigerinoides ruber* - *Globorotalia mayeri*. En general la micro fauna disminuye en abundancia.

4) 3500' – 4330': A esta secuencia se le asigna una edad Mioceno Medio (zonas de *Globorotalia fohsi fohsi* a *Globorotalia fohsi robusta*) debido a la aparición de *Globorotalia fohsi fohsi*; y a la abundancia de *Orbulina universa*; *Globigerinoides ruber*; *G. trilobus*; *G. obliquus*;

Globorotalia continua; *G. siakensis*; *G. scitula*; *G. obesa*; *Globigerina nepenthes*; *Sphaeroidinellopsis multiloba*; *Globoquadrina altispira*; *Orbulina bilobata*; *O. suturalis*, etc.

Del análisis realizado se concluyó:

PROFUNDIDAD (PIES)	EDAD	ZONA	POSIBLE FORMACIÓN
0-250	Plioceno Tardío- Mioceno Temprano	<i>Globorotalia humerosa</i> a <i>G. margaritae</i>	La Vela
250-2000	Mioceno Tardío	<i>Globorotalia acostaensis</i> Glob, <i>ruber-Globorotalia mayeri</i> .	La Vela-Caujarao
2000-3500	Mioceno Medio	<i>Globorotalia fohsi</i> <i>fohsi</i> a <i>Globorotalia fohsi robusta</i>	Caujarao-Socorro
3500-4330	Mioceno Medio		Socorro-Querales

Tabla 6: Estudio bioestratigráfico LV-7X (Corpoven, S.A., 1984)

En el pozo LV-8, de acuerdo a los análisis recientes de Hunter (2004), la sección que infrayace al corrimiento de Guadalupe entre 3550 y 4400 pies está compuesta por arcillas que incluyen los marcadores foraminíferos *Globorotalia margaritae*, *Neogloboquadrin deutertei* y *Globorotalia acostaensis*, los cuales indican una edad Plioceno. A partir de 4400 pies hay un contenido faunal indicativo de edad Mioceno Tardío, zonas N15 y N16 de Blow (1969). Por lo tanto, el límite de secuencias de 5,5 Ma que marca el contacto entre las formaciones La Vela y Caujarao se interpreta a esta profundidad. A 5790 pies se interpreta un corrimiento frontal por debajo del cual se repite nuevamente una parte de la Formación Caujarao y las formaciones Socorro y Querales.

En el pozo LV-9 la definición clara de la sección de Socorro-Querales permitió la identificación segura del contacto de las formaciones Caujarao y Socorro, y de Querales y Cerro Pelado.

PROFUNDIDAD (PIES)	EDAD	ZONA	POSIBLE FORMACIÓN
1325-1670	Mioceno Medio	Zona <i>Globorotalia fohsi robusta</i> Zona <i>Globorotalia fohsi lobata</i>	Socorro- Querales. Ambiente depositacional: Marino nerítico exterior
1720-2050	Mioceno Medio	Zona <i>Globorotalia fohsi peripheroacuta</i>	
2100-2700	Mioceno Temprano-Medio	2100-2700 Zona <i>Globorotalia fohsi peripheroronda</i> Zona <i>Porticulosphaera glomerosa</i>	

Tabla 7: Estudio bioestratigráfico Pozo LV-9 (Vinccler Oil and Gas, 2005)

El análisis bioestratigráfico en el pozo LV-12 (Vinccler, 2007) específicamente en el intervalo 1580' – 3167' que corresponde a la Formación Socorro (tope a 1982', espesor de 962' en LV-12), permitió definir a la Formación de edad Mioceno medio, zona N11 – N15. Fue definido por la presencia de los foraminíferos planctónicos *Globigerinoides mitra*, *Globorotalia continua*, *Gr. fohsi lobata*, *Gr. mayeri* y los palinomorfos *G. magnaclava*, *C. vanraashoveni*, *L. catanejensis* y *Selenopemphix brevispinosus*.

A continuación se describe la microfauna observada en el pozo LV-12, a la profundidad de 1670' a 3167' lo que corresponde la Formación Socorro:

Intervalo: 1670' – 2060'

Paleoambientes: Transicional a Nerítico interno.

Fauna compuesta principalmente por los foraminíferos *Quinqueloculina* spp., *Cibicides* spp., *Nonion incisus kernensis*, *Eponides parantillarum* y *Amphistegina angulata*. Son frecuentes *Textularia panamensis*, *Ammonia beccarii* y *Lenticulina* spp. Hacia la parte superior son comunes los dinoflagelados de los géneros *Homotryblum* y *Lejeunecysta*, y hacia la parte media a inferior aumenta los palinomorfos terrestres.

Intervalo: 2090' – 2240'

Paleombientes: Transicional.

Fauna escasa con predominio de los géneros *Lenticulina* spp., *Amphistegina angulata*, *Cibicides* spp., *Haplophragmoides* sp. y *Trochamina* sp. En general los palinomorfos terrestres predominan frente a los palinomorfos marinos. En la muestra 2150-2180 se observa un pulso transgresivo.

Intervalo: 2240' – 2870'

Paleombientes: Transicional a Nerítico medio.

Fauna compuesta principalmente por los foraminíferos *Quinqueloculina* spp., *Cibicides* spp., *Nonion incisus kernensis*, *Eponides parantillarum* y *Amphistegina angulata*. Son frecuentes *Textularia panamensis*, *Ammonia beccarii*, *Lenticulina americana* y *Lenticulina americana spinosa*. Además se observa un aumento de los palinomorfos terrestres. La profundidad es mayor hacia el intervalo 2530' - 2870' donde se observan *Bolivina* cf. *cochei*, *Bolivina marginata multicostata*, *Uvigerina isidroensis*, *Cassidulina* sp. y *Bulimina* sp. También son abundantes los dinoflagelados de los géneros *Cordosphaeridium*, *Homotryblium* y *Lejeunecysta*.

Intervalo: 2930' – 3070'

Paleombientes: Transicional.

Fauna escasa con predominio de los géneros *Lenticulina* spp., *Amphistegina angulata* y *Cibicides* spp. Presencia de palinomorfos terrestres.

Intervalo: 3090' – 3167'

Paleombientes: Transicional a Nerítico medio.

Fauna compuesta principalmente por los foraminíferos *Cibicides* spp., *Nonion incisus kernensis*, *Eponides parantillarum*, *Amphistegina angula*, *Lenticulina americana* y *Uvigerina isidroensis*. Hacia la parte inferior están presentes *Bolivina* cf. *cochei*, *Bolivina marginata multicostata* y *Bulimina* sp. indicando mayor profundidad.

3.3 ESTUDIO ESTRUCTURAL DE LA FORMACIÓN SOCORRO - CAMPO LA VELA

3.3.1 Líneas sísmicas

La interpretación sísmica realizada por Vinccler para el campo La Vela se basa en el estudio de 86 Km. de líneas sísmicas 2D, con 18 líneas sísmicas que atraviesan el campo en dirección y dirección noreste-suroeste y registros sísmicos.

Para efectos del presente estudio se utilizaron 3 líneas sísmicas. La figura 29, muestra la ubicación de las líneas sísmicas utilizadas:

- Línea 98 CORO-ESE
- Línea LVE 03
- Línea 96-6

El campo La Vela es básicamente un anticlinal alongado con eje principal suroeste-noreste (Figura 30), originado por el plegamiento de unidades terciarias sobre el corrimiento de Guadalupe y otras fallas inversas secundarias a este corrimiento, producto de la inversión tectónica de la cuenca de Falcón. El pliegue se puede catalogar como un pliegue de propagación. La interpretación de las líneas sísmicas ha permitido visualizar que esta estructura está segmentada en varias sub-estructuras, bien sea por fallas inversas secundarias paralelas al corrimiento de Guadalupe o por fallas normales pre-existentes de sentido noroeste-sureste. En la sección estructural que se presenta en las figura 31 a 35 se puede observar la relación estructural entre las unidades estratigráficas perforadas.

En la figura 32 se observa una estructura anticlinal La Vela sur en sentido ONO-ESE (donde fue perforado el pozo LV-10) causada por el sobre corrimiento de sedimentos terciarios sobre la falla de Guadalupe, la cual es un corrimiento de bajo ángulo (unos 29° entre los pozos LV-10 y LV-6X) originado por esfuerzos tectónicos compresivos que han afectado el área desde el

Mioceno Medio (Vinccler Oil and Gas, 2005). La estructura está bisectada en su cresta por una falla inversa sintética al corrimiento, la cual se denomina informalmente Falla Inversa LV6X. En la figura también se puede observar el estilo estructural netamente compresivo. La cresta del anticlinal no se puede observar con claridad debido a problemas de procesamiento sísmico producidos probablemente por lo difícil del terreno y problemas de adquisición típicos en terrenos abruptos. Las fallas normales son menores de ajuste y no representan el estilo estructural predominante de la zona que es netamente compresivo. La Formación Socorro se ubica entre los reflectores de color púrpura y azul.

En la figura 33 se puede observar el anticlinal de La Vela sur en sentido NNO-SSE (línea 98-CORO-ESE), los reflectores ubicados entre 0.5 y 0.8 segundos tienen una amplitud que sugiere una alternancia de lutitas y arenas, lo que fue encontrado en los pozos LV-10 y LV-6X. En esta línea se observa el estilo estructural compresivo, donde los estratos en la cresta del anticlinal han sido erosionados. Sin embargo, en el terreno (figura 30) se observa una unidad estratigráfica que por su dureza no ha sido erosionada y muestra la forma del anticlinal en superficie. En la imagen de satélite que se muestra en la figura 30, también se observa el paralelismo entre el anticlinal de superficie y la interpretación del subsuelo en la Formación Socorro que representa un anticlinal erosionado en su parte central.

En la línea regional LVE-03 en sentido SO-NE (figura 34) se muestra la relación del pozo LV-5 con respecto a la estructura La Vela sur. Se puede observar que el pozo LV-5 se perforó en el flanco sur occidental de la megaestructura de La Vela, por lo cual solo se encontró agua a nivel de Socorro y Caujarao, de acuerdo a los reportes de la carpeta del pozo. Es importante notar el cambio de amplitud en la cresta del anticlinal en la parte central de la sección sísmica, lo cual sugiere la existencia de gas o hidrocarburos livianos que disminuyen la velocidad sísmica y por lo tanto causan un cambio en la apariencia de los reflectores.

La falla inversa LV6X fue atravesada en el pozo LV-10 a 3150 pies, dentro de la Formación Socorro repitiendo unos 770 pies de sección (Figura 35).

3.3.2 Secciones estructurales

Se elaboraron diversas secciones estructurales y para efectos de este estudio se incluyeron las cuatro (4) secciones más significativas que cubrían el campo (figuras 35 a 39) a fin de visualizar la estructura local en el campo La Vela, para lo que se utilizaron secciones sísmicas 2D y la información de registros obtenida de los pozos existentes y recientemente perforados en el campo.

A nivel de las formaciones infrayacentes a la falla inversa, la estructura consta de dos sectores: uno al este (donde se perforó el pozo LV-6X), y uno al oeste donde se perforó el pozo LV-10 (Figura 35).

Desde el punto de vista estructural se confirma la existencia de una secuencia estratigráfica de edad terciaria la cual descansa sobre un basamento ígneo-metamórfico de edad probablemente cretácico. Esta secuencia terciaria ha sido plegada y sobrecorrida, ocasionando la repetición de secciones en la mayoría de los pozos estudiados.

El pozo LV-6 corta una falla inversa denominada Falla LV6 a 7240' y el corrimiento de Guadalupe a 9310' (figura 36). Por debajo de este corrimiento se estima que se repiten las formaciones Cerro Pelado, Agua Clara y Pedregoso, de edad Oligoceno Tardío a Mioceno Temprano.

El pozo LV-7 corta una falla inversa denominada LV7 a la profundidad de 5570'. Se estima que el corrimiento de Guadalupe corta el pozo a nivel de la base del Oligoceno ó intra-basamento.

El pozo LV-8 corta el corrimiento de Guadalupe a 3550'. Se repite una sección de la Formación La Vela y la Formación Caujarao, en la cual se logró definir los tres miembros en los cuales se divide esta formación. Se presume que el pozo

penetró parte de la Formación Socorro. Adicionalmente se logró detectar en sísmica una falla ó corrimiento frontal a 5790' que repite nuevamente las formaciones Caujarao y Socorro. No se hicieron estimaciones de los topes de las formaciones más antiguas (Querales, Cerro Pelado y Agua Clara) bajo el corrimiento frontal ya que no se dispone de perfiles de pozo en estos intervalos.

Con la perforación de los pozos LV-12 a LV-20 en el año 2007, se ha puesto de manifiesto la complejidad estructural del campo La vela, específicamente en el domo sur, donde se han observado diversas fallas como es el caso de la figura 35, donde se observa una falla inversa a 2440' que corta a Socorro Superior entre los pozos LV-12 y LV-16 y otra falla normal a 1900' entre LV-10 y LV-12 de buzamiento al noreste, omitiendo parte de la Formación Socorro. De igual manera, en la figura 38 se observan una falla a 2550' y 2650' entre los pozos LV-16, LV-20 y LV-6. En la figura 39 se observa una sección estructural pozos LV-6 – LV-10– LV-13 y LV-7 de la Formación Socorro en el campo La Vela en la cual se muestran los yacimientos Socorro Superior 1 y Socorro Superior 2 identificados en el estudio estratigráfico.

3.3.3 Mapas Estructurales

A partir de información sísmica y los pozos perforados se elaboraron mapas estructurales que se pueden observar en las figuras 40 a 45. Los mapas elaborados comprenden el tope y cada uno de los miembros informales y yacimientos identificados en la Formación Socorro:

- Mapa Estructural al tope Formación Socorro previo a la perforación de los pozos en 2007
- Mapa estructural al tope de la Formación Socorro - Domo Sur del campo La Vela
- Mapa estructural en tope del yacimiento Socorro Superior 1
- Mapa estructural en tope del yacimiento Socorro Superior 2
- Mapa estructural en tope del miembro informal Socorro Medio
- Mapa estructural en tope del miembro informal Socorro Basal (arenas basales)

La figura 40 muestra un mapa estructural al tope de la Formación Socorro con los elementos estructurales principales vistos en los pozos perforados en el domo Sur del capo La Vela durante los años 2006 y 2007, y se incluye un esquema con la interpretación de esta estructura.

Los principales sistemas de fallas que se reconocen en el campo La Vela están dados por el corrimiento de Guadalupe y la Falla LV-6, sin embargo hay un número de fallas asociadas que se observaron con los pozos perforados durante 2007.

