

**INTERPRETACIÓN SÍSMICA, ESTRUCTURAL Y MODELAMIENTO GEOQUÍMICO DE
DOS LÍNEAS SÍSMICAS EN LA SUBCUENCA CESAR (CUENCA CESAR –
RANCHERÍA)**

**PATRICIA CHAJÍN ORTIZ
ADRIANA MARTINEZ LUGO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2008**

**INTERPRETACIÓN SÍSMICA, ESTRUCTURAL Y MODELAMIENTO GEOQUÍMICO DE
DOS LÍNEAS SÍSMICAS EN LA SUBCUENCA CESAR (CUENCA CESAR –
RANCHERÍA)**

**PATRICIA CHAJÍN ORTIZ
ADRIANA MARTINEZ LUGO**

Trabajo de Grado para optar el título de Geóloga

**Director
MARIO GARCÍA GONZÁLEZ, PhD.
Profesor Titular**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2008**

A mis Padres Cecilia y Miguel por su incondicional apoyo y amor.

A mi hermano Alex por su cariño.

A mis abuelos por sus caricias y consejos.

A mi Familia por estar orgullosos de mis logros.

A mis amigos Pato, Tatís, Mañe, Oscar y Mao.
por su comprensión y amistad.

Adriana M.

Pa' mi mamá y mi papá: excelentes maestros de vida
Pa' mis hermanos Verónica, Roberto, José Manuel, y Lorena:
la inspiración de mi voluntad de estudio
Pa' Rubiel Ordóñez...
Pa' Gala Julia y Yohaxa Piedad: pilares de mi vida emocional
Pa' Tatis, David José, La Pititi y Lidys Patricia: amigos de hambre, parrandas,
cantaletas y sentimientos.

Patricia Chajín

AGRADECIMIENTOS

Las autoras de este libro agradecemos:

A la Universidad Industrial de Santander por formarnos como profesionales con principios y espíritu de crecimiento.

A la Escuela de Geología y su cuerpo docente, en especial al Dr. Mario García González.

Al Grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones UIS y a la Agencia Nacional de Hidrocarburos por la financiación total de este trabajo dentro del Convenio Inter-administrativo N° 027 de 2007.

A los geólogos Jairo Osorio, Luis Naranjo, Mauricio Velandia, y al ingeniero Rubiel Ordóñez por su aporte científico y técnico.

A todos nuestros amigos por su paciencia, colaboración y amistad.

CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN	1
1 OBJETIVOS	3
1.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2 INFORMACIÓN GENERAL DE LA SUBCUENCA CESAR	5
2.1 LOCALIZACIÓN	5
2.2 INFORMACIÓN GEOLÓGICA	6
2.3 INFORMACIÓN SÍSMICA	6
2.4 INFORMACIÓN DE SUBSUELO – POZOS	8
2.5 INFORMACIÓN GEOQUÍMICA	9
3 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	11
4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA SUBCUENCA CESAR	16
4.1 SISTEMA DE FALLAS DE SANTA MARTA – BUCARAMANGA	16
4.2 SISTEMA DE FALLAS DE PERIJÁ	16
4.3 SINCLINAL DE LA JAGUA	17
4.4 ALTO DE VERDESÍA	17
4.5 SISTEMA DE FALLAS DE VERDESÍA	18
4.6 FALLAS NORMALES	18
4.7 SISTEMA DE FALLAS DE BOSCONIA	18

4.8 ANTICLINAL DE BECERRIL	18
4.9 SINCLINAL DE LOS VENADOS	19
5 ESTRATIGRAFÍA	22
5.1 JURÁSICO	22
5.1.1 Formación La Quinta	22
5.2 CRETÁCICO	23
5.2.1 Formación Río Negro	23
5.2.2 Grupo Cogollo	23
5.2.2.1 Formación Lagunitas	23
5.2.2.2 Formación Aguas Blancas	24
5.2.2.2.1 Miembro Ánimas	24
5.2.2.2.2 Miembro Tocuy	24
5.2.2.2.3 Miembro Maracas	25
5.2.3 Formación La Luna	25
5.2.4 Formación Molino	25
5.3 PALEÓGENO	26
5.3.1 Formación Barco – Cuervos	26
5.3.2 Formación Eoceno Sin Nombrar	26
5.4 NEÓGENO	26
5.4.1 Formación Cuesta	26
5.5 CUATERNARIO	28
6 METODOLOGÍA	29
6.1 SECCIONES CRONOESTRATIGRÁFICAS	40
6.2 INTERPRETACIÓN SÍSMICA	44

6.3 MODELADO GEOQUÍMICO	46
7 RESULTADOS	51
7.1 INTERPRETACIÓN SÍSMICA	51
7.2 INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL	60
7.3 MODELADO GEOQUÍMICO	67
7.3.1 Historia de Subsistencia Pozo Cesar A-1X	68
7.3.2 Línea Sísmica CR_88_1100	72
7.3.3 Línea Sísmica CR_88_1180	79
8 CONCLUSIONES	88
9 BIBLIOGRAFÍA	90

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Mapa de localización de la Subcuenca Cesar.	5
FIGURA 2. Mapa de localización de pozos.	8
FIGURA 3. Ubicación de la Cuenca Cesar Ranchería.	11
FIGURA 4. Diagrama esquemático que ilustra los elementos tectónicos regionales de la Cuenca Cesar-Ranchería.	12
FIGURA 5. Mapa de localización de las líneas sísmicas CV-1-79 y CV-5-79.	19
FIGURA 6. Secciones estructurales balanceadas de la Subcuenca Cesar.	21
FIGURA 7. Columna estratigráfica de la Subcuenca Cesar.	27
FIGURA 8. Mapa de ubicación de las secciones cronoestratigráficas.	44
FIGURA 9. Diagrama cronoestratigráfico A-A´.	47
FIGURA 10. Diagrama cronoestratigráfico B-B´.	48
FIGURA 11. Flujo diagrama que muestra los pasos a seguir para la integración de datos para interpretación de líneas sísmicas 2D.	49
FIGURA 12. Flujo diagrama que muestra los pasos a seguir para la integración de datos para el modelado geoquímico de dos líneas sísmicas 2D en profundidad.	50
FIGURA 13. Ubicación geográfica de las líneas sísmicas CV_79_04, CV_79_11, CV_79_27, CR_88_1100, CR_88_1180, y CR_88_1620.	52
FIGURA 14. Relación espacial entre 15 pozos de la Subcuenca Cesar y la posición de las 6 líneas sísmicas interpretadas.	53
FIGURA 15. Interpretación sísmica de la línea CV_79_04.	54

FIGURA 16. Interpretación sísmica de la línea CV_79_11.	55
FIGURA 17. Interpretación sísmica de la línea CV_79_27.	56
FIGURA 18. Interpretación sísmica de la línea CR_88_1100.	57
FIGURA 19. Interpretación sísmica de la línea CR_88_1180.	58
FIGURA 20. Interpretación sísmica de la línea CR_88_1620.	59
FIGURA 21. Mapa de localización de las principales estructuras de la Subcuenca Cesar.	60
FIGURA 22. Sistema compresivo.	62
FIGURA 23. Estructura de flor positiva.	62
FIGURA 24. Estructura de flor positiva.	63
FIGURA 25. Sistema transcurrente típico.	64
FIGURA 26. Interpretación estructural líneas sísmicas CR_88_1100, y CR_88_1180.	65
FIGURA 27. Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:500000.	66
FIGURA 28. Temperatura de superficie según la latitud 9°, en el hemisferio Norte.	69
FIGURA 29. Condiciones de PWD, SWIT Y HF del Pozo Cesar A-1X.	70
FIGURA 30. A. Profundidad (m) vs. Temperatura de Fondo (°C). B. Profundidad (m) vs. Reflectancia de Vitrinita (%Ro).	70
FIGURA 31. Diagrama de soterramiento. Variación de la temperatura (°C) con respecto a la profundidad y la edad.	71
FIGURA 32. Diagrama de soterramiento. Variación de la reflectancia de vitrinita (%Ro) con respecto a la profundidad y la edad.	71
FIGURA 33. Diagrama de soterramiento con respecto a la profundidad y la edad.	73
FIGURA 34. Interpretación en profundidad de la línea sísmica CR_88_1100.	73

FIGURA 35. Secuencia de eventos de depositación y erosión de la línea sísmica CR_88_1100. A. 135 Ma. B. 80 Ma. C. 65 Ma. D. 52 Ma.	75
FIGURA 36. Secuencia de eventos de depositación y erosión de la línea sísmica CR_88_1100. A. 43 Ma. B. 22 Ma. C. 5 Ma. D. 0.8 Ma.	76
FIGURA 37. Reciente de la línea sísmica CR_88_1100.	77
FIGURA 38. Modelo geoquímico 2D de la línea sísmica CR_88_1100.	78
FIGURA 39. Interpretación en profundidad de la línea sísmica CR_88_1180.	80
FIGURA 40. Secuencia de eventos de depositación y erosión de la línea sísmica CR_88_1180. A. 93 Ma. B. 82 Ma. C. 65 Ma. D. 51 Ma.	82
FIGURA 41. Secuencia de eventos de depositación y erosión de la línea sísmica CR_88_1180. A. 22 Ma. B. 1 Ma. C. 0.8 Ma. D. 0.2 Ma.	83
FIGURA 42. Reciente de la línea sísmica CR_88_1180.	85
FIGURA 43. Modelo geoquímico 2D de la línea sísmica CR_88_1180.	86
FIGURA 44. Análisis de la zona de acumulación de hidrocarburos del modelo 2D de la línea CR_88_1180.	87

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Distribución de los programas sísmicos de la Subcuenca Cesar.	6
TABLA 2. Resumen de la información de pozos de la Subcuenca Cesar.	9
TABLA 3. Información geoquímica de pozos. La letra x señala los pozos que cuentan con informes geoquímicos.	10
TABLA 4. Descripción general del pozo El Paso 1.	29
TABLA 5. Descripción general del pozo El Paso 2.	30
TABLA 6. Descripción general del pozo El Paso 3.	30
TABLA 7. Descripción general del pozo El Paso 4.	30
TABLA 8. Descripción general del pozo Compae 1.	31
TABLA 9. Descripción general del pozo Compae 2.	31
TABLA 10. Descripción general del pozo Compae 3.	31
TABLA 11. Descripción general del pozo Compae 4.	31
TABLA 12. Descripción general del pozo Cesar A-1X.	32
TABLA 13. Descripción general del pozo Cesar F-1X.	32
TABLA 14. Descripción general del pozo Cesar H-1X.	32
TABLA 15. Descripción general del pozo Los Cerezos 1E.	33
TABLA 16. Descripción general del pozo Diablito 1E.	33
TABLA 17. Descripción general del pozo Los Venados 1.	33
TABLA 18. Descripción general del pozo Río Maracas 1.	34
TABLA 19. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo El Paso 1.	34

TABLA 20. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo El Paso 2.	35
TABLA 21. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo El Paso 2.	35
TABLA 22. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Compae 1.	36
TABLA 23. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Compae 2.	36
TABLA 24. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Compae 4.	36
TABLA 25. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Cesar A-1X.	37
TABLA 26. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Cesar F-1X.	38
TABLA 27. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Los Cerezos 1E.	39
TABLA 28. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Diablito 1E.	39
TABLA 29. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Río Maracas 1.	40
TABLA 30. Datos del pozo Cesar A-1X.	68

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Base de datos.

ANEXO 2. Diagramas cronoestratigráficos.

ANEXO 3. Interpretación sísmica.

ANEXO 4. Modelado geoquímico.

RESUMEN

TÍTULO: INTERPRETACIÓN SÍSMICA, ESTRUCTURAL Y MODELAMIENTO GEOQUÍMICO DE DOS LÍNEAS SÍSMICAS EN LA SUBCUENCA CESAR (CUENCA CESAR-RANCHERÍA)^{*}

AUTOR (ES): CHAJÍN O. Patricia, MARTINEZ L. Adriana^{**}

Palabras Claves: Subcuenca Cesar, cronoestratigráficos, línea sísmica, cizalla simple, potencial de hidrocarburos.

La zona de estudio es la Subcuenca Cesar, donde se evalúa el potencial de hidrocarburos del sector comprendido entre los municipios de Agustín Codazzi, Bosconia y Chiriguaná, en el departamento del Cesar. En esta zona se encuentran quince pozos, dentro de los que se encuentran exploratorios y estratigráficos. Los datos de cada pozo, se compilaron y se utilizaron para conocer la relación de las unidades litoestratigráficas, con la evolución estructural y geoquímica de la subcuenca, construyendo dos esquemas cronoestratigráficos, interpretando la geología estructural de las líneas sísmicas CV_79_04, CV_79_11, CV_79_27, CR_88_1100, CR_88_1180, y CR_88_1620, y elaborando un modelo geoquímico 2D de las líneas sísmicas CR_88_1100, y CR_88_1180.

Los esquemas cronoestratigráficos señalan tres inconformidades regionales: la inconformidad inferior, la inconformidad media, y, la inconformidad superior. Además, evidencian la abundancia de rocas generadoras de hidrocarburos, en el Grupo Cogollo, la Formación La Luna, y, la Formación Barco-Cuervos.

La sísmica muestra tres horizontes reflectores claros: tope de la Formación La Quinta, tope de la Formación La Luna, y el tope de la Formación Barco-Cuervos, que coinciden con las tres inconformidades regionales.

Las estructuras de flor positiva, indican que el sistema general deformativo corresponde a una cizalla simple. Las fallas T_C2, y T_C3 pertenecen a un sistema transcurrente que converge en profundidad en el Sistema de Fallas del Perijá.

El modelo geoquímico 2D de las líneas sísmicas CR_88_1100 y CR_88_1180, muestra a las rocas de la Formación La Luna, y la Formación Barco-Cuervos en ventana de generación de hidrocarburos. En las zonas más profundas de la cuenca, el petróleo generado hace cracking a gas; mientras que en las zonas más someras el petróleo y gas generados migran por los flancos de las estructuras.

En consecuencia, potencial de hidrocarburos de la Subcuenca Cesar es bueno prospectivamente.

^{*} Trabajo de Investigación, Grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones.

^{**} Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Geología. Mario García González, Ph.D.

ABSTRACT

TITLE: SEISMIC, STRUCTURAL INTERPRETATION AND GEOCHEMICAL MODELING OF TWO SEISMIC LINES IN THE CESAR SUB-BASIN (CESAR-RANCHERÍA BASIN)*

AUTHOR (S): CHAJÍN O. Patricia, MARTINEZ L. Adriana**

Key words: Cesar Sub-Basin, cronostratigraphics, seismic line, simple shear, hydrocarbon potential.

The zone of study is the Cesar Sub-Basin, where the hydrocarbon potential of the sector between the municipalities of Agustín Codazzi, Bosconia and Chiriguaná is evaluated, in the department of Cesar. In this zone are fifteen wells, within which they are exploratory and stratigraphics. The data of each well, were compiled and they were used to know the relation the litostratigraphics units, with the structural evolution and geochemistry of the sub-basin, constructing two cronostratigraphics schemes, interpreting the structural geology of seismic lines CV_79_04, CV_79_11, CV_79_27, CR_88_1100, CR_88_1180, and CR_88_1620, and elaborating a geochemical model 2D of seismic lines CR_88_1100, and CR_88_1180.

The cronostratigraphics schemes indicate three regional unconformities: the inferior unconformity, the average unconformity, and, the superior unconformity. In addition, they demonstrate the abundance of generating hydrocarbon rocks, in Grupo Cogollo, La Luna Formation, and, the Barco-Cuervos Formation.

The seismic sample three horizons reflectors: top of La Quinta Formation, top of La Luna Formation, and the top of the Barco-cuervos Formation, that agree with the three regional unconformities.

The structures of pop up, indicate that the deformative general system corresponds to a simple shears. T_C2, and T_C3 faults belong to a wrench system that converges in depth in the System of Faults of the Perijá.

The geochemical model 2D of seismic lines CR_88_1100 and CR_88_1180, shows rocks of La Luna Formation, and the Barco-Cuervos Formation in window of hydrocarbon generation. In the deepest zones of the river basin, generated petroleum does cracking to gas; whereas in the briefest zones generated petroleum and gas migrate by flanks of the structures.

Consequently, hydrocarbon potential of the Cesar Sub-Basin is a good prospect.

* Work of investigation. Group of investigation in geology of hydrocarbons and coals.

** Engineerings Physical – Chemical Faculty. School of Geology. Mario García González, Ph.D.

INTRODUCCIÓN

La exploración hidrocarburífera de la Subcuenca Cesar, en la Cuenca Cesar - Ranchería, se ha subvalorado debido a la ausencia de descubrimientos importantes de yacimientos de petróleo y gas, lo cual ha ocasionado que esta cuenca sea “olvidada” por parte de las compañías petroleras. En consecuencia el potencial de hidrocarburos de esta subcuenca es subestimado.

Por tales motivos, la prospección e interpretación sísmica de la Subcuenca Cesar en este trabajo, plantea un modelo geológico estructural, para el cual se evalúan todos los posibles escenarios para la generación, migración, acumulación y preservación de los hidrocarburos, llegando a ello con la integración de los datos adquiridos por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y disponibles en EPIS (Exploration and Production Information Service) que definen la relación entre la estratigrafía y el comportamiento estructural de la zona; y confrontarlos a la información geológica existente, promoviendo el interés de inversión en la exploración de petróleo y gas.

Sin embargo, a pesar de las interpretaciones sísmicas y estructurales existentes para esta subcuenca, se realizaron nuevas interpretaciones en las que se puntualizan detalles, y se aplican conocimientos y normas que están a la

vanguardia de la situación, sin desviar el objetivo inicial que es la búsqueda de hidrocarburos.

Es así, como este trabajo de investigación, se realizó con la información de 15 pozos, 13 exploratorios y 2 estratigráficos, teniendo en cuenta nueva información sísmica y estructural para producir un modelo estructural afín, que se adapte a los patrones geológicos del área. También, se busca un modelo geoquímico que se vincule a los modelos geológicos y geofísicos de la subcuenca, como son diagramas cronoestratigráficos, períodos de erosión y levantamiento, e interpretación de líneas sísmicas en profundidad, que demuestren la continuidad lateral de las estructuras.

Por último, este trabajo sirve de base a la evaluación de futuros proyectos realizados por el Grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones, como es el caso de trabajos de grado, que contengan una metodología similar a la utilizada.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Interpretación de dos líneas sísmicas en la Subcuenca Cesar; elaboración de un corte geológico estructural y generación de un modelo geoquímico.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Categorizar y evaluar la información geológica, geoquímica y geofísica disponible en el EPIS.
- Verificar la calidad de la información y seleccionar las líneas sísmicas 2D a interpretar.
- Interpretar las líneas sísmicas 2D utilizando el software GeoGraphix.
- Generar dos modelos Geoquímicos 2D a partir de dos líneas sísmicas interpretadas en profundidad.

- Evaluar el potencial en hidrocarburos de la Subcuenca Cesar, en el sector comprendido entre los municipios de Agustín Codazzi, Bosconia y Chiriguana.

2 INFORMACIÓN GENERAL DE LA SUBCUENCA CESAR

2.1 LOCALIZACIÓN

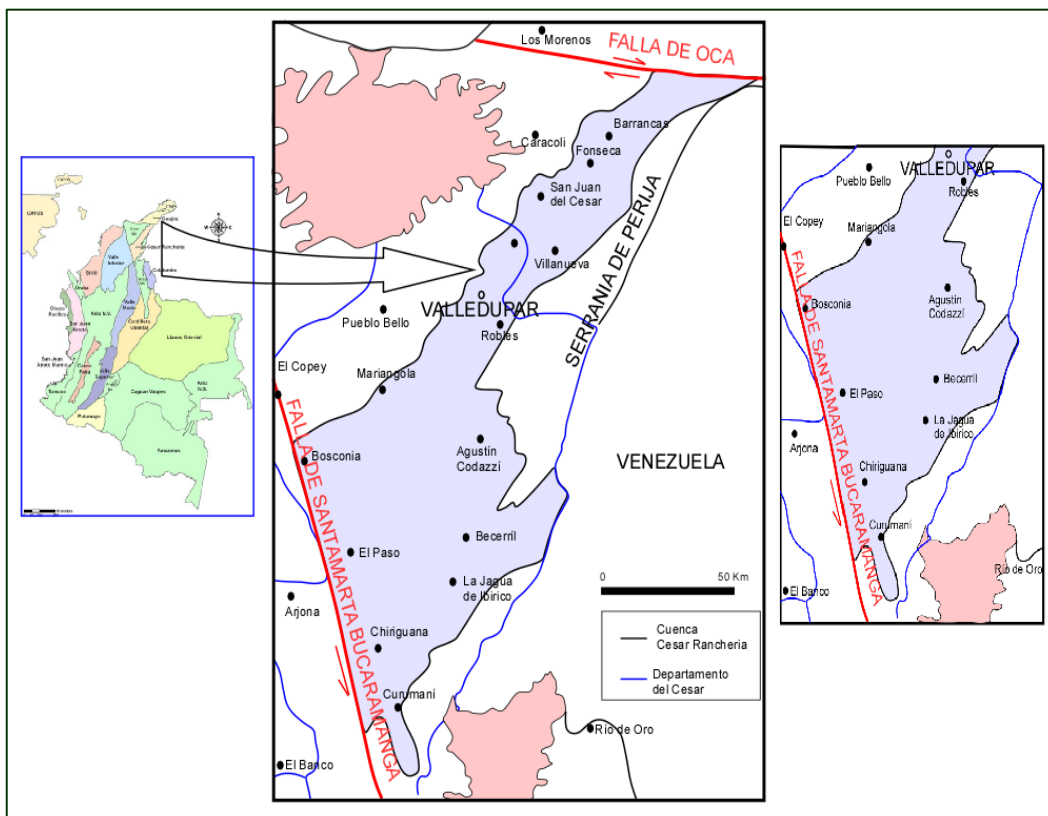


FIGURA 1. Mapa de localización de la Subcuenca Cesar modificado de ECOPELROL, (1998).

La Subcuenca Cesar pertenece a la Cuenca Cesar – Ranchería. Tiene un área aproximada de 6800 Km², y es una cuenca de tipo foreland intramontana (EPIS, 2005). Limita geológicamente al NW con la Sierra Nevada de Santa Marta, al SW con la Falla Santa Marta, al SE con la Serranía de Perijá y se extiende hacia el NE hasta el Alto de Verdesía (Alto de Valledupar). Posee una dirección SW–NE (FIGURA 1).

2.2 INFORMACIÓN GEOLÓGICA

De toda la información geológica existente, se utilizaron los informes contenidos en la base de datos elaborada por el Grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones (2007), para el proyecto “Inventario, Interpretación y Evaluación Integral de la Información Geológica, Geofísica y Geoquímica adquirida por la ANH en la Cuenca Cesar – Ranchería y el Área Especial Cesar – Ranchería” (ANEXO 1).

2.3 INFORMACIÓN SÍSMICA

Un total 2732 Km. de sísmica han sido adquiridos en la Subcuenca Cesar, con 76 líneas sísmicas, repartidas en cinco (5) programas sísmicos. Ver TABLA 1.

Programa Sísmico	Registrado Para	Registrado Por	Longitud (Km.)	Calidad	Numero de Líneas Sísmicas	Resolución Vertical	Resolución Horizontal
Valle del Cesar CV-79	Phillips Petroleum	GSI	1904	Buena	24	Moderada	Moderada
Gulf Mompóx GM-81	Gulf Oil. Co	GSI	285	Regular	22	Moderada	Pobre
Guajira Cesar CR-88	ECOPETROL	Geosource	292	Buena	13	Moderada	Moderada
Las Nieves 2D 2000	Llanos Oil Exploration LTDA.	Sismopetrol	69	Buena	6	Moderada	Buena
La Loma 2D 2005	ANH	-	182	Buena	11	Buena	Buena
TOTAL			2732	-	76	-	-

TABLA 1. Distribución de los programas sísmicos de la Subcuenca Cesar.

La calidad de la información sísmica es variada, ya que de los cinco (5) programas se puede discriminar al programa CR-88 como de buena calidad, mejor resolución

y sísmica profunda; al programa La Loma 2D como de buena calidad, pero muy somero; al programa CV-79 como de buena calidad y sísmica profunda; al programa Las Nieves 2D como de buena calidad, pero es un programa pequeño; y por último, al programa GM-81 como de calidad regular, pero cuenta con la ventaja de ser profundo.

Para efectuar la correlación de las líneas sísmicas, se tomaron parámetros como la escala de las líneas sísmicas (horizontal, vertical), niveles de los datums sísmicos, datos de secciones apiladas y migradas, la intersección de las líneas sísmicas, etc. Sin embargo, dicha correlación se ve afectada porque las escalas horizontales y verticales son variadas, los datums sísmicos son diferentes para cada programa, y se combinaron datos de secciones apiladas y migradas. Debido a los anteriores parámetros, cuando se integró la información, se tuvieron que hacer ajustes manuales en las secciones sísmicas, usando las discordancias como punto de nivelación; añadiendo que se ajustaron, en varios casos las intersecciones entre las líneas sísmicas, porque no concordaban con las intersecciones marcadas en las secciones.

La información de la localización de la sísmica con que se cuenta fue suministrada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), en formato LAS; al igual que las imágenes sísmicas, en formato SGY; los archivos para direccionar las imágenes sísmicas, en formato UKOOA; y los archivos mapeables, en formato SHP.

2.4 INFORMACIÓN DE SUBSUELO - POZOS

La Subcuenca Cesar cuenta con una amplia información de pozos, de los cuales 15 pozos se tomaron para la evaluación de la subcuenca (FIGURA 2). Son pozos exploratorios y estratigráficos; de los cuales sólo dos manifestaron presencia de hidrocarburos, mientras los pozos restantes se encontraron secos (TABLA 2).

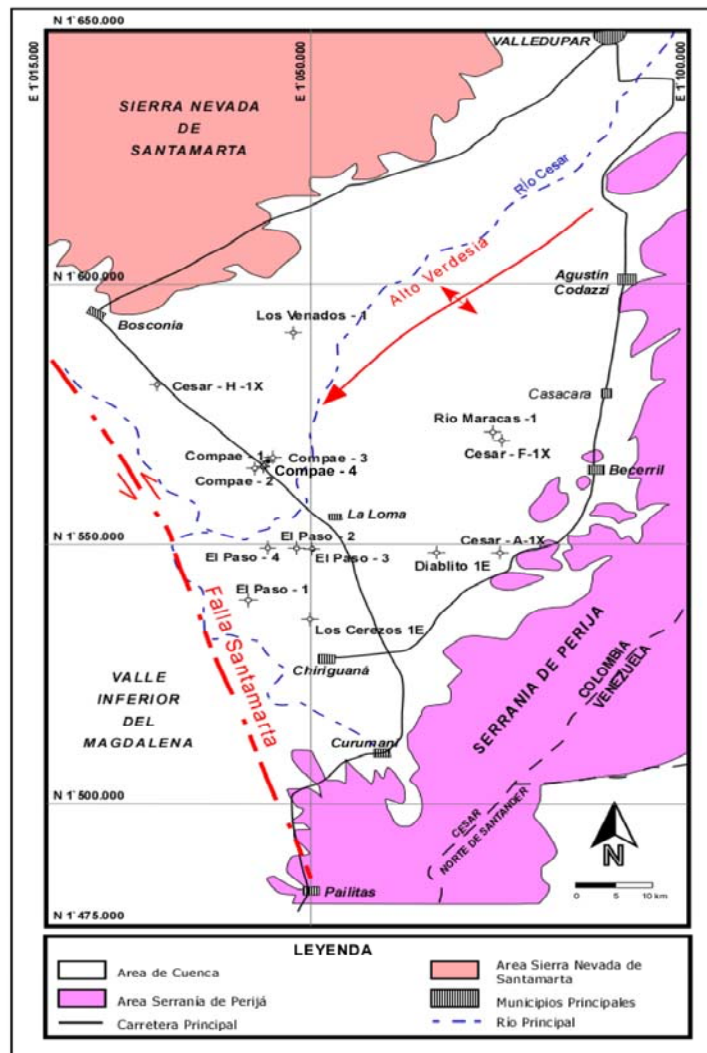


FIGURA 2. Mapa de localización de pozos.

La información de registros de pozo, estratigrafía, temperaturas de fondo, entre otros datos, se encuentra recopilada en la base de datos anexa a este informe (ANEXO 1).

Pozo	Bloque	Fecha		Profundidad Final	Elevación Rotaria	Elevación Terreno	Formación Final	Estado Final	Observaciones
		Inicial	Final						
El Paso 1	Las Nieves	11/10/47	16/12/47	2828´	1105´	100´	La Quinta	Seco	-
El Paso 2	Las Nieves	01/03/48	10/09/49	8783´	142´	127´	Molino	Seco	Petróleo y gas
El Paso 3	Las Nieves	12/09/53	04/07/54	11609´	146´	134´	Aguas Blancas	Seco	No comercial de petróleo
El Paso 4	Las Nieves	21/07/54	15/09/54	4252´	141´	130´	Molino	Seco	-
Compae 1	Maracas	04/06/87	87	5173´	130´	144´	Río Negro	Gas y Aceite	-
Compae 2	-	-	-	-	-	-	Aguas Blancas (Mb. Tocuy)	-	Manifestación de gas regular
Compae 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compae 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cesar A-1X	Las Nieves	01/07/80	02/08/80	5600´	320´	304´	La Quinta	Seco	Petróleo y gas
Cesar F-1X	Las Nieves	17/09/80	05/12/80	6543´	243´	226´	Lagunitas	Gas	No comercial de gas
Cesar H-1X	Maracas	21/12/80	17/01/81	4220´	190´	174´	La Quinta	Seco	Brea en la Fm. Río Negro
Los Cerezos 1E	La Loma	20/12/04	03/02/05	2131´	0	50´	Molino	Abandonado	-
Diablito 1E	La Loma	13/10/04	14/12/04	2301.8´	0	179´	Molino	Abandonado	-
Los Venados 1	Las Nieves	22/12/54	15/11/55	4110´	245´	210´	Gp. Cogollo	Seco	-
Río Maracas 1	Las Nieves	11/12/51	17/06/52	10218´	221´	231´	Aguas Blancas (Mb. Ánimas)	Seco	Seco sin pruebas de formación

TABLA 2. Resumen de la información de pozos de la Subcuenca Cesar.

2.5 INFORMACIÓN GEOQUÍMICA

De la información geoquímica existente, en el informe de ECOPETROL, (1998), se encuentra un capítulo nominado Evaluación Geoquímica General de la Cuenca Cesar-Ranchería, del cual se recuperó alguna información geoquímica pertinente para la realización de este trabajo.

En general, se pudo utilizar la información geoquímica de pozos existente (TABLA 3) referida en la base de datos anexa a este informe (ANEXO 1). Sin embargo, la información geoquímica esencial de pozos con la que se trabajó, es bastante pobre, tanto así, que sólo se tenían valores de Ro para el pozo Cesar F-1X.

Pozo	Informe Geoquímico
El Paso 1	
El Paso 2	
El Paso 3	
El Paso 4	
Compae 1	X
Compae 2	
Compae 3	
Compae 4	
Cesar A-1X	X
Cesar F-1X	X
Cesar H-1X	
Los Cerezos 1E	
Diablito 1E	
Los Venados 1	
Río Maracas 1	

TABLA 3. Información geoquímica de pozos. La letra x señala los pozos que cuentan con informes geoquímicos.

3 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La Cuenca Cesar-Ranchería corresponde a una depresión intramontana ubicada entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, alargada en dirección N30E y de geometría cónica con la base en el sector suroccidental de la Subcuenca Cesar y el extremo más angosto en el sector nororiental de la Subcuenca Ranchería (ECOPETROL, 1998) (FIGURA 3).

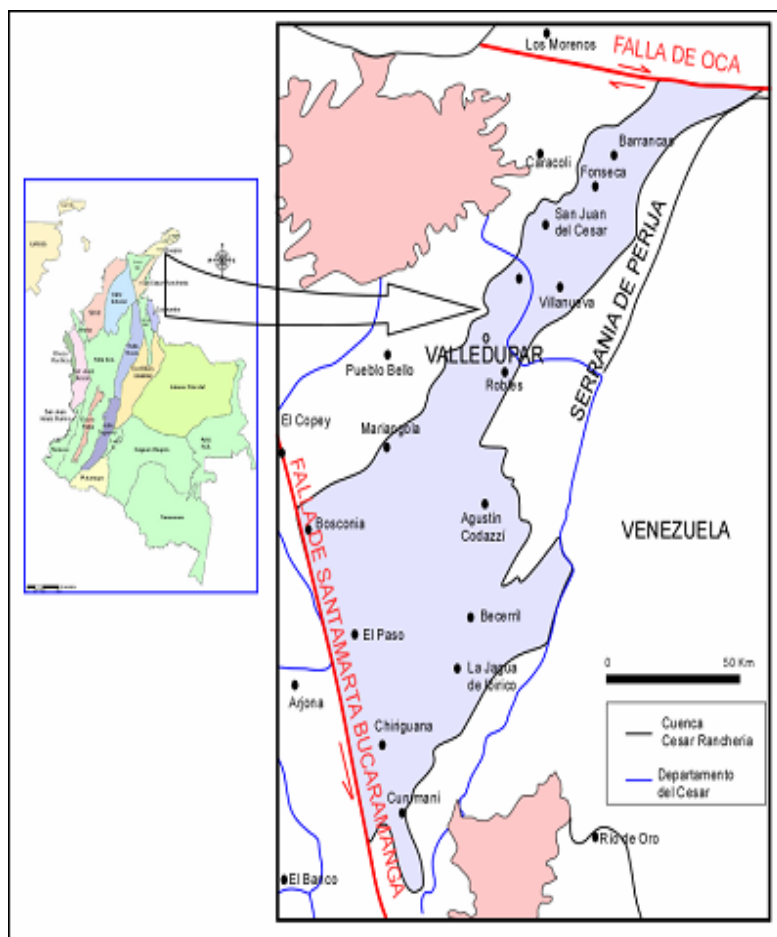


FIGURA 3. Ubicación de la Cuenca Cesar Ranchería. Modificado de ECOPETROL, GEOPETROCOL (1998).