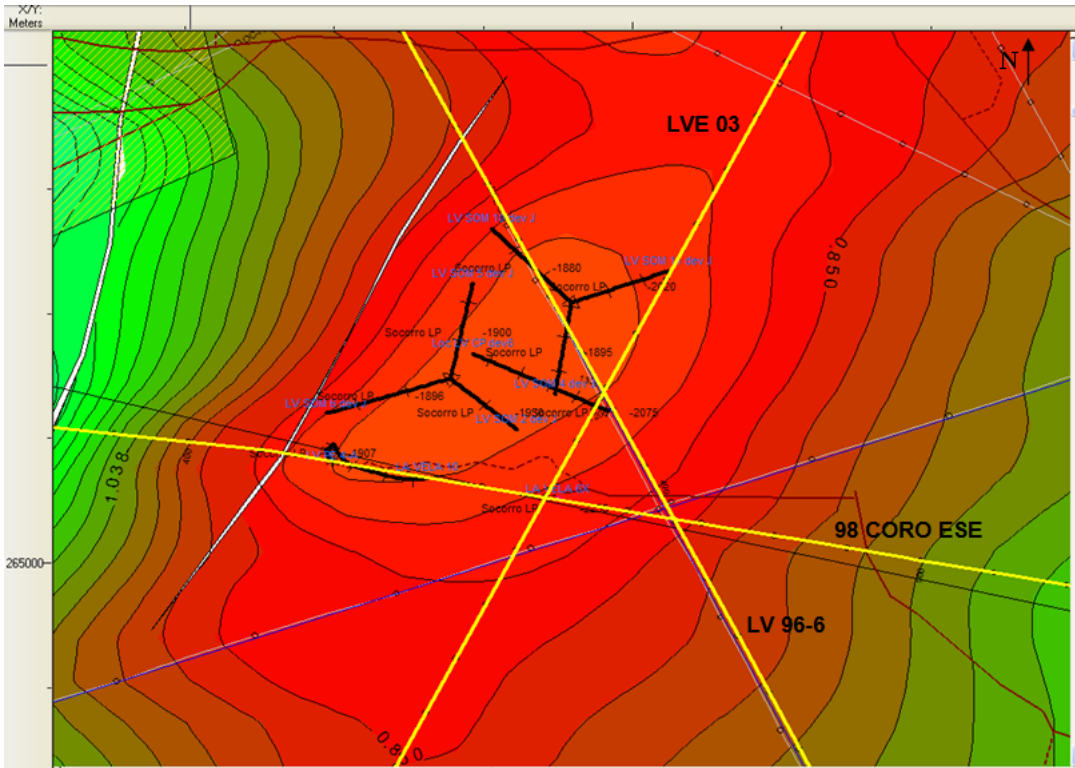


Figura 29: Ubicación de líneas sísmicas en el campo La Vela

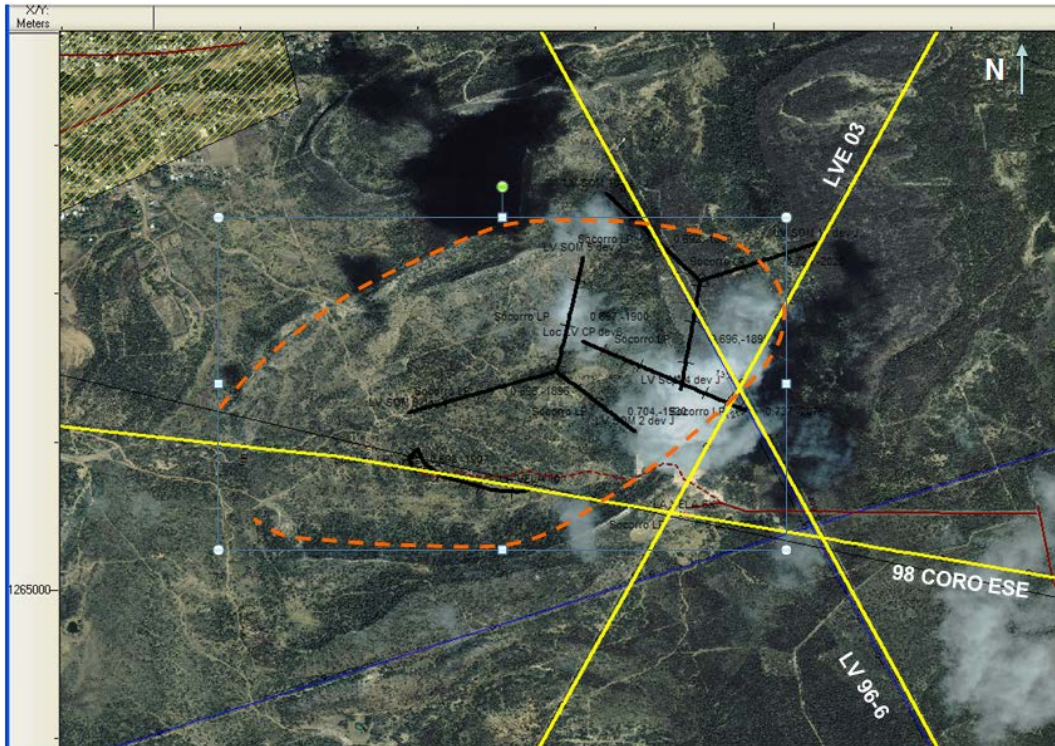


Figura 30. Imagen de satélite, campo La Vela

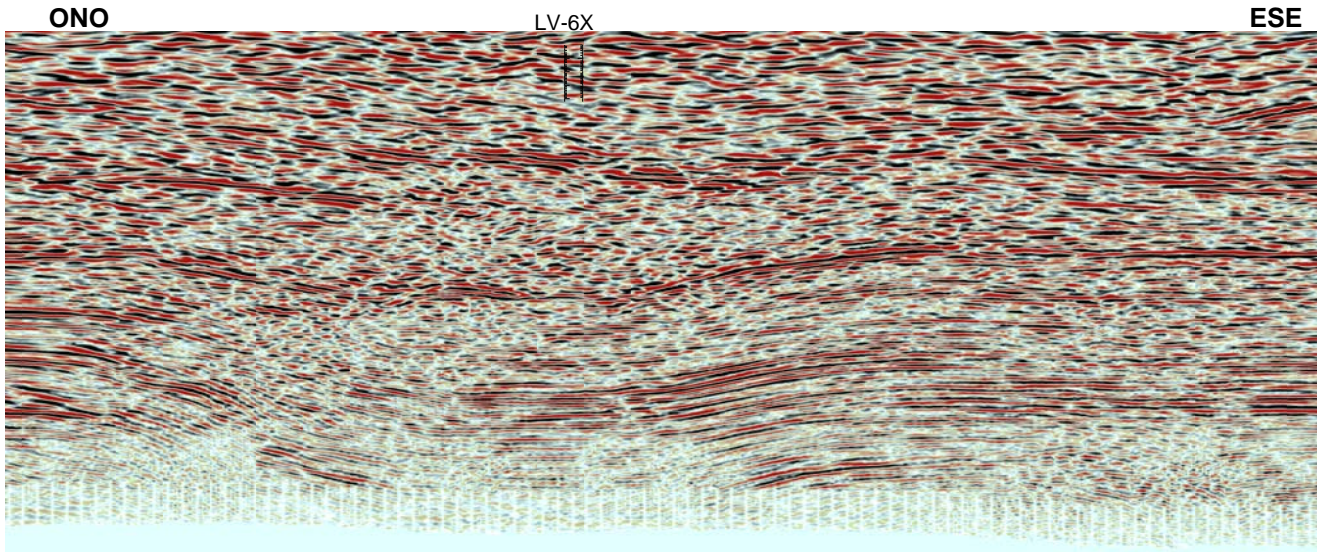
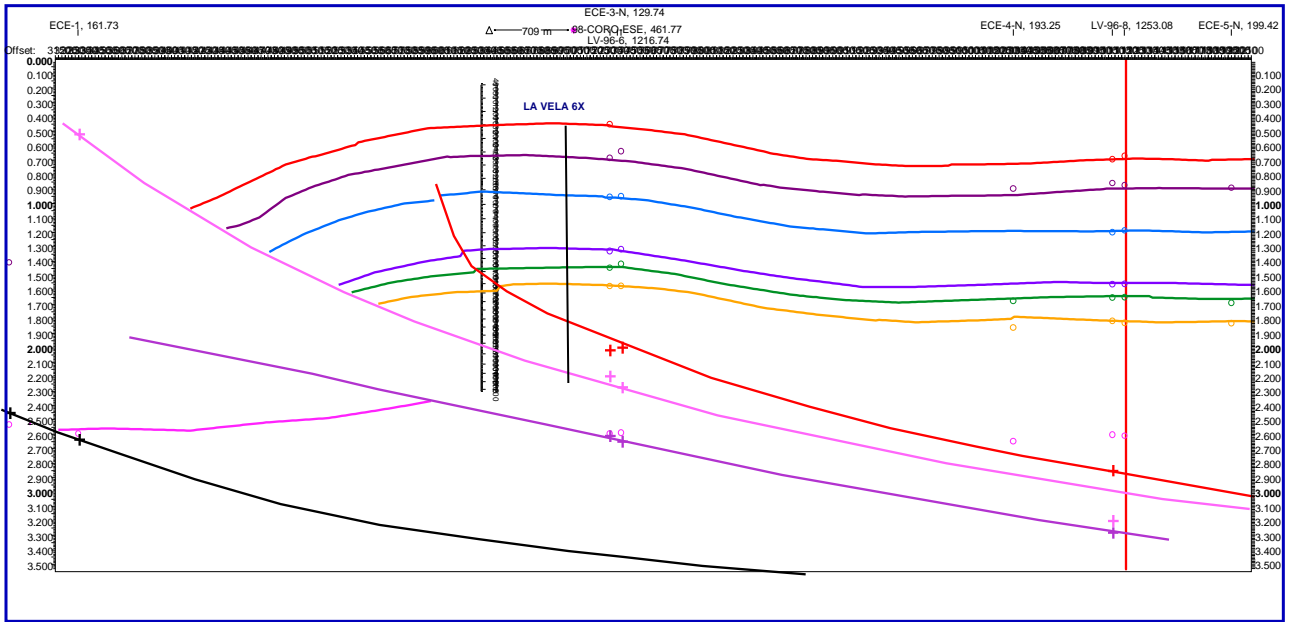


Figura 31. Línea Sísmica 98-CORO ESE (Línea interpretada y sin interpretar)

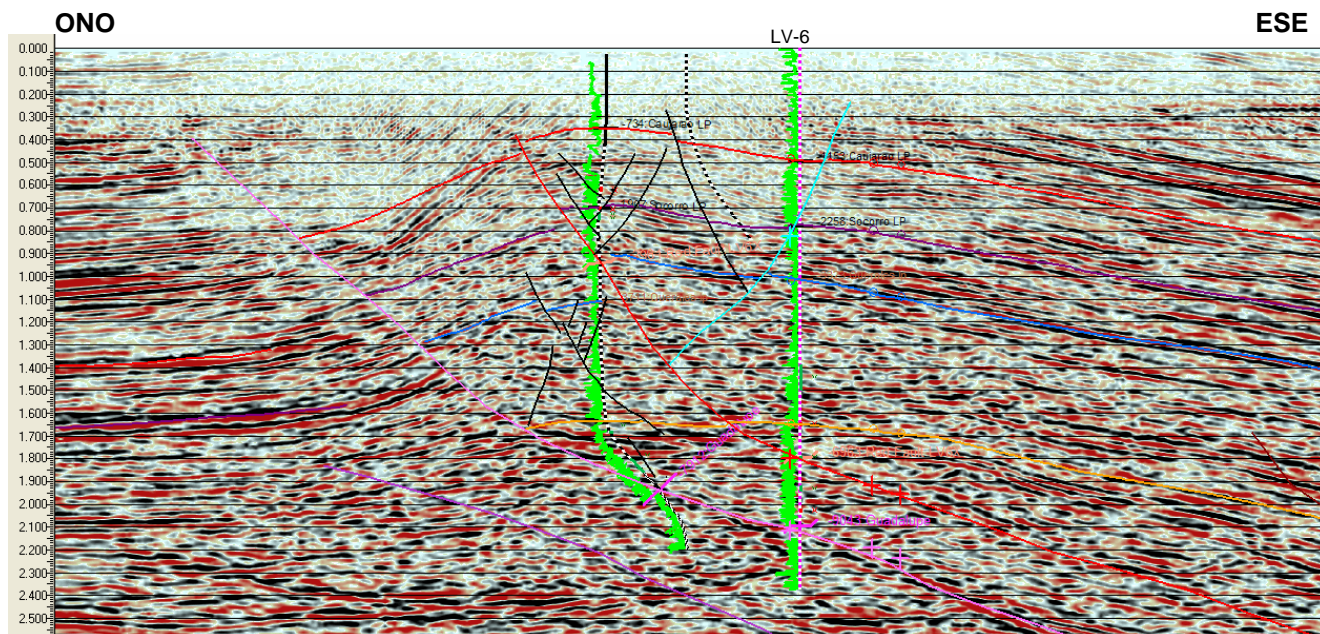


Figura 32: Línea sísmica 98-CORO-ESE mostrando la estructura del campo La Vela en el bloque estructural sur.

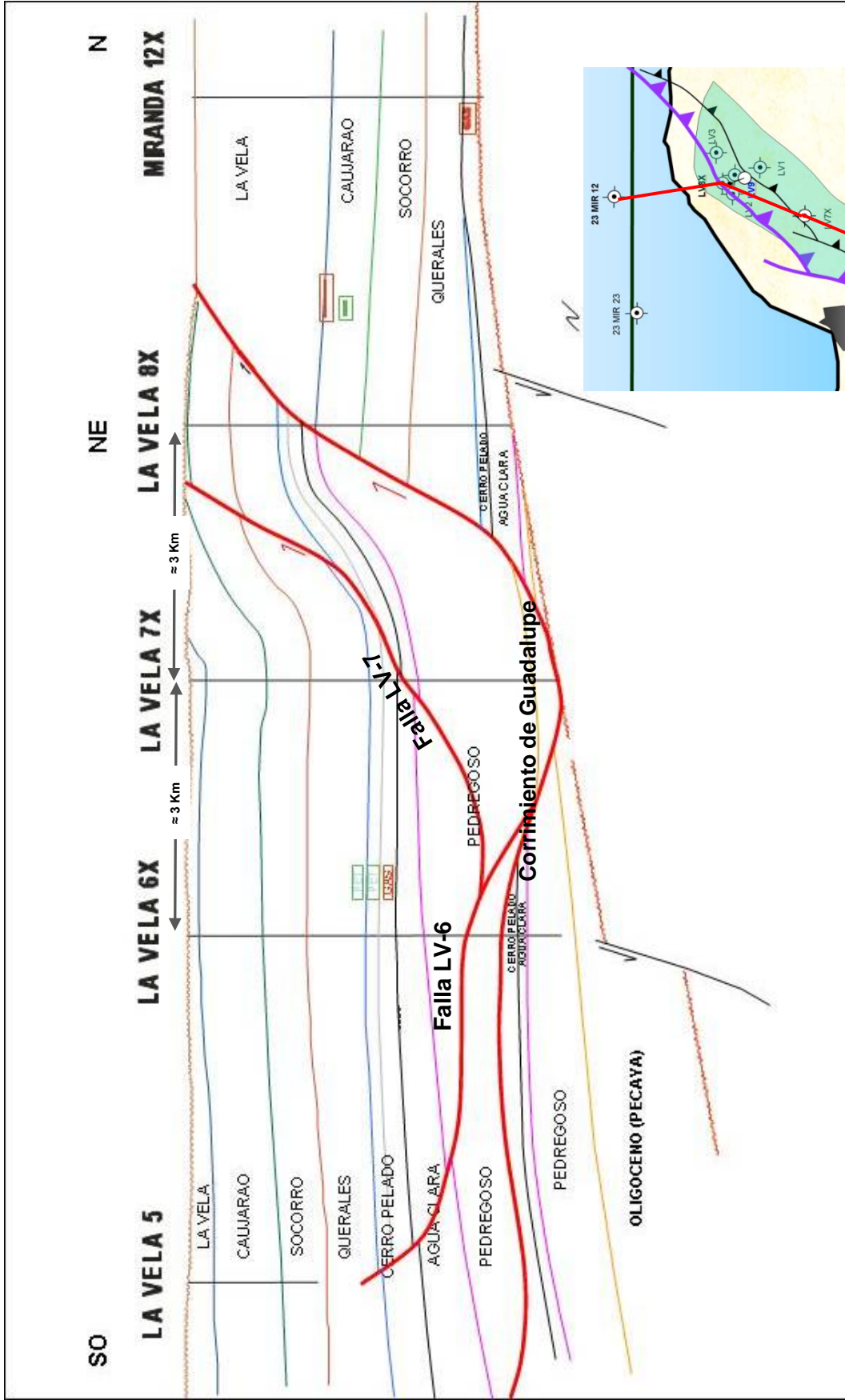


Figura 36: Sección estructural esquemática a través del campo La Vela

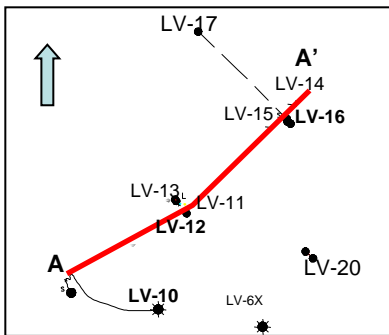
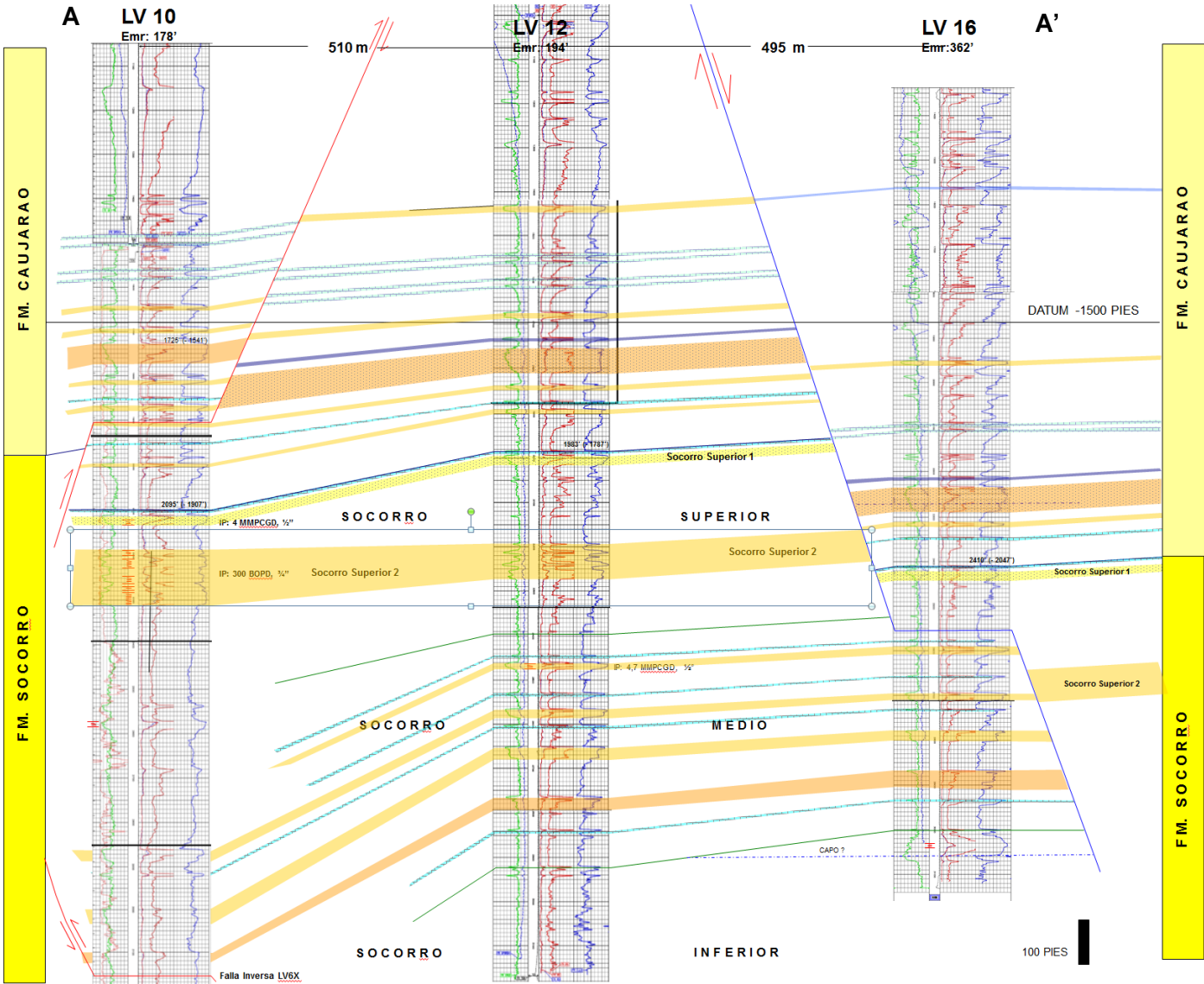


Figura 37: Sección estructural pozos LV-10 – LV-12 - LV-16 campo La Vela.

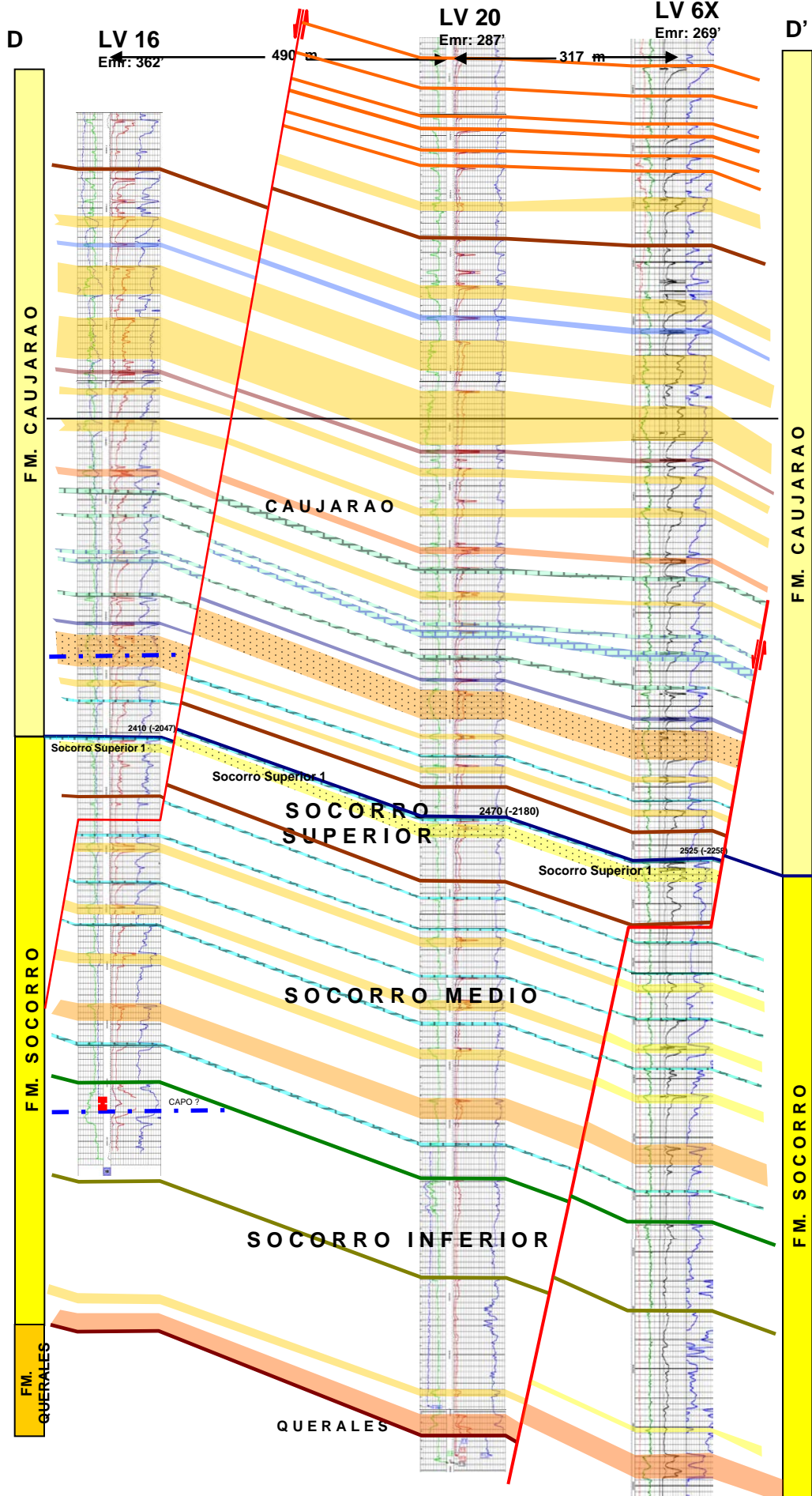
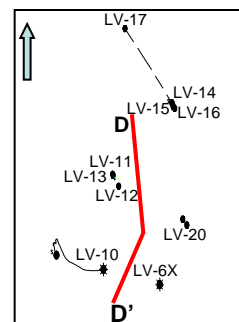


Figura 38: Sección estructural pozos LV-16 – LV-20– LV-6X campo La Vela.



100 PIES

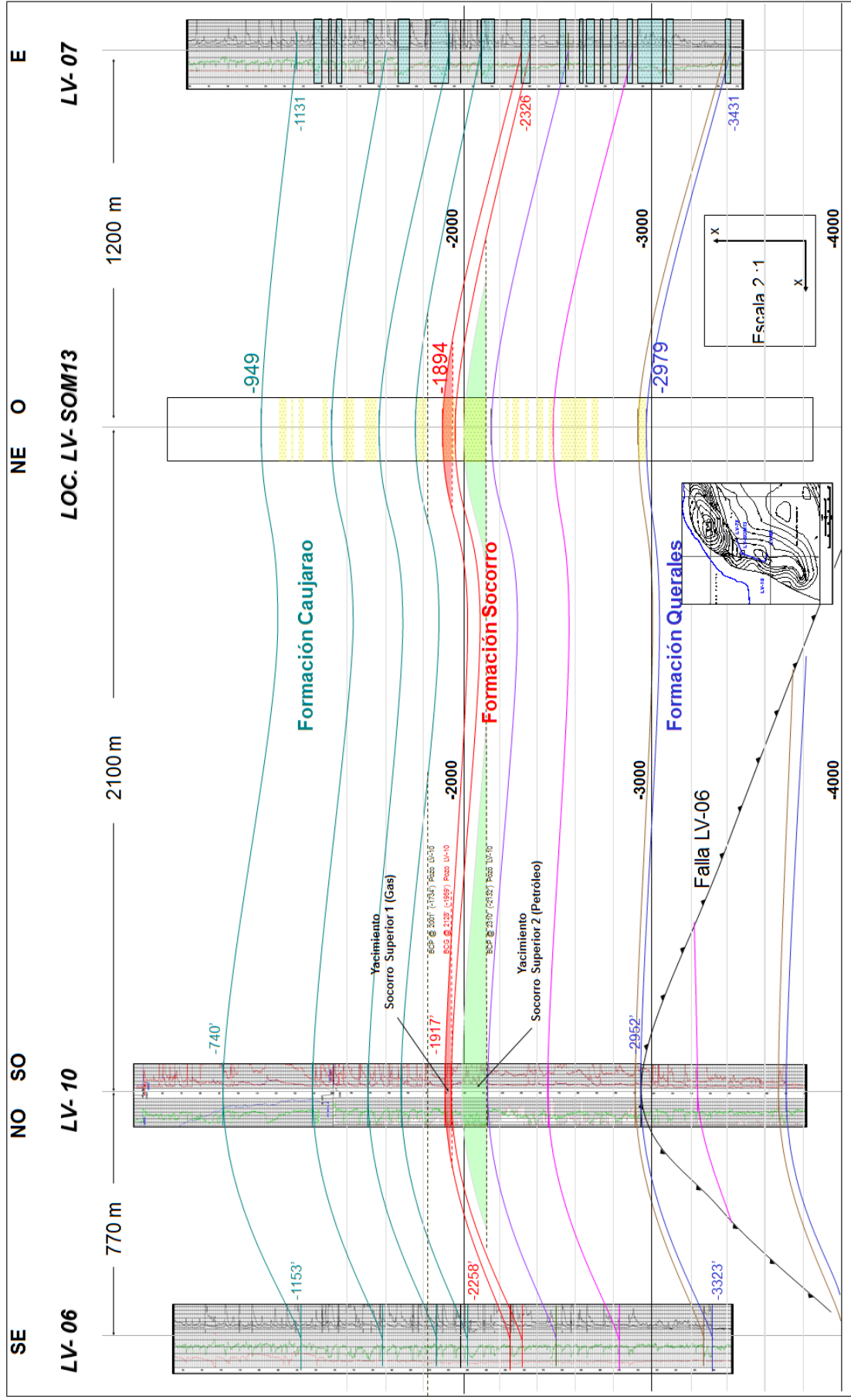


Figura 39: Sección estructural pozos LV-6 – LV-10– LV-13 y LV-7, Formación Socorro campo La Vela.