Tectónicamente, la Cuenca Cesar-Ranchería se encuentra ubicada dentro del Bloque Maracaibo, que corresponde a un fragmento de corteza en el extremo noroccidental de Suramérica, delimitado por las fallas de Santa Marta, Oca y Boconó (ECOPETROL, 1998) (FIGURA 4).

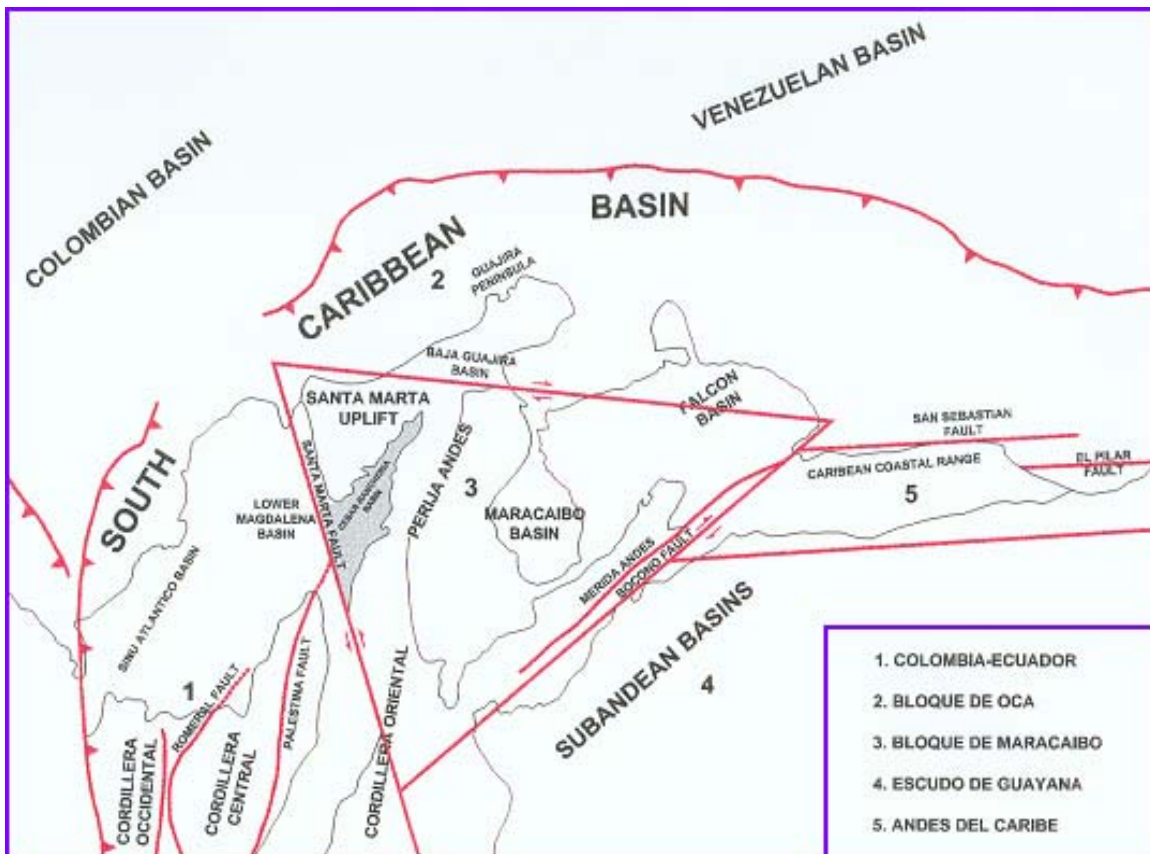


FIGURA 4. Diagrama esquemático que ilustra los elementos tectónicos regionales de la Cuenca Cesar-Ranchería.

Según ECOPETROL, (1998), la historia geológica de la Cuenca Cesar-Ranchería está caracterizada por diferentes estadios de evolución tectónica de la siguiente manera:

- La historia de deformación y comportamiento diferencial de los elementos geológicos macro (Sierra Nevada de Santa Marta, Serranía del Perijá,

Macizo de Santander y Cuenca Cesar-Ranchería) se inició en el Paleozoico Inferior (Silúrico – Devónico Inferior), como resultado de la fragmentación de la corteza en bloques. Este primer evento importante de deformación, generó metamorfismo regional y subsecuentemente, la primera superficie de erosión, sobre la cual se depositaron las rocas sedimentarias (no metamorfizadas) del Grupo Río Cachirí.

- Luego de un período de depositación, en el Paleozoico Superior (Pérmico Superior - Triásico), ocurre un levantamiento que continentaliza los ambientes de depósito, y en ellos, durante el Triásico – Jurásico, se depositaron sedimentos molásicos acompañados de un vulcanismo ácido (ECOPETROL, 1989). En el Mesozoico Inferior ocurrió un fallamiento de carácter extensional que condujo a la caracterización estructural de grábens y horts sobre los que se depositó una secuencia vulcanosedimentaria.
- La transición Jurásico – Cretácico limita una etapa de deformación para la cual se genera una superficie de erosión que se observa como una discordancia angular (ECOPETROL, 1989). De forma subsecuente, en el Cretácico Inferior, disminuye progresivamente la actividad tectónica, por lo cual, el cambio en las condiciones ambientales, es controlado por las oscilaciones del nivel del mar y la subsidencia lenta de la cuenca, depositándose la Formación Río Negro, bajo condiciones tectónicas más estables.

- La evolución de la cuenca durante el Cretácico Superior – Paleógeno se identifica por la ausencia de actividad tectónica y por el depósito de gruesas secuencias compuestas por carbonatos de plataforma y shales, correspondientes a las formaciones Lagunitas, Aguas Blancas, La Luna y Molino. Esta secuencia sedimentaria es la prueba del cambio del nivel del mar durante el Cretácico, ya que demuestra cómo cambian las condiciones de marinas transgresivas a regresivas transicionales, con ambientes de depósito que van desde marino transicional a transicional continental.
- A continuación, en el Paleógeno, sucedieron importantes eventos orogénicos que causaron plegamiento y levantamiento de las rocas pre-existentes. En el Paleoceno se depositó la Formación Barco y la Formación Los Cuervos en un ambiente más continental. Posteriormente, en el Eoceno se produce la reactivación por inversión de antiguas fallas generadas en el Mesozoico Inferior (Triásico – Jurásico), y este tectonismo conlleva a una superficie de erosión distribuida irregularmente en la cuenca, que removió la secuencia de sedimentos clásticos del Eoceno Inferior. Seguidamente, en el Eoceno Superior (Priaboniano), la cuenca continuó su levantamiento. En el Oligoceno, aumenta la deformación de la cuenca (cuenca foreland), desarrollándose fallas de cabalgamiento y pliegues, por una tectónica compresiva, marcándose así, en el Oligoceno Superior (Chattiano) el comienzo de una etapa en la cual ocurrió deformación tectónica.

- En el Neógeno (Mioceno – Plioceno), la cuenca tiene un carácter de intramontana. Con la tectónica compresiva, sigue el levantamiento de la Serranía del Perijá, y simultáneamente, sucede sedimentación sobre la discordancia por esta tectónica. Los sedimentos se depositan en las zonas bajas adyacentes a los altos. El plegamiento en dirección vertical en la zona entre la Serranía del Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta, forma la depresión correspondiente a la Subcuenca Cesar, la cual es sedimentada por los materiales provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá.
- Actualmente (Cuaternario), debido a la interacción de las placas Caribe y Suramericana; los procesos de compresión continúan, al igual que el levantamiento moderado de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá; y por ello siguen siendo las principales fuentes de aporte de sedimentos de la Cuenca Cesar-Ranchería.

4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA SUBCUENCA CESAR

La geología estructural de la Subcuenca Cesar de manera local, se planteó utilizando la interpretación de las líneas sísmicas CV-1-79 y CV-5-79 realizada por ECOPETROL, (1998); en la cual se ilustran las estructuras que definen el arreglo característico de la subcuenca. La interpretación de las líneas sísmicas CV-1-79 y CV-5-79, está ilustrada en dos secciones estructurales A-A' y B-B' respectivamente. La localización geográfica de las líneas sísmicas se muestra en la FIGURA 5.

La descripción de las estructuras encontradas en la Subcuenca Cesar se expone a continuación:

4.1 SISTEMA DE FALLAS DE SANTA MARTA – BUCARAMANGA: Es el límite SW de la subcuenca. Es una falla de tipo wrench, que tiene un desplazamiento de 40 Km. en sentido sinistral, relacionado al movimiento del bloque de Maracaibo (FIGURA 4) hacia el norte y oriente a lo largo de la falla de Boconó. Corresponde a una antigua falla de edad Triásico – Jurásico que tuvo un comportamiento dextral.

4.2 SISTEMA DE FALLAS DE PERIJÁ: Es un sistema de fallas de trazo rectilíneo, con dirección NE-SW, y desplazamiento lateral izquierdo

(Ingeominas, 2007), el cual se puede seguir por más de 100 Km. en el margen occidental de la Serranía del Perijá. Consiste en un sistema imbricado, con transporte tectónico hacia el occidente, e involucran el basamento pre-Jurásico marcando el límite de los depósitos sinsedimentarios de la Formación Río Negro. Las fallas despegan con alto ángulo en la secuencia del Jurásico, propagándose hacia el oeste con rampa en el Cretácico y despegue de bajo ángulo a la base de la Formación Molino. Las estructuras más frontales y estructuralmente más bajas son paulatinamente de más bajo ángulo hacia el oeste (FIGURAS 6a y 6b).

4.3 SINCLINAL DE LA JAGUA: Tiene una dirección NE-SW y se puede seguir en superficie por más de 25 Km. La zona axial del sinclinal es afectada por una estructura de flor positiva controlada por sistemas de fallas inversas de corto desplazamiento. Localmente, algunas estructuras del sinclinal desarrollan cierres estructurales por propagación de fallas en la zona terminal de la falla (FIGURA 6a). El flanco oeste del sinclinal de La Jagua es controlado por la proyección sur del Alto de Verdesía.

4.4 ALTO DE VERDESÍA: Es interpretado como una estructura anticlinal de hanging wall asociada a la rampa frontal del sistema de fallas de Verdesía. El pozo Compae 1, probó la existencia de hidrocarburos en la estructura (FIGURA 6a). La parte axial de la estructura se expone en superficie pocos kilómetros al norte de la sección en donde se encuentran los depósitos sinsedimentarios de la Formación La Quinta; por consiguiente, evidencia la ausencia de la Formación Río Negro, lo

cual sugiere la existencia del Paleozoico de Verdesía en el Cretácico Temprano durante la sedimentación de la Formación Río Negro.

4.5 SISTEMA DE FALLAS DE VERDESÍA: La estructura frontal del sistema de fallas de Verdesía es caracterizada como un sistema imbricado con propagación hacia el oeste, constituido por dos estructuras imbricadas con apretados cierres estructurales que involucran la secuencia cretácica y es parcialmente fosilizado por los depósitos más recientes de la cuenca. (FIGURA 6b).

4.6 FALLAS NORMALES: Controlan bloques de basamento pre-Jurásico, que constituyen una antigua depresión rellena por un remanente de depósitos sinsedimentarios de la Formación La Quinta. Algunas de estas fallas se reactivaron durante el Cenozoico, cambiando su comportamiento a inverso (FIGURA 6a).

4.7 SISTEMA DE FALLAS DE BOSCONIA: Este sistema de fallas tiene vergencia hacia el este, con desplazamiento corto, e involucran el basamento pre-Jurásico. (FIGURAS 6a y 6b)

4.8 ANTICLINAL DE BECERRIL: Es un pliegue anticlinal con vergencia hacia el este, desarrollado por propagación de falla. Expone en superficie los depósitos de la Formación Aguas Blancas y la Formación La Luna. Entre este anticlinal y el sistema de fallas de Perijá hay una zona de convergencia estructural que involucra toda la secuencia cretácica en su núcleo (FIGURA 6b).

4.9 SINCLINAL DE LOS VENADOS: Forma parte del flanco occidental del Alto de Verdesía y tiene vergencia hacia el este. El flanco occidental de esta estructura es cortado por el sistema de fallas de Verdesía (FIGURA 6b).

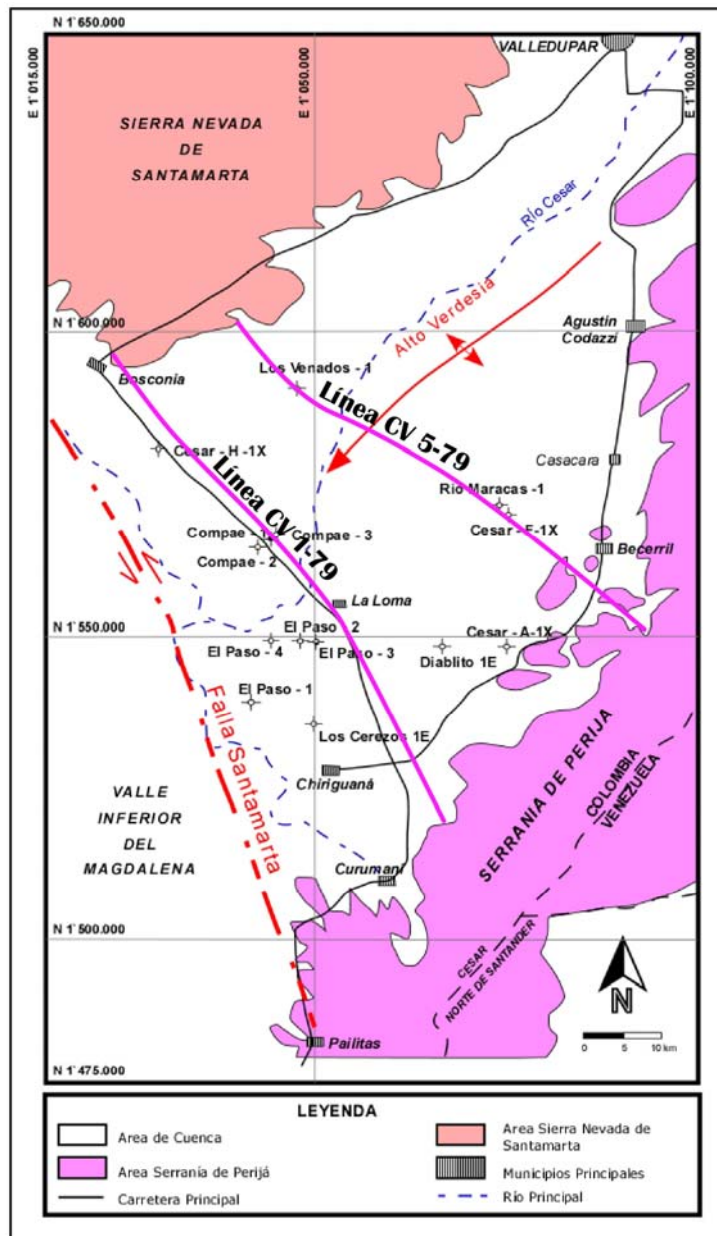


FIGURA 5. Mapa de localización de las líneas sísmicas CV-1-79 y CV-5-79.

El patrón de fallamiento de la Subcuenca Cesar, está conformado por fallas de cabalgamiento y fallas inversas de alto ángulo. Este tipo de fallas se relacionan al movimiento compresivo hacia el norte que genera el Macizo de Santander contra la Falla de Oca. La mayoría de estos esfuerzos son absorbidos por la sección sur de la subcuenca y debido a esto se genera deformación, plegamiento, y las fallas inversas de alto ángulo, las cuales tienen una dirección EW, hacia el sur de la subcuenca, y una dirección WSW-ENE a SW-NW hacia la parte norte de la subcuenca. Además, en la parte norte de la subcuenca el espacio entre las fallas y su desplazamiento es mayor. Estas fallas tienen una componente de wrenching, convergen en el sistema de fallas de Perijá, y se completan con fallas antitéticas oblicuas y ortogonales a la dirección principal de fallamiento.

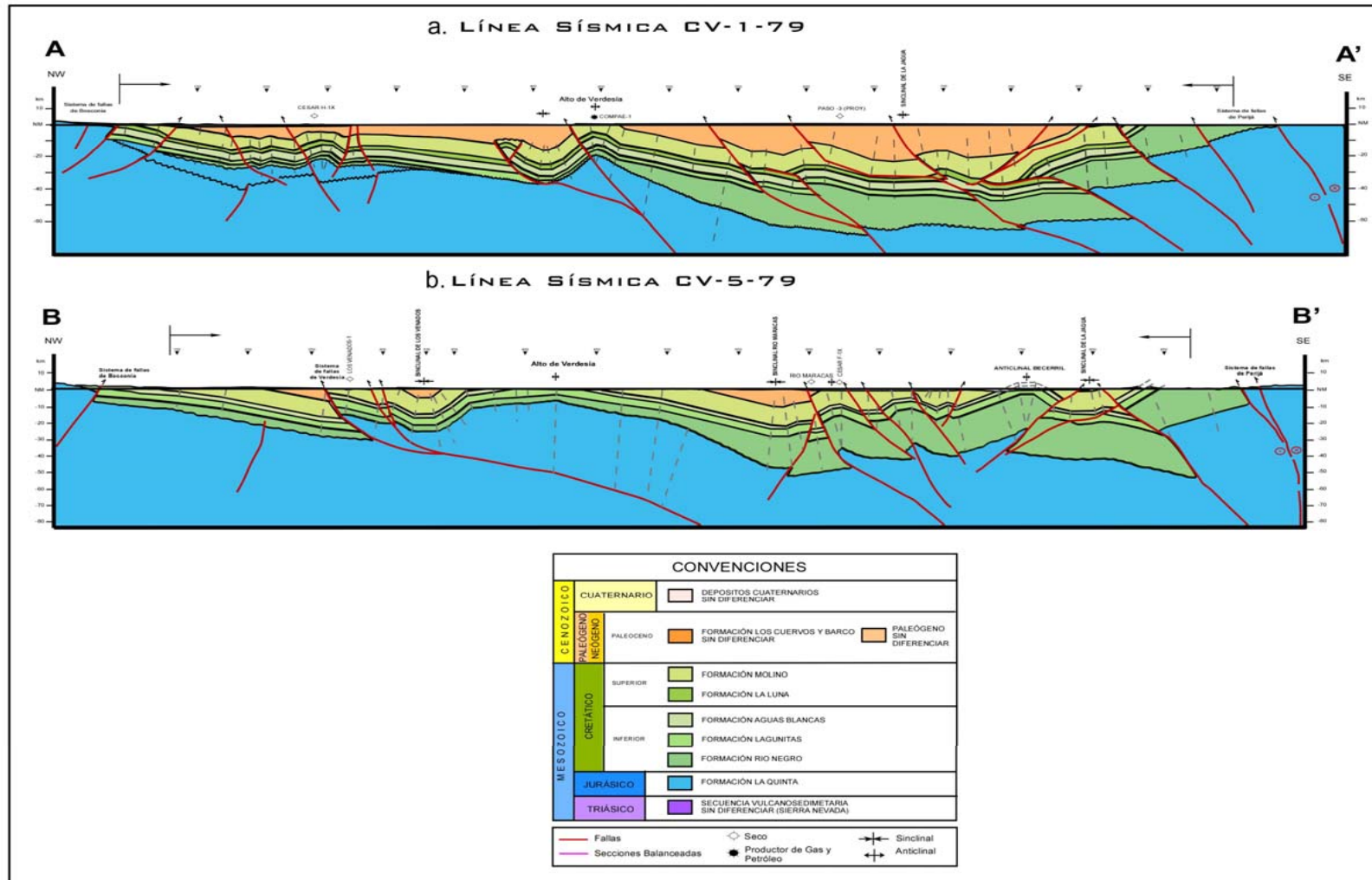


FIGURA 6. Secciones estructurales de la Subcuenca Cesar. A. Sección estructural A-A', interpretada de la línea sísmica CV-1-79. B. Sección estructural B-B', interpretada de la línea sísmica CV-5-79. Modificado de ECOPETROL, (1998).

5 ESTRATIGRAFÍA

Las unidades litoestratigráficas presentes en la Subcuenca Cesar, comprenden edades que abarcan desde el Jurásico, hasta el reciente (FIGURA 7), y se describen así:

5.1 JURÁSICO

5.1.1 Formación La Quinta: El nombre de esta formación, fue creado por Künding (1938) en Venezuela, e introducido en Colombia por Miller (1960). De edad Jurásico Tardío, se compone de depósitos clásticos, no marinos asociados a rocas vulcanoclásticas, areniscas arcósicas, lutitas, limolitas abigarradas y conglomerados color rojo, cuya composición de clastos varía de volcánicos a graníticos, metamórficos o procedentes de la misma formación. Hacia la parte media de la sección se presentan cenizas félsicas, flujos andesíticos basálticos, y brechas. Reposo discordantemente sobre rocas del Paleozoico y el contacto con las rocas del Cretácico es discordante. El espesor en la Subcuenca Cesar, no se ha determinado; pero los espesores perforados por lo diferentes pozos corresponden a espesores parciales que no superan los 200 metros. Así mismo, de la información sísmica que se tiene, se estima que la sección puede tener un espesor de 1600 metros.

5.2 CRETÁCICO

5.2.1 Formación Río Negro: Definida por Hedberg y Sass (1937). De edad Valanginiano Medio – Aptiano, consta de areniscas y conglomerados de granulometría y composición variada, con intercalaciones esporádicas de arcillolitas y limolitas grises y pardas. Se presenta en capas gruesas a muy gruesas con abundante estratificación cruzada a diversas escalas. Se encuentra suprayaciendo en contacto discordante a las rocas de la Formación La Quinta, y sobre ella reposan concordantemente las rocas de la Formación Lagunitas. El espesor en la subcuenca Cesar, no se ha determinado; pero los espesores perforados por los diferentes pozos alcanzan los 200 metros como en el pozo Cesar A-1X, sin embargo, por información sísmica y balanceo de secciones se plantea un espesor aproximado de 2000 metros.

5.2.2 Grupo Cogollo: Definido por Miller (1962). Constituido por las formaciones Lagunitas y Aguas Blancas.

5.2.2.1 Formación Lagunitas: De edad Barremiano Medio – Aptiano, es conformada por calizas masivas fosilíferas con intercalaciones de shales calcáreos. Se encuentra suprayaciendo en contacto concordante a la Formación Río Negro, e infrayace en contacto concordante a la Formación Aguas Blancas. De los pozos que atravesaron esta formación, Cesar A-1X, Cesar H-1X, Los Venados 1 y Compae 1, el máximo espesor fue de 345 metros en el pozo Cesar

A-1X, sin embargo, por información sísmica y balanceo de secciones, el espesor promedio es de 300 metros.

5.2.2.2 Formación Aguas Blancas: Durham (1946) y Lill & Nugent (1950), la subdividieron en tres miembros principales, el Miembro Ánimas, el Miembro Tocuy y el Miembro Maracas. De edad Aptiano Tardío – Albiano Medio – Tardío. La relación con las rocas suprayacentes (Formación La Luna) e infrayacentes (Formación Lagunitas) es concordante. En la Subcuenca Cesar, se ha encontrado el mayor espesor de esta formación, calculándose en 750 metros aproximadamente. Sin embargo, en perforaciones exploratorias el máximo espesor encontrado ha sido de 575 metros en el pozo Cesar A-1X.

5.2.2.2.1 Miembro Ánimas: Es una secuencia conformada por shales negros, carbonosos, calcáreos, con abundante materia orgánica. Hacia la base de estos se encuentran concreciones calcáreas. Los shales se intercalan con calizas negras, micríticas, duras, localmente fosilíferas (bivalvos), carbonosas.

5.2.2.2.2 Miembro Tocuy: Hacia la base está compuesto por limolitas arenosas de colores gris oscuras, levemente calcáreas, algo fósiles, las cuales gradan localmente a areniscas de grano fino. (Proyecto Cesar Ranchería, informe final geología, 1989).

5.2.2.2.3 Miembro Maracas: Caracterizado por la presencia de calizas lumaquéllicas (pelecípodos y gasterópodos), masivas. Muy similar a la Formación Lagunitas.

5.2.3 Formación La Luna: Término introducido por Garner (1926). De edad Turoniano Inferior posiblemente hasta el Santoniano (Ward et. al., 1973). Corresponde a una secuencia alternante de limolitas, arcillolitas, lutitas negras carbonosas y calcáreas, calizas bituminosas carbonosas, capas de chert, concreciones, nódulos de diversos tamaños. Las lodolitas son predominantes hacia la base de la formación, al igual que las capas de chert, mientras que las calizas son comunes en la parte superior. Se encuentra en contacto concordante con la infrayacente Formación Aguas Blancas, y en contacto disconforme o paraconforme (hiato estratigráfico) con la suprayacente Formación Molino. Los mayores espesores encontrados en las perforaciones exploratorias son 252 metros en el pozo Cesar A-1X y 356 metros en el pozo El Paso 3.

5.2.4 Formación Molino: Definida por Tschanz (1969). De edad Campaniano - Maastrichtiano Tardío, corresponde a una sucesión monótona de shales gris azulosos y gris oliva a negros, calcáreos, con abundantes microfósiles. Presenta delgadas intercalaciones de areniscas de grano fino, limolitas y calizas grises a negras en capas delgadas. Aparece en contacto paraconforme debido al hiato estratigráfico, con la infrayacente Formación La Luna, y en contacto concordante, transicional con la Formación Barco – Cuervos. Se ha diferenciado el Miembro Socuy (Martínez & Hernández, 1992), el cual consta de calizas y margas. Los

mayores espesores perforados en la subcuenca son de 1514 metros en el pozo El Paso 3, y 1686 metros en el pozo El Paso 2. No se tienen datos de espesores en superficie, mientras el espesor promedio se calcula de 1000 a 1600 metros.

5.3 PALEÓGENO

5.3.1 Formación Barco - Cuervos: Definida por Notestein et. al. (1944). De edad Paleoceno – Eoceno Inferior, está constituida por una alternancia de areniscas de grano medio interestratificadas con arcillolitas grises a negras, carbonosas y mantos de carbón. Reposa en contacto concordante, transicional con la Formación Molino y en contacto discordante con la Formación? Eoceno “Sin Nombrar”.

5.3.2 Formación? Eoceno Sin Nombrar: Propuesta por Drummond (2006). Está constituida por una serie de areniscas de grano medio a grueso, ligeramente conglomeráticas. Reposa en contacto discordante sobre la Formación Barco – Cuervos, y es suprayacida de manera discordante por las rocas de la Formación Cuesta. El espesor aproximado calculado para estas rocas es de 250 metros (Drummond, 2006). Esta unidad es correlacionable con las formaciones Misoa, Arenisca C y Arenisca B de la Cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela.

5.4 NEÓGENO

5.4.1 Formación Cuesta: Definida por García (1990). De edad Mioceno Medio – Plioceno, se constituye por areniscas muy poco consolidadas, mal seleccionadas,

con algunas intercalaciones de conglomerados, limolitas y arcillolitas. Está en contacto discordante con la infrayacente Formación? Eoceno "Sin Nombrar", y en contacto discordante con los depósitos cuaternarios suprayacentes.

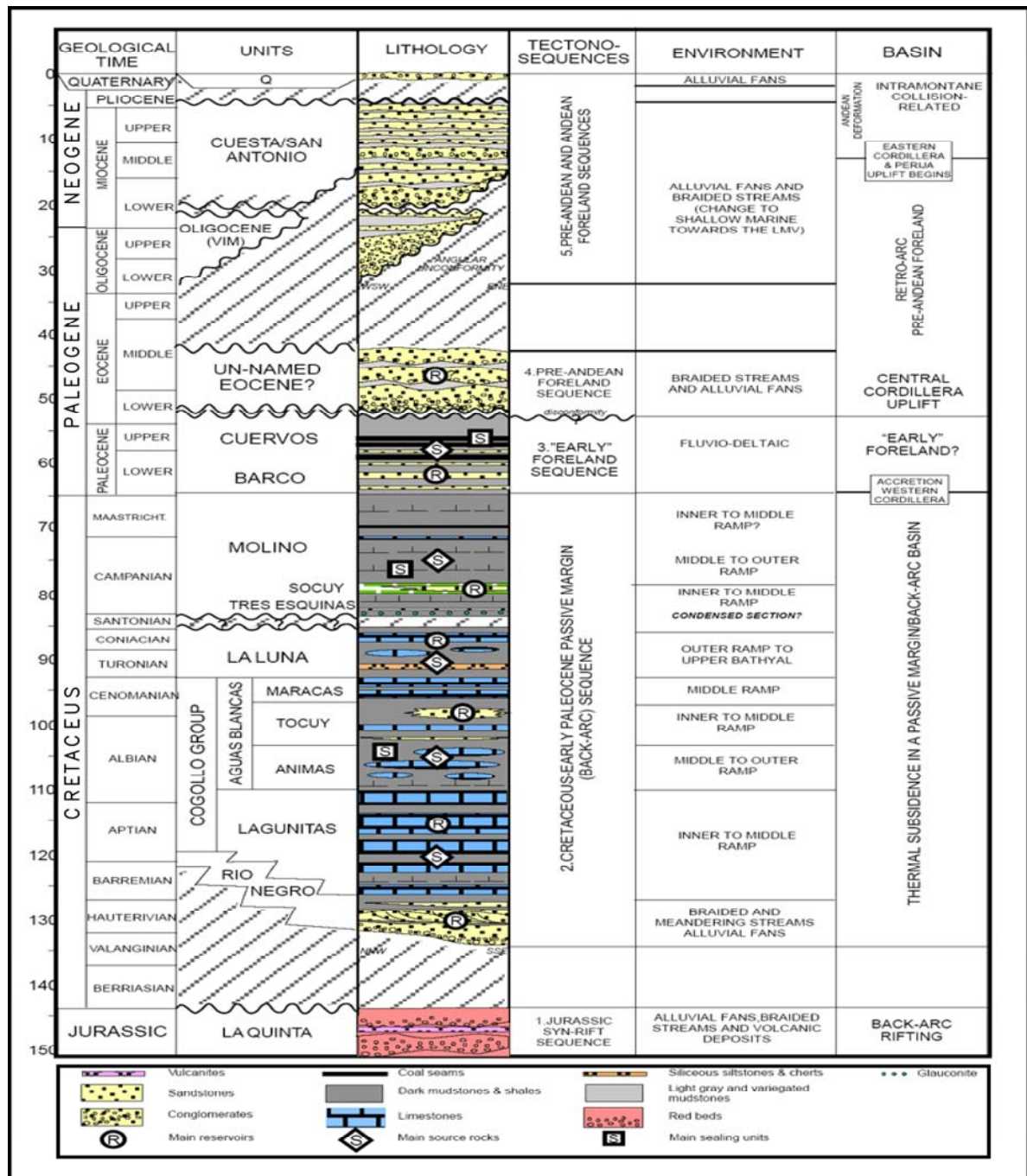


FIGURA 7. Columna estratigráfica de la Subcuenca Cesar. Modificado de Drummond (2006).

5.5 CUATERNARIO

Los depósitos recientes corresponden a abanicos aluviales y depósitos de material de derrubio (aluviales), que presentan un desarrollo asociado con las cuencas hidrográficas de los ríos Cesar y Ranchería, así como el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá.

Estos depósitos son muy variados y reflejan en los diferentes sectores, la litología correspondiente de las rocas aflorantes en las zonas aledañas al sitio de estudio. Están constituidos, normalmente, por bloques, cantos, guijos y guijarros de rocas de las diferentes formaciones, con una matriz areno arcillosa, y en algunos casos calcárea. El contacto con la infrayacente Formación Cuesta es discordante debido a la existencia de un paleorelieve generado por procesos de plegamiento durante el Paleógeno Superior – Neógeno.

6 METODOLOGÍA

La siguiente metodología es aplicable en la interpretación sísmica, estructural y el modelado geoquímico de una línea sísmica.

De la información compilada en la base de datos (ANEXO 1), se tomaron los informes relacionados a los 15 pozos escogidos para la evaluación de la Subcuenca Cesar (FIGURA 2). De estos informes se sacaron los datos de los pozos como lo son las coordenadas, la fecha de inicio y finalización, los espesores de las formaciones, y, los topes y bases de las formaciones; los que posteriormente se relacionaron en una tabla de la siguiente manera:

Pozo El Paso 1

Fecha		Coordenadas			Estado Final		
Inicio	11/10/47	Latitud	9.4671444	X	1041971.411	Seco	
Final	16/12/47	Longitud	- 73.6987278	Y	1538399.781	Bloque	Las Nieves
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)	
1.8	Cuaternario	275		0		275	
20	Cuestas	2115		275		2390	
150.8	La Quinta	537		2390		2927	

TABLA 4. Descripción general del pozo El Paso 1.