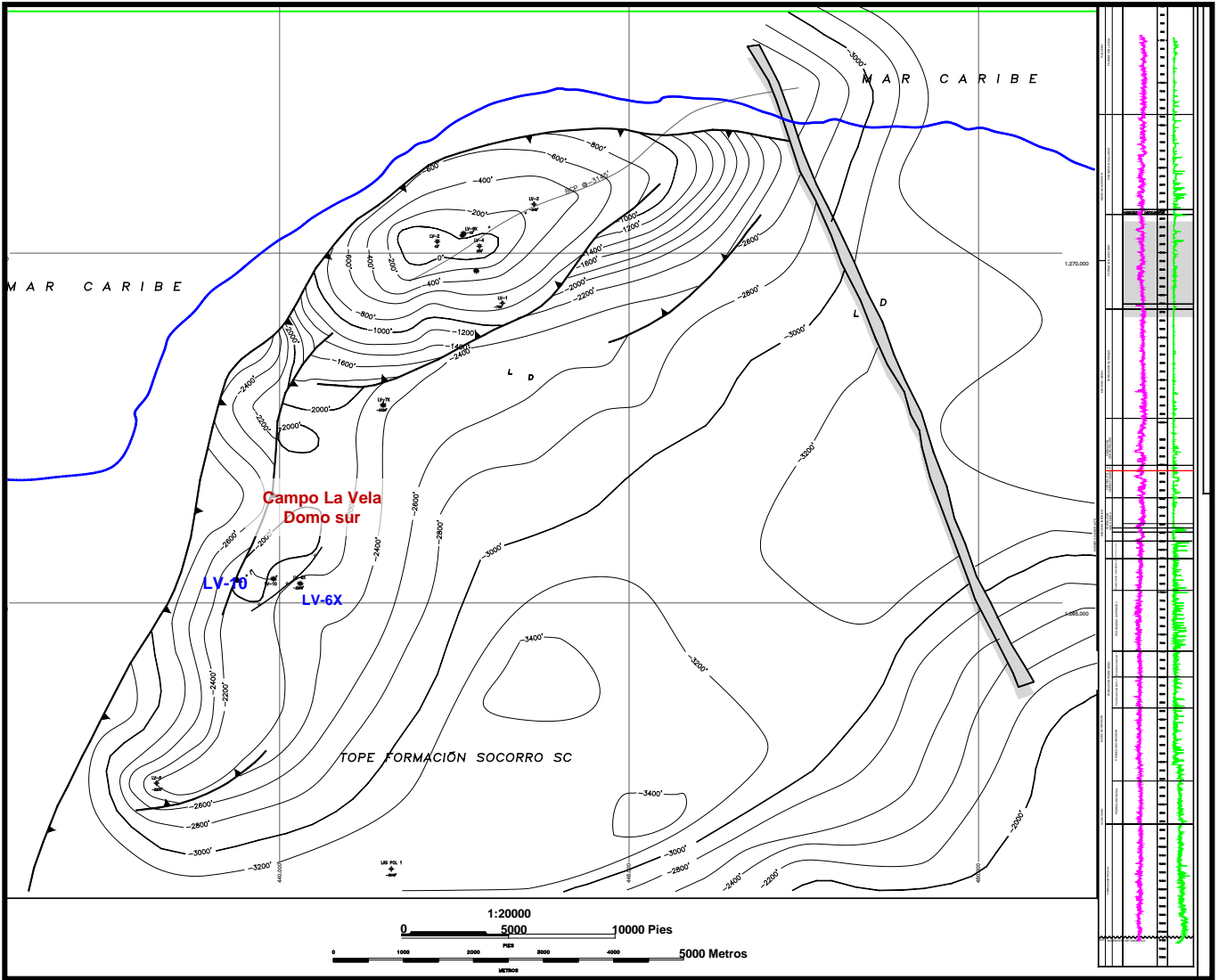


Figura 40: Mapa Estructural tope Formación Socorro (previo a la perforación de los pozos LV-12 a LV-20)

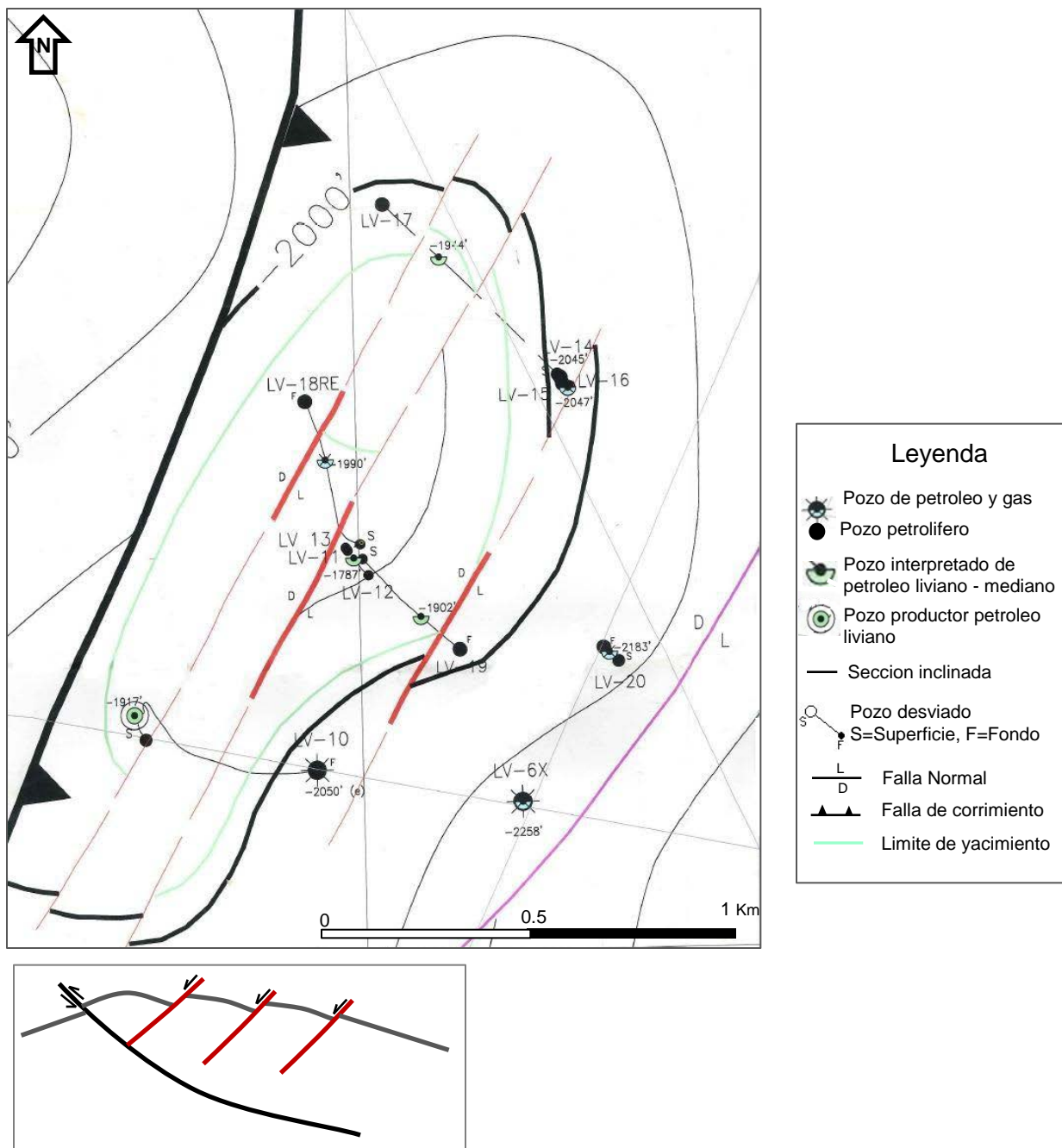


Figura 41: Mapa estructural detallado al tope de la Formación Socorro - Domo Sur del campo La Vela

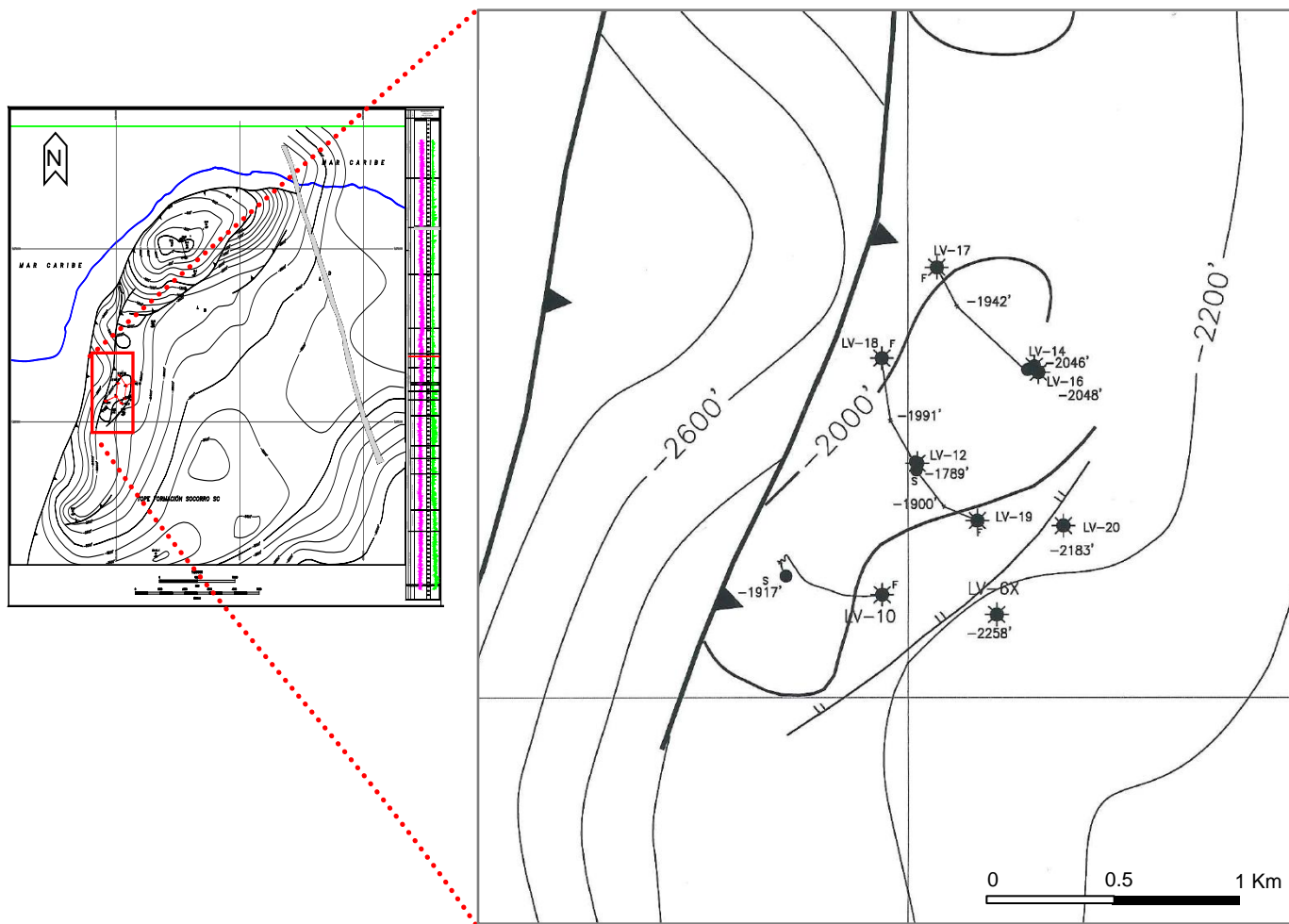


Figura 42 : Campo La Vela, mapa estructural al tope del yacimiento Socorro Superior 1

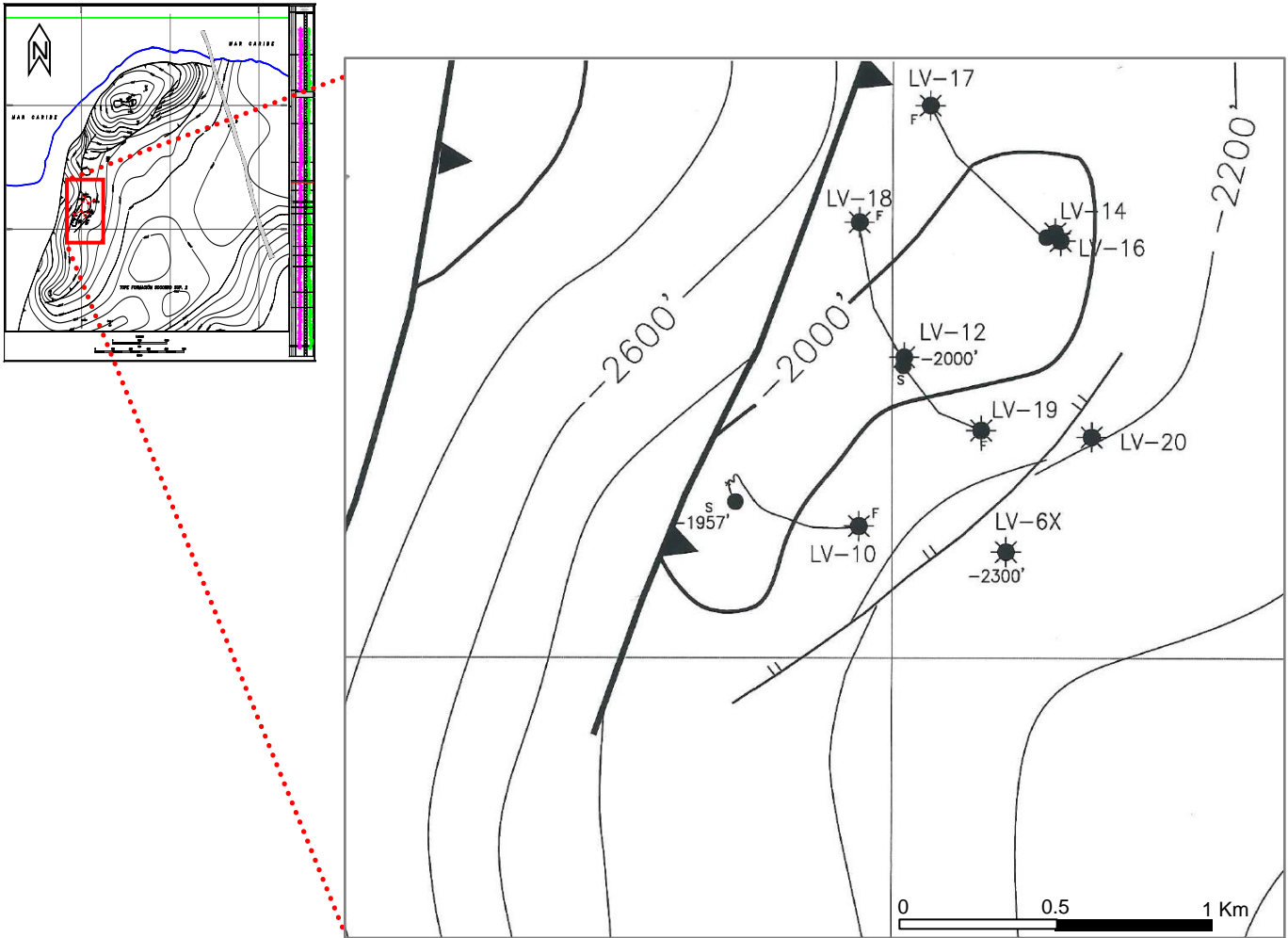


Figura 43 : Campo La Vela, mapa estructural en tope del yacimiento Socorro Superior 2

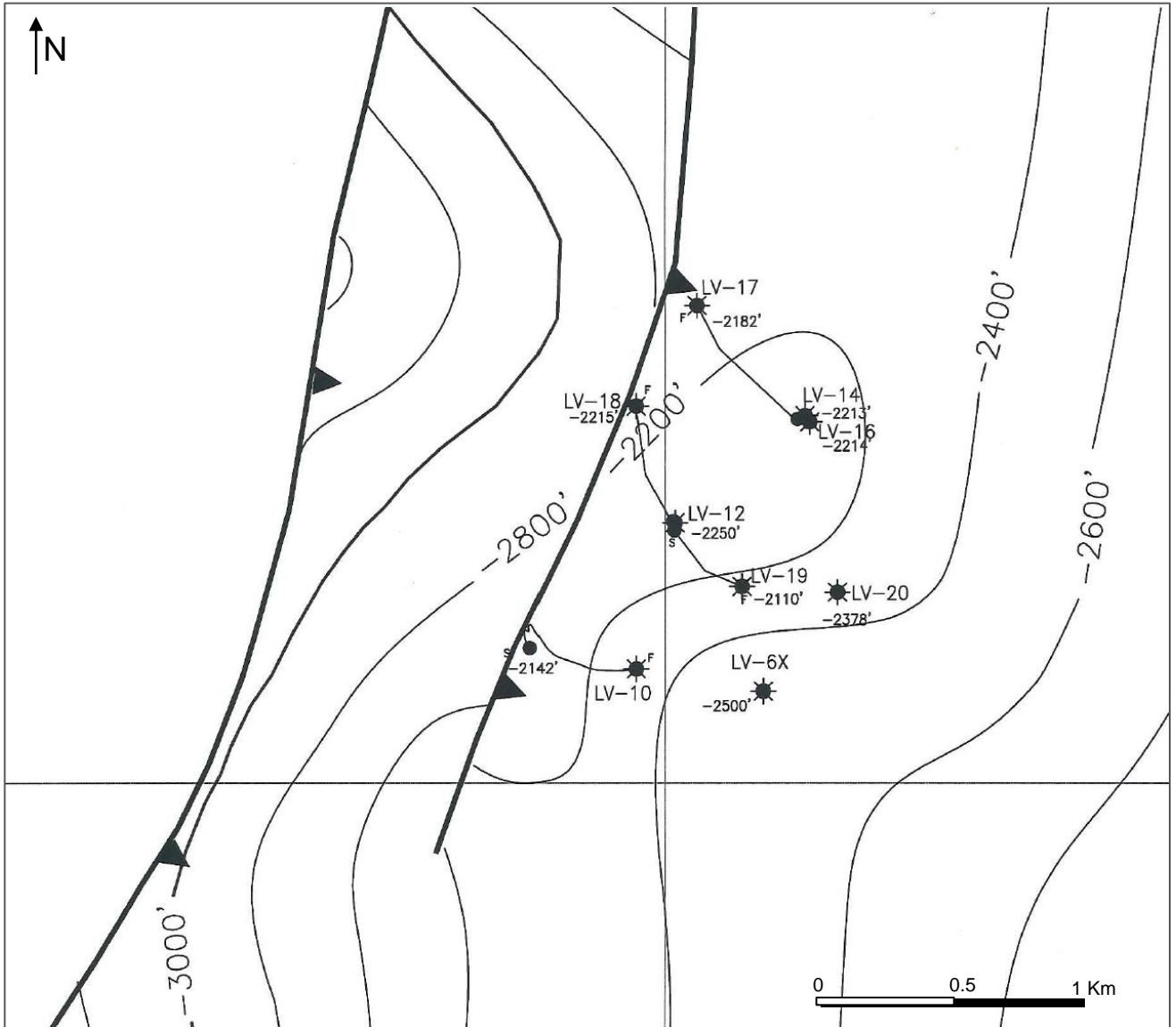


Figura 44 : Campo La Vela, mapa estructural en tope del miembro informal Socorro Medio

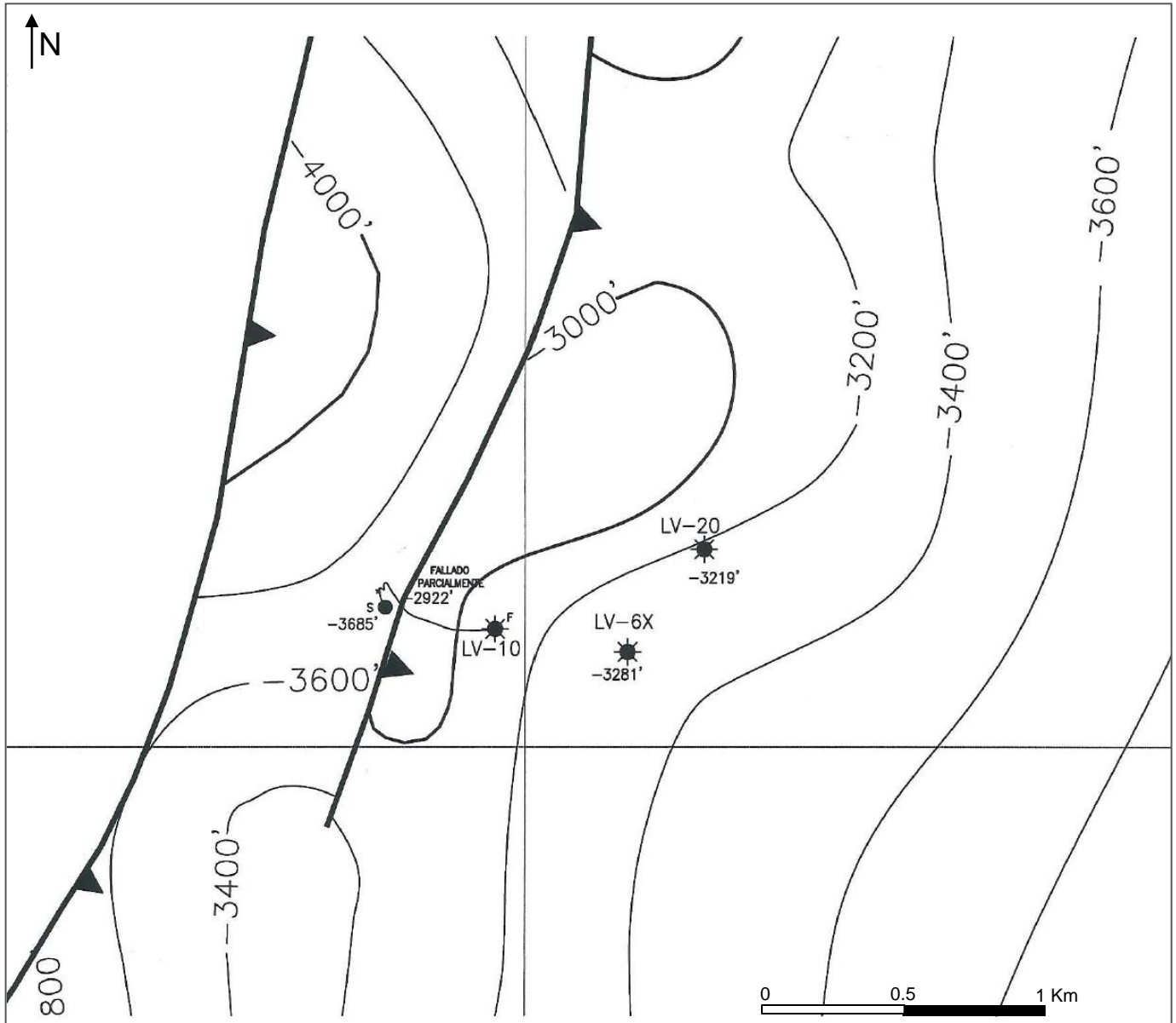


Figura 45 : Campo La Vela, mapa estructural en tope del miembro informal Socorro Basal (arenas basales)

3.4 ANÁLISIS PETROFÍSICO

La finalidad del análisis petrofísico es determinar las propiedades físicas del intervalo en estudio (Socorro), para que puedan ser utilizadas en la determinación de Arena Neta Total (ANT) y Arena Neta Petrolífera (ANP) y Arena Neta Gasífera (ANG).

Para la evaluación petrofísica en el campo La Vela se utilizaron los modelos Simandoux que permite calcular la saturación de agua en arenas arcillosas porque incluye el parámetro (Vsh); Lineal para determinar la arcillosidad (Vsh), Gaymard para determinar la porosidad efectiva (PHIE) y Timur para estimar la permeabilidad (k).

Se realizó el análisis petrofísico de los pozos LV10, LV12, LV14, LV16, LV17, LV19 y LV20 que presentaban registros de porosidad y neutrón GR, DLL, LAT, Densidad-Neutrón. Los resultados obtenidos se presentan en las tablas 8 a 14 donde se identifican los miembros informales Socorro Superior, medio, inferior y basal.

Parámetros de corte (*cutoffs*)

Los parámetros de corte se utilizaron para evaluar las propiedades petrofísicas estableciendo valores determinados como: Volumen de arcillosidad, Porosidad, Saturación de agua máxima. Con estos valores de corte se estimaron los espesores de Arena Neta Petrolífera y Gasífera.

Para el campo La vela se estableció los siguientes parámetros básicos:

Rw	2.1
M	1.34
N	1.6
A	1
p ma	2.67 gr/cc
p sh	2.55 gr/cc

Arena Neta Total (ANT)

Para determinar el espesor de arena, es necesario el empleo del parámetro de corte V_{sh} , para discriminar las arenas de las lutitas. El programa de evaluación petrofísica estima como arena neta todo aquel estrato que posea un V_{sh} con las condiciones establecidas.

Arena Neta Petrolífera o Gasífera (ANP/ANG)

La Arena Neta Petrolífera/Gasífera (ANP/ANG), el número de pies de la columna de arena del pozo que puede considerarse como productora de hidrocarburos. El conteo de arena neta petrolífera es determinante en la caracterización de los yacimientos; generalmente ese conteo se realiza estableciendo las características mínimas necesarias que deba poseer una arena para ser considerada como productora de crudo o gas.

3.4.1 Determinación de la Porosidad, Volumen de Arcilla y Saturación de Agua

3.4.1.1 Estudio de Porosidad (Φ)

La porosidad es una medida de la capacidad de almacenamiento de fluidos que posee una roca y se define como la fracción del volumen total de la roca que corresponde a espacios que pueden almacenar fluidos.

$$\phi = \frac{\text{Volumen de espacio para almacenar fluidos}}{\text{Volumen total}}$$

Para determinar la porosidad a partir del registro de densidad de formación se utilizó la siguiente ecuación:

$$\phi = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f}$$

Dónde:

ρ_{ma} : Densidad de la matriz

ρ_b : Densidad leída del registro a una profundidad dada

ρ_f : Densidad del fluido.

Para calcular la porosidad efectiva se utilizó el modelo de arcillosidad, el Lineal y el de Gaymard, el cual elimina el efecto de arcillosidad sobre la porosidad.

Modelo lineal

$$\Phi_e = \Phi_{total}(1 - V_{sh})$$

Modelo Gaymard

$$\phi_e = \phi_{total} - (V_{sh} * \phi_{Vsh})$$

3.4.1.2 Volumen de Arcilla (Vsh)

El cálculo del volumen de arcilla se determina mediante la siguiente fórmula, utilizando registros de Rayos Gamma:

$$V_{sh} = \frac{GR_{reg} - GR_{min}}{GR_{reg} - GR_{min}}$$

Dónde:

GR_{reg} : registro de Rayo Gamma

$GR_{m\acute{a}x}$: valor máximo del registro de Rayo Gamma

$GR_{m\acute{i}n}$: valor mínimo del registro de Rayo Gamma

3.4.1.3 Estudio de permeabilidad

La permeabilidad se define como la capacidad que tiene una roca de permitir el flujo de fluidos a través de sus poros interconectados.

Timur propone la siguiente expresión para estimar la permeabilidad a partir de la saturación de agua irreducible (S_{wirr}) y la porosidad (Tomado de Glover P., 2000):

$$K = \frac{0.136 \phi^{4.4}}{S_{wirr}^2}$$

3.4.1.4 Saturación de agua (S_w)

La saturación de agua es la fracción del volumen de los poros de la roca del yacimiento que está llena de agua.

Para formaciones consideradas limpias se utilizó la ecuación de Archie, ésta es la más utilizada en este tipo de formaciones (Archie, 1941). Para las formaciones arcillosas, la herramienta cuenta con dos modelos, ya que la ecuación de Archie presenta alteraciones y no es recomendada si hay la presencia de arcilla. Estos modelos son los de *Simandoux*, y *Saraband* (Simandoux (1963), tomado de SPWLA (1982)).

Ecuación de Archie

$$S_w = \frac{R_o}{R_t} = \frac{FR_w}{R_t} = \frac{aR_w}{\Phi m_{Rt}}$$

Dónde:

a: Constante de tortuosidad

R_w: Resistividad del agua de formación

Φ: Porosidad

R_t: Lectura del registro de resistividad

m: factor de cementación

F: factor de formación

Modelo de *Simandoux*

$$S_w = [(aR_w/\Phi^2 R_t) + (aR_w V_{sh}/2\Phi^2 R_{sh})^2]^{\frac{1}{2}} - [aR_w V_{sh}/2\Phi^2 R_{sh}]$$

dónde V_{sh} y R_{sh} representan el volumen y la resistividad de arcillas, respectivamente.

Con los resultados de los parámetros petrofísicos que se muestran en las tablas 8 a 14 se observa que los pozos LV-10 y LV-16 presentan resultados de porosidad efectiva (PHIE) mayores de 20% por lo que estos yacimientos localizados en estos pozos se pueden considerar de buena porosidad. Los pozos LV-17 y LV-19 presentaron valores de porosidad entre 15 y 19%, mientras el pozo LV-14 presentó valores de porosidad de 19% en el yacimiento Socorro Superior 1 y Socorro Medio. En el caso del pozo LV-20 el valor de porosidad efectiva más alto se ubicó en las arenas basales de la Formación Socorro a 3524', encontrándose valores de 27% de porosidad (figura 48).

Con la evaluación petrofísica de los registros, el registro de lodo o *mudlog* y las pruebas de producción, se establecieron dos unidades de explotación para el pozo LV-10. La unidad más somera con gas situada en el yacimiento Socorro Superior 1 y la segunda unidad con petróleo ubicada en el yacimiento Socorro Superior 2. El yacimiento Socorro Superior 1 tiene un espesor promedio de arena neta entre 10 y 30 pies, una porosidad promedio de 28 % y una S_w (Saturación de agua) del 20 %. El yacimiento Socorro Superior 2 tiene espesores variables de AN entre 20 y 80 pies, una porosidad promedio de 30 % y una S_w del 38 % (Figuras 46 y 47).

En el pozo LV-10, tanto las altas unidades de gas como las resistividades entre 25 y 40 ohm-m permiten inferir la existencia de hidrocarburos en arenas de esta formación.

Se realizaron varias pruebas de producción en el miembro Superior de La Formación Socorro en el pozo LV10. En la primera etapa las pruebas se realizaron en los dos intervalos, Yacimiento Socorro Superior 1 y Socorro Superior 2, (Intervalo seleccionado 2110'-2310'). El pozo produjo entre 734 y 331 BNPD utilizando varios reductores. El gas subió paulatinamente de 1600 MPCD hasta 3615 MPCD. En la segunda etapa se cerró el intervalo superior (2110'-2138') donde se pensaba que venía el gas y el pozo produjo solamente petróleo del Intervalo Socorro Superior 2, entre 426 y 300 BNPD disminuyendo la relación Gas-Petróleo por completo. En la tercera etapa se abrieron arenas adicionales en el intervalo Socorro Superior 2 y el pozo aumentó su producción a 388 BNPD, sin embargo se estabilizó a 200 BNPD.