Pozo El Paso 2

Fecha		Coordenadas			Estado Final		
Inicio	01/03/48	Latitud	9.5621444	X	1048589.32	Seco	
Final	10/09/49	Longitud	- 73.6383444	Y	1548915.495	Bloque	Las Nieves

Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)	Tope (ft)	Base (ft)
1.8	Cuaternario	1110	0	1110
20	Cuestas	1262	1110	2380
65	BarcoCuervos	1892	2380	4370
79	Molino	3642	4370	8783

TABLA 5. Descripción general del pozo El Paso 2.

Pozo El Paso 3

Fecha		Coordenadas			Estado Final		
Inicio	12/09/53	Latitud	9.5594833	X	1050339.345	Seco	
Final	04/07/54	Longitud	-73.6224083	Y	1548623.437	Bloque	Las Nieves
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)	
20	Cuestas	1290		0		1302	
65	BarcoCuervos	3728		1302		5030	
79	Molino	4060		5030		9091	
93.5	La Luna	2069		9091		11160	
96.2	AguasBlancas	449		11160		11609	

TABLA 6. Descripción general del pozo El Paso 3.

Pozo El Paso 4

Fecha		Coordenadas			Estado Final		
Inicio	21/07/54	Latitud	9.5661722	X	1044438.114	Seco	
Final	15/09/54	Longitud	-73.67615	Y	1549355.907	Bloque	Las Nieves
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)	
1.8	Cuaternario	141		0		141	
20	Cuestas	2191		141		2332	
65	BarcoCuervos	1568		2332		3900	
79	Molino	350		3900		4252	

TABLA 7. Descripción general del pozo El Paso 4.

Pozo Compae 1

Fecha		Coordenadas			Estado Final		
Inicio	04/06/87	Latitud	9.7171028	X	1044350.081	Gas y aceite	
Final	1987	Longitud	-73.6767722	Y	1566050.167	Bloque	Maracas
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)	
1.8	Cuaternario	60		0		60	

79	Molino	1544	60	1604
83.5	Mb. Socuy	145	1604	1749
93.5	La Luna	579	1749	2328
96.2	Mb. Maracas	408	2328	2736
104	Mb. Tocuy	650	2736	3386
110	Mb. Ánimas	624	3386	4010
118	Lagunitas	880	4010	4890
134.5	Río Negro	283	4890	5173

TABLA 8. Descripción general del pozo Compae 1.

Pozo Compae 2

Fecha		Coordenadas			Estado Final	
Inicio	Desconocida	Latitud	9.7051444	X	1043049.052	Desconocido
Final	Desconocida	Longitud	-73.6886417	Y	1043049.052	Bloque Maracas
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)
1.8	Cuaternario	54		0		54
79	Molino	1678		54		1732
83.5	Mb. Socuy	206		1732		1938
93.5	La Luna	456		1938		2394
96.2	Mb. Maracas	423		2394		2817
104	Mb. Tocuy	95		2817		2912

TABLA 9. Descripción general del pozo Compae 2.

Pozo Compae 3

Fecha		Coordenadas			Estado Final	
Inicio	Desconocida	Latitud	9.7220917	X	1045002.673	INE
Final	Desconocida	Longitud	-73.6708194	Y	1566602.772	Bloque Maracas
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)
79	Molino	1738		94		1832
83.5	Mb. Socuy	195		1832		2027
93.5	La Luna	479		2027		2506

TABLA 10. Descripción general del pozo Compae 3.

Pozo Compae 4

Fecha		Coordenadas			Estado Final	
Inicio	Desconocida	Latitud	9.7100759	X	1043652.311	P&A
Final	Desconocida	Longitud	-73.6831389	Y	1565272.098	Bloque Maracas
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)
1.8	Cuaternario	90		0		90
79	Molino	1962		90		2052
83.5	Mb. Socuy	166		2052		2218
93.5	La Luna	117		2218		2335

TABLA 11. Descripción general del pozo Compae 4.

Pozo Cesar A-1X

Fecha		Coordenadas				Estado Final	
Inicio	01/07/80	Latitud	9.5537833	X	1074886.128	Seco	
Final	02/08/80	Longitud	-73.3988472	Y	1548033.514	Bloque	Las Nieves
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)	
79	Molino	1040		0		720	
93.5	La Luna	1790		720		2750	
96.2	Gp. Cogollo	2070		2750		4820	
134.5	Río Negro	660		4820		5480	
150	La Quinta	120		5480		5600	

TABLA 12. Descripción general del pozo Cesar A-1X.

Pozo Cesar F-1X

Fecha		Coordenadas				Estado Final	
Inicio	17/09/80	Latitud	9.7550111	X	1075283.053	Gas y Abandonado	
Final	05/12/80	Longitud	-73.394825	Y	1570293.078	Bloque	Las Nieves
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)	
1.8	Cuaternario	980		0		980	
12.9	Cuestas	530		980		1510	
79	Molino	1970		1510		3480	
93.5	La Luna	310		3480		3790	
96.2	AguasBlancas	2570		3790		6360	
118	Lagunitas	190		6360		6550	

TABLA 13. Descripción general del pozo Cesar F-1X.

Pozo Cesar H-1X

Fecha		Coordenadas				Estado Final	
Inicio	21/12/80	Latitud	9.8495222	X	1029734.473	Seco	
Final	17/01/81	Longitud	-73.80985	Y	1580682.401	Bloque	Maracas
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)	
12.9	Cuestas	1290		0		1876	
79	Molino	230		1876		1983	
93.5	La Luna	590		1983		2570	
96.2	AguasBlancas	937		2570		2570	
118	Lagunitas	503		2570		4010	
134.5	Río Negro	130		4010		4140	
150	La Quinta	80		4140		4220	

TABLA 14. Descripción general del pozo Cesar H-1X.

Pozo Los Cerezos 1E

Fecha		Coordenadas			Estado Final	
Inicio	20/12/04	Latitud	9.4515471	X	1055225.896	Abandonado
Final	03/02/05	Longitud	- 73.5780585	Y	1536691.404	Bloque La Loma
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)
1.8	Cuaternario	82		0		82
65	BarcoCuervos	1672		82		1754
79	Molino	377		1754		2131

TABLA 15. Descripción general del pozo Los Cerezos 1E.

Pozo Diablito 1E

Fecha		Coordenadas			Estado Final	
Inicio	13/10/04	Latitud	9.5500836	X	1065653.915	Abandonado
Final	14/12/04	Longitud	- 73.4829384	Y	1547607.164	Bloque La Loma
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)
1.8	Cuaternario	154		0		154
65	BarcoCuervos	1588		154		1742
79	Molino	559.8		1742		2301.8

TABLA 16. Descripción general del pozo Diablito 1E.

Pozo Los Venados 1

Fecha		Coordenadas			Estado Final	
Inicio	22/12/54	Latitud	9.9379028	X	1047893.088	Seco
Final	15/11/55	Longitud	-73.6441972	Y	1590477.507	Bloque Las Nieves
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)
1.8	Cuaternario	200		0		200
79	Molino	1300		200		1500
93.5	La Luna	1050		1500		2550
96.2	Gp. Cogollo	1560		2550		1560

TABLA 17. Descripción general del pozo Los Venados 1.

Pozo Río Maracas 1

Fecha		Coordenadas			Estado Final	
Inicio	11/12/51	Latitud	9.7664194	X	1074439.027	Seco
Final	17/06/52	Longitud	-73.4024936	Y	1571553.308	Bloque Las Nieves
Edad (Ma)	Formación	Espesor (ft)		Tope (ft)		Base (ft)
20	Cuestas	1200		0		90

79	Molino	7676	90	7766
93.5	La Luna	766	7766	8532
104	Mb. Tocuy	1573	8532	10105
110	Mb. Ánimas	113	10105	10218

TABLA 18. Descripción general del pozo Río Maracas 1.

Con la descripción general de los 15 pozos, resumida en la TABLAS 4 – 18, se reconoce la columna estratigráfica general de cada pozo, su ubicación dentro de la subcuenca, y se elabora la descripción detallada de cada formación, con base en los informes diarios de perforación y los registros de pozo (ANEXO 1). Posteriormente, se construyeron las columnas estratigráficas:

Pozo El Paso 1

Intervalo de Profundidad (ft)	Profundidad Total (ft)	LITOLOGÍA	Formación
0 - 255	255	Arcillolitas grises a marrones amarillentas con concreciones de Fe negras	Cuaternario (Aluvial)
255 - 275	20	Arcillolitas grises a marrones amarillentas arenosas	
275 - 410	135	Arcillolitas arenosas con gravas grises, con turmalina y chert	Cuestas
410 - 1145	735	Arcillolitas arenosas grises a marrón con chert amarillento y fragmentos ígneos	
1145 - 1265	120	Arcillolitas carbonosas marrones a grises intercaladas con areniscas gris verdosas	
1265 - 1380	115	Arcillolitas arenosas marrón oscuro con fragmentos ígneos muy oscuros	
1380 - 1780	400	Arcillolitas arenosas interlamadas de color gris, marrón y verde, con glauconita	
1780 - 1905	125	Arcillolitas arenosas marrón verdoso	
1905 - 2360	455	Arcillolitas arenosas gris verdosas con fragmentos ígneos rojos	
2360 - 2390	30	Arcillolitas arenosas gris verdosas intercaladas con conglomerados rojos	
2390 - 2450	60	Shale arenoso algo calcáreo rojo duro con venas de calcita	La Quinta
2450 - 2730	280	Shale calcáreo verdoso a rojizo con venas de calcita	
2730 - 2755	25	Arenisca calcárea gris de grano fino	
2755 - 2927	172	Shale rojo duro algo calcáreo	

TABLA 19. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo El Paso 1.

Pozo El Paso 2

Intervalo de Profundidad (ft)	Profundidad Total (ft)	LITOLOGÍA	Formación
0 - 150	150	Arenisca arcillosa interlamada con areniscas gravosas de color gris a marrón	Cuaternario (Aluvial)
150 - 465	315	Arenisca gravosa interlamada con areniscas arcillosas de color gris	
465 - 1075	610	Arenisca gravosa gris a marrón algo calcárea	
1075 - 1110	35	Conglomerado de arenas cuarzosas y gravas gris verdosas algo calcáreas	Cuestas
1110 - 1155	45	Shale gris a gris oscuro carbonoso algo calcáreo con pirita y calcita	

1255 - 1280	25	Arenisca gris con algo de gravas	
1280 - 1705	425	Shale gris claro a gris oscuro carbonoso arcilloso a arenoso algo calcáreo - bitumen	
1705 - 2380	675	Shale negro intercalado con areniscas grises de grano fino calcáreo con carbón	
2380 - 3195	815	Shale gris verdoso a marrón rojizo calcáreo arenoso carbonoso interlaminado con areniscas	Barco - Cuervos
3195 - 3435	240	Areniscas grises a marrón duras de grano fino algo arcillosa	
3435 - 3615	180	Shale gris oscuro a negro carbonoso arcilloso arenoso con limolitas	
3615 - 3695	80	Arenisca gris dura de grano fino a medio arcillosa con agua salada en la base	
3695 - 4370	675	Shale gris a gris oscuro a negro carbonoso con capas de areniscas marrones	
4370 - 5150	780	Shale gris a gris oscuro con pirita y calcita	Molino
5150 - 5955	805	Shale gris a gris oscuro algo arenoso con capas de fósiles calcáreas con glauconita	
5955 - 5965	10	Limolita gris clara cristalina	
5965 - 6665	700	Shale gris a gris oscuro carbonoso con limolitas oscuras masivas arcillosas fosilíferas	
6665 - 8783	2118	Shale gris a gris oscuro carbonoso fosilífero con concreciones de hierro	

TABLA 20. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo El Paso 2.

Pozo El Paso 3

Intervalo de Profundidad (ft)	Profundidad Total (ft)	LITOLOGÍA	Formación
0 - 1302	1302	Areniscas intercaladas con arcillolitas y limolitas con fragmentos ígneos rojos y negros	Cuestas
1302 - 5030	3728	Shale gris y lodolitas con intercalaciones de areniscas y lignitos, algo carbonoso y pirítico	Barco - Cuervos
5030 - 7530	2500	Shale gris duro con capas ocasionales de limolitas y lodolitas grises	Molino
7530 - 9091	1561	Shale gris con limolitas y lodolitas muy escasas	
9091 - 9101	10	Lodolitas calcárea gris a marrón y shale calcáreo	La Luna
9101 - 9870	769	Shale calcáreo interlaminado con limolitas arcillosas	
9870 - 10690	820	Shale calcáreo intercalado con capas de shale no calcáreo de color gris oscuro	
10690 - 11160	470	Shale calcáreo gris oscuro intercalado con limolitas grises oscuras	
11160 - 11609	449	Shale gris oscuro intercalados con limolitas	
			Aguas Blancas

TABLA 21. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo El Paso 3.

Pozo Compae 1

Intervalo de Profundidad (ft)	Profundidad Total (ft)	LITOLOGÍA	Formación
0 - 60	60	Conglomerado con predominio de Qz de grano fino a guijarros y granate	Cuaternario (Aluvial)
60 - 1604	1544	Arcillolita lutítica gris a gris claro medio dura blocosa algo calcárea	Molino
1604 - 1631	27	Caliza amarillo marrón de grano fino interlaminada con arcillolitas y limolitas	Mb. Socuy
1631 - 1749	118	Marga gris oscura blocosa con pirita y foraminíferos interlaminada con arcillolita y limolita negra	
1749 - 2328	579	Calizas y margas con intercalaciones delgadas de dolomita, areniscas y lutitas	La Luna
2328 - 2473	145	Marga gris marrón oscura blocosa	Mb. Maracas
2473 - 2475	2	Lutita gris a negra calcárea	
2475 - 2488	13	Caliza negro marrón con pirita y foraminíferos	
2488 - 2736	248	Caliza gris oscura lodolítica con foraminíferos intercalada con lutitas	Mb. Tocuy
2736 - 2741	5	Arenisca cuarzosa blanca a gris clara de grano fino	
2741 - 3386	645	Limolita gris oscura a gris media blocosa con glauconita y pirita alternada con calizas grises y lutitas	

3386 - 3500	114	Lutita gris oscura blocosa carbonosa con fósiles de ostrácodos, moluscos y foraminíferos	Mb. Ánimas
3500 - 3600	100	Caliza marrón oscura blocosa con foraminíferos y capas delgadas de lutita	
3600 - 3832	232	Limolita marrón oscuro blocosa ligeramente calcárea con glauconita interlaminada con lutitas	
3832 - 3919	87	Lutita gris a marrón oscuro y negro con abundante MO carbonosa y algo calcárea	
3919 - 4010	91	Caliza marrón oscura blocosa interlaminada con lutita marrón microcarbonosa	
4010 - 4170	160	Caliza marrón claro a gris blocosa y gradualmente pasa a caliza arcillosa	Lagunitas
4170 - 4250	80	Caliza arcillosa marrón claro a gris con venas de calcita	
4250 - 4890	640	Caliza marrón claro con foraminíferos y fragmentos de ostrácodos y moluscos	Río Negro
4890 - 5173	283	Arenisca cuarzosa gris clara con nódulos calcáreos intercalada con lutitas grises micropiriticas	

TABLA 22. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Compae 1.

Pozo Compae 2

Intervalo de Profundidad (ft)	Profundidad Total (ft)	LITOLOGÍA	Formación
0 - 54	54	Conglomerado	Cuaternario (Aluvial)
54 - 1732	1678	Arcillolita lutítica gris clara	Molino
1732 - 1938	206	Caliza marrón amarillenta intercalada con arcillolitas y limolitas	Mb. Socuy
1938 - 2394	456	Caliza alternada con capas de shale, dolomitas y areniscas	La Luna
2394 - 2817	423	Caliza gris oscura de grano fino con foraminíferos y pirita	Mb. Maracas
2817 - 2912	95	Limolita gris oscura blocosa alternada con calizas gris claras y lutitas gris oscuras	Mb. Tocuy

TABLA 23. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Compae 2.

Pozo Compae 4

Intervalo de Profundidad (ft)	Profundidad Total (ft)	LITOLOGÍA	Formación
0 - 90	90	Conglomerado con areniscas y arcillolitas	Cuaternario
90 - 250	160	Arcillolita gris y marga gris parda blocosa con pirita y calcita	Molino
250 - 2052	1802	Arcillolita gris oscura blocosa homogénea micropirítica con venas de calcita	
2052 - 2112	60	Calizas gris oscura blocosa con microvenas de calcita	Mb. Socuy
2112 - 2218	106	Marga parda oscura consolidada blocosa con glauconita	
2218 - 2335	117	Caliza gris oscura blocosa homogénea con microvenas de calcita y margas	La Luna

TABLA 24. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Compae 4.

Pozo Cesar A-1X

Intervalo de Profundidad (ft)	Profundidad Total (ft)	LITOLOGÍA	Formación
100-620	520	Lutitas	Molino
620-730	110	Lutitas hacia la base ligeramente calcáreas	
730-960	230	Lutitas , limonitas y areniscas con intercalación de niveles calcáreos	
960-1470	510	Calizas y dolomitas con lititas y arenas limosas	La Luna
1470-1830	360	Lutitas y limolitas	
1830-1847	17	Areniscas	
1847-2200	353	Calizas con niveles de lutitas	

2200-2820	620	Lutitas, calizas y areniscas	Gp. Cogollo
2820-2850	30	Lutitas	
2850-2870	20	Areniscas	
2870-2900	30	Lutitas	
2900-2960	60	Lutitas con intercalaciones de calizas y dolomitas	
2960-3120	160	Lutitas con niveles limolíticos	
3120-3140	20	Arenisca Calcárea	
3140-3558	418	Intercalaciones de calizas con niveles de limolitas	
3558-3600	42	Limolitas	
3600-3690	90	Limolitas ligeramente calcáreas	
3690-3950	260	Calizas masivas	
3950-4795	845	Calizas con algunos niveles de Lutitas, ligeramente arenosas y algunas dolomíticos no superiores a 2 ft	
4795-4820	25	Caliza, arenisca calcárea	
4820-4908	88	Areniscas ligeramente lutíticas al tope	
4908-4910	2	Yeso-Anhidrita	
4910-4928	18	Areniscas	Río Negro
4928-4940	12	Intercalaciones de areniscas con niveles de yeso	
4940-5030	90	areniscas con niveles de limolitas de 1 ft	
5030-5082,5	52,5	Areniscas con intercalaciones de yeso	
5082,5-5095	12,5	Limolitas	
5095-5265	170	Areniscas con intercalaciones de yeso cada 20 ft	
5265-5267	2	Yeso-Anhidrita	
5267-5275	8	Areniscas	
5275-5285	10	Limolitas	
5285-5325	40	Areniscas	
5325-5333	8	Limolitas	
5333-5335	2	Yeso-Anhidrita	
5335-5366	31	Areniscas con niveles de arcillas 1 ft	
5366-5372	6	Arcillas arenosas	
5372-5382	10	Areniscas	
5382-5385	3	Anhidrita	
5385-5447	62	Areniscas	La Quinta
5447-5464	17	Limolitas	
5464-5467	3	Yeso-Anhidrita	
5467-5507	40	Limolitas	
5507-5522	15	Areniscas	
5522-5540	18	Limolitas	
5540-5560	20	Areniscas	
5560-5600	40	Limolitas	

TABLA 25. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Cesar A-1X.

Pozo Cesar F-1X

Intervalo de Profundidad (ft)	Profundidad Total (ft)	LITOLOGÍA	Formación
170 - 260	90	Arcillolitas grises claras	Cuaternario (Aluvial)
260 - 350	90	Limolitas pardo rojizas	
350 - 430	80	Arcillolita gris clara	
430 - 650	220	Caliza pardo rojiza	
650 - 870	220	Arcillolita gris clara intercalada con caliza pardo rojiza	
870 - 910	40	Arenisca arcillosa gris	
910 - 980	70	Limolita pardo rojiza	
980 - 1440	460	Arcillolita verdosa	Cuestas
1440 - 1510	70	Arcillolita gris	Molino
1510 - 1750	240	Arcillolitas gris clara a gris oscura	
1750 - 2920	1170	Shale silíceo gris oscuro blocoso algo calcáreo	
2920 - 3000	80	Caliza arcillosa granular	
3000 - 3050	50	Shale silíceo gris oscuro blocoso	
3050 - 3150	100	Shale silíceo gris oscuro blocoso carbonoso	
3150 - 3480	330	Shale silíceo gris oscuro granular calcáreo intercalado con caliza arcillosa	
3480 - 3640	160	Caliza agris arcillosa granular	La Luna
3640 - 3660	20	Arenisca arcillosa de grano fino calcárea glauconítica	Aguas Blancas
3660 - 3790	130	Caliza arenosa amarillenta localmente arcillosa	
3790 - 3920	130	Arenisca arcósica calcárea glauconítica	
3920 - 4090	170	Shale silíceo gris oscuro calcáreo blocoso micromicáceo	
4090 - 4360	270	Arenisca calcárea blanco amarillenta	
4360 - 4500	140	Limolita gris pardo	
4500 - 4570	70	Caliza micrítica blanca, arenisca gris calcárea	
4570 - 4840	270	Shale silíceo gris oscuro blocoso intercalado con limolitas gris parda	
4840 - 5580	740	Limolita silícea gris oscuro	
5580 - 5630	50	Caliza arenosa amarillenta	
5630 - 5690	60	Arenisca silícea negra esferulítica	
5690 - 6360	670	Limolita y shale silíceo gris oscuro blocoso	
6360 - 6380	20	Shale gris oscuro blocoso calcáreo	Lagunitas
6380 - 6470	90	Caliza arcillosa gris oscuro a pardo	
6470 - 6550	80	Limolita silícea gris oscuro	

TABLA 26. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Cesar F-1X.

Pozo Los Cerezos 1E

Intervalo de Profundidad (ft)	Profundidad Total (ft)	LITOLOGÍA	Formación
42 - 60	54	Areniscas, areniscas calcáreas gris verdoso, grano grueso-medio, masivas color verde.	Molino
60 - 84	84	Limolitas arenosas color rojizo, arenisca calcáreas de grano fino, masivas, arcillolitas limosas.	
84 - 117	117	Paquetes arenosos por niveles de limolitas arcillosas o arcillolitas.	
117 - 137	137	Areniscas y areniscas limosas.	
137 - 170	192	Arcillolitas y limonitas limosas masivas areniscas limosas, limonitas arenosas y limonitas arcillosas con paquetes menores de arena.	
170 - 175	35	Calizas arcillosas, color gris oscuros, masivas carbonosas, negras intercalaciones de areniscas.	
175 - 202	386	Areniscas masivas, limonitas arenosas, con laminas de carbón de menos de 1 f	

TABLA 27. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Los Cerezos 1E.

Pozo Diablito 1E

Intervalo de Profundidad (ft)	Profundidad Total (ft)	LITOLOGÍA	Formación
0-169.4	169.4	Aluvial, gravas y arcillas.	Cuaternario (Aluvial)
169.4 - 176	6.6	Manto de Carbón Diablito	Cuervos
176 - 400	224	Intercalaciones de Arcillolitas carbonosas, limolitas arenosas, limolitas arcillosas. Hacia la Base Carbones de 1 ft de espesor	
400 - 601	201	Areniscas limosas y arcillosas	
601 - 1112	511	Areniscas 30 ft ciclos de areniscas, limolitas y arcillolitas	Barco
1112 - 1742	630	Areniscas de grano fino	Molino
1742 - 2301.8	559.8	Limolitas carbonosas y arcillolitas	

TABLA 28. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Diablito 1E.

Pozo Río Maracas 1

Intervalo de Profundidad (ft)	Profundidad Total (ft)	LITOLOGÍA	Formación
0 - 90	90	Arcillolitas arenosas	Cuestas
90 - 150	60	Shales intercalados con arcillolitas y areniscas	Molino
150 - 312	162	Shale, arcillolitas y areniscas	
312 - 678	366	Shale	
678 - 850	172	Shale gris oscuro carbonoso	
850 - 1040	190	Shale gris oscuro	
1040 - 1592	552	Shale gris oscuro blocoso	
1592 - 1991	399	Shale	
1991 - 2280	289	Shale gris oscuro con pirita	
2280 - 2570	290	Shale, arcillolitas y areniscas	
2570 - 2660	90	Shale intercalado con arcillolitas	
2660 - 2770	110	Shale con intercalaciones de arcillolitas	
2770 - 3344	574	Shale intercalados con areniscas	
3344 - 4770	1426	Shale gris oscuro con carbón	
4770 - 7294	2524	Shale con intercalaciones de areniscas y arcillolitas	La Luna
7294 - 8060	766	Shale interlaminado con limolitas y arcillolitas	
8060 - 8143	83	shale gris oscuro a negro calcáreo	Mb. Tocuy
8143 - 8452	309	Shale calcáreo intercalado con limolitas	
8452 - 8756	304	Limolitas	
8756 - 8887	131	Limolitas intercaladas con shale calcáreo	Mb. Ánimas
8887 - 9235	348	Shale intercalado con limolitas y shale calcáreo	
9235 - 10064	829	Shale intercalado con areniscas, limolitas y algo de shale calcáreo	
10064 - 10218	154	Limolitas	

TABLA 29. Columna estratigráfica por intervalos de perforación. Pozo Río Maracas 1.

6.1 DIAGRAMAS CRONOESTRATIGRÁFICOS

Luego de evaluar la información de los 15 pozos con los que se cuenta, se procedió a realizar un par de diagramas cronoestratigráficos para la Subcuenca Cesar.

Se elaboraron siguiendo la metodología propuesta por Cooper et. al. (1995), y se denominan cronoestratigráficos, porque en ellos se observa la relación de la columna estratigráfica de un grupo de pozos mostrando la posición correcta de las unidades litoestratigráficas con su respectiva localización en la escala temporal, clasificándolas por el ambiente de depositación. El objeto de estos diagramas es determinar el comportamiento de las principales inconformidades, el sello regional, las rocas generadoras y las rocas reservorio, de la Subcuenca Cesar.

La ubicación de los dos cortes se define en la FIGURA 8, en la que se muestra la orientación de cada sección dentro de la subcuenca. El diagrama A-A', se orienta N25E, en el sentido del eje de la Subcuenca Cesar; mientras el diagrama B-B', se orienta N30W, en sentido contrario del eje de la subcuenca.

Posterior a la escogencia de las orientaciones de los cortes, se proyectaron los 15 pozos de forma perpendicular sobre cada línea (A-A' y B-B'); y se dibujó para cada pozo la columna estratigráfica detallada, de tal manera que coincidiera con el tiempo de depositación de la misma (FIGURAS 9 y 10). Luego, se asociaron las litologías entre pozos vecinos, notando así, los cambios de facies laterales, y asociando estos al ambiente de depositación.

En el esquema A-A', se observa:

En el Jurásico, las rocas de facies continentales de la Formación La Quinta, es una secuencia incompleta y discontinua lateralmente, con una superficie de erosión hacia el tope, demostrada por las perforaciones de los pozos El Paso 1, Cesar A-1X y Cesar H-1X.

El Cretácico, es la secuencia de rocas más completa del diagrama incluyendo su continuidad lateral, mostrándose discordante sobre la infrayacente Formación La Quinta. La continuidad lateral es comprobada por las perforaciones de los pozos El Paso 2, 3, 4, Los Cerezos 1E, Diablito 1E, Cesar A-1X, F-1X, y H-1X, Compae 1, 2, 3 y 4, Río Maracas 1, y Los Venados 1, los cuales muestran las formaciones Lagunitas, Aguas Blancas, La Luna, y Molino, a la vez que muestran una segunda superficie de erosión entre las rocas infrayacentes de la Formación La Luna y las rocas suprayacentes de la Formación Molino. Se compone de facies marinas a transicionales, por lo cual se evidencia una transgresión marina gradual, que luego de estar en su máximo, comienza a regresar.

El Paleógeno, se encuentra concordante sobre la infrayacente Formación Molino, con facies transicionales, representadas por las rocas de la Formación Barco – Cuervos, encima de las cuales se encuentra una tercera superficie de erosión, comprobada por las perforaciones de los pozos Los Cerezos 1E, Diablito 1E, y El

Paso 2, 3, y 4; mostrando a la vez, que la continuidad lateral de la Formación Barco – Cuervos se da sólo hacia el SW del diagrama.

El Neógeno, reposa discordante sobre las rocas de la infrayacente Formación Barco - Cuervos, mostrando las facies continentales de la Formación Cuesta, perforada por los pozos El Paso 2, 3, y 4, Cesar F-1X y H-1X, y Río Maracas 1. Estas perforaciones evidencian la discontinuidad lateral de la Formación Cuesta.

En el Cuaternario, se muestran los depósitos recientes, de facies netamente continentales, discordantes sobre la infrayacente Formación Cuesta. Estos depósitos se evidencian en las perforaciones de los pozos El Paso 1, 2, y 4, Los Cerezos 1E, Diablito 1E, Compae 1, 2, y 4, Cesar F-1X, y Los Venados 1.

En el esquema B-B´, se corrobora la secuencia estratigráfica, la continuidad lateral de las formaciones, y las superficies de erosión, descritas para el diagrama A-A´.

De los diagramas A-A´ y B-B´ se establecieron tres inconformidades regionales dentro de la Subcuenca Cesar; la inconformidad inferior, entre la Formación La Quinta y las rocas suprayacentes de la Formación Río Negro; la inconformidad media, entre la Formación La Luna y las rocas suprayacentes de la Formación Molino; y, la inconformidad superior, entre la Formación Barco-Cuervos y las rocas suprayacentes de la Formación Cuesta. Además, se establecieron los principales reservorios de la subcuenca (FIGURAS 9 y 10); siendo éstos, las calizas de la Formación Lagunitas, las del Miembro Ánimas (Formación Aguas Blancas), las del

Miembro Maracas (Formación Aguas Blancas), las de la Formación La Luna y algunas que aparecen atravesadas por los pozos Compae 1, 2, 3 y 4, correspondientes al Miembro Socuy (Formación Molino); también, los lentes de areniscas que aparecen atravesados por los pozos Cesar A-1X y F-1X, El Paso 3, Compae 1, 2, 3 y 4, y Los Venados 1 pertenecientes al Miembro Tocuy (Formación Aguas Blancas) y a la Formación La Luna. De igual manera, se establecieron los sellos a nivel regional; la Formación Molino y las tres inconformidades antes descritas. Ver FIGURAS 9 y 10.

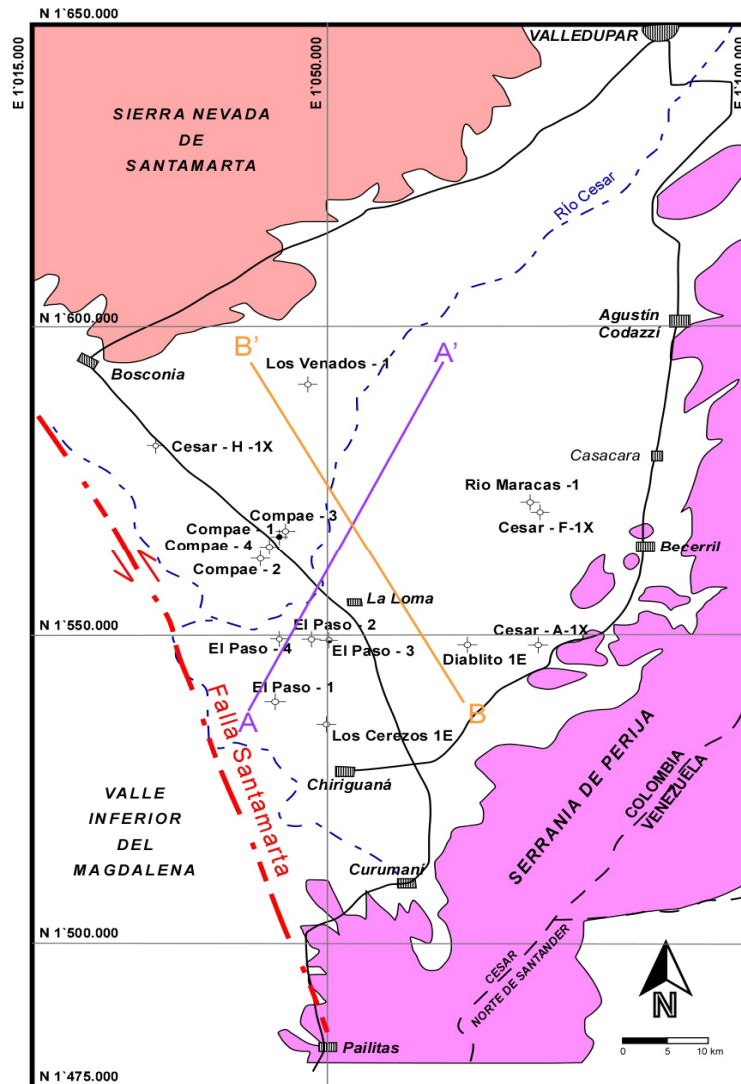


FIGURA 8. Mapa de ubicación de los diagramas cronoestratigráficos. El diagrama A-A', está orientado N25E, y El diagrama B-B', está orientado N30W.

6.2 INTERPRETACIÓN SÍSMICA

Se utilizó un software llamado GeoGraphix Discovery, de Landmark-Halliburton, con el cual se puede acceder, manipular, analizar e interpretar, datos geológicos, geofísicos, petrofísicos, y de depósito, relacionados a producción de

hidrocarburos; en un entorno laboral completamente dinámico, permitiendo gastar menos tiempo en la manipulación de datos.

De GeoGraphix Discovery, se contó con el paquete GESXplorer, Release V2007.1, del cual se emplearon las siguientes herramientas:

- ProjectExplorer
- GeoAtlas
- Coordinate System Manager
- LogM Well Editor
- PRIZM
- SeisVision
- WellBase
- CrossSection

La metodología seguida dentro del software, se explica mediante un flujo diagrama que resume paso a paso la manera como se realizó la integración de los datos que llevaron a la interpretación de las líneas sísmicas 2D escogidas para este trabajo. Ver FIGURA 11.