SUMARIO PETROFÍSICO LV-10										
FORMACIÓN	INTERVALO (pies)		AN pies	ANP pies	ANP_Vsh %	ANP_PHIT %	ANP_PHIE %	ANP_Sw %	ANP_k	Miembro
	Desde	Hasta								
SOCORRO	2110	2128	18	11	37	22	16	32	90	Socorro Superior
SOCORRO	2202	2224	22	16	22	28	25	42	479	
SOCORRO	2280	2310	30	26	21	29	25	42	568	
SOCORRO	2572	2590	18	4	29	26	22	46	322	Medio
SOCORRO	3882	3900	16	4	26	28	25	48	459	basal
		Sumatoria	104	61						

Tabla 8: Sumario petrofísico en el pozo LV-10

SUMARIO PETROFÍSICO LV-12											
FORMACIÓN	INTERVALO (pies)		ANT pies	AN pies	ANP pies	ANP_Vsh %	ANP_PHIT %	ANP_PHIE %	ANP_Sw %	ANP_k	Miembro
	Desde	Hasta									
SOCORRO	1938	1988	50	4	2	32	15	10	24	4	Socorro Superior
SOCORRO	1993	2006	13	13	7	39	24	15	26	21	
SOCORRO	2208	2216	8	5	2	23	18	14	31	23	
SOCORRO	2234	2244	10	7	2	28	13	9	40	2	
SOCORRO	2460	2474	14	10	9	35	25	16	16	96	Medio
SOCORRO	2566	2582	16	15	4	41	16	10	40	3	
SOCORRO	2652	2658	6	5	1	30	12	8	48	2	
		Sumatoria	117	58	27						

Tabla 9: Sumario petrofísico en el pozo LV-12

SUMARIO PETROFÍSICO LV-14											
FORMACIÓN	INTERVALO (pies)		ANT pies	AN pies	ANP pies	ANP_Vsh %	ANP_PHIT %	ANP_PHIE %	ANP_Sw %	ANP_k	Miembro
	Desde	Hasta									
SOCORRO	2236	2260	24	19,5	13,5	36	26	19	32	230	Socorro Superior
SOCORRO	2310	2316	6	4,5	3,5	39	13	6	47	2	
SOCORRO	2590	2600	10	9	8	39	26	19	13	159	Medio
SOCORRO	2690	2706	16	9,5	7,75	43	15	7	33	3	
		Sumatoria	56	42,75	32,75						

Tabla 10: Sumario petrofísico en el pozo LV-14

SUMARIO PETROFÍSICO LV-16											
FORMACIÓN	INTERVALO (pies)		ANT pies	AN pies	ANP pies	ANP_Vsh %	ANP_PHIT %	ANP_PHIE %	ANP_Sw %	ANP_k	Miembro
	Desde	Hasta									
SOCORRO	2240	2290	50	27	18,5	39	28	24	31	476	Socorro Superior
SOCORRO	2590	2604	14	8,5	7,25	38	26	22	15	296	
SOCORRO	2694	2710	16	11	6,25	47	19	14	40	48	Medio
SOCORRO	3030	3036	6	6,25	6,25	41	26	22	30	257	Inferior
		Sumatoria	86	52,75	38,25						

Tabla 11: Sumario petrofísico en el pozo LV-16

SUMARIO PETROFÍSICO LV-17											
FORMACIÓN	INTERVALO (pies)		ANT pies	AN pies	ANP pies	ANP_Vsh %	ANP_PHIT %	ANP_PHIE %	ANP_Sw %	ANP_k	Miembro
	Desde	Hasta									
SOCORRO	2450	2454	4	14	10	41	27	20	44	195	Superior
SOCORRO	2560	2576	16	8	8	36	26	20	17	175	Medio
SOCORRO	2676	2684	8	4	4	47	23	14	30	40	
SOCORRO	3010	3034	24	22	16	30	27	21	17	255	
		Sumatoria	52	48	38						

Tabla 12: Sumario petrofísico en el pozo LV-17

SUMARIO PETROFÍSICO LV-19											
FORMACIÓN	INTERVALO (pies)		AN pies	ANP pies	ANP_Vsh %	ANP_PHIT %	ANP_PHIE %	ANP_Sw %	ANP_k	Miembro	
	Desde	Hasta									
SOCORRO	2222	2240	13	5,	41	24	16	31	88	Superior	
SOCORRO	2462	2474	7,5	6,5	43	25	17	15	95	Medio	
SOCORRO	2490	2500	8,5	7	37	24	17	20	124		
SOCORRO	2608	2618	7,5	1,5	38	22	15	39	58		
		Sumatoria	36.5	20							

Tabla 13: Sumario petrofísico en el pozo LV-19

SUMARIO PETROFÍSICO LV-20											
FORMACIÓN	INTERVALO (pies)		AN pies	ANP pies	ANP_Vsh %	ANP_PHIT %	ANP_PHIE %	ANP_Sw %	ANP_k	Miembro	
	Desde	Hasta									
SOCORRO	2326	2334	7	2	31	15	11	47	13	Superior	
SOCORRO	2790	2796	6	2	33	16	11	43	14	Medio	
SOCORRO	3524	3540	15	12	28	31	27	44	727	Basal	
		Sumatoria	28	16							

Tabla 14: Sumario petrofísico en el pozo LV-20

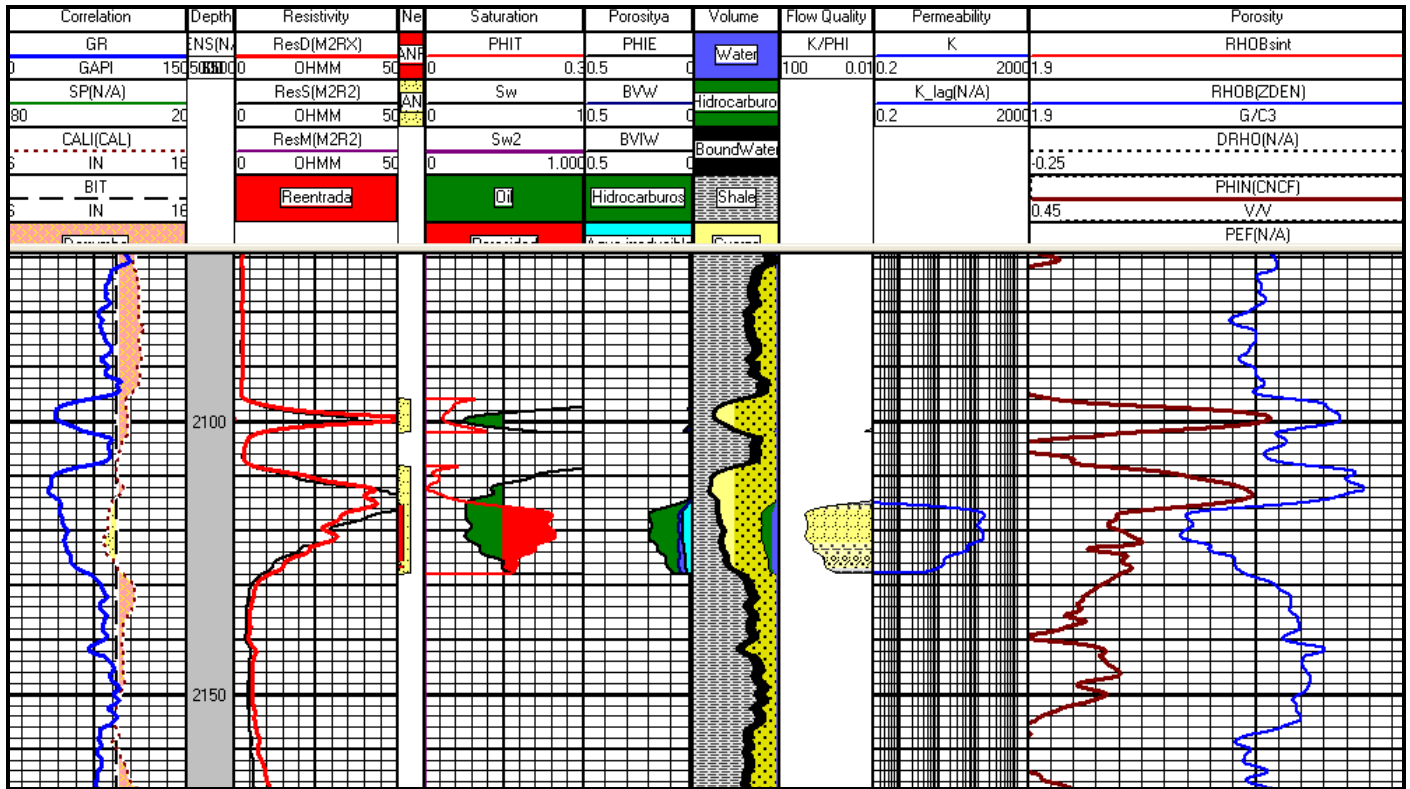


Figura 46: Evaluación petrofísica pozo LV-10 (Yacimiento Socorro Superior 1)

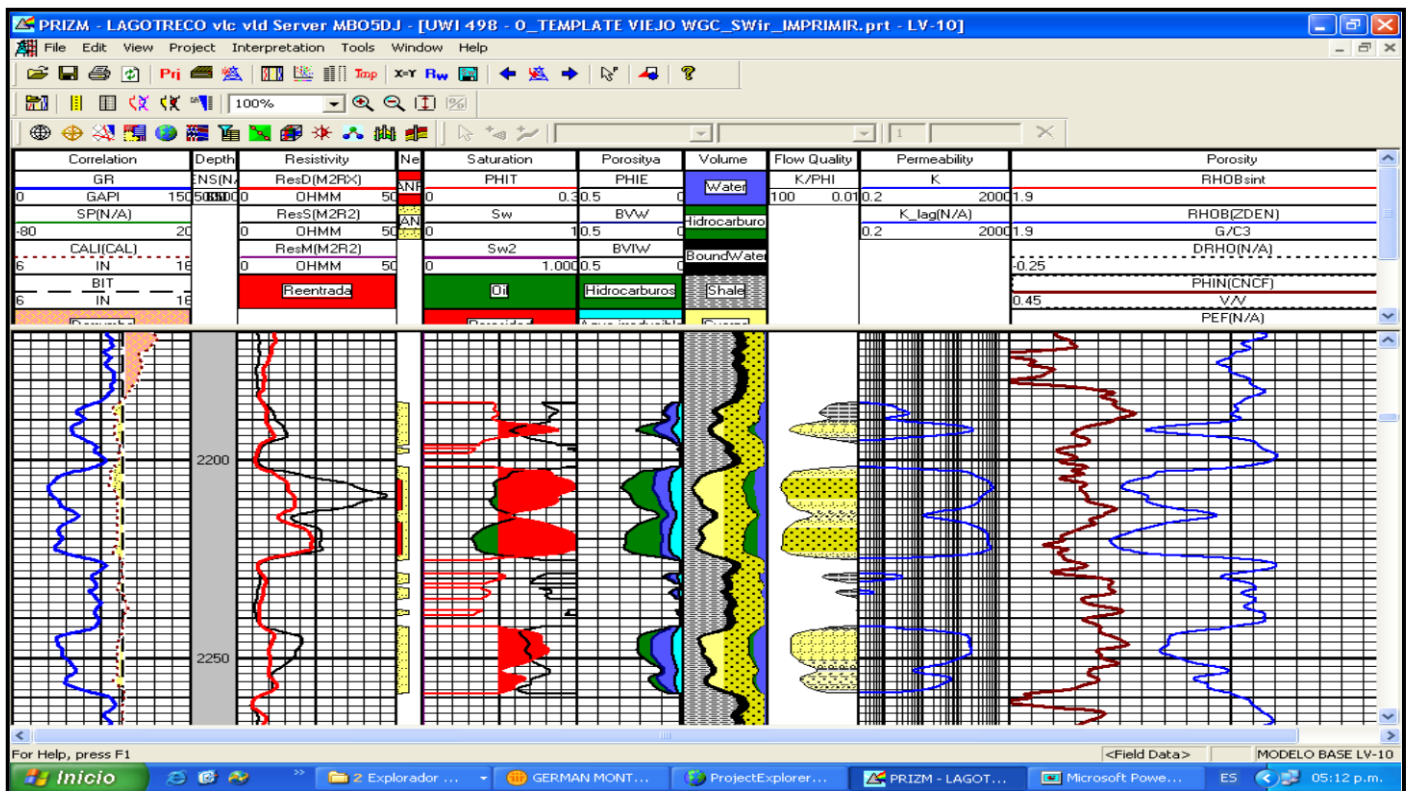


Figura 47: Evaluación petrofísica pozo LV-10 (Yacimiento Socorro Superior 2)

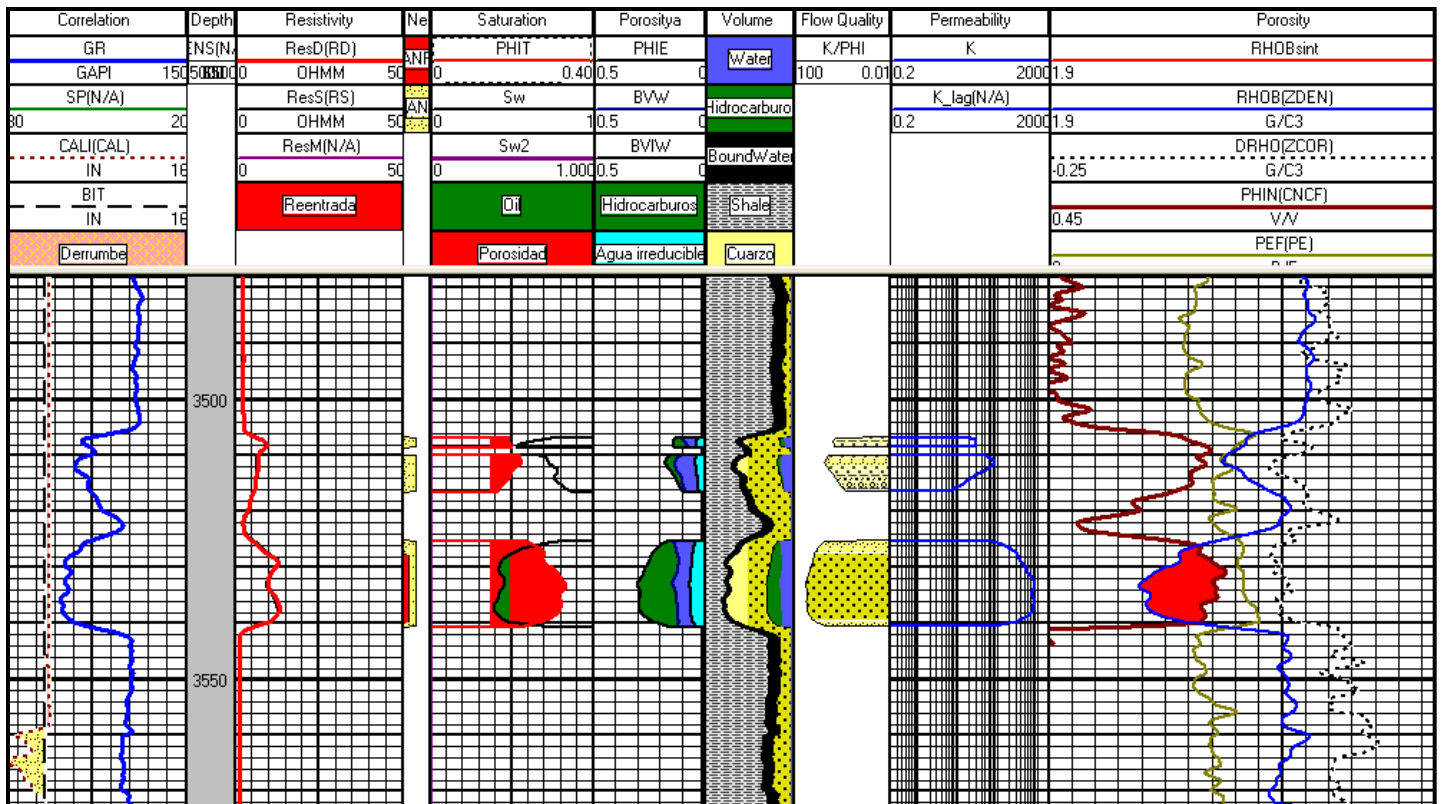


Figura 48: Evaluación petrofísica pozo LV-20 (Arenas basales Formación Socorro)

3.4.2 Mapas isópacos

Estos mapas representan en un plano horizontal los espesores de un cuerpo de arena, medido en perfiles de pozos. El espesor de cada cuerpo se determina estableciendo el tope y la base, cuando se presentan varios cuerpos de arena en una misma unidad se suman todos los valores obteniéndose como resultado la cantidad de arena total para la unidad.

3.4.2.1 Mapas de Arena Neta

Estos mapas incluyen arenas tanto saturadas de agua como de petróleo. Apoyado en el estudio petrofísico se llevó a cabo el conteo de Arena Neta.

Los mapas de espesor de Arena Neta muestran los espesores de los cuerpos de arena y se observan en las figuras 49 a 51. Los pozos localizados al suroeste del anticlinal de la Vela (LV-10, LV-12, LV-19) presentaron los espesores de Arena Neta mayores en el caso del yacimiento Socorro Superior 1. En el caso del yacimiento Socorro Superior 2, este se observó solo en los pozos LV-10 y LV-12, por lo que espesores de arena fueron de 22 y 13 pies respectivamente. Socorro Medio presentó los mayores espesores de Arena Neta en los pozos LV-16 y LV-20 con espesores de 11 y 6 pies, mientras Socorro Inferior presentó los mayores espesores de Arena Neta en los pozos LV-10 y LV-20 con espesores de 16 y 15 pies.

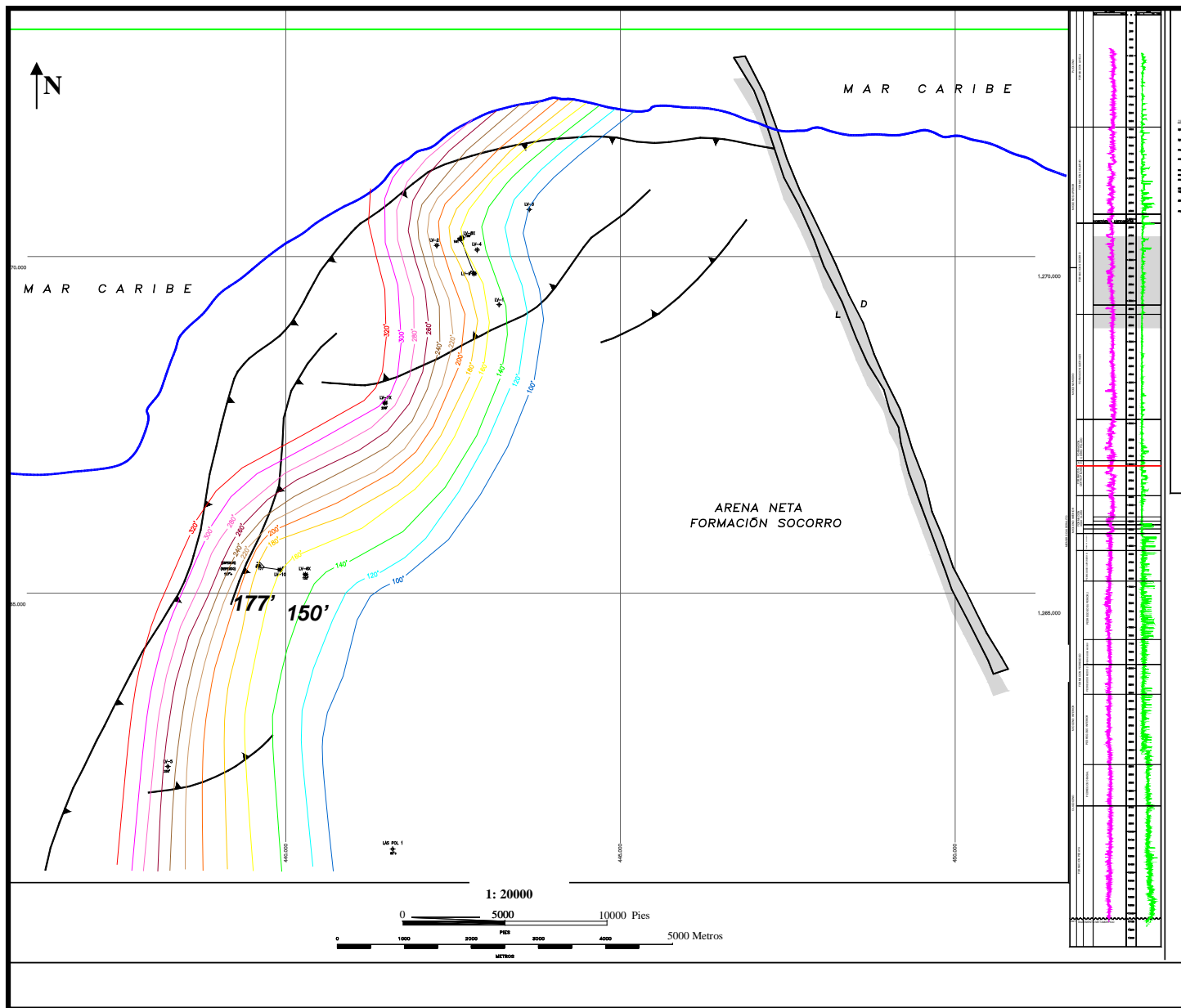


Figura 49: Mapa isópaco de Arena Neta (AN) Formación Socorro

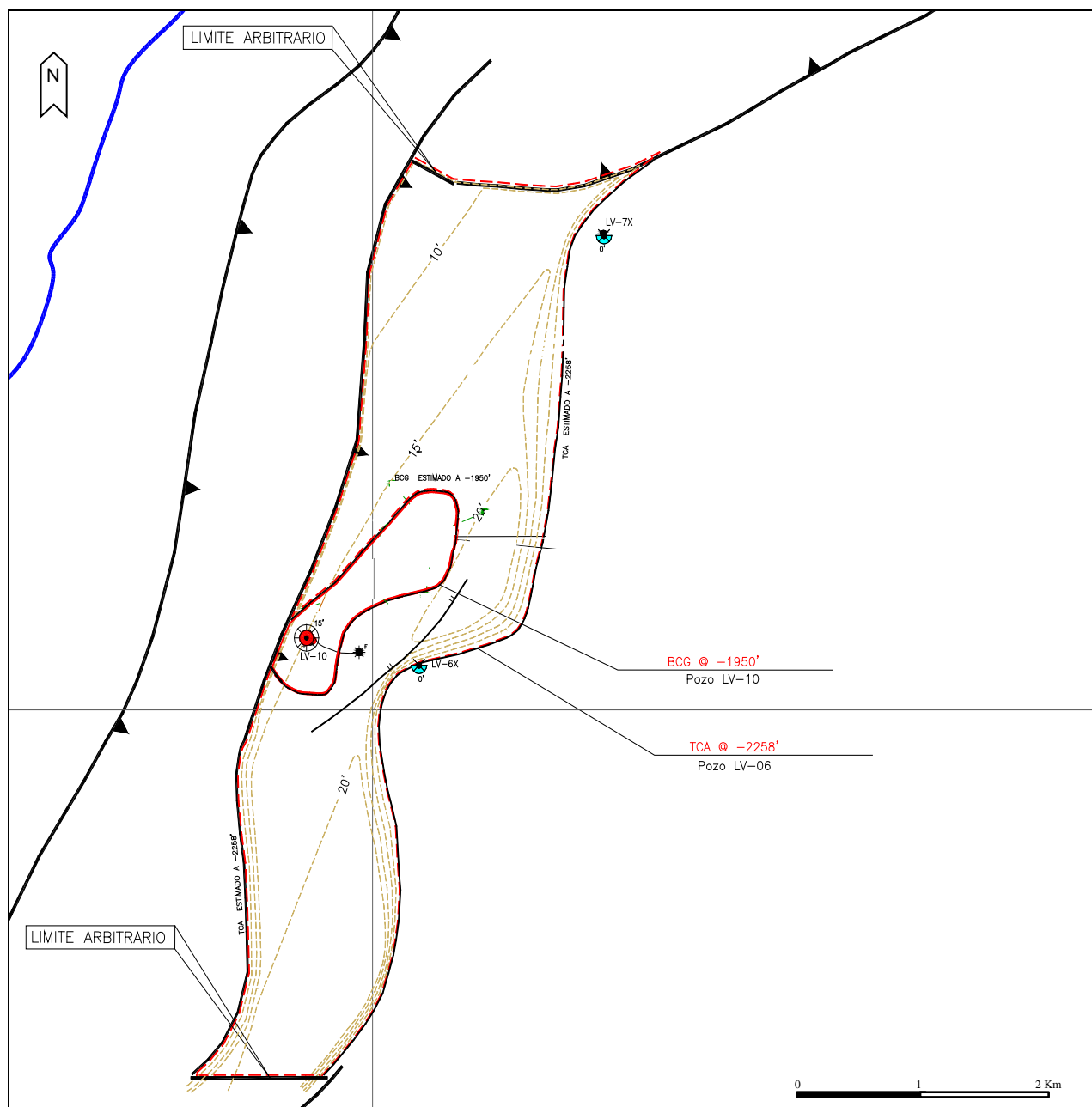


Figura 50: Mapa isópaco de arena neta gasífera del yacimiento de gas Socorro Superior 1 LV10

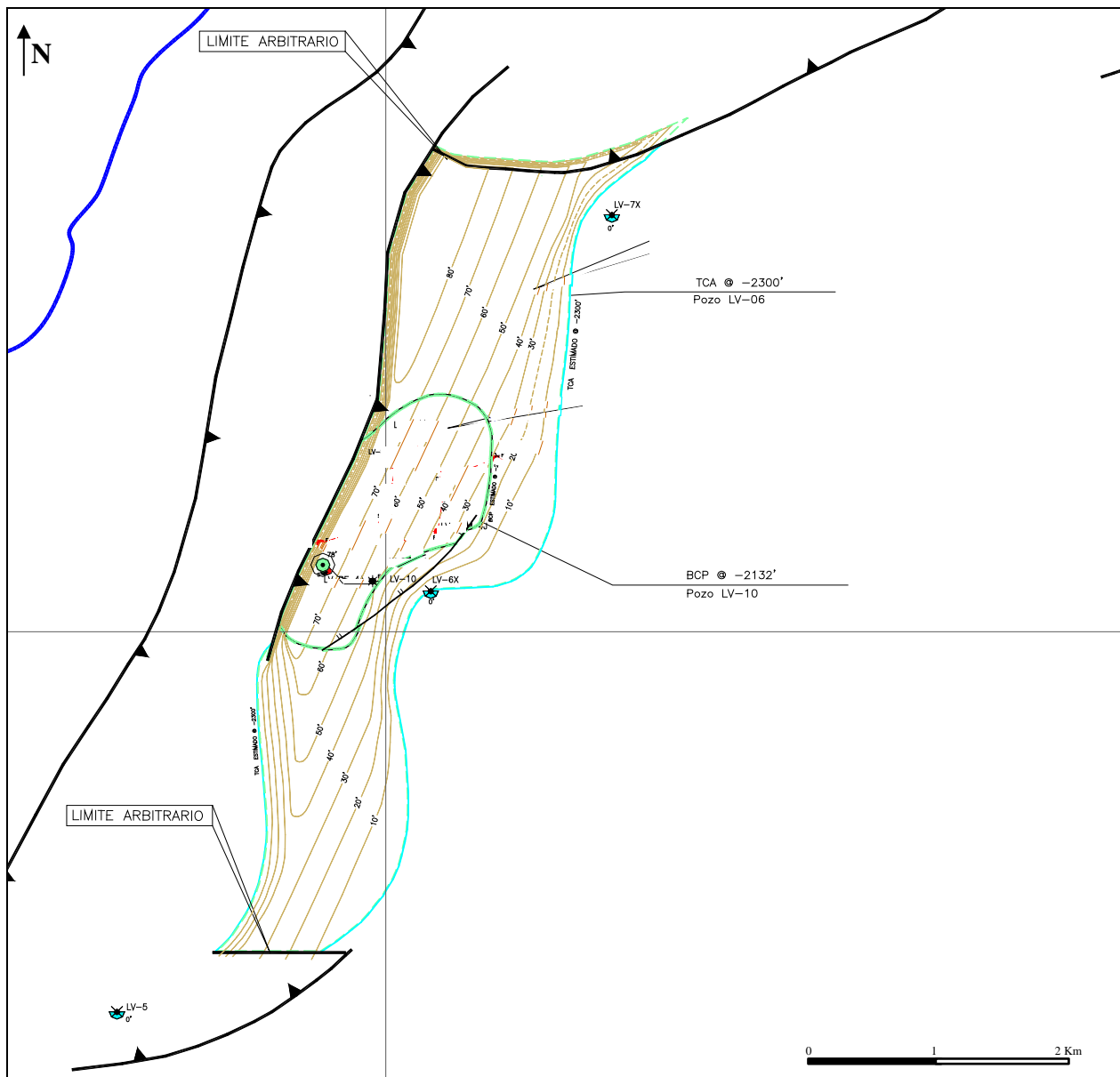


Figura 51: Mapa isópaco de arena neta petrolífera del yacimiento de petróleo Socorro Superior 2 LV10.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES

1. Con la información geológica obtenida a partir de los registros eléctricos y radioactivos en los pozos LV-10, LV-06 y LV-07 (La Vela, Edo. Falcón) se dividió la Formación Socorro en los miembros: Socorro Superior (yacimientos 1 y 2), medio, inferior y basal, cuya geología se sintetiza a continuación:

El miembro superior 1 de Socorro está compuesto por una alternancia de arenas, lutitas y calizas interpretadas como barras litorales, canales y facies carbonáticas transgresivas, mientras que el miembro Socorro superior 2, según las muestras captadas en los pozos LV-10 y LV-12, está formado por una alternancia de areniscas, lutitas y calizas.

El miembro Socorro medio, identificado en los pozos perforados en el domo sur del campo La Vela, está formado por una alternancia de areniscas, lutitas y calizas.

El miembro Socorro inferior fue observado en los pozos localizados en el flanco sureste del campo La Vela y está formado por una alternancia de areniscas y lutitas.

2. La interpretación de las líneas sísmicas permitió establecer que la estructura anticlinal que constituye el campo La Vela, está segmentada en varias subestructuras, caracterizadas tanto por fallas inversas secundarias, paralelas al corrimiento de Guadalupe, como por fallas normales preexistentes de sentido noroeste-sureste (NO-SE), por lo cual geotectónicamente está caracterizada por corresponderse con una zona de compresión con dirección principal NO-SE.