La explicación detallada de este proceso, se encuentra en el ANEXO 3.

6.3 MODELADO GEOQUÍMICO

Se utilizó un software llamado PetroMod 10, IES (Integrated Exploration Systems), del cual se empleó el paquete PetroMod 2D, con el cual se puede integrar sísmica, estratigrafía e interpretaciones geológicas, con las simulaciones bidimensionales de temperatura, el flujo de fluidos e historias de migración de hidrocarburos en cuencas sedimentarias.

Principalmente, este software es usado en el trabajo de exploración e investigación en áreas nuevas con un potencial de hidrocarburos desconocido, y con disponibilidad de datos limitados; así como investigación en áreas ya exploradas donde existen problemas de correlación de la roca fuente, de eficiencia de la roca sello, y de sistemas sobrepresionados. Además, se da a la tarea fundamental de obtener la predicción más exacta, de la posición de la ventana de generación, de la expulsión, y de los procesos de migración de los hidrocarburos.

Petromod 2D tiene un simulador completo que relaciona temperatura y presión, y proporciona la más avanzada tecnología de modelado de migración de hidrocarburos, con un método diferente a los existentes. Las herramientas que incluye son:

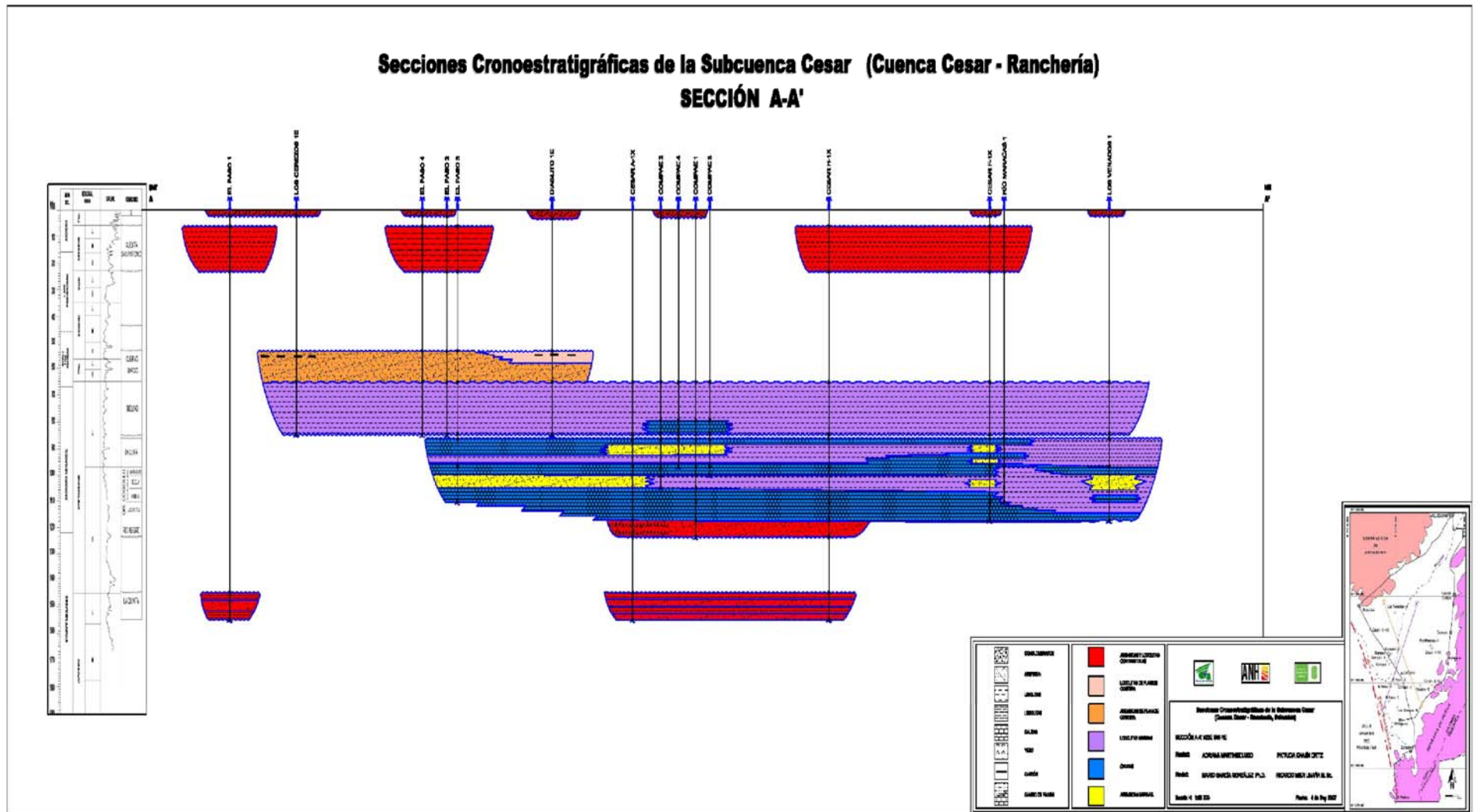


FIGURA 9. Sección cronoestratigráfica A-A'. Ver ANEXO 2.

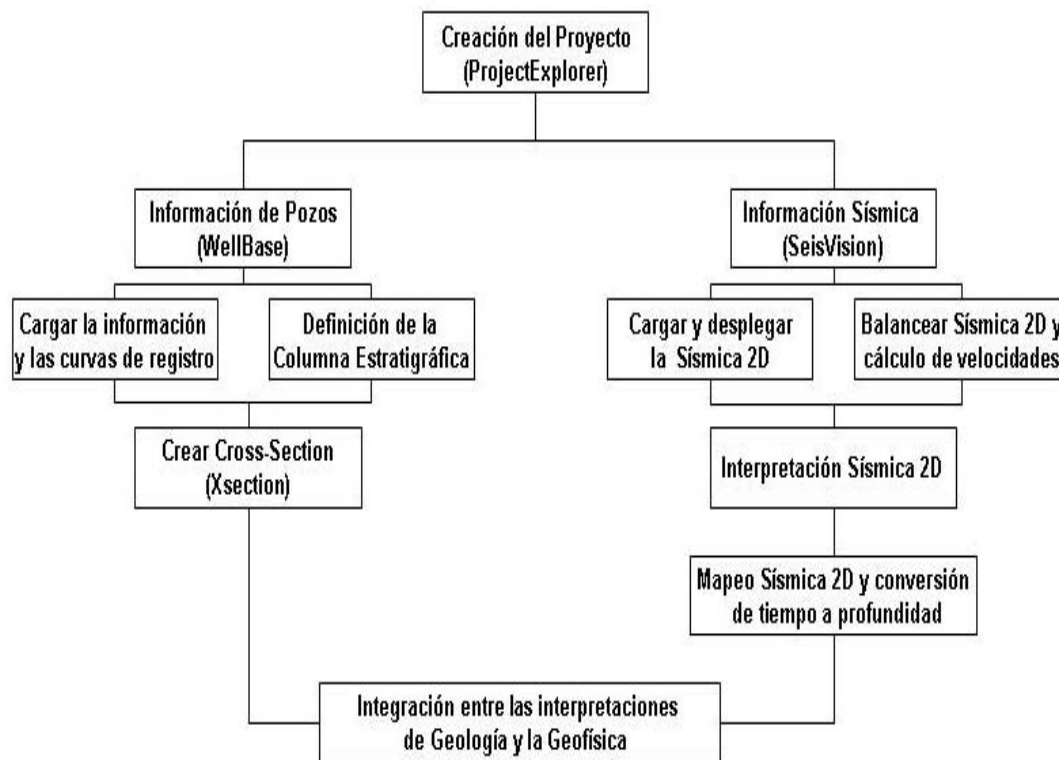


FIGURA 11. Flujo diagrama que muestra los pasos a seguir para la integración de datos para interpretación de líneas sísmicas 2D.

- PetroBuilder
- Simulator
- Viewer 2D
- Viewer 1D

La metodología seguida dentro del software, se explica mediante un flujo diagrama que resume paso a paso la manera como se realizó la integración de los datos que llevaron a la interpretación de dos líneas sísmicas 2D en profundidad, para su posterior evaluación geoquímica. Ver FIGURA 12.

La explicación detallada de este proceso, se encuentra en el ANEXO 4.

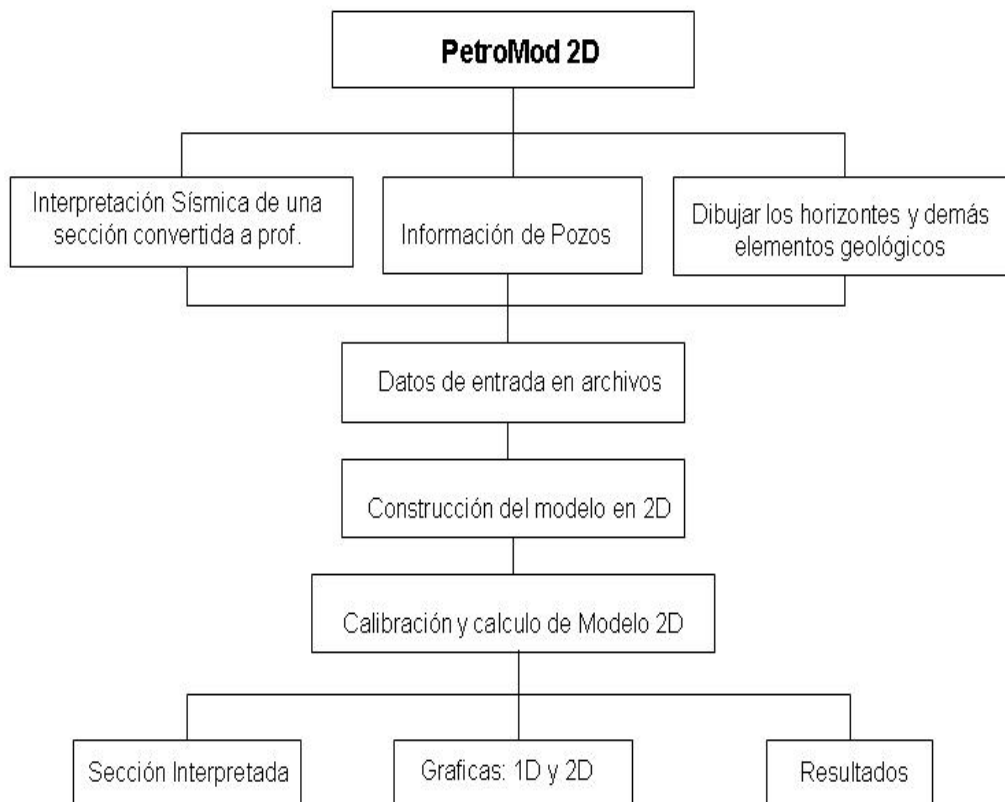


FIGURA 12. Flujo diagrama que muestra los pasos a seguir para la integración de datos para el modelado geoquímico de dos líneas sísmicas 2D en profundidad.

7 RESULTADOS

7.1 INTERPRETACIÓN SÍSMICA

Las líneas sísmicas interpretadas pertenecen a dos programas sísmicos. El programa Valle del Cesar (CV_79), y el programa Guajira Cesar (CR_88). Del programa Valle del Cesar se tomaron las líneas CV_79_04, CV_79_11, y CV_79_27; mientras del programa Guajira Cesar se tomaron las líneas CR_88_1100, CR_88_1180, y CR_88_1620. Fue necesaria la interpretación de seis líneas, para generar un amarre de los horizontes interpretados en cada línea, y poder analizar de esta manera la continuidad lateral de los mismos.

La distribución geográfica de estas líneas sísmicas en la Subcuenca Cesar, se ilustra en la FIGURA 13; indicando en color verde las líneas correspondientes al programa CV_79, y en color naranja las líneas correspondientes al programa CR_88. La relación espacial entre los 15 pozos evaluados en el presente trabajo y la posición de las 6 líneas sísmicas interpretadas, se muestra en la FIGURA 14.

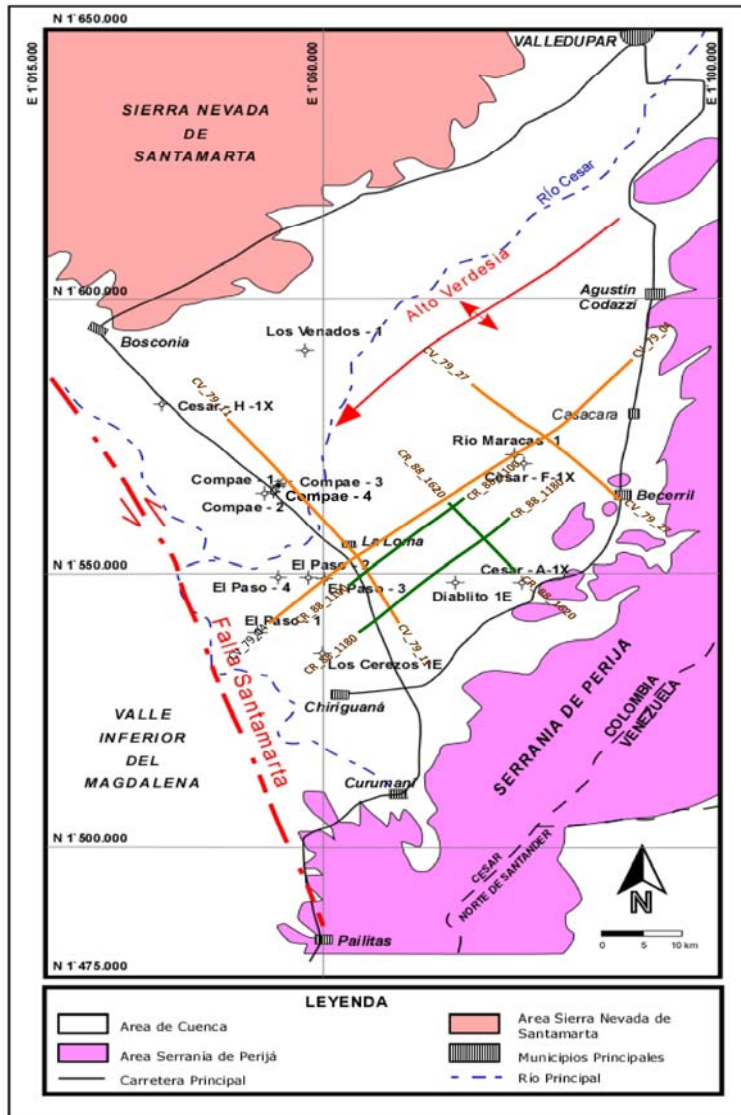


FIGURA 13. Ubicación geográfica de las líneas sísmicas CV_79_04, CV_79_11, CV_79_27, CR_88_1100, CR_88_1180, y CR_88_1620.

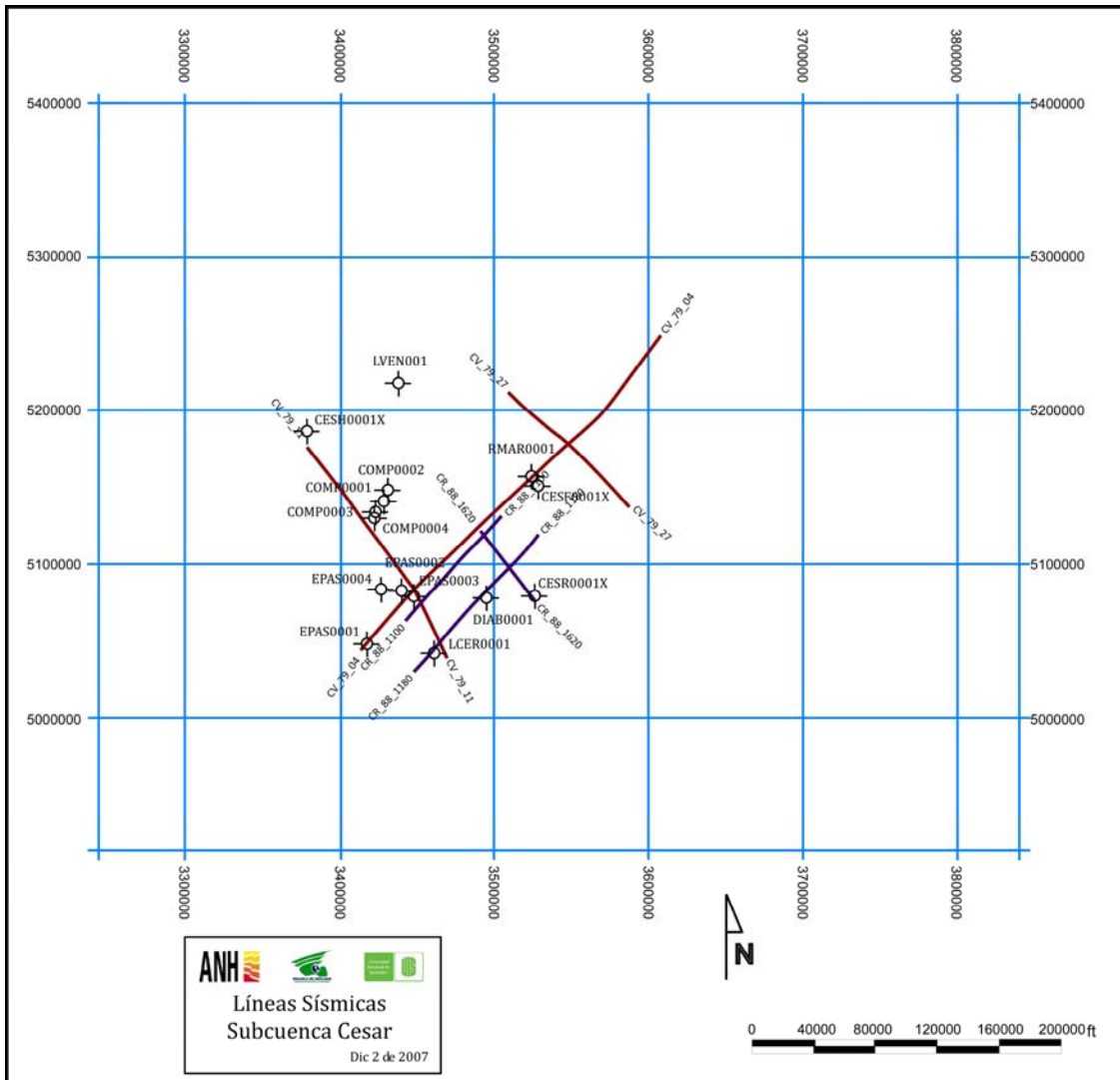


FIGURA 14. Relación espacial entre 15 pozos de la Subcuenca Cesar y la posición de las 6 líneas sísmicas interpretadas.

Para esta interpretación, se tuvieron en cuenta las inconformidades regionales de la Subcuenca Cesar, reconocidas en las FIGURAS 9 y 10, mostrando así la inconformidad inferior, como el tope de la Formación La Quinta, la inconformidad media, como el tope de la Formación La Luna, y, la inconformidad superior, como el tope del Eoceno (Formación Sin Nombrar).

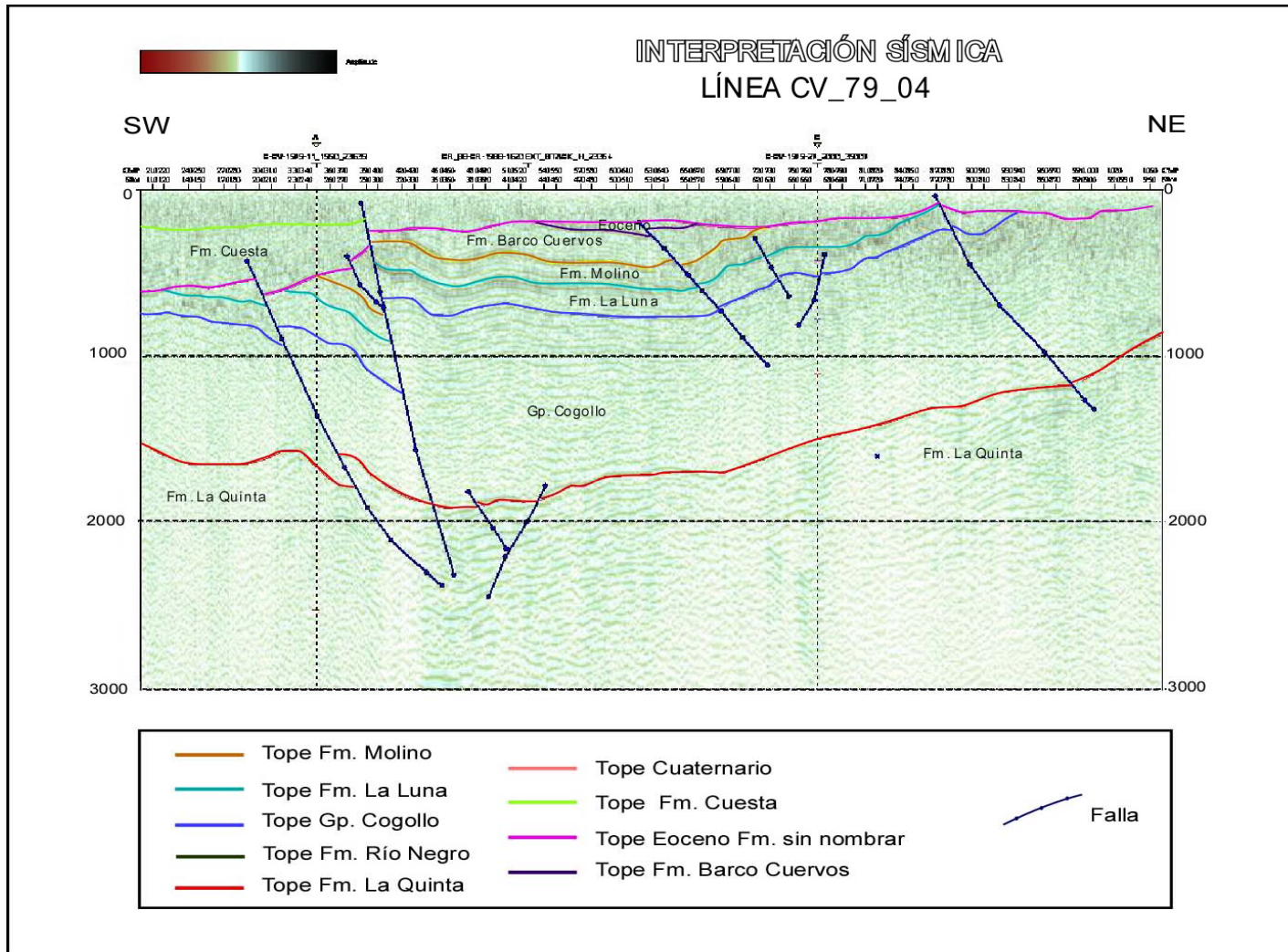


FIGURA 15. Interpretación sísmica de la línea CV_79_04.

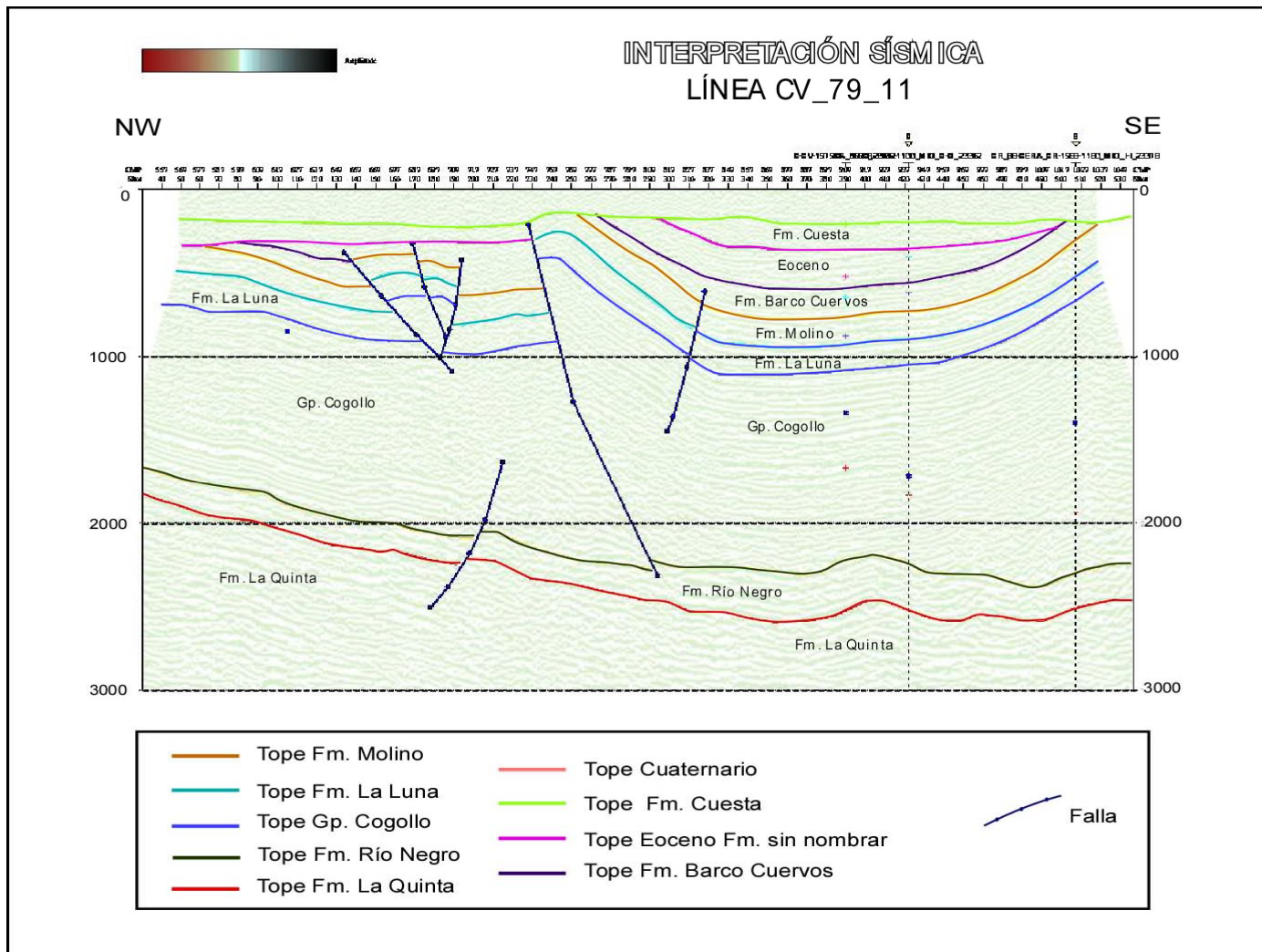


FIGURA 16. Interpretación sísmica de la línea CV_79_11.

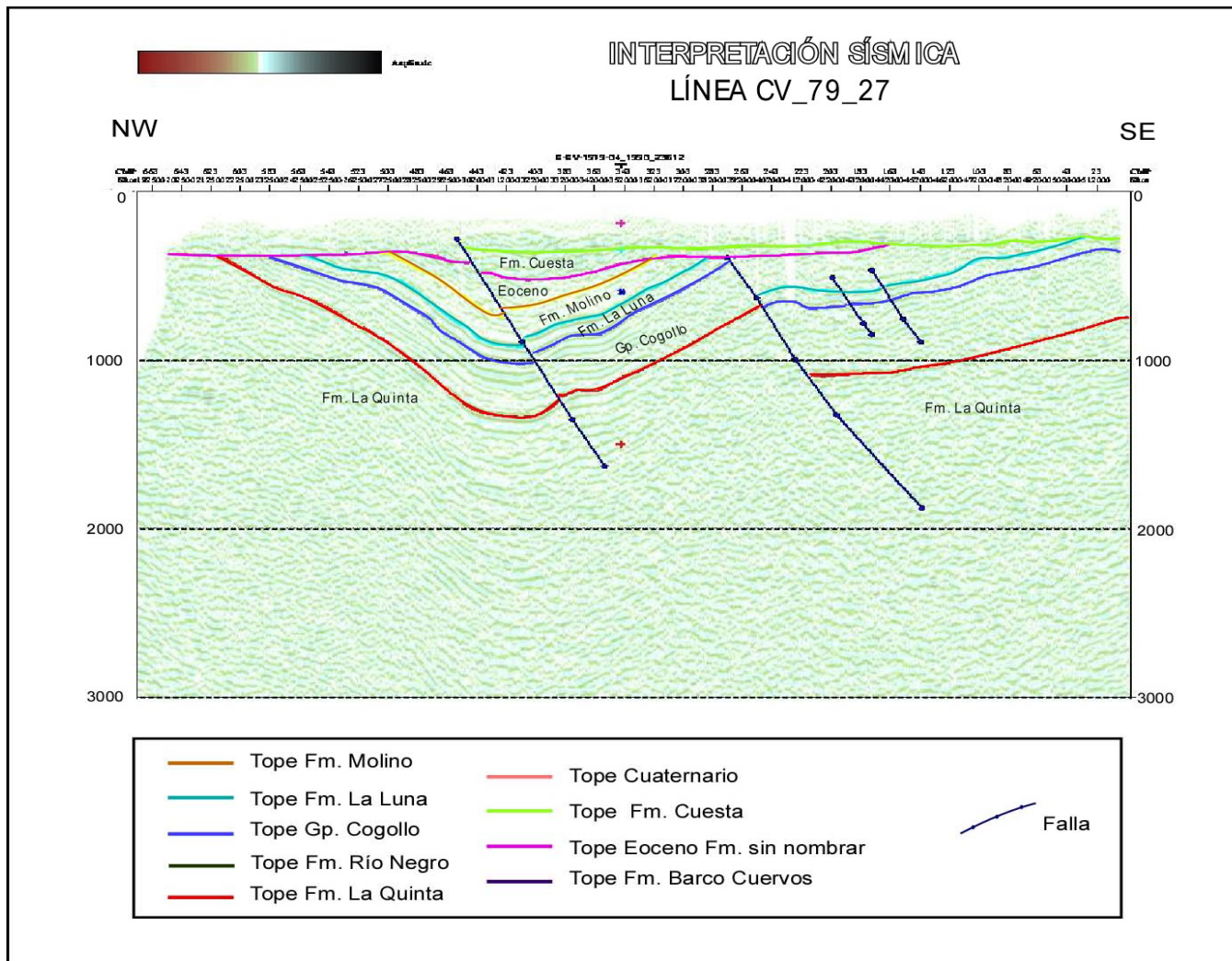


FIGURA 17. Interpretación sísmica de la línea CV_79_27.

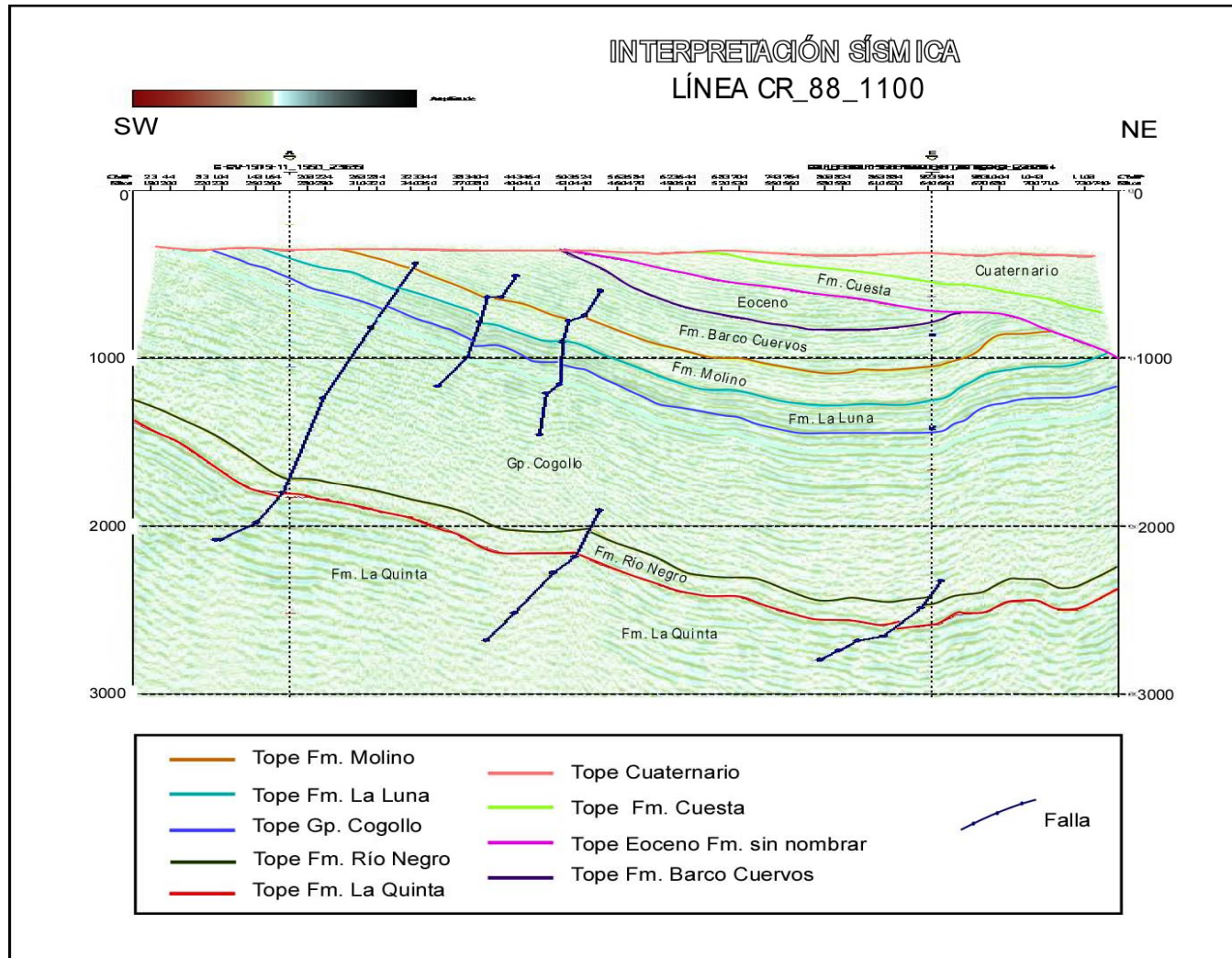


FIGURA 18. Interpretación sísmica de la línea CR_88_1100.