-
3. Con la perforación de los pozos desde el LV-10 hasta el LV-20, se pudo comprobar que la condición geoestructural del campo La Vela, es altamente compleja sobre todo porque el domo sur presenta diversas fallas inversas y normales, lo cual produce una omisión secuencial de parte de la Formación Socorro.
 4. La sección estratigráfica generada para elaborar el modelado estratigráfico, permite establecer que el miembro superior de la Formación Socorro (yacimiento Socorro Superior 1) presenta continuidad lateral ya que se identificó en todos los pozos perforados en el campo La Vela. Por otra parte el miembro Socorro Superior 2 fue identificado en los pozos LV-10 y LV-12, pero sin embargo no se observó en el resto de los pozos pues en esta parte de la sección principalmente se observó un conjunto de canales apilados, localizados en el suroeste del campo. El miembro Socorro medio fue identificado en los pozos perforados LV-16, LV-20 y LV-6, ubicados en el domo sur del campo. Finalmente en las arenas basales de la Formación Socorro, denominado también como el miembro Socorro Inferior, producto de la perforación de los pozos en el flanco sureste del campo La Vela, se destacan por presentar alta prospectividad hidrocarburífera.
 5. El estudio bioestratigráfico indica que la Formación Socorro en el pozo LV-6, comprende edades entre el Mioceno superior y el Mioceno medio. El análisis realizado en el pozo LV-7 permite deducir que es de edad Mioceno Medio, debido a la presencia de *Globorotalia fohsi fohsi* a *Globorotalia fohsi robusta*. Con el análisis del pozo LV-9 se determinó una edad Mioceno Temprano-Medio para la Formación Socorro de acuerdo a la zona *Globorotalia fohsi peripheroronda* zona *Porticulosphaera glomerosa* como también se afirma que el ambiente depositacional es del tipo marino nerítico exterior. Debido a la identificación de los foraminíferos planctónicos *Globigerinoides mitra*, *Globorotalia-continua*, *Gr. fohsi*

-
- lobata*, *Gr. mayeri* y los palinomorfos *G. magnaclava*, *C. vanraashoveni*, *L. catanejensis* y *Selenopemphix brevispinosus* en el pozo LV-12 le asigna a la Formación Socorro la edad de Mioceno medio.
6. Los resultados obtenidos, a partir de los parámetros petrofísicos, indican que los pozos LV-10 y LV-16 presentan una porosidad efectiva mayor al 20%, por lo cual puede afirmarse que los yacimientos localizados en dichos pozos, pueden considerarse de buena porosidad. Los pozos LV-17 y LV-19 presentaron valores de porosidad entre 15 y 19%, mientras el pozo LV-14 presentó valores de porosidad de 19% en Socorro Superior 1 y Socorro Medio a 2.590 pies de profundidad. En el caso del pozo LV-20 el valor de porosidad efectiva mas alta se ubicó en las arenas basales de la formación, encontrándose valores de 27% de porosidad.
 7. El intervalo Socorro superior 1 tiene un espesor promedio de arena neta entre 10 y 30 pies, una porosidad promedio de 28 % y una S_w del 20 %. Por su parte el intervalo Socorro superior 2 presenta espesores variables de arena neta entre 20 y 80 pies, con una porosidad promedio de 30 % y una S_w del 38 %. En estos intervalos fueron establecidas dos unidades en el pozo LV-10, destacándose el hecho que la más somera (superior 1) presenta una acumulación significativa de gas, mientras que la segunda unidad (superior 2) presenta. Estos permiten aseverar que ambas unidades son promisorias para la explotación de hidrocarburos.
 8. Los pozos localizados al suroeste del anticlinal de la Vela (LV-10, LV-12, LV-19) presentaron los espesores de arena neta mayores en el caso de Socorro Superior 1. El miembro Socorro Superior 2, se observó sólo en los pozos LV-10 y LV-12. El miembro Socorro Medio presentó los mayores espesores de arena neta en los pozos LV-16 y LV-20, lo cual permite deducir que esta área presenta mayor potencial de hidrocarburo relacionado al espesor del miembro Socorro Medio, mientras el miembro

-
- Socorro Inferior presentó los mayores espesores de arena neta en los pozos LV-10 y LV-20.
9. De acuerdo al patrón de apilamientos, observado en los perfiles de pozos, se considera que la Formación Socorro presenta una secuencia progradante conformada por ocho (8) parasecuencias. El miembro Socorro Superior 1 comprende un ambiente marino somero dado por las calizas que se ubican al tope, el miembro Socorro Medio está formado por barras litorales que constituyen las arenas más prolíficas de la Formación, mientras que las arenas calcáreas basales que marcan la base de la Formación Socorro. El tope de la Formación Querales marca el límite inferior de la secuencia.
 10. De acuerdo al patrón de apilamientos, la Formación Socorro presenta ocho (8) parasecuencias cuya secuencia progradante varía desde un ambiente marino somero (Socorro Superior), por la presencia de calizas ubicadas en el tope, pasando por barras litorales que constituyen las arenas más prolíferas (Socorro Medio), hasta alcanzar las arenas calcáreas basales (Socorro basal).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Archie G.E (1941). *The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics*. Trans. A.I.M.E., Vol. 146, p. 54-62
- Audemard Felipe, Javier De Mena Arenas (1985). *Falcón Oriental, nueva interpretación estructural*. VI Congreso geológico venezolano. p. 2317-2329.
- Audemard M. Frank (1997). *Tectónica activa de la región septentrional de la cuenca invertida de Falcón, Venezuela Occidental*. Memorias Del VIII Congreso Geológico Venezolano., Soc. Venezolana de Geol. Tomo 1. p. 93-100
- Boesi, T. y Goddard, D. (1991). *A New Gologic Model Related to the Distribution of Hydrocarbon Source Rocks in the Falcón Basin, Northwestern Venezuela*. En K. Biddle ed., Active Margin Basins: Memoria AAPG No. 52, p. 303-319.
- Bolli H., Beckmann J. P. (1985). *Benthic foraminiferal biostratigraphy of the South Caribbean region*. 393 p.
- Cabrera E. P. (1985) *Evolución estructural de Falcón Central*. Universidad Central de Vezuela. Trabajo de Maestría.
- Corpoven, S.A., 1984. *Sumario Geológico del Pozo LV-6X*. Departamento de Geología. Caracas.
- Corpoven, S.A., 1984. *Sumario Geológico del Pozo LV-7X*. Departamento de Geología. Caracas.

Corpoven, S.A., 1984. *Sumario Geológico del Pozo LV-8X*. Departamento de Geología. Caracas.

Case, J. E.; Braunstein, J.; Thomson, A. F. (1984). *Crustal framework of Caribbean geologic terranes*. Sociedad Geológica de América (GSA).

Gorney D., Escalona A., Mann P., M. Magnani B., and Bolivar Study Group (2007). *Chronology of Cenozoic tectonic events in western Venezuela and the Leeward Antilles based on integration of offshore seismic reflection data and on land geology*. AAPG Bulletin, V.91, No. 5, p. 653-684.

Díaz De Gamero (1985). *Estratigrafía de Falcón Nororiental*. VI Congreso Geológico Venezolano. p. 454-500

Díaz de Gamero, M. L.; V. Mitacchione y M. Ruíz, (1988). *La Formación Querales en su área tipo, Falcón noroccidental*, Venezuela, Soc. Venez. Geol., Vol., 34: p. 34-46.

Díaz de Gamero, M.L.(1977). *Revisión de las edades de las unidades litoestratigráficas en Falcón Central en base a su contenido de foraminíferos planctónicos*. V Cong. Geol. Venezolano. Mem.1 p. 81-86.

Emery D. and Myers K.J. (1996), *Sequence Stratigraphy*, Blackwell Science Ltd., p. 134-177.

Erlich, R. N.; Barrett, S. F. (1990) *Cenozoic plate tectonic history of the northern Venezuela-Trinidad area*. p. 161-184

Estevez (1997). *Nuevas especies de gasterópodos de la Formación Cantaure, Península de Paraguaná* (Resumen), Acta Cient. Venez., 47, supl. 1: 301.

-
- Feo-Codecido, G., (1972). *Breves ideas sobre la estructura de la falla de Oca, Venezuela: IV Caribbean Geological Conference*, Margarita, Venezuela, Memoir, p.184-190.
- González de Juana, Picard C. X., e Iturralde J. M. (1980). *Geología de Venezuela y sus Cuencas petrolíferas*. Ediciones Foninves, Caracas, 2 vols., 1031 p.
- Guzmán José I. y Fisher William L. (2006). *Early and middle Miocene depositional history of the Maracaibo Basin, western Venezuela*. The American Association of Petroleum Geologists. Vol. 90, no. 4, p. 625–655
- Hambalek, N., V. Rull, E. De Digiaco y M. L. Díaz de Gamero, (1994). *Evolución paleoecológica y paleoambiental de la secuencia del Neógeno en el surco de Urumaco*. Estudio palinológico y litológico, *Bol. Soc. Venez. Geol.*, 191-2 7-19.
- Hodson, F., (1926). *Venezuela and caribbean turrnellas*, Bull. Am. Paleont., 11(45): 171-220.
- Hunter, V., (2004). *Stratigraphy of the La Vela de Coro Area, Falcón State, Venezuela*. Informe interno Vinccler Oil and Gas, Caracas.
- Kavanagh de Petzall, C., (1959). *Estudio de una sección de la Formación Caujarao en el Anticlinal de La Vela, estado Falcón*. Asoc. Venez. Geol. Min. y Petról., Bol. Inform., Vol. 2, No. 10, p. 269-319.
- Kendall C., (2003) *Sequence Stratigraphy Introduction*. University of South Caroline.
- Liddle, R. A., (1928). *The geology of Venezuela and Trinidad*, J. P. MacGowan, Fort Wort, Texas, 552 p.

-
- López C. I., (2005). *Integración y actualización geológico-cartográfica de una zona ubicada al Noreste del Estado Falcón. Entre los Dttos: Zamora, Acosta, Miranda y Colina*. Universidad Central de Venezuela. Tesis 187 p.
- Macellari, C., (1995). *Cenozoic Sedimentation and Tectonics of the Southwestern Caribbean Pull Apart Basin, Venezuela and Colombia*, en A.J. Tankard, R. Suarez T. y H.J. Welsink, *Petroleum Basins of South America*. Memoria AAPG No. 62, p. 757-780.
- Mitchum Jr., R.M., (1977). *Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 11: glossary of terms used in seismic stratigraphy*. In: Payton, C.E. (Ed.), *Seismic stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration*, vol. 26. A.A.P.G. Memoir, p. 205–212.
- Muessig, K. W., (1984). *The central Falcón igneous suite, Venezuela: alkaline basaltic intrusions of Oligocene- Miocene age*, *Geol. en Min.*, 57(2): 261-266.
- Oldow John S., Bally Albert W. y Lallemand Avé Hans G. (1990). *Transpression, orogenic float, and lithospheric balance*. Sociedad Geológica de América. Vol. 18, p. 991-994.
- Ostos Marino, Yoris Franklin y Lallemand Avé Hans G. (2005). *Overview of the southeast Caribbean–South American plate boundary zone*. Sociedad Geológica de América Publicacion especial 2005. p. 53-89.
- Ostos Rosales, (1990). *Tectonic evolution of the south-central Caribbean based on geochemical data*. 459 p.
- Padrón V., (1984). *Facies petrográfico – diagenéticas y ambientes de depositación de las Formaciones Cerro Pelado, Querales y Socorro*. Universidad Central de

Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica,
Departamento de Geología.

Payne, A. L., (1951). *Cumarebo oil field, Falcón, Venezuela*, Am. Assoc. Petrol. Geol., Bull. 35(8): 1850-1878.

Pindell, J. L.; Higgs, R.; Dewey, J. F.(1998). *Cenozoic palinspatic reconstruction, paleogeographic evolution and hidrocarbon setting of the northern margin of South America*. SEPM Special Publication, N° 58, p. 45-85.

Porras, L., (2000). *Evolución Tectónica y estilos Estructurales de la región Costa Afuera de las Cuencas de Falcón y Bonaire*. Memorias del VII Simposio Bolivariano de Exploración en Cuencas Subandinas, Caracas, p. 279-292.

Posamentier, H.W., Jervey, M.T., Vail, P.R., (1988). *Eustatic controls on clastic deposition. I. Conceptual framework*. En: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., Van Wagoner, J.C. (Eds.), *Sea Level Changes—An Integrated Approach*, vol. 42. SEPM Publicacion Especial, p.110–124.

Rey, O., (1990). *Análisis comparativo y correlación de las Formaciones Codore y La Vela, Estado Falcón, Venezuela*. Universidad Central de Venezuela. Trabajo de Maestría.

Simandoux, P.,(1963) *Dielectric Measurements in Porous Media and Application to shaly Formation*, Institut Francais du Petrole, pp.193-215. Texto traducido en SPWLA (1982), *Shaly Sand*.

Society for Sedimentary Geology (SEPM), (1997). *Sequence Stratigraphy and Characterization of Carbonate Reservoirs (SC40)*, Capitulo 1, Conceptos de secuencia estratigráfica p. 1-23.

-
- Sloss, L. L., Krumbein, W. C., Dapples, E. C., (1949). *Integrated facies analysis*. En: Longwell, C. R. (ed.), *Sedimentary Facies in Geologic History*. Sociedad Geológica de América. Memoria 39, p. 91–124.
- Turu V. (2002). *Análisis secuencial del delta de Erts*. SEG, Departamento de Geografía. Valladolid, 555-563.
- Vail P.R., Mitchum R. M., Todd R. G., Widmier J. M., Thompson S., Sangree J.B., Bubb J. N. and Hatlelid W.G. (1977). *Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, in Payton Ch. (eds) Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration*, AAPG Memoir 26, p. 49-212.
- Van Wagoner J. C., Mitchum R. M., Campion K. M. and Rahmanian V.D. (1990), *Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Outcrops*, AAPG Methods in Exploration No. 7, 53 p.
- Van Wagoner J.C., Posamentier H.W., Mitchum, R.M., Vail, P.R., Sarg J.F., Loutit T. S. and Hardenbol J. (1988). *An Overview of the Fundamentals of Sequence Stratigraphy and Key Definitions, in Wilgus et al. (eds), Sea-Level Changes: An Integrated Approach*, SEPM Special Publication No. 42, p. 39-45.
- Vasquez, E., (1975). *Results of exploration in La Vela Bay: Proceedings*, IX World Petroleum Congress, Tokyo, v. 3, p. 195-197.
- Vinccler Oil and Gas C.A. (2005). *Informes internos de evaluación de pozos*.
- Wheeler, C.B. (1963). *Estratigrafía del Oligoceno y Mioceno Inferior de Falcón Occidental y nororiental*. Creole Petroleum Corporation. p. 407-465.

Wozniak, J. y M. H. Wozniak, (1987). *Bioestratigrafía de la región nor-central de la Serranía de Falcón, Venezuela nor-occidental*, Bol. de Geología, Venezuela, 16(28): 101-139.