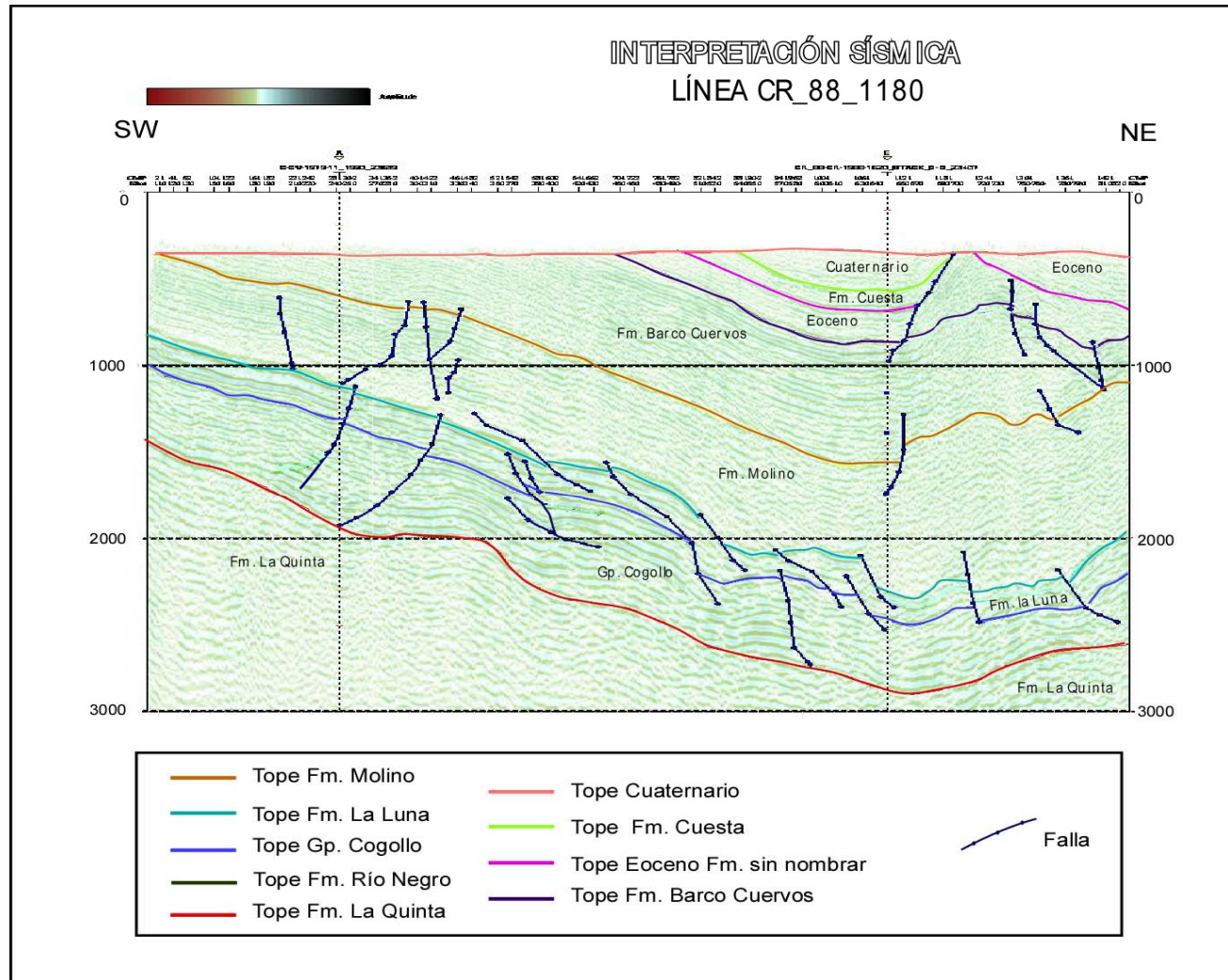


FIGURA 19. Interpretación sísmica de la línea CR_88_1180.

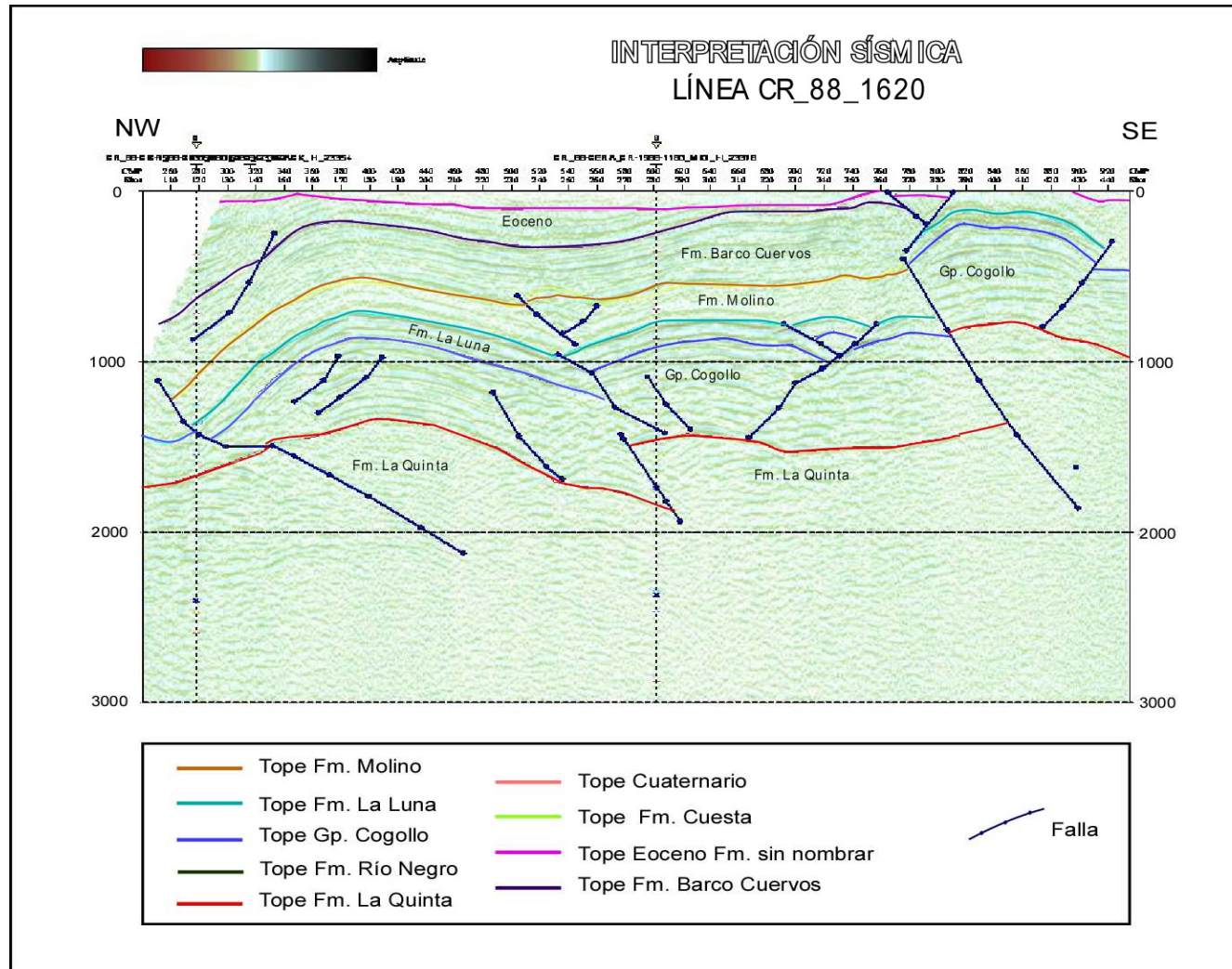


FIGURA 20. Interpretación sísmica de la línea CR_88_1620.

7.2 INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL

Las estructuras reconocidas en las líneas sísmicas interpretadas, se asociaron a las principales estructuras de la Subcuenca Cesar (FIGURA 21), como son: el Sistema de Fallas del Perijá (SFP), las estructuras internas correspondientes a las fallas del Cesar 1 (T_C1), Cesar 2 (T_C2), y Cesar 3 (T_C3); el Sistema de Fallas Santa Marta Bucaramanga (SFSMB), y el Thrust de la Sierra Nevada de Santa Marta (T_SNSM).

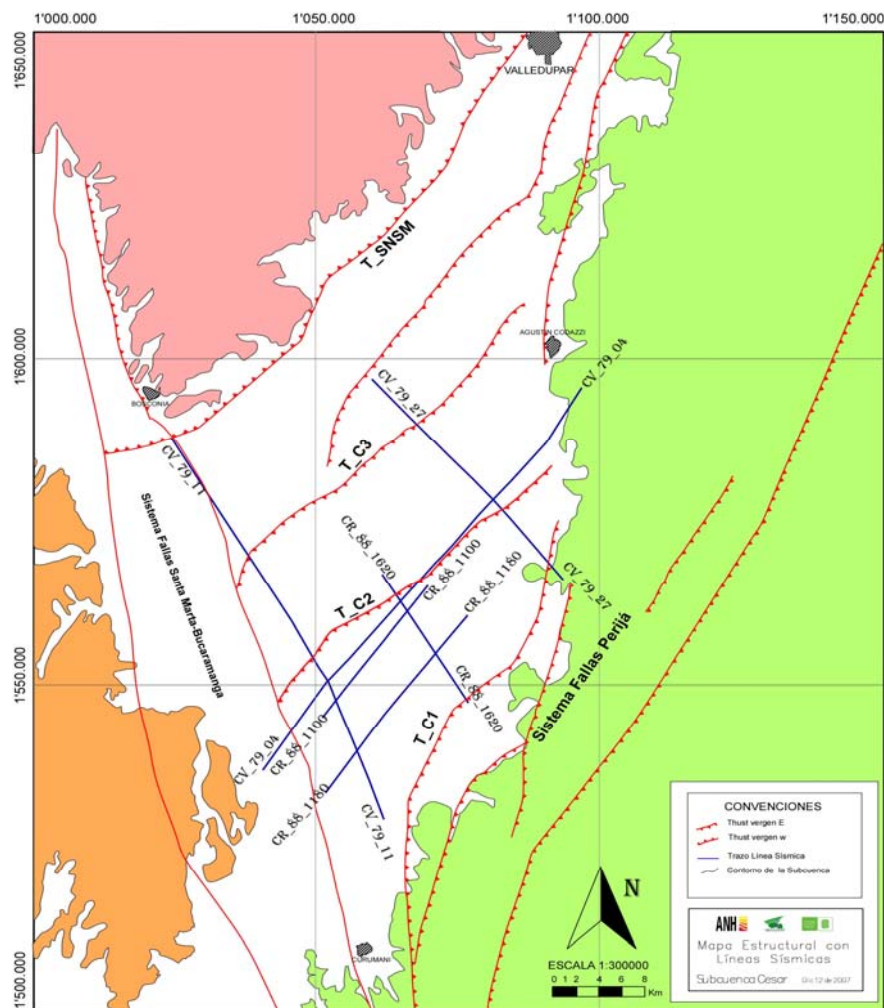


FIGURA 21. Mapa de localización de las principales estructuras de la Subcuenca Cesar.

El sistema deformativo corresponde a una cizalla simple, aunque en las líneas no se observa la estructura completa.

En la línea sísmica CR_88_1620 (FIGURA 22), se tienen cuatro eventos tectónicos principales, de los cuales se infiere un sistema compresivo que se desarrolla a partir de dos cabalgamientos que pertenecen al sistema de fallas del Perijá. La secuencia sigue de acuerdo con la FIGURA 22, en la que se expone un frente de cabalgamiento (1) de bajo ángulo correspondiente a la falla T_C2, y un cabalgamiento de alto ángulo (1a) (falla antitética) correspondiente a la falla T_C1. El cabalgamiento (1) es activo debido a su bajo ángulo (falla sintética), y genera un pliegue anticlinal (2) de tipo fault bend fold, que a su vez forma una estructura de ajuste (3) por su amplitud, con pequeñas fallas sintéticas de cabalgamiento. Por último, el cierre estructural se da por un backthrust (4) que detiene el movimiento del cabalgamiento (1a). Los cabalgamientos (1) y (1a) en profundidad convergen formando una estructura de flor positiva.

En la FIGURA 23, se observan dos fallas principales antitéticas dextrales, con buzamientos semiparalelos, convergentes, formando una estructura de flor positiva, en la que se producen rotaciones verticales en sentido horario (FIGURA 23a), estas fallas se asocian al SFSMB. Las fallas al NE de la línea CV_79_04 (FIGURA 23), son antitéticas sinestrales, y coinciden con el SFP.

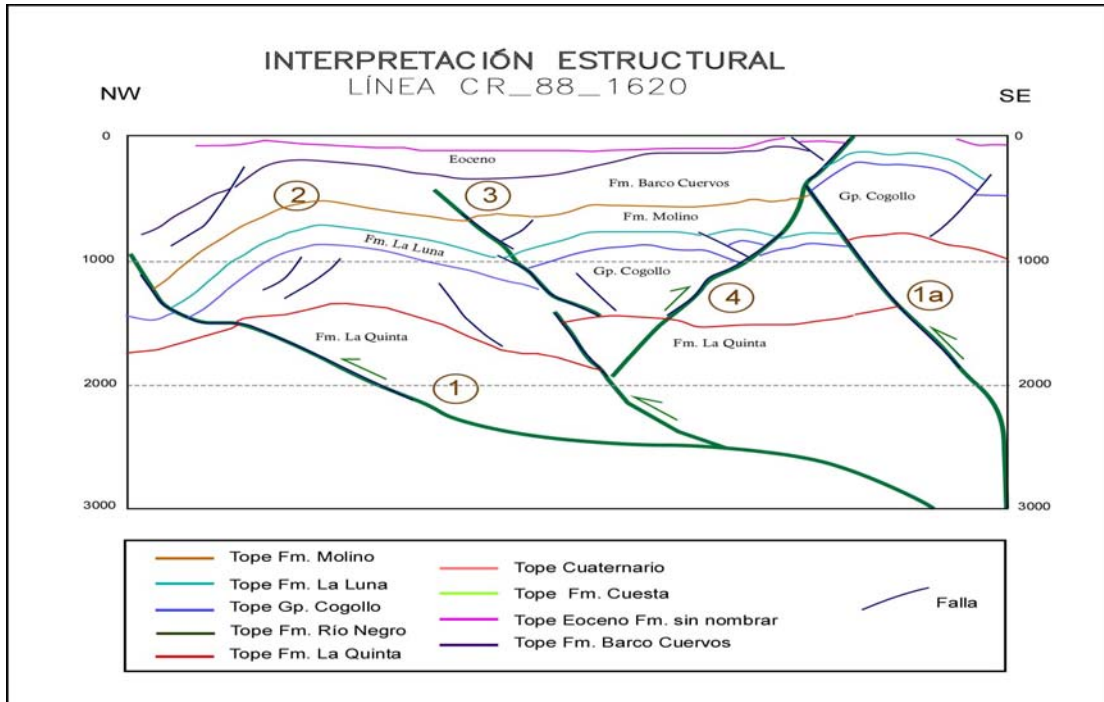


FIGURA 22. Sistema compresivo (Velocidad vs. Distancia). 1. Falla inversa sintética. 1A. Cabalgamiento de alto ángulo. 2. Pliegue anticlinal (fault bend fold). 3. Estructura de ajuste. 4. Backthrust.

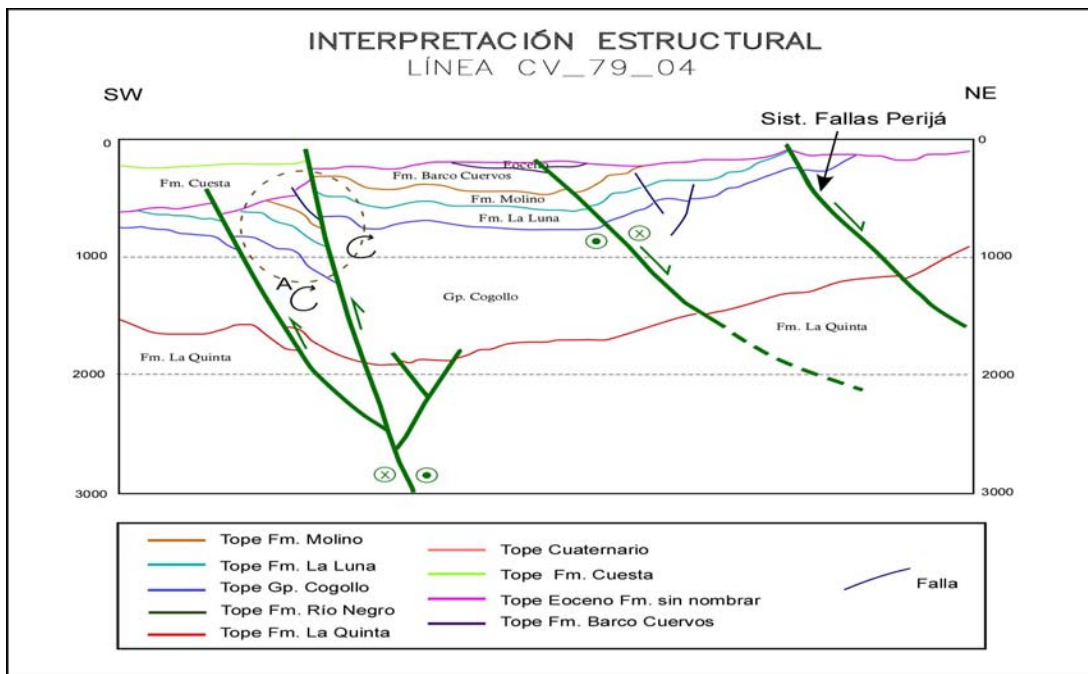


FIGURA 23. Estructura de flor positiva (Velocidad vs. Distancia). A. Rotación vertical horaria.

En la FIGURA 24, se muestra una estructura de flor positiva, formada por dos fallas inversas principales (T_C2, y T_C3) antitéticas dextrales, que forman un pliegue de arrastre en el bloque SE de la línea CV_79_11 (FIGURA 24a) producido por rotaciones verticales en sentido horario. En esta línea los estratos sintectónicos hacen onlap sobre el flanco frontal del pliegue asociado a la falla T_C2. En el nivel superior que indica el Cuaternario, se observa que a pesar de generar una superficie de erosión, está posteriormente afectado por el crecimiento del pliegue de arrastre, a tal punto que su espesor en depositación es mayor en el bloque NW.

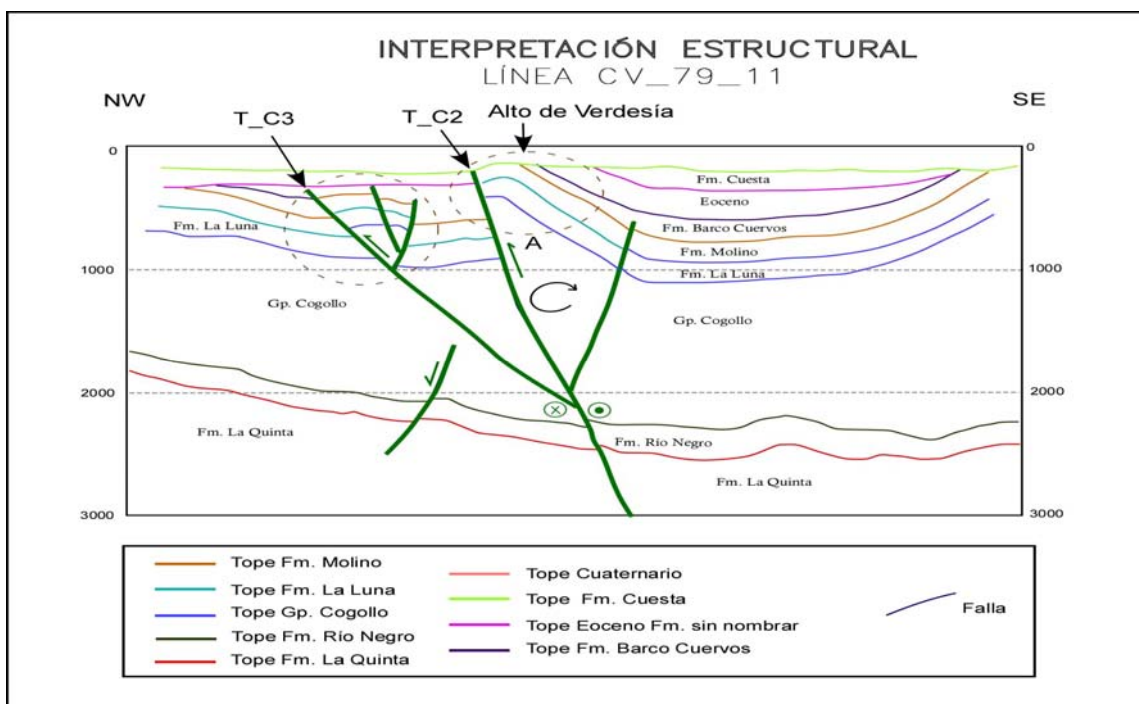


FIGURA 24. Estructura de flor positiva (Velocidad vs. Distancia). A. Rotación vertical horaria.

La interpretación estructural de la línea sísmica CV_79_27 (FIGURA 25), muestra el comportamiento semiparalelo de las fallas T_C2 y T_C3 antitéticas. La falla T_C2 muestra comportamiento normal, que anteriormente no se evidencia, quizás,

debido a la oblicuidad de las líneas sísmicas con respecto a las estructuras. La falla T_C3, muestra un comportamiento normal (FIGURA 25a), simultáneo a un comportamiento inverso (FIGURA 25b), indicando un movimiento vertical aparente, por lo cual es una falla de rumbo.

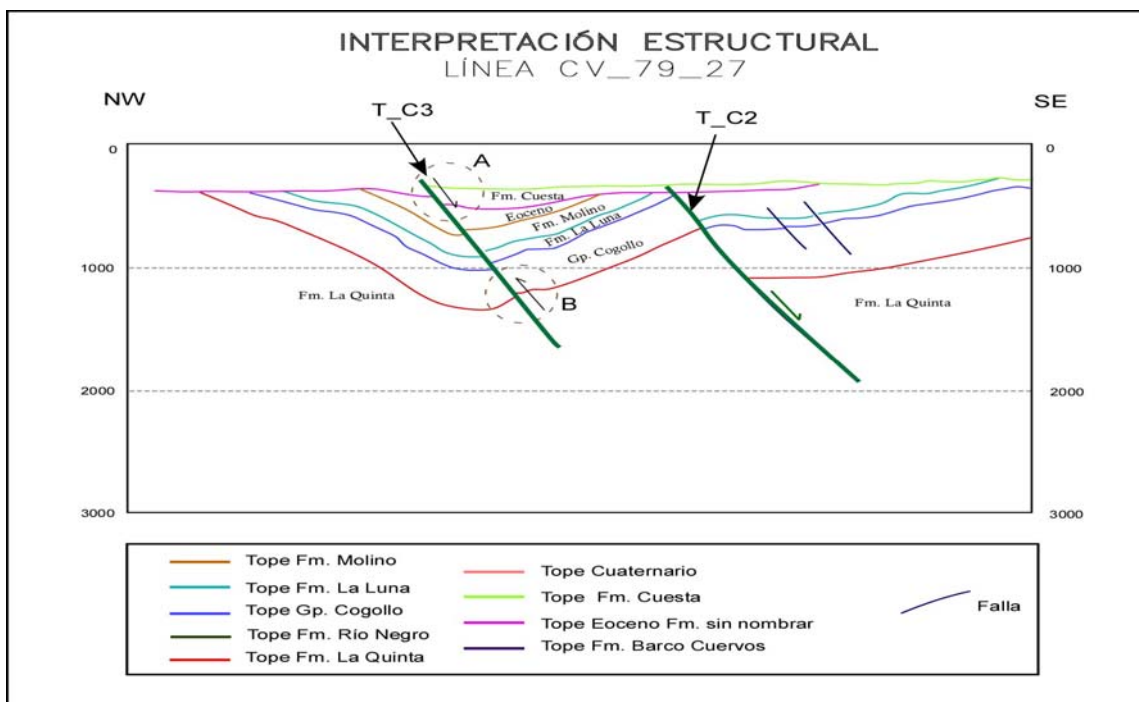


FIGURA 25. Sistema transcurrente típico (Velocidad vs. Distancia). A. Movimiento Normal T_C3 .B. Movimiento inverso T_C3.

En la FIGURA 26, se tienen las interpretaciones estructurales de las líneas sísmicas CR_88_1100 y CR_88_1180, las cuales no muestran grandes rasgos estructurales de la zona debido a su ubicación paralela con respecto a las estructuras principales de la Subcuenca Cesar. Sin embargo, las fallas marcadas obedecen a procesos de relajación y distribución de volumen consecuentes con un proceso transpresivo.

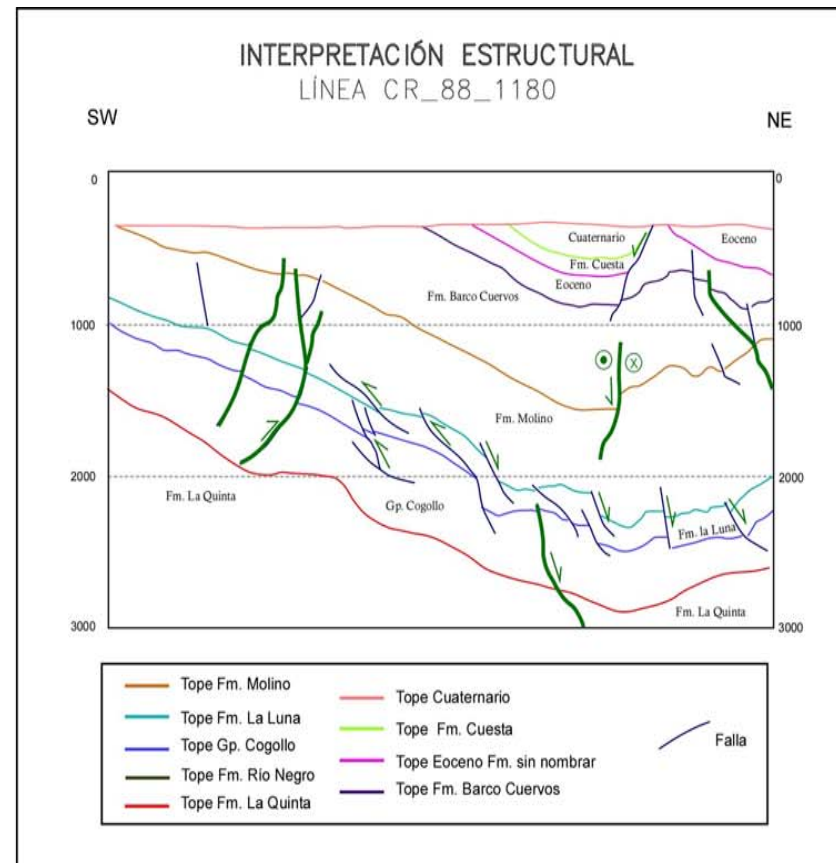
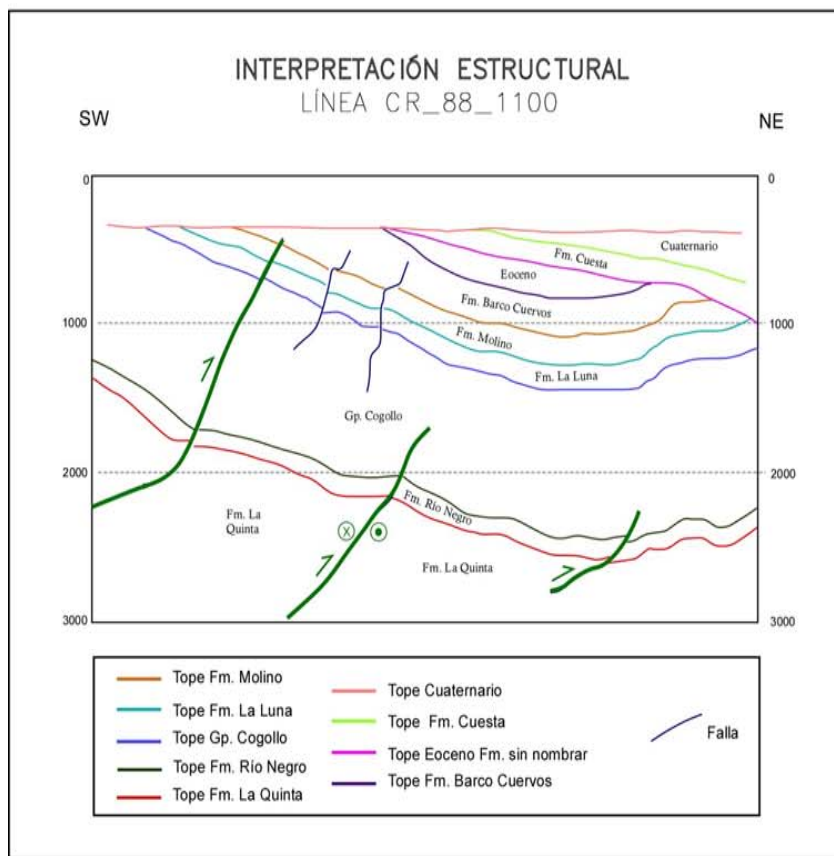


FIGURA 26. Izquierda. Interpretación estructural línea sísmica CR_88_1100. Derecha. Interpretación estructural línea sísmica CR_88_1180.
Velocidad vs. Distancia.

Para empalmar las estructuras del subsuelo, con la geología estructural de superficie, se tomó como referencia el Mapa Geológico de Colombia, Plancha 5-04 publicado por Ingeominas (2007); en el cual se pueden reconocer las fallas T_C1, T_C2, y T_C3, como tres fallas de rumbo señaladas como A, B y C; respectivamente, en la FIGURA 27. La falla T_C3, corresponde a la falla de rumbo conocida como la falla de Media Luna localizada en el centro de la Subcuenca Cesar.

De acuerdo con lo anterior, se deduce que realmente las fallas T_C1, T_C2 y T_C3, de dirección NE, no corresponden a cabalgamientos puros, sino que corresponden a un sistema de fallas transcurrentes con una componente inversa, asociadas a la terminación en relevo a la izquierda, de la falla dextral de Espíritu Santo, las cuales corresponden a un proceso penetrativo de bloques de dirección NE, en la Subcuenca Cesar.

7.3 MODELADO GEOQUÍMICO

Se usa para extrapolar información dentro de áreas, y profundidades donde no se ha perforado, ó, donde la información existente es poca, estudiando la compactación y decompactación de las rocas, su conductividad térmica, y el flujo de calor.

Se evaluaron en dos secciones de la subcuenca, los comportamientos individuales de los indicadores de madurez, los procesos de generación, migración y expulsión de los

fluidos; generando un modelo 1D y dos modelos 2D, tomando la historia de subsidencia del pozo Cesar A-1X, para calibrar algunos factores requeridos en los modelos 2D.

7.3.1 Historia de Subsidencia Pozo Cesar A-1X

Los datos del pozo Cesar A-1X que se emplearon para generar la historia de subsidencia se relacionan en la TABLA 30, de la siguiente manera:

Formación	Tope (m)	Base (m)	Presente (m)	Erosión (m)	Edad Depositación (Ma)		Edad Erosion (Ma)		TOC wt%	Cinética
					De	A	De	A		
Fm. Cuestas	0	0	0	457.21	20	5	5	3	0	
Eoceno	0	0	0	1000	51	22	22	20	0	
Barco-Cuervos	0	0	0	1500	65	52	3	2.68	60	IES_Tertiary_Coal-BH393
Fm. Molino	0	219.46	219.46	400	82	65	2.68	0	0	
Fm. La Luna	219.46	838.21	618.75	300	93	82	85	83	10	IES_Brown_Limestone-BH429-S
Gp. Cogollo	838.21	1469.15	630.94	0	135	93	0	0	5	IES_Kimmeridge_Clay-BH263
Fm. Rio Negro	1469.15	1670.32	201.17	0	144	135	0	0	0	
Fm. La Quinta	1670.32	3170.32	1500	152.4	150	144	176	127	0	

TABLA 30. Datos del pozo Cesar A-1X.

Se estimaron las condiciones de paleoprofundidad (PWD - Paleo Water Depth), paleotemperatura (SWIT - Sedimentary Water Interface temperatura) y flujo de calor (HF - Heat Flow), teniendo en cuenta para PWD, la profundidad al momento de depositación de las formaciones con respecto al tiempo; para SWIT (FIGURA 28), 35 °C, temperatura actual en la subcuenca como base; y, HF. Ver FIGURA 29.

Se elaboraron las gráficas de profundidad contra temperatura de fondo (FIGURA 30a) y reflectancia de vitrinita (FIGURA 30b) respectivamente, las cuales se calibraron con los datos registrados de la perforación del pozo, y, con los análisis geoquímicos realizados

a las muestras en trabajos anteriores. A nivel de madurez se tienen tres rangos basados en el porcentaje de Ro: madurez media (pico de madurez), Ro entre 0.7% y 1%; madurez tardía, Ro entre 1% y 1.35%; y, sobremadurez, Ro desde 1.35% en adelante. En la FIGURA 30b, de acuerdo con los rangos establecidos, la Formación La Luna se encuentra en ventana de generación de petróleo, mientras el Grupo Cogollo se encuentra en una fase de sobremadurez.

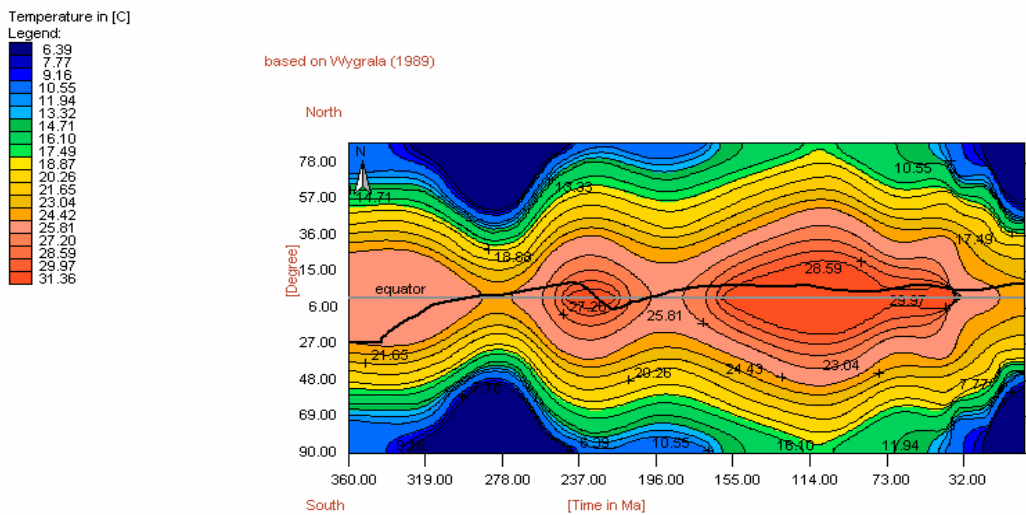


FIGURA 28. Gráfico para calcular la temperatura de superficie según la latitud 9°, en el hemisferio Norte. Basado en Wygrala (1989).

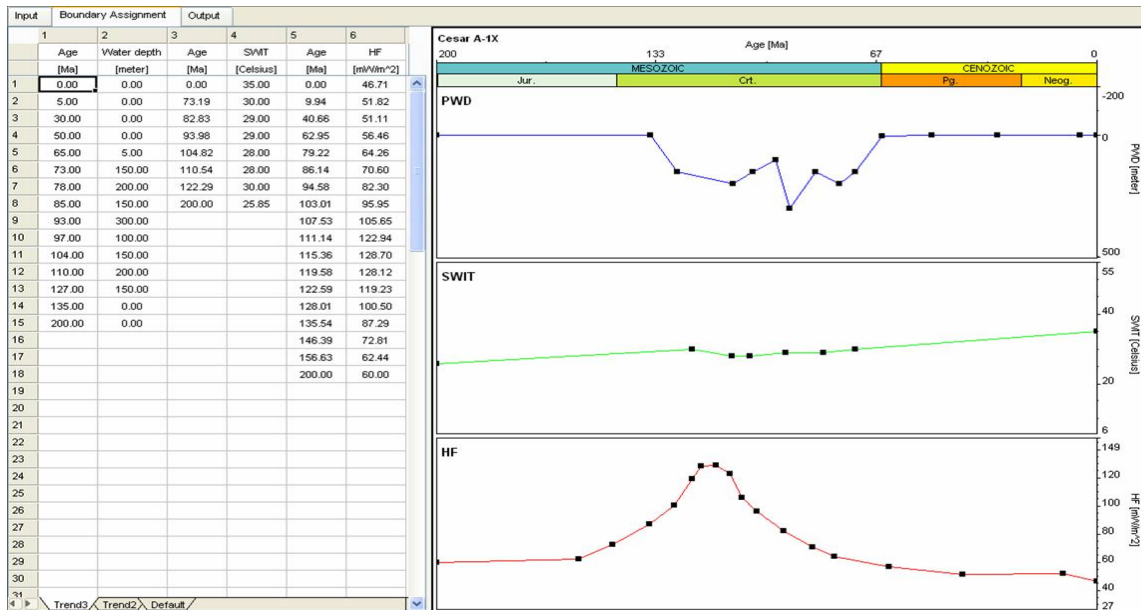


FIGURA 29. Condiciones de PWD, SWIT Y HF del Pozo Cesar A-1X.

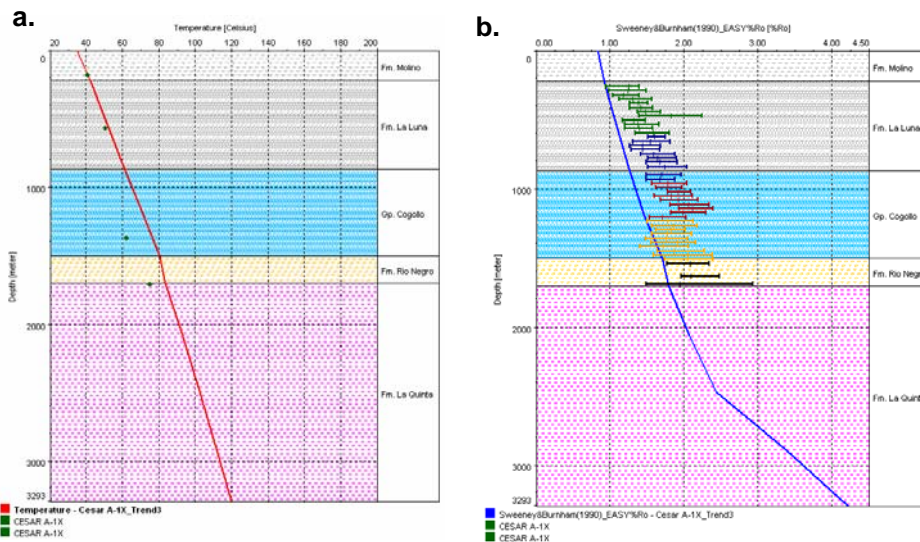


FIGURA 30. A. Profundidad (m) vs. Temperatura de Fondo (°C - Celsius). La línea roja indica la temperatura y los puntos verdes los valores reales de temperatura de fondo tomados en el pozo. B. Profundidad (m) vs. Reflectancia de Vitrinita (%Ro). La línea azul indica los valores de reflectancia de vitrinita, y, los intervalos de los valores reales tomados de análisis de muestras del pozo, se indican en líneas horizontales de colores verde, azul, rojo, amarillo y negro.

En los diagramas de soterramiento del pozo Cesar A-1X, se exponen las variables, temperatura (FIGURA 31), reflectancia de vitrinita (FIGURA 32), y por último el diagrama

de soterramiento (FIGURA 33), en función de la profundidad de enterramiento y la edad de depósito de cada una de las unidades de roca.

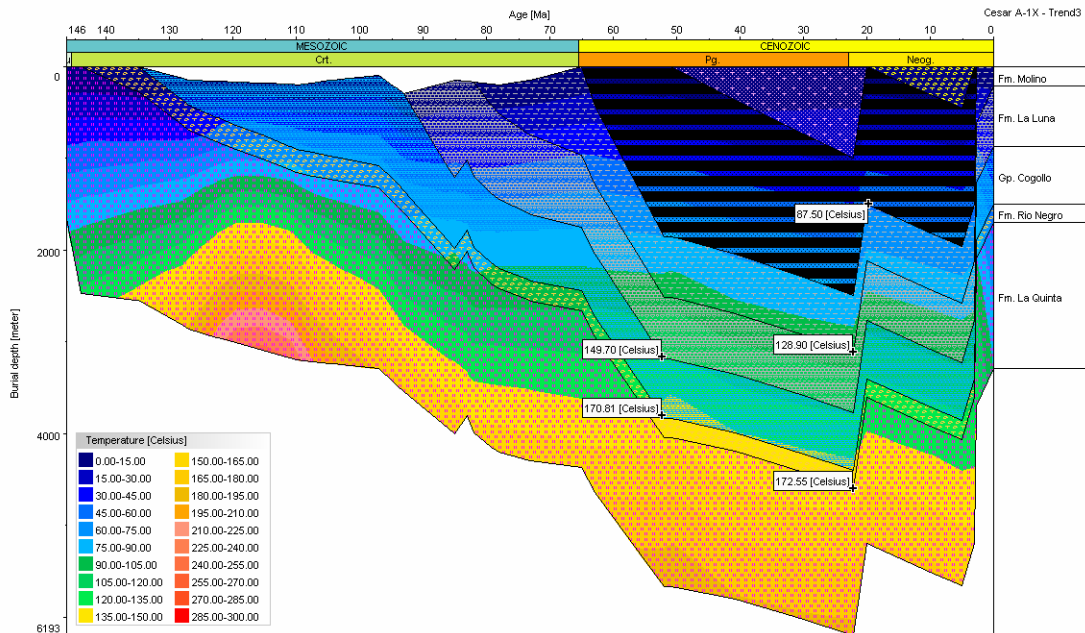


FIGURA 31. Diagrama de soterramiento. Variación de la temperatura (°C) con respecto a la profundidad y la edad.

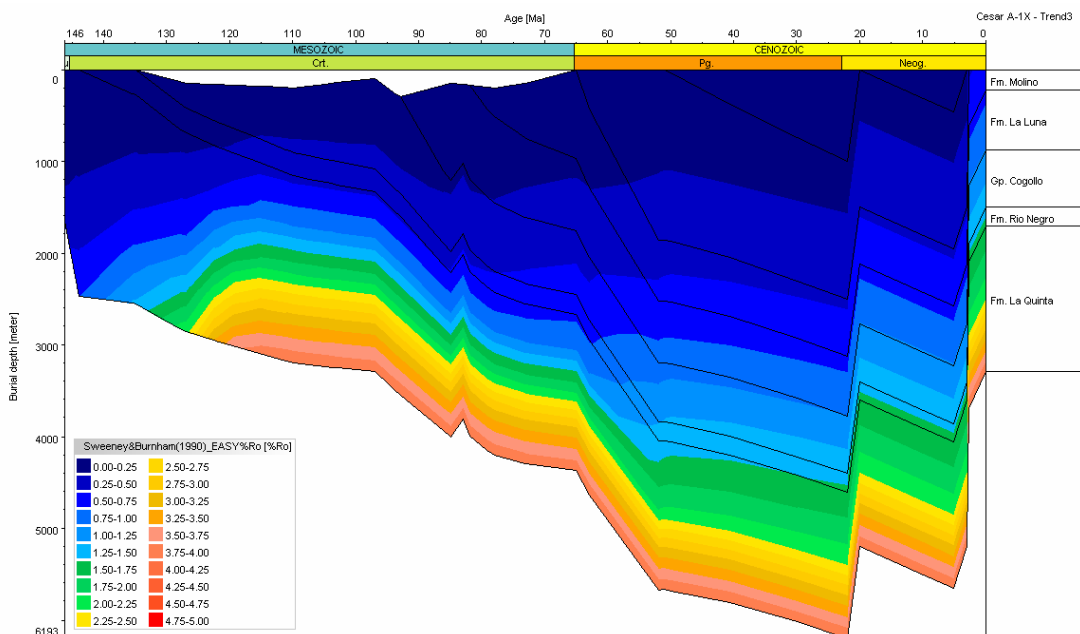


FIGURA 32. Diagrama de soterramiento. Variación de la reflectancia de vitrinita (%Ro) con respecto a la profundidad y la edad.

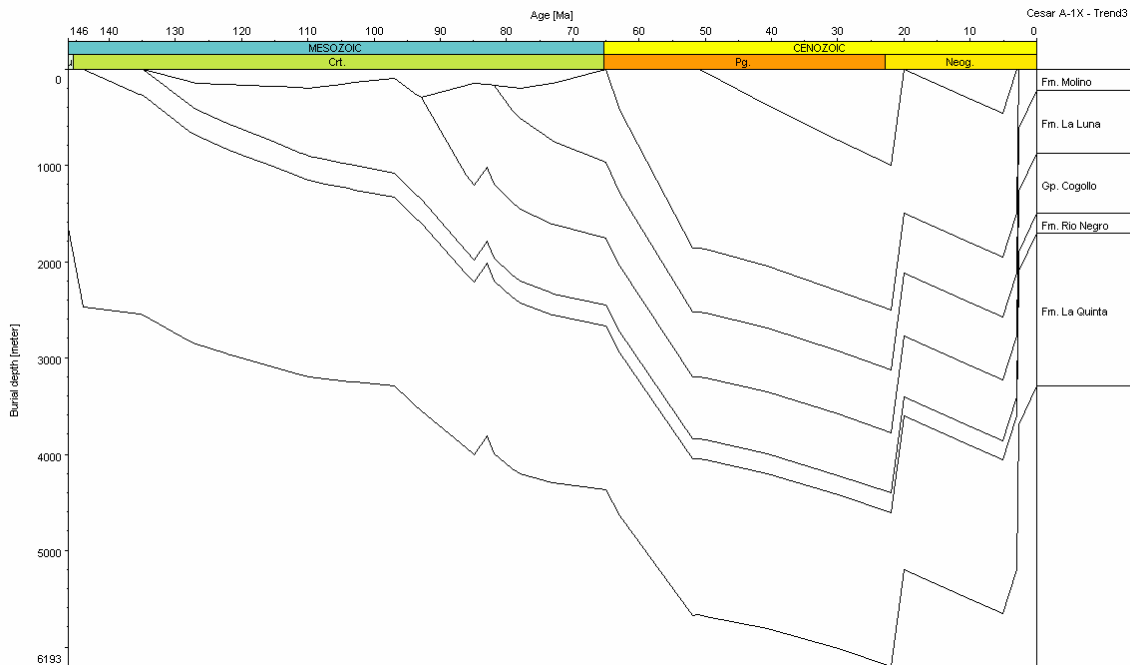


FIGURA 33. Diagrama de soterramiento con respecto a la profundidad y la edad.

Las líneas sísmicas CR_88_1100 y CR_88_1180 interpretada en profundidad, se seleccionaron para el modelado 2D ya que presentan las geometrías adecuadas para dicho fin. En ellas se diferencian los horizontes correspondientes a la columna tipo de la Subcuenca Cesar; de base a tope las formaciones La Quinta, Río Negro, Grupo Cogollo, La Luna, Molino, Barco – Cuervos, Eoceno?, Oligoceno?, Cuestas y Cuaternario.

7.3.2 Línea Sísmica CR_88_1100

Tiene una profundidad de 6.400 m, se ubica entre las coordenadas X: 1049603 Y: 1543355; y X: 1068284, Y: 1563693. Se interpretan los horizontes más notorios, los

cuales se correlacionan con las formaciones de la columna tipo de la Subcuenca Cesar (FIGURA 34).

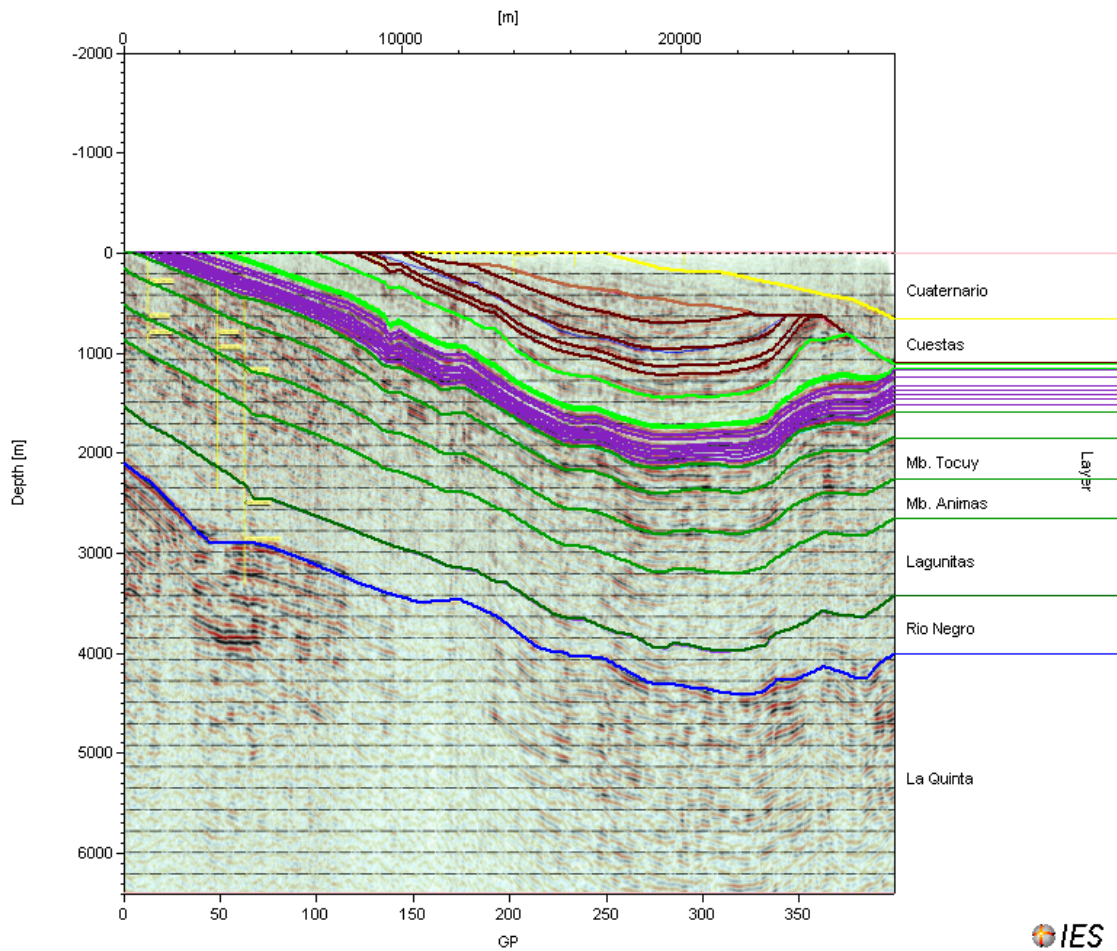


FIGURA 34. Interpretación en profundidad de la línea sísmica CR_88_1100.

En la FIGURAS 35 y 36, se exhibe de forma secuencial, los eventos de depositación y las respectivas facetas de erosión de acuerdo a la edad de las unidades de rocas, como sigue:

- Formación La Quinta: Se depositó desde 150 Ma. hasta 144 Ma., un espesor de 4304 m.

- Formación Río Negro: Se depositó desde 144 Ma. hasta 135 Ma., un espesor de 797.6 m.
- Formación Lagunitas: Se depositó desde 135 Ma. hasta 117.33 Ma., un espesor de 834.89 m.
- Miembro Ánimas: Se depositó desde 117.33 Ma. hasta 108.32 Ma., un espesor de 425.59 m.
- Miembro Tocuy: Se depositó desde 108.32 Ma. hasta 98.89 Ma., un espesor de 445.48 m.
- Miembro Maracas: Se depositó desde 98.89 Ma. hasta 93 Ma., un espesor de 278.56 m.
- Formación La Luna: Se depositó desde 93 Ma. hasta 82 Ma., un espesor de 600 m; seguido de un período de erosión desde 82 Ma. hasta 80 Ma., con un espesor de 200 m.
- Formación Molino: Se depositó desde 80 Ma. hasta 65 Ma., un espesor de 541.64 m.
- Formación Barco - Cuervos: Se depositó desde 65 Ma. hasta 52 Ma., un espesor de 810 m; seguido de un período de erosión desde 52 Ma. hasta 51 Ma., con un espesor de 31.84 m.
- Formación Eoceno – Sin Nombrar: Se depositó desde 51 Ma. hasta 43 Ma., un espesor de 250 m; seguido de un período de erosión desde 43 Ma. hasta 41 Ma., con un espesor de 6.98 m.
- Depósitos del Oligoceno: Se depositó desde 41 Ma. hasta 22 Ma., un espesor de 500 m; seguido de un período de erosión total.

- Formación Cuestas: Se depositó desde 20 Ma. hasta 5 Ma., un espesor de 445.98 m; seguido de un período de erosión de sus flancos, desde 5 Ma. hasta 2 Ma.
- Depósitos Cuaternarios: Se depositó desde 2 Ma. hasta 1 Ma., un espesor de 900 m; seguido de un período de erosión, desde 1 Ma. hasta 0.8 Ma., con un espesor de 230 m.

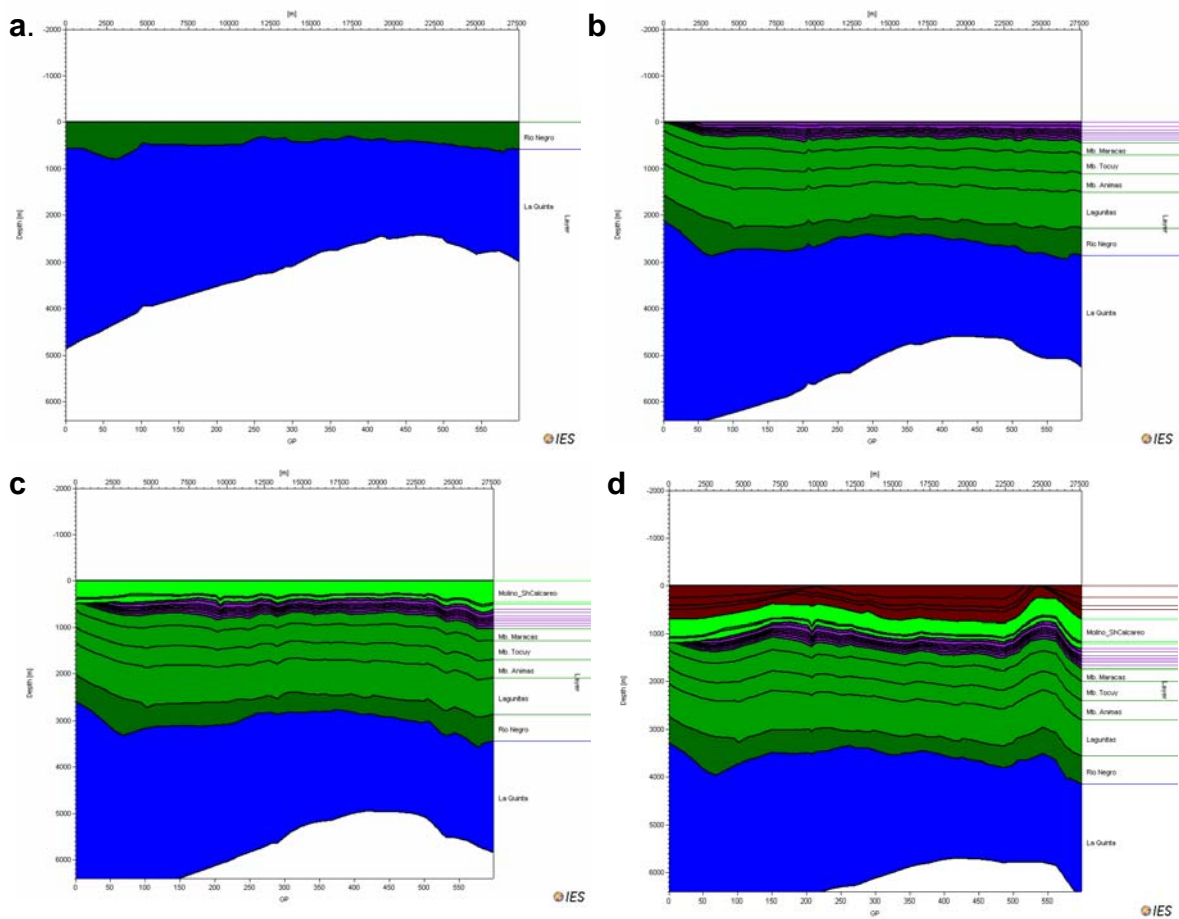


FIGURA 35. Secuencia de eventos de deposición y erosión de la línea sísmica CR_88_1100. A. 135 Ma. B. 80 Ma. C. 65 Ma. D. 52 Ma.

Los períodos de erosión de los flancos de las formaciones más profundas, se dan debido a la subsidencia tectónica de la cuenca, en tiempos posteriores a 0.8 Ma., y se muestran en la FIGURA 37, en donde se indica el punto a partir del cual se comenzó la reconstrucción del modelo.

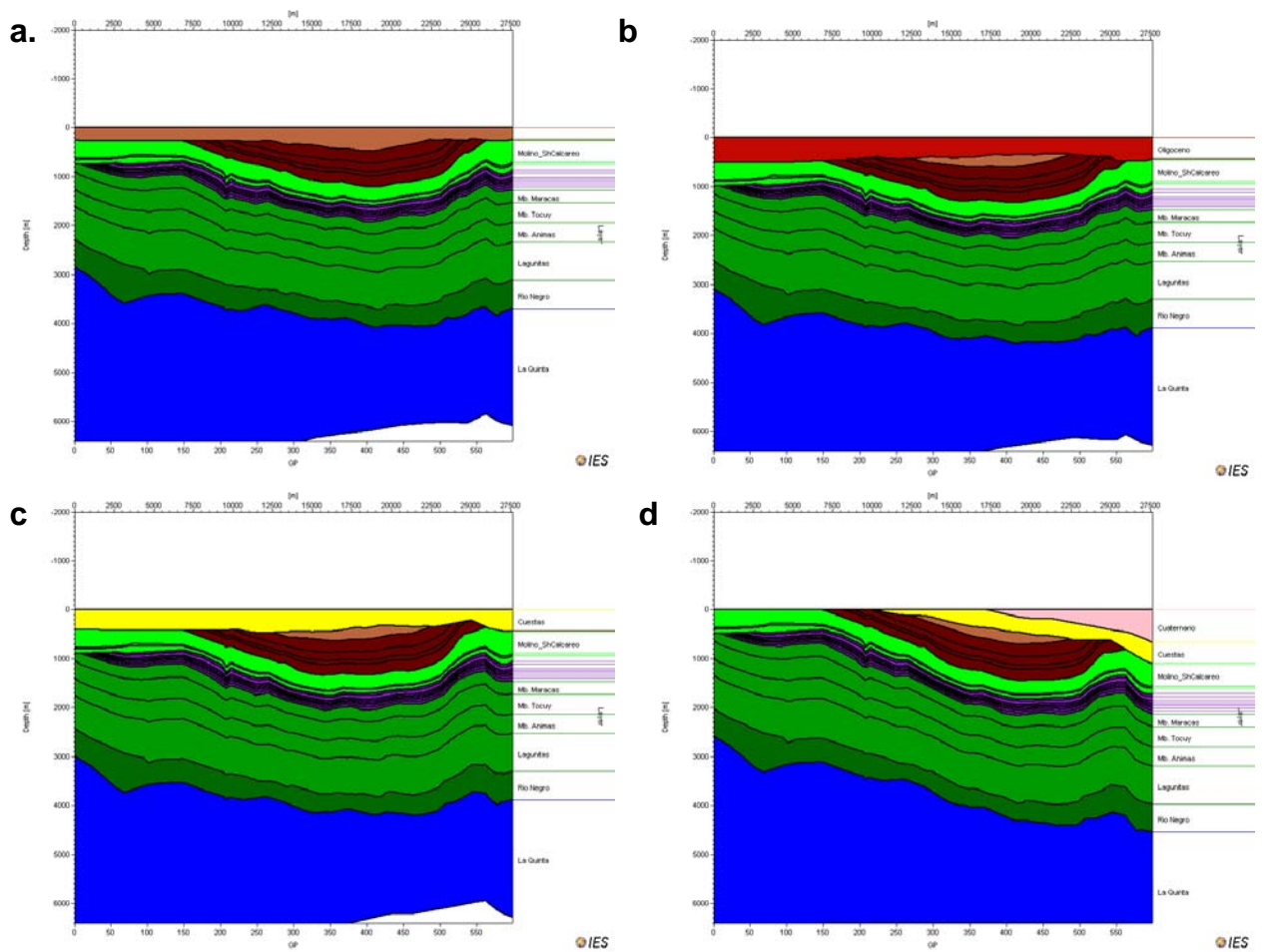


FIGURA 36. Secuencia de eventos de deposición y erosión de la línea sísmica CR_88_1100. A. 43 Ma. B. 22 Ma. C. 5 Ma. D. 0.8 Ma.

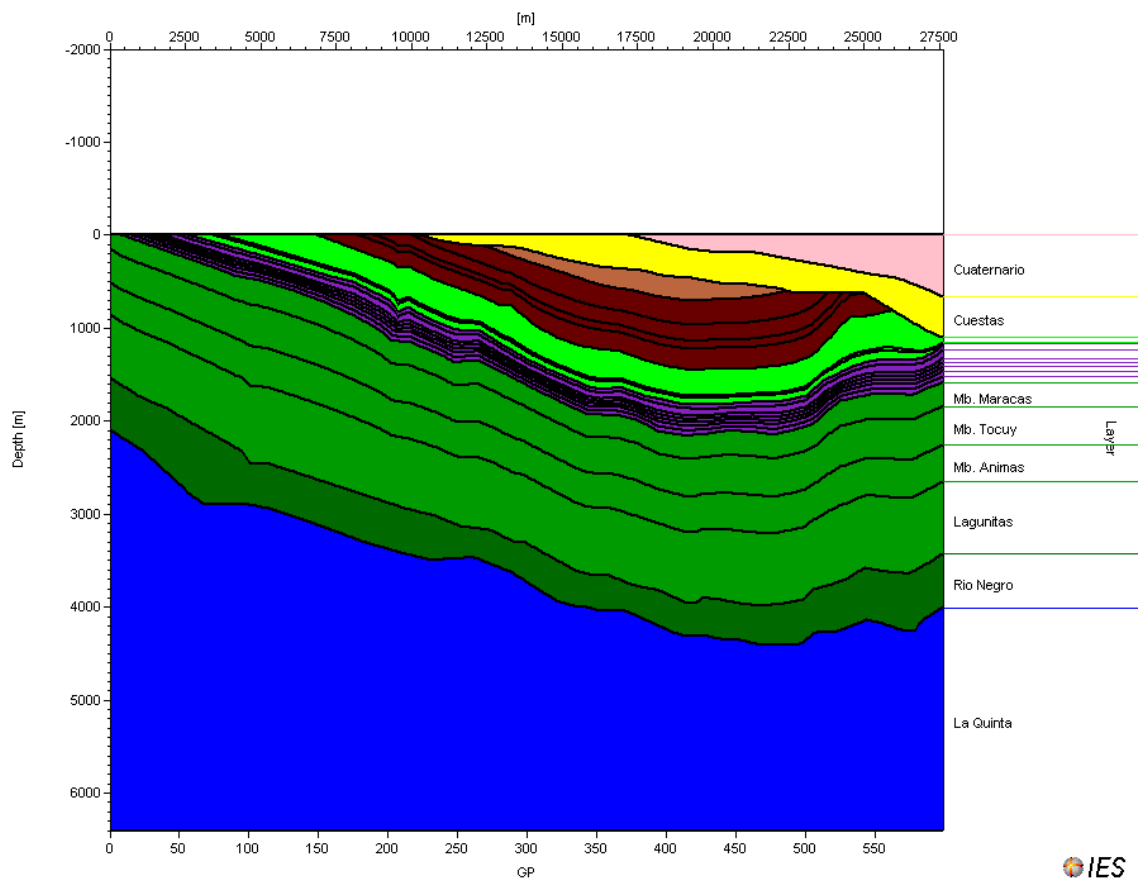


FIGURA 37. Reciente de la línea sísmica CR_88_1100.

La simulación geoquímica posterior del modelo requiere datos de %TOC, cinética e índice de Hidrógeno (HI) para las formaciones posiblemente generadoras; en este caso, respectivamente el valor de TOC e HI, para el Grupo Cogollo es 5% y 600, la Formación La Luna es 10% y 470, y, la Formación Barco – Cuervos es 60% y 300; la cinética del Grupo Cogollo y la Formación La Luna es IES_Brown_Limestone-BH429-S-2C, mientras la cinética de la Formación Barco–Cuervos es IES_Tertiary_Coal-BH393-2C.

La evaluación geoquímica de los datos anteriores emite un diagrama en profundidad (relativa a la edad de depósito y períodos de erosión) de las posibles zonas de

acumulación y rutas de migración de gas y aceite dentro de la sección que cubre la línea sísmica interpretada. En la FIGURA 38, el modelo geoquímico 2D, muestra que la Formación Barco-Cuervos, está en ventana de generación; y, constata la ventana de generación en la Formación La Luna vista en el modelo 1D del pozo Cesar A-1X. Se observa que el petróleo y el gas generados, migran por los flancos del sinclinal, debido a la ausencia de trampas estructurales, y a la deficiencia de las trampas estratigráficas.

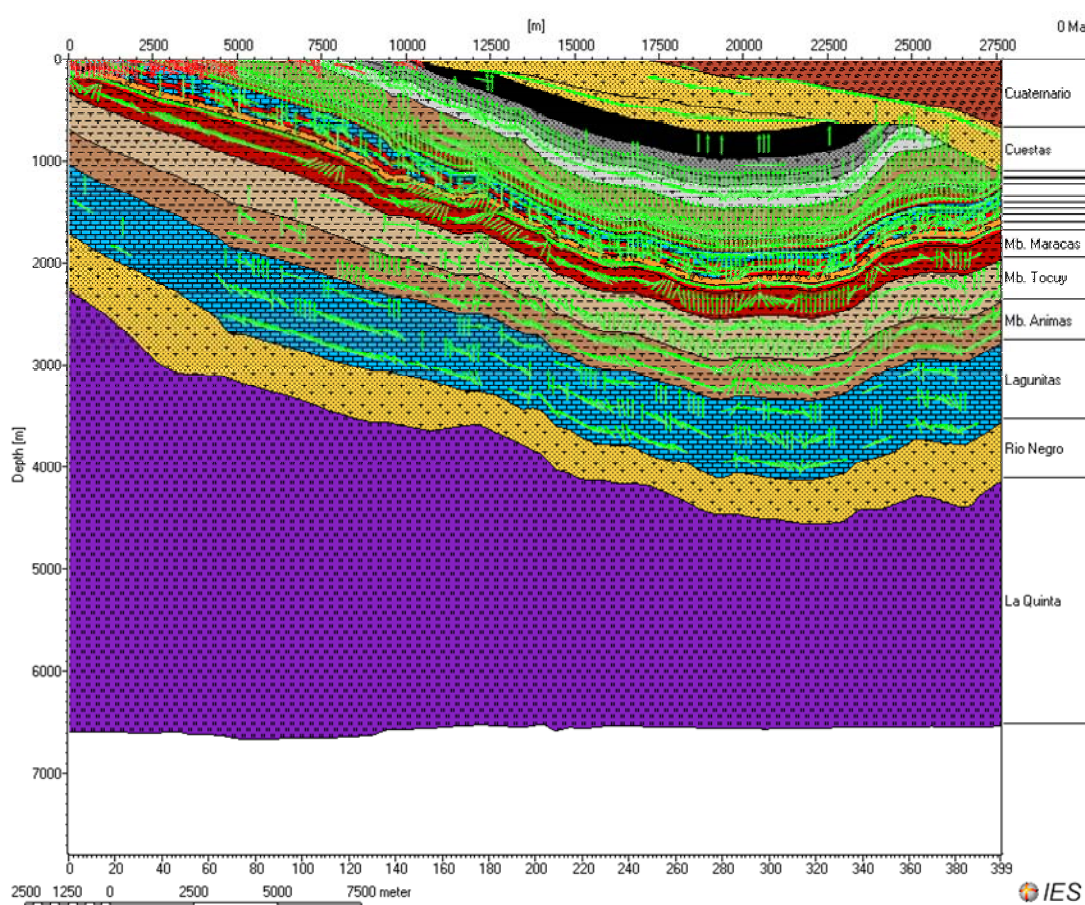


FIGURA 38. Modelo geoquímico 2D de la línea sísmica CR_88_1100. Las rutas de migración de aceite se indican con flechas verdes, las rutas de migración de gas se indican con flechas rojas, y las zonas de acumulación de hidrocarburos, se indican con relleno sólido verde.

7.3.3 Línea Sísmica CR_88_1180

Tiene una profundidad de 6.400 m, se ubica entre las coordenadas X: 1051377 Y: 1533262; y X: 1076148, Y: 1560062. Se interpretan los horizontes más notorios, los cuales se correlacionan con las formaciones de la columna tipo de la Subcuenca Cesar (FIGURA 39).

En la FIGURAS 40 y 41, se exhibe de forma secuencial, los eventos de depositación y las respectivas facetas de erosión de acuerdo a la edad de las unidades de rocas, como sigue:

- Formación La Quinta: Se depositó desde 150 Ma. hasta 135 Ma., un espesor de 4116.18 m.
- Formación Lagunitas: Se depositó desde 135 Ma. hasta 133.38 Ma., un espesor de 50.07 m.
- Miembro Ánimas: Se depositó desde 133.38 Ma. hasta 130.15 Ma., un espesor de 99.97 m.
- Miembro Tocuy: Se depositó desde 130.15 Ma. hasta 113.19 Ma., un espesor de 525.25 m.
- Miembro Maracas: Se depositó desde 113.19 Ma. hasta 93 Ma., un espesor de 625.35 m.

- Formación La Luna: Se depositó desde 93 Ma. hasta 82 Ma., un espesor de 700 m; seguido de un período de erosión desde 82 Ma. hasta 80 Ma., con un espesor de 250 m.
- Formación Molino: Se depositó desde 80 Ma. hasta 65 Ma., un espesor de 2182.74 m.
- Formación Barco - Cuervos: Se depositó desde 65 Ma. hasta 51 Ma., un espesor de 1103.33 m; seguido de un período de erosión desde 0.4 Ma. hasta 0 Ma.

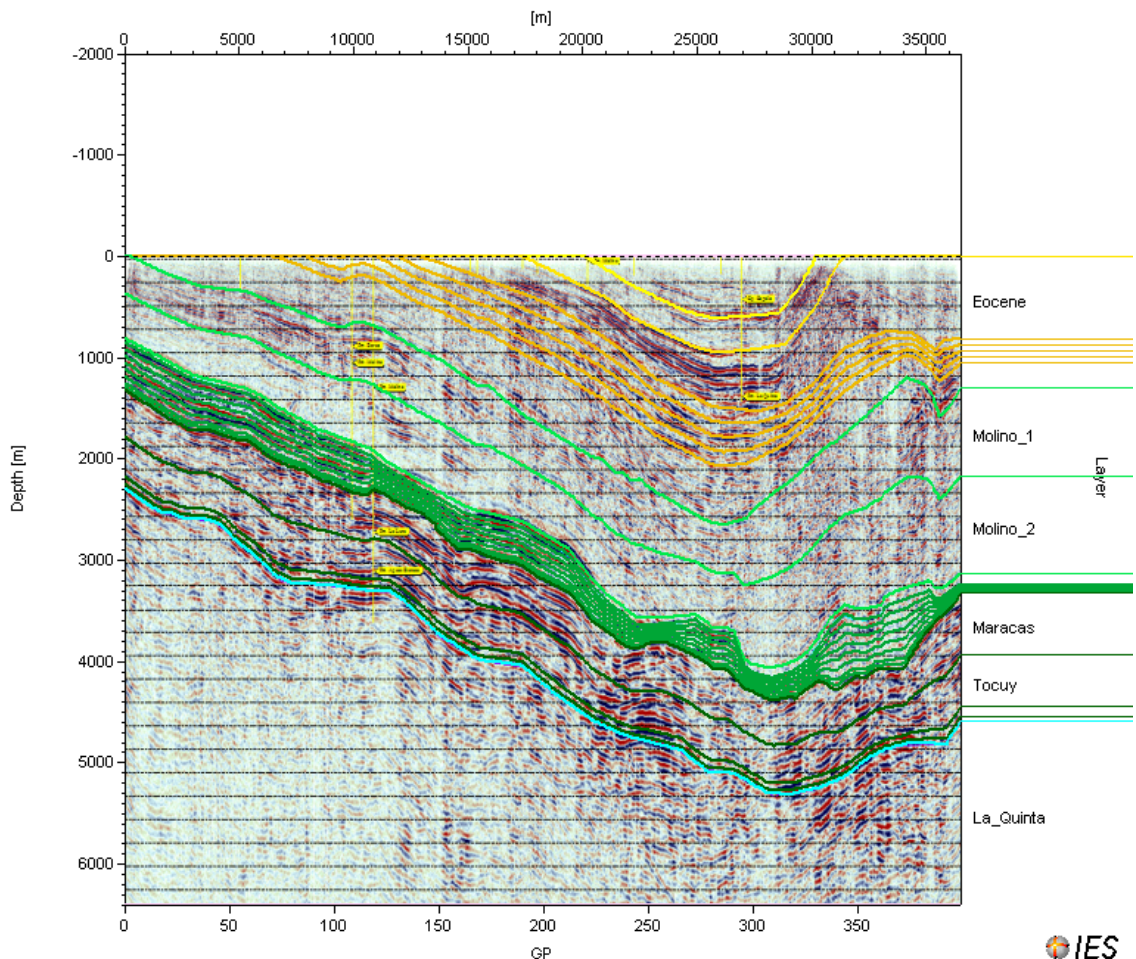


FIGURA 39. Interpretación en profundidad de la línea sísmica CR_88_1180.

- Formación Eoceno – Sin Nombrar: Se depositó desde 51 Ma. hasta 41 Ma., un espesor de 1113.13 m; seguido de un período de erosión desde 0.6 Ma. hasta 0.4 Ma., con un espesor de 300 m.
- Depósitos del Oligoceno: Se depositó desde 41 Ma. hasta 22 Ma., un espesor de 500 m; seguido de un período de erosión total.
- Formación Cuestas: Se depositó desde 20 Ma. hasta 5 Ma., un espesor de 493.75 m; seguido de un período de erosión de sus flancos, desde 0.8 Ma. hasta 0.7 Ma.
- Depósitos Cuaternarios: Se depositó desde 2 Ma. hasta 1 Ma., un espesor de 913.57 m; seguido de un período de erosión, desde 1 Ma. hasta 0.8 Ma., con un espesor de 300 m.

Los períodos de erosión de los flancos de las formaciones más profundas, se dan debido a la subsidencia tectónica de la cuenca, en tiempos posteriores a 0.8 Ma., y se muestran en la FIGURA 42, en donde se indica el punto a partir del cual se comenzó la reconstrucción del modelo.

La simulación geoquímica posterior del modelo requiere datos de %TOC, cinética e índice de Hidrógeno (HI) para las formaciones posiblemente generadoras; en este caso, respectivamente el valor de TOC e HI, para el Grupo Cogollo es 6% y 600, la Formación La Luna es 7% y 470, y, la Formación Barco – Cuervos es 50% y 300; la cinética del

Grupo Cogollo y la Formación La Luna es IES_Brown_Limestone-BH429-S-2C, mientras la cinética de la Formación Barco – Cuervos es IES_Tertiary_Coal-BH393-2C.

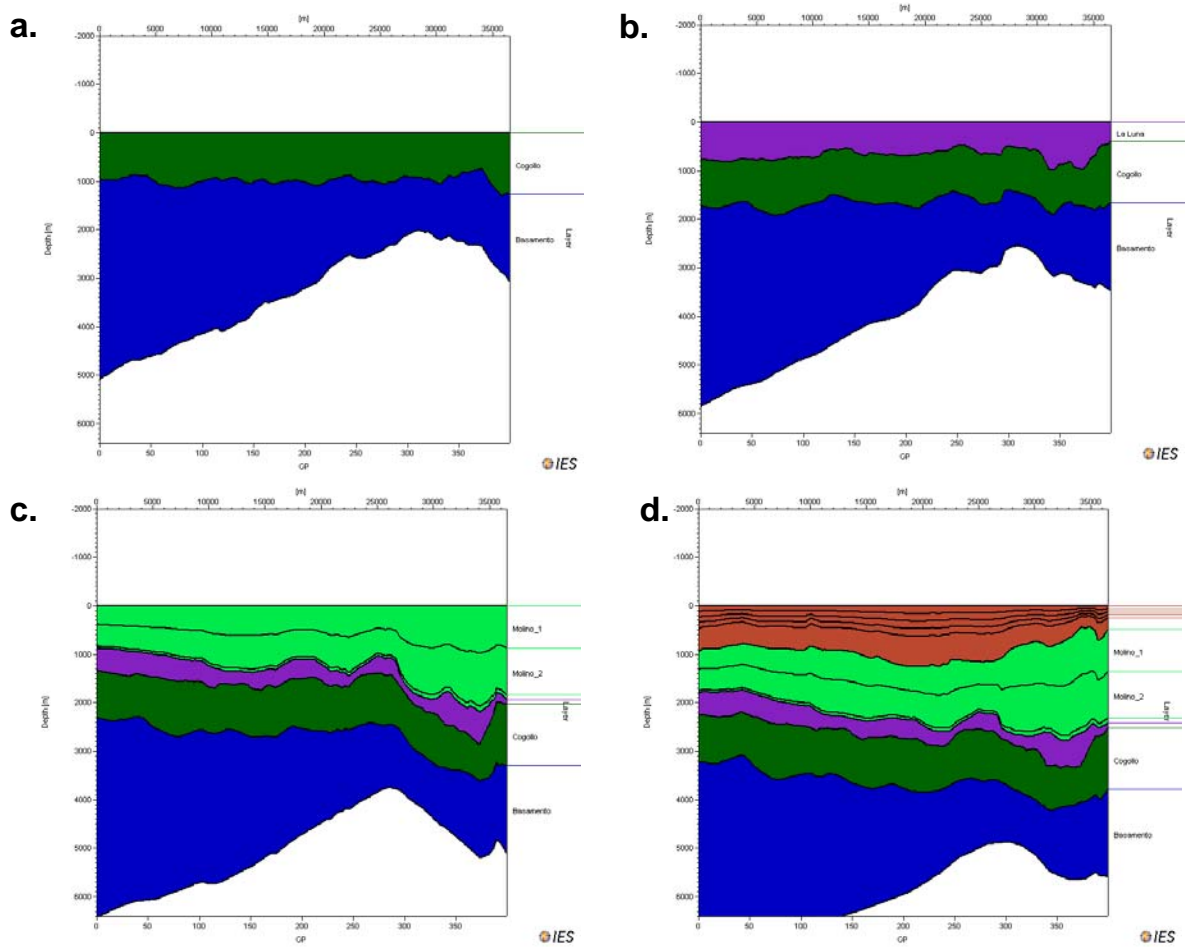


FIGURA 40. Secuencia de eventos de deposición y erosión de la línea sísmica CR_88_1180. A. 93 Ma. B. 82 Ma. C. 65 Ma. D. 51 Ma.

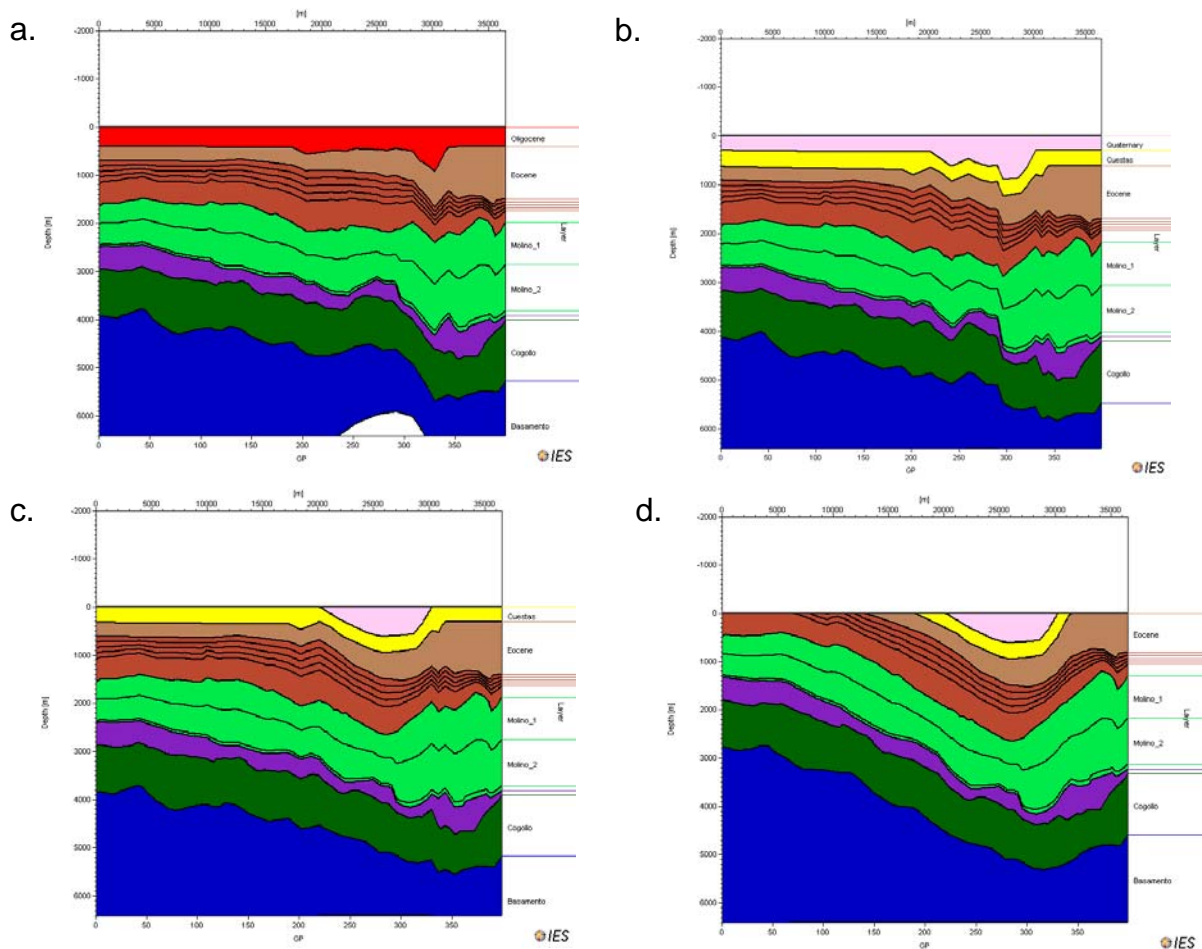


FIGURA 41. Secuencia de eventos de deposición y erosión de la línea sísmica CR_88_1180. A. 22 Ma. B. 1 Ma. C. 0.8 Ma. D. 0.2 Ma.

La evaluación geoquímica de los datos anteriores emite un diagrama en profundidad (relativa a la edad de depósito y períodos de erosión) de las posibles zonas de acumulación y rutas de migración de gas y aceite dentro de la sección que cubre la línea sísmica interpretada. En la FIGURA 43, el modelo geoquímico 2D, muestra que la Formación Barco-Cuervos, está en ventana de generación de hidrocarburos, los cuales migran por los flancos del sinclinal. También, la Formación La Luna se encuentra en ventana de generación hidrocarburos, presentando una acumulación de crudo,

favorecida por una trampa estratigráfica, en la que los shales de la Formación Molino hacen de roca sello; el petróleo que no se acumula, migra por los flancos del sinclinal.

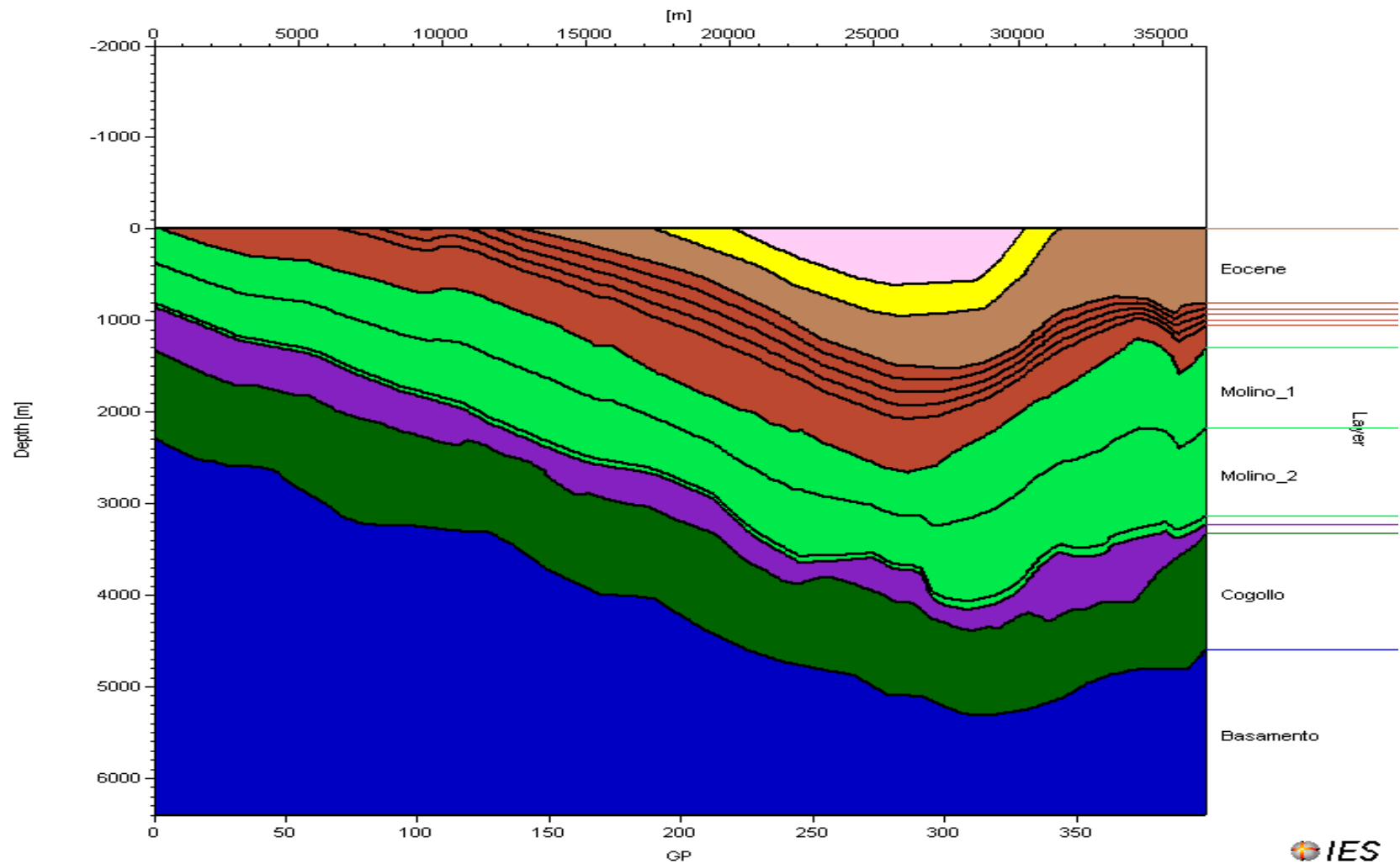


FIGURA 42. Reciente de la línea sísmica CR_88_1180.

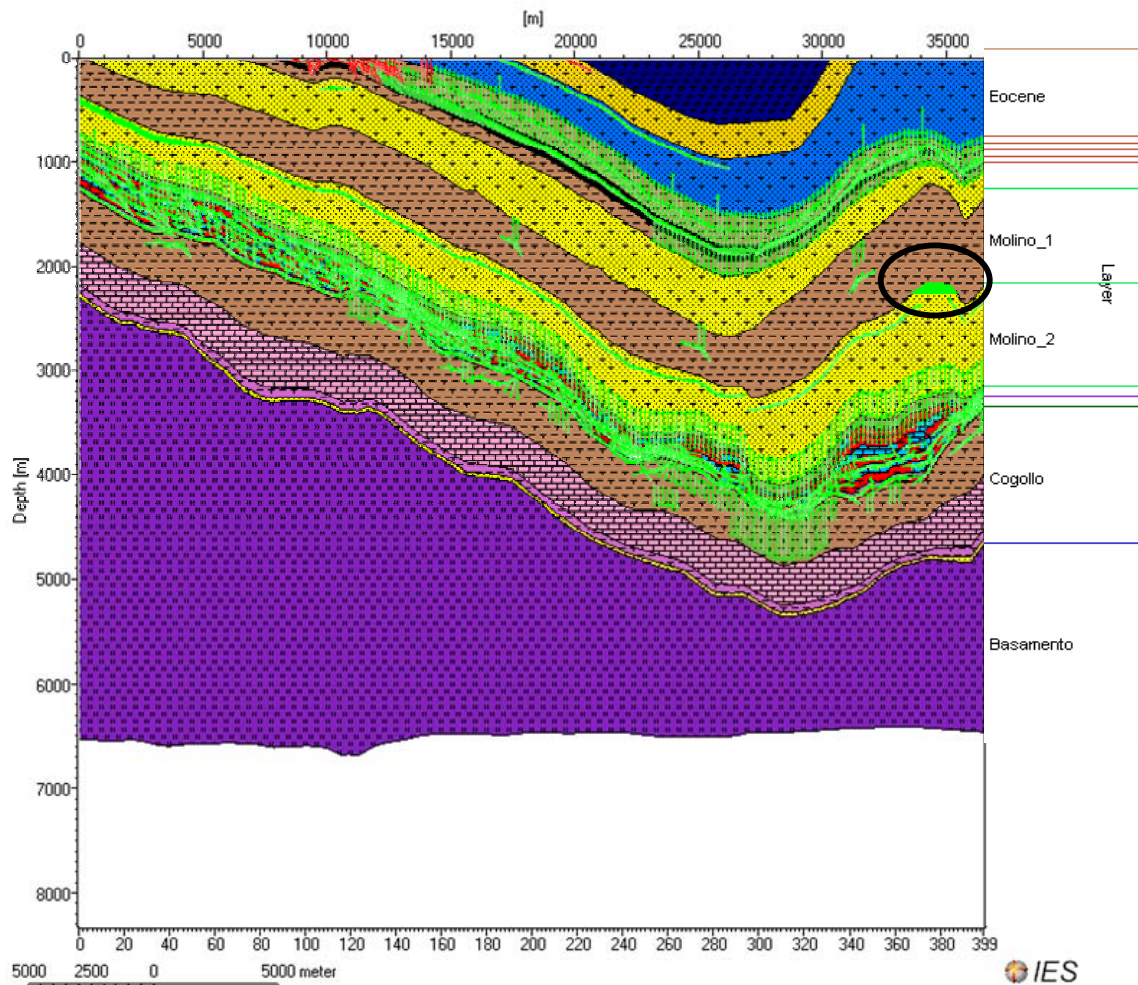


FIGURA 43. Modelo geoquímico 2D de la línea sísmica CR_88_1180. Las rutas de migración de aceite se indican con flechas verdes, las rutas de migración de gas se indican con flechas rojas, y las zonas de acumulación de hidrocarburos, se indican con relleno sólido verde.

La zona de acumulación de la FIGURA 43, encerrada en un círculo negro, se analiza de tal manera que los datos del modelo 2D coincidan con un diagrama de soterramiento 1D, teniendo en cuenta las características geoquímicas de la roca. La FIGURA 44, se observa el análisis geoquímico de la columna estratigráfica de la zona de acumulación de crudo, en el cual la Formación Barco-Cuervos tiene valores de R_o entre 0.56% y

0.7%, lo que quiere decir que se encuentra en el pico de madurez; y la Formación La Luna tiene valores de Ro entre 1.26% y 1.72%, indicando que se encuentra en un estado de madurez tardía.

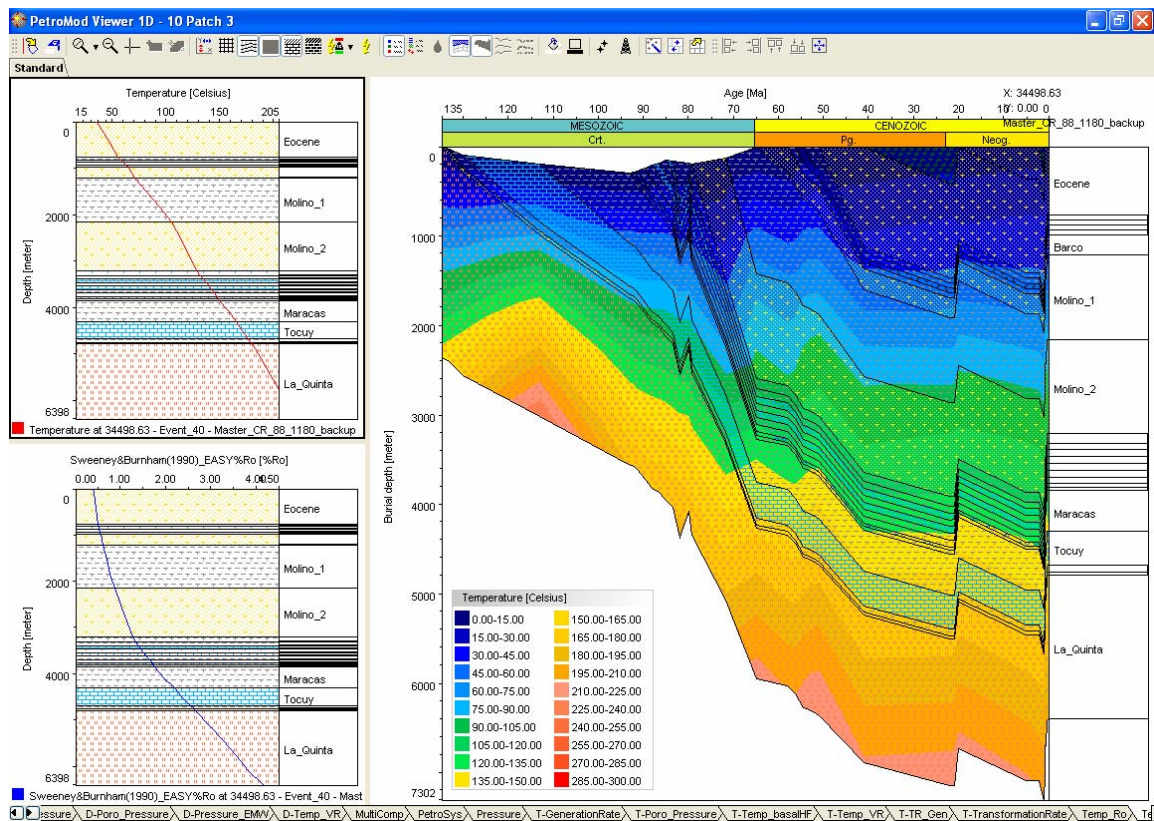


FIGURA 44. Análisis de la zona de acumulación de hidrocarburos del modelo 2D de la línea CR_88_1180. Izquierda Arriba. Diagrama de profundidad contra temperatura. Izquierda Abajo. Diagrama de profundidad contra reflectancia de vitrinita. Derecha. Diagrama de subsidencia en función de la temperatura.

8 CONCLUSIONES

Los diagramas cronoestratigráficos muestran tres inconformidades regionales: la inconformidad inferior, entre la Formación La Quinta y las rocas suprayacentes de la Formación Río Negro; la inconformidad media, entre la Formación La Luna y las rocas suprayacentes de la Formación Molino; y, la inconformidad superior, entre la Formación Barco-Cuervos y las rocas suprayacentes de la Formación Cuesta. Dichas inconformidades se asocian a los períodos orogénicos y anorogénicos de la subcuenca. Se evidencia la abundancia de rocas generadoras de hidrocarburos, en el Grupo Cogollo, la Formación La Luna, y, la Formación Barco-Cuervos; y la escasez de rocas reservorios.

La sísmica muestra la columna estratigráfica completa de la Subcuenca Cesar, y tres horizontes reflectores claros: tope de la Formación La Quinta, tope de la Formación La Luna, y el tope de la Formación Barco-Cuervos, que a la vez coinciden con las tres inconformidades regionales.

La geología estructural indica que el sistema general deformativo corresponde a una cizalla simple, aunque en las líneas no se observe la estructura completa. Las principales fallas en la zona pertenecen a un sistema transcurrente, asociado a la transferencia a la derecha de la falla Espíritu Santo el cual es desplazado hacia el norte

por el sistema de fallas truncurrentes sinestrales de Santa Marta – Bucaramanga. Las fallas T_C2, y T_C3, convergen en profundidad en el Sistema de Fallas del Perijá.

El modelado geoquímico 2D de las líneas sísmicas CR_88_1100 y CR_88_1180, señala que las rocas que se encuentran en ventana de generación de hidrocarburos, pertenecen a la Formación La Luna, y la Formación Barco – Cuervos. En las zonas más profundas de la cuenca, el petróleo generado hace cracking a gas; mientras que en las zonas más someras el petróleo y gas generados migran por los flancos de las estructuras, debido a la ausencia de trampas estructurales, y a la ineficiencia de las trampas estratigráficas.

El potencial de hidrocarburos de la Subcuenca Cesar en el sector comprendido entre los municipios de Agustín Codazzi, Bosconia y Chiriguaná, se considera bueno prospectivamente porque posee las mismas rocas generadoras que la Cuenca de Maracaibo y del norte de la Cuenca Valle Medio del Magdalena, equivalentes a la Formación La Luna y el paquete calcáreo infrayacente (Grupo cogollo), y las mismas rocas reservorio que la Cuenca de Maracaibo (Formación Misoa y Areniscas C y B, arenas productivas del centro del Lago de Maracaibo) (Calleja, 1998, y Lugo & Mann, 1995), que en la columna estratigráfica de la Subcuenca Cesar corresponden a la Formación? Eoceno Sin Nombrar. Además, consta de trampas estructurales y estratigráficas, evidenciadas en las interpretaciones sísmica y estructural. Lo anterior se corrobora con el modelado geoquímico 2D.

9 BIBLIOGRAFÍA

Base de datos, 2007. Grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones: Proyecto “Inventario, Interpretación y Evaluación Integral de la Información Geológica, Geofísica y Geoquímica adquirida por la ANH en la Cuenca Cesar – Ranchería y el Área Especial Cesar – Ranchería”.

Brigaud, F., Chapman, D., and Le Douaran, S., 1990. Estimating thermal conductivity in sedimentary basins using lithologic data and geophysical well logs: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 74, No. 9, p. 1459 – 1477.

Calleja, R., 1998. Cuenca del Lago de Maracaibo, Geología II: Universidad del Zulia, Núcleo de Ingeniería, Subprograma de Petróleos, p. 7-12.

Cooper, M.A., Addison, F.T., Álvarez, R., Coral, M., Graham, R.H., Hayward, A.B., Howe, S., Martínez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A.J., and Taborda, A., 1995. Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera and Middle Magdalena Valley, Colombia: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 79, No. 10, p. 1421 – 1443.

Cortés, Y.M., y, Jiménez, M., 2007. Geoquímica de los yacimientos de gas asociado al carbón en la Cuenca de Bogotá: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, p. 91 – 113.

Ecopetrol, Geopetrocol, 1998. Potencial petrolífero Cuenca Cesar - Ranchería, Tomo I, Informe general, 255 p.

Ingeominas, 2003. Geología de la plancha 48 La Jagua de Ibirico. Memoria explicativa, 98 p.

Ingeominas, UIS, 2005. Cartografía Geológica de 9.600 Km² de la Serranía de San Lucas: Planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Simití) Y 96 (Bocas Del Rosario): Aporte al conocimiento de su evolución geológica: Memorias Plancha 55 y 96.

Ingeominas, 2007. Mapa Geológico de Colombia, Plancha 5-04.

Lugo, J., and Mann, P., 1995. Jurassic-Eocene tectonic evolution of Maracaibo Basin, Venezuela: AAPG Memoir 62, p. 699 – 725.

Mora, A., and García, A., 2006. Cenozoic tectono-stratigraphic relationships between the Cesar Sub-Basin and the southeastern Lower Magdalena Valley Basin of northern Colombia: AAPG Annual Convention, Article # 30046, Houston, Texas.

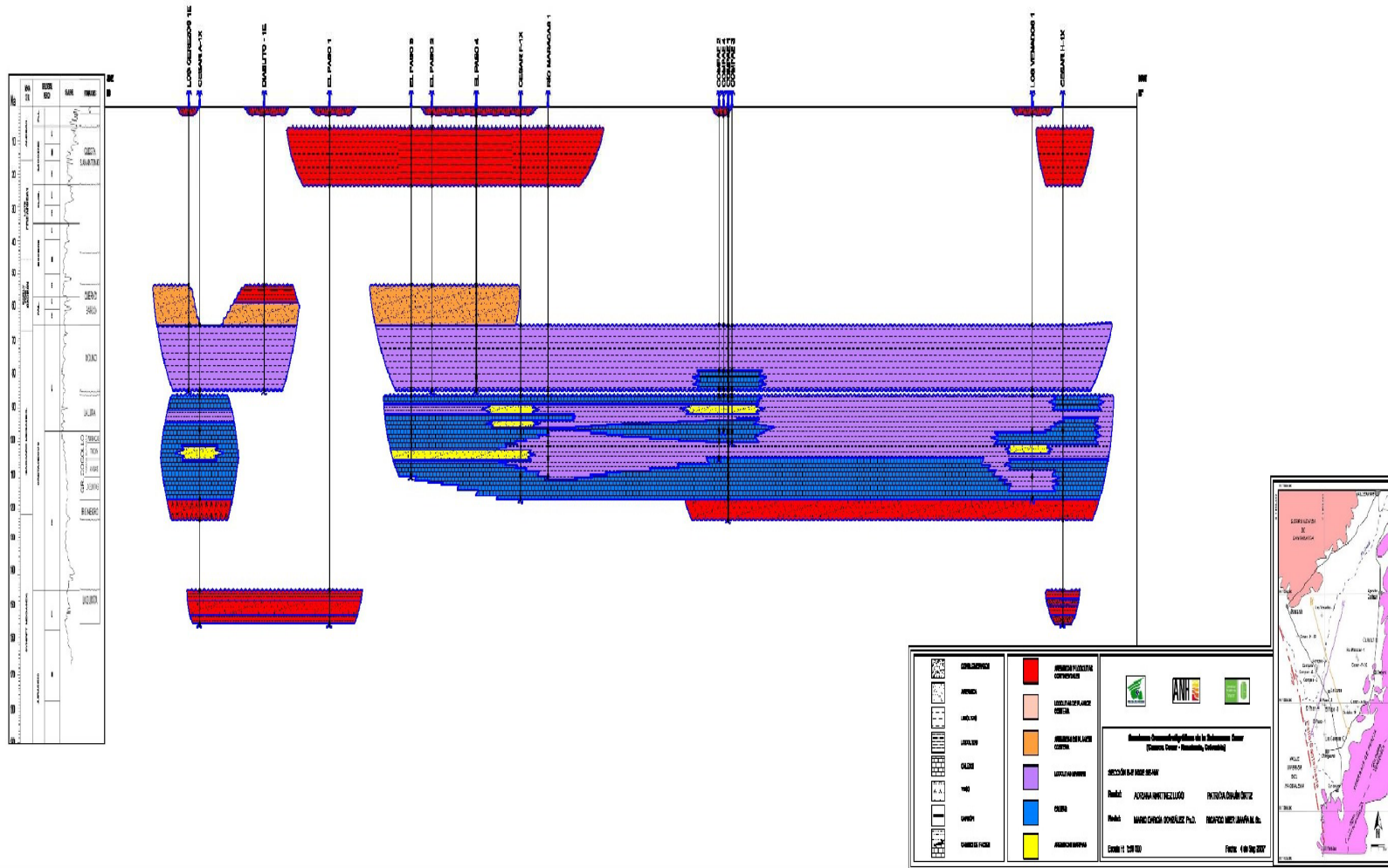
Ojeda, M.G., 2006. Modelo geológico del subsuelo de un área carbonífera en La Loma de Calenturas (Departamento del Cesar): Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, p. 18 – 25.

Waples, D., 1980. Time and temperatura in petroleum formation: Application of Lopatin's method to petroleum exploration: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 64, No. 6, p. 916 – 926.

ANEXO 1
BASE DE DATOS
SIN AUTORIZACIÓN DE LA FUENTE PARA PUBLICAR SU CONTENIDO

ANEXO 2
DIAGRAMAS CRONOESTRATIGRÁFICOS

Secciones Cronoestratigráficas de la Subcuenca Cesar (Cuenca Cesar - Ranchería) SECCIÓN B-B'

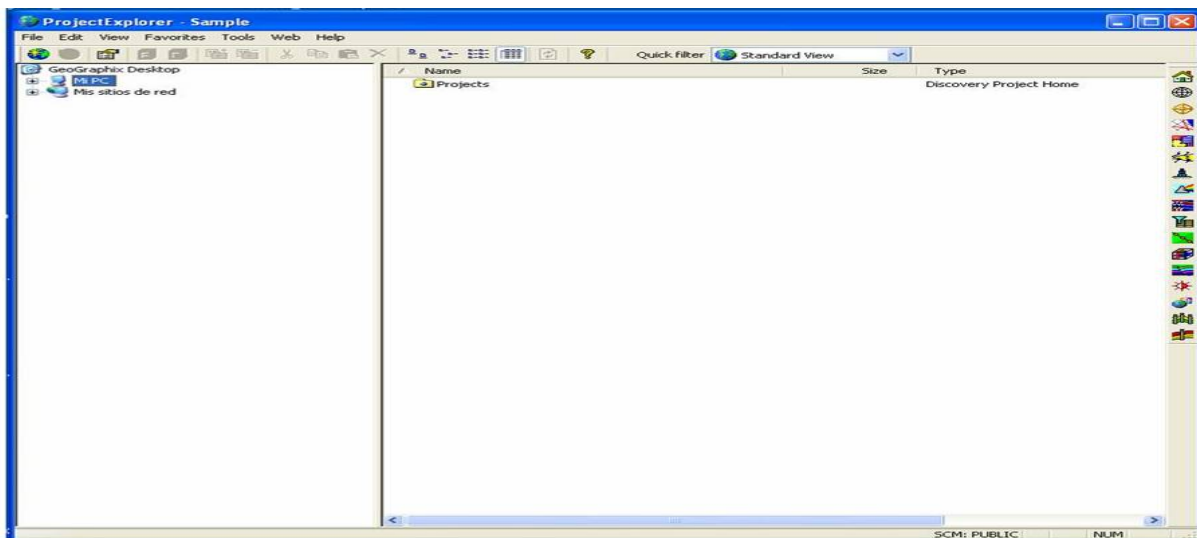


ANEXO 3
**PASOS PARA REALIZAR LA INTERPRETACIÓN SÍSMICA DE UNA LÍNEA SÍSMICA
CON GEOGRAPHIX DISCOVERY**

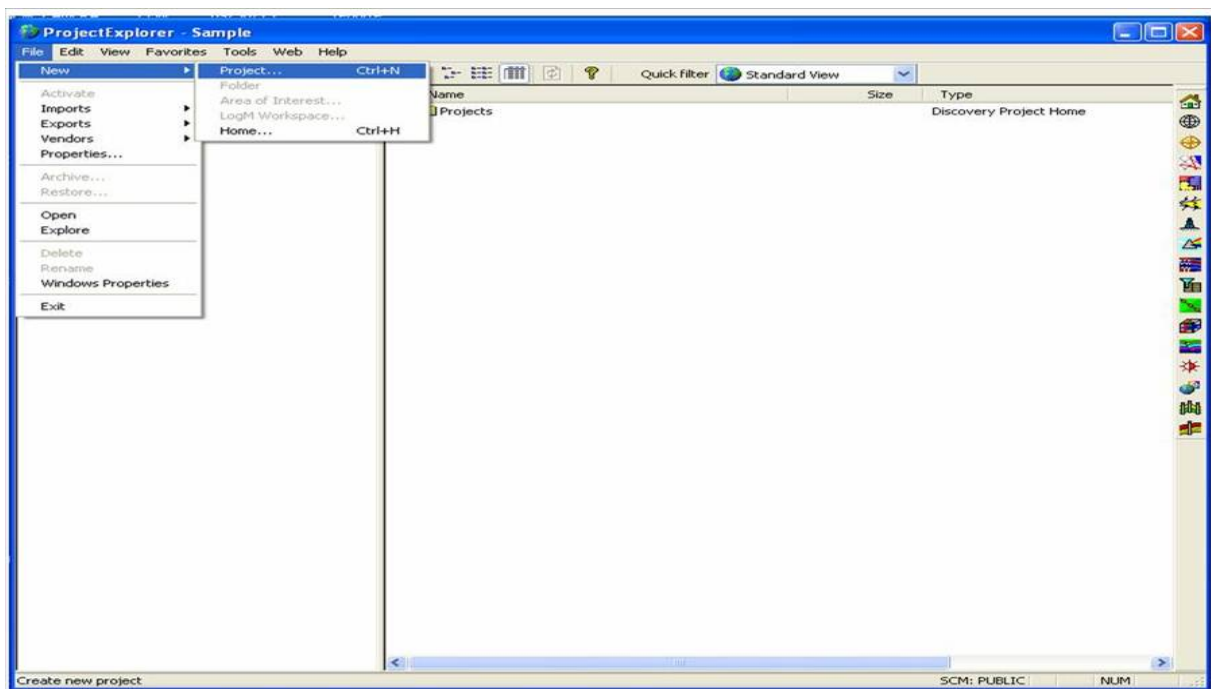
Interpretación Sísmica con GeoGraphix Discovery

Creación del Proyecto

Geographix tiene como pantalla de inicial la ventana **ProjectExplorer** en la cual encontramos los proyectos activos en el borde derecho y borde izquierdo donde se encuentra la barra de acceso a todas las herramientas de Geographix.



ProjectExplorer >> New>> Project



Aparece la ventana New Project Wizard – Folder, en la cual se selecciona la ubicación donde se crea el proyecto Mi Pc>> Projects, se selecciona Projects y siguiente.



Se asigna el nombre Cesar_Ranchería (en este caso) y se selecciona el sistema de unidades, en este caso English>> Siguiente.



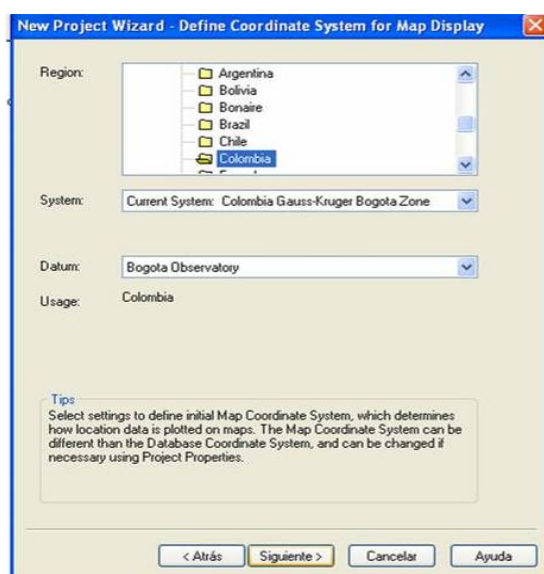
Se define el sistema de coordenadas del proyecto, seleccionando:

Region: Word >> South America >> Colombia;

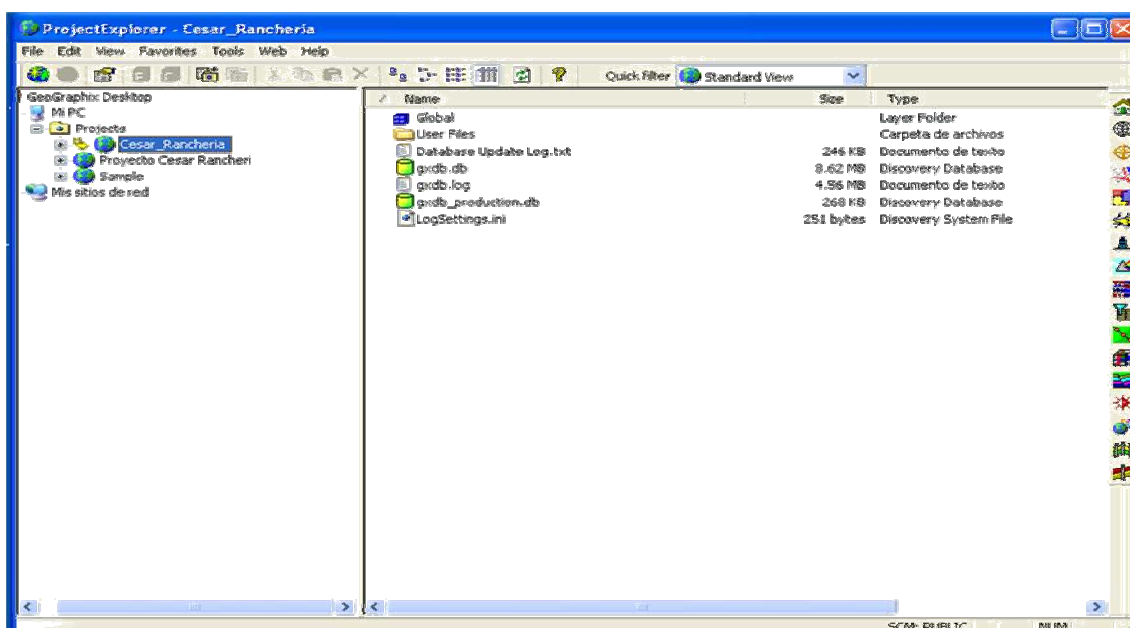
System: Bogota Gauss – Kruger Bogota Zone;

Datum: Bogota Observatory; >> Siguiente


Se confirman las coordenadas >> Siguiente. Aparece la ventana de extensiones del proyecto que se refrescan automáticamente a medida que se avanza en el proyecto y por último clic en Finish.



Aparece el recuadro de auto-creación (Creating Database) y luego se refleja activo el proyecto en ProjectExplorer.



Carga de Datos de Pozos

Para realizar la carga de los datos de pozo y sus respectivas curvas (SP, Resistivo, Gamma, etc.), se utiliza la herramienta **WellBase**, accediendo mediante el icono  que está ubicado en el borde derecho de ProjectExplorer.

En WellBase se inicia la creación manual de cada pozo, esto se hace mediante el menú Wells>>Add Wells.

La información para cada pozo se completa con ayuda de Well-Report-Coordinate, proporcionado por el EPIS.

Well ID, Operador, Name, #, Status, Northing, Easting >> Save.

Well ID	Operator	Status	Class

Name	#	Footage

Easting	Northing
0	0

TD	Datum Elevation	Reference	T/R/S

Logs	Elevations...	Display
<input type="checkbox"/> Vector <input type="checkbox"/> Raster		English

Header	Formations	Zones	Faults	Survey	DST	Core	Completion	Velocity	IP	Production Tests	Production	Remarks
State/Prov		Ground elev		Permit #		Alt ID						
County		Plugback depth		Permit date		Old ID						
Country		Fm at TD		Spud date		User 1						
Field				Comp. date		User 2						
Area		Platform ID		User date		Parent well ID						
District		Water depth		Data date		Parent type						
Lease Name		Water datum				Common Name						

Header	Formations	Zones	Faults	Survey	DST	Core	Completion	Velocity	IP	Production Tests	Production	Remarks
State/Prov		Ground elev		Permit #		Alt ID						
County		Plugback depth		Permit date		Old ID						
Country		Fm at TD		Spud date		User 1						
Field				Comp. date		User 2						
Area		Platform ID		User date		Parent well ID						
District		Water depth		Data date		Parent type						
Lease Name		Water datum				Common Name						

Add Well

Well ID

Operator

Name

#

Status

Northing

Easting

Save Close

Se realiza uno a uno la inclusión de los datos requeridos, generando la lista de pozos en la cuenca. WellBase permite almacenar la información como el Header, los topes de formación, Zonas, Fallas, Velocity, datos de producción y todos los datos necesarios para correlacionar los pozos.

WellBase Information Manager - Proyecto Cesar Rancheria octubre 16 - [CESF0001X - No active well filter]

Well ID: CESF0001X Operator: Philips Status: Gas-sh Class:

Name: Cesar F-1X #

Easting: 1075283 Northing: 1570293 Footage:

TD: 6518.00 Datum Elevation: 227.00 Reference: GL T/R/S:

Logs: Vector Raster Elevations: Display: English

Header Formations Zones Faults Survey DST Core Completion Velocity IP Production Tests Production Remarks

Depth Information: BH TVD: 6489.21 KOP MD: Bottom Hole Offset: BH N/S Off: -38.46 BH E/W Off: -46.35

Magnetic Dc: Easting: 1075268.9 Northing: 1570281.3

Calculation Method: Minimum Curvature Closure: 60.23 Calculate View Wellbore

Survey Point Number	MD	TVD	Inclination	Azimuth	N/S Offset	E/W Offset	Easting	Northing	Closure
160.00	159.99	2.17	305.06	0.27	-0.37	1075282.9	1570293.1	0.46	
170.00	169.99	1.85	311.62	0.48	-0.64	1075282.8	1570293.1	0.80	
180.00	179.98	1.79	253.56	0.55	-0.91	1075282.7	1570293.2	1.06	
190.00	189.98	1.85	275.06	0.52	-1.22	1075282.6	1570293.2	1.33	
200.00	199.97	1.84	304.38	0.62	-1.52	1075282.5	1570293.2	1.64	
210.00	209.97	1.81	267.23	0.76	-1.80	1075282.5	1570293.2	1.95	
220.00	219.96	1.85	275.02	0.82	-2.11	1075282.4	1570293.2	2.26	
230.00	229.96	1.91	252.43	0.78	-2.43	1075282.3	1570293.2	2.55	
240.00	239.95	1.85	280.80	0.76	-2.75	1075282.2	1570293.2	2.85	

Header Formations Zones Faults Survey DST Core Completion Velocity IP Production Tests Production Remarks

State/Prov: CESA Ground elev: 226.00 Permit #: Alt ID:

County: COLD Plugback depth: Permit date: Old ID:

Country: COLOMBIA Fm at TD: Spud date: User 1:


Field: WILCAT Platform ID: Comp. date: User 2:

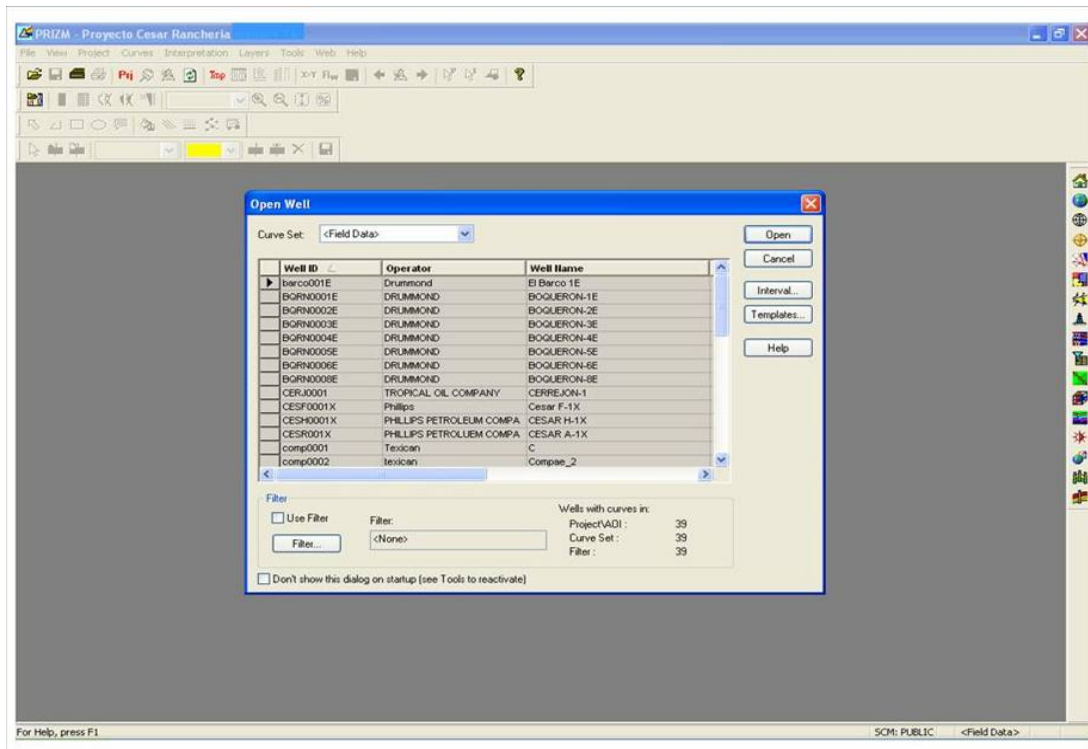
Area: Water depth: User date: Parent well ID:

District: Water datum: Data date: 09/10/2007 Parent type:

Lease Name: Common Name:

Ready SCM: PUBLIC WELL: 13/50 NLM

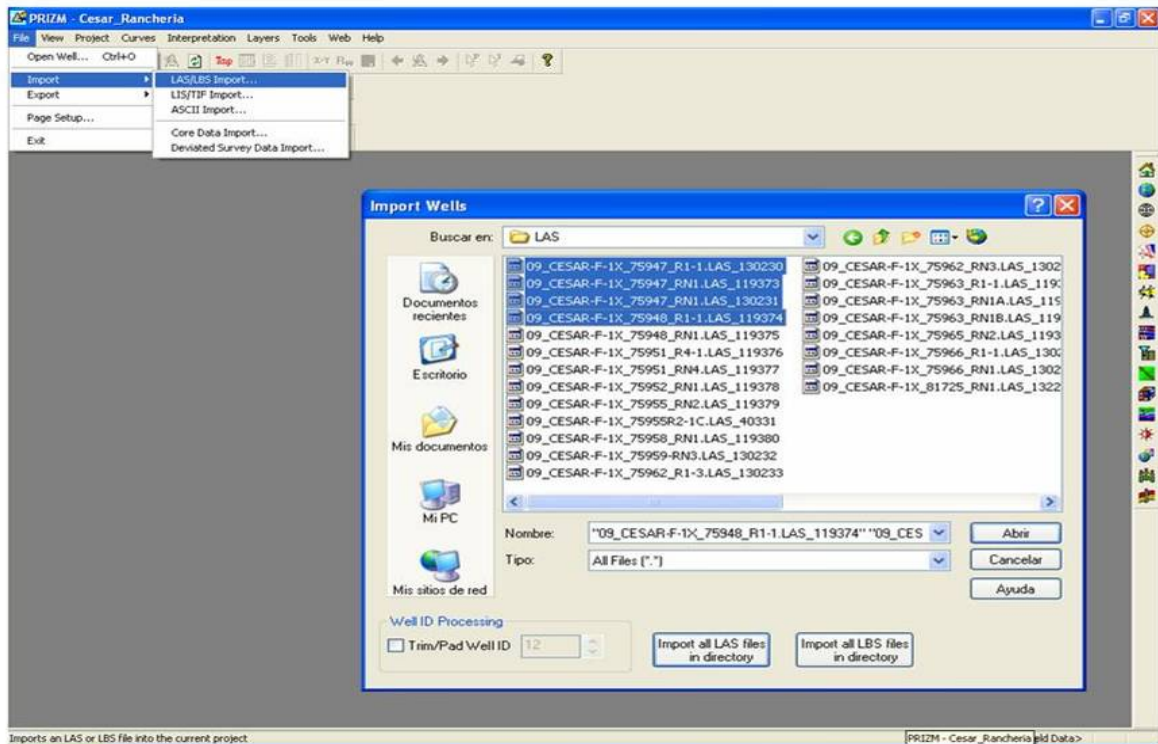
Después de crear la base de datos de pozo se cargan las curvas que se tienen de cada pozo, para esto se utiliza la herramienta **PRIZM** a la cual se accede con un clic en el icono  en la barra ubicada en el borde derecho de la ventana en WellBase.



En **PRIZM** se despliega el listado de los pozos incluidos en WellBase.

Se selecciona un pozo cualquiera y clic en Open.

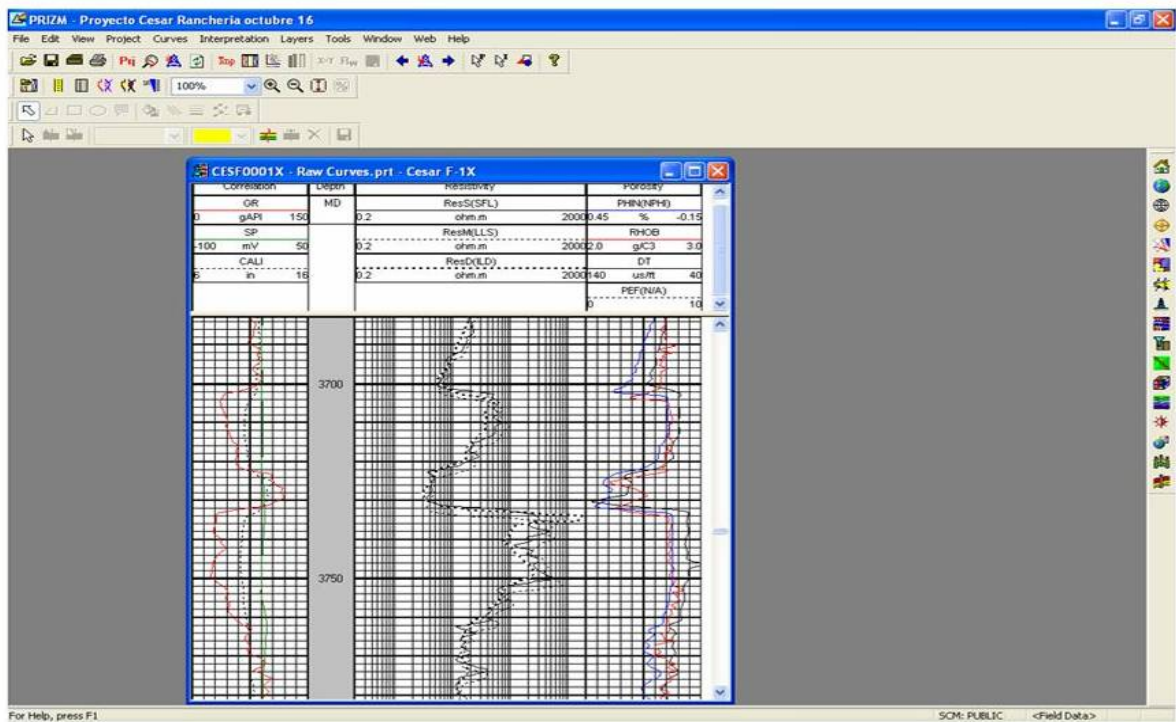
Para importar las Curvas de Registro se despliega el menú File >> Import >> LAS/LBS Import...



En la ventana Import Wells se direcciona el archivo y seleccionando los archivos LAS a importar.

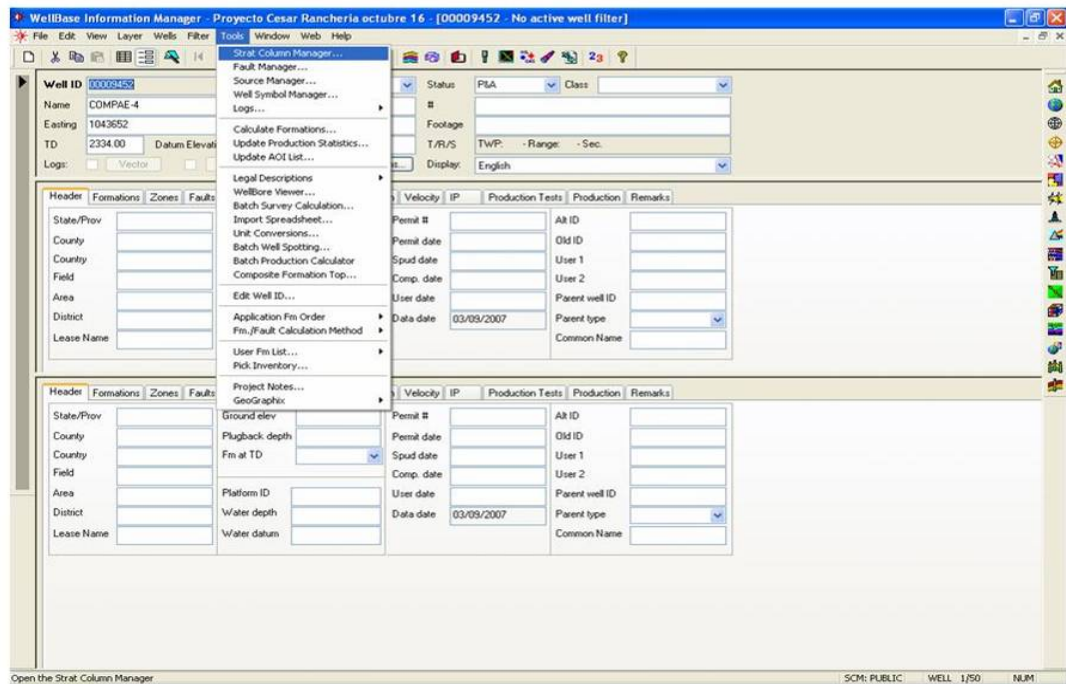
Import all LAS files in directory, y aparece la ventana Multi Well Import >> Import Options >> Manual Mode >> Finish.

Seguidamente, se despliegan en File>> Open Well, clic en el pozo >> Open.

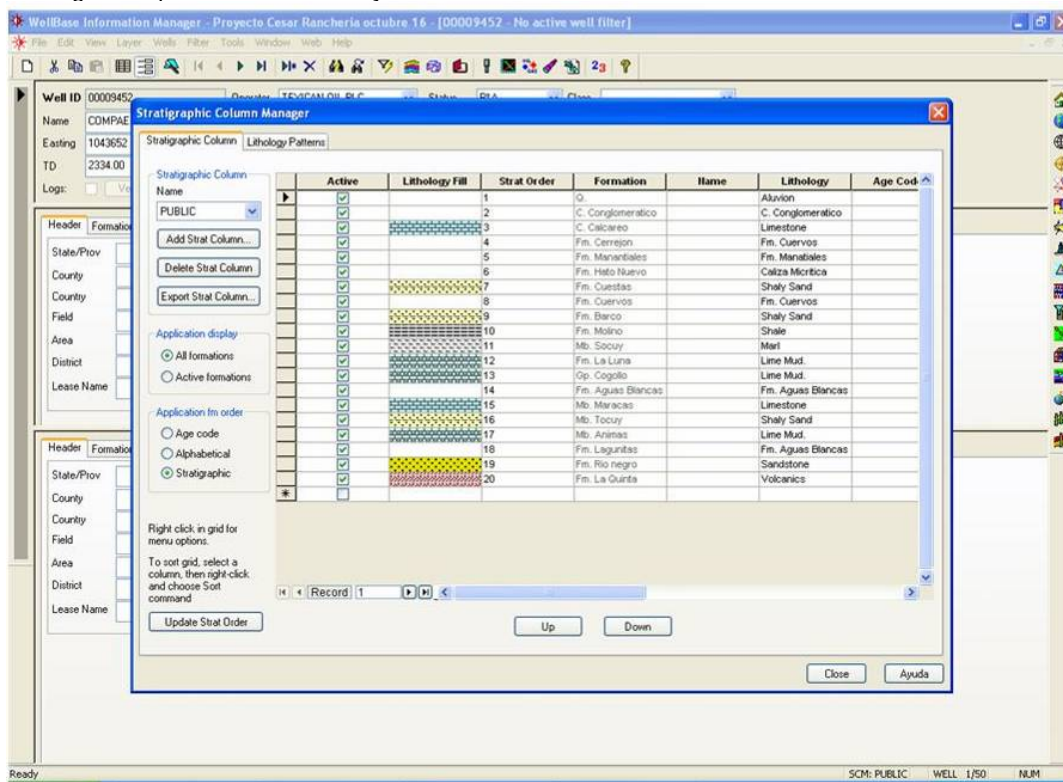


Creación de la Columna Estratigráfica


Es necesario generar dentro del Software la columna estratigráfica que se está empleando. Tools >> Strat Column Manager.



En la ventana Stratigraphic Column Manager se hace clic en Add Strat Column..., y en ella se crean una a una las litologías requeridas en el trabajo.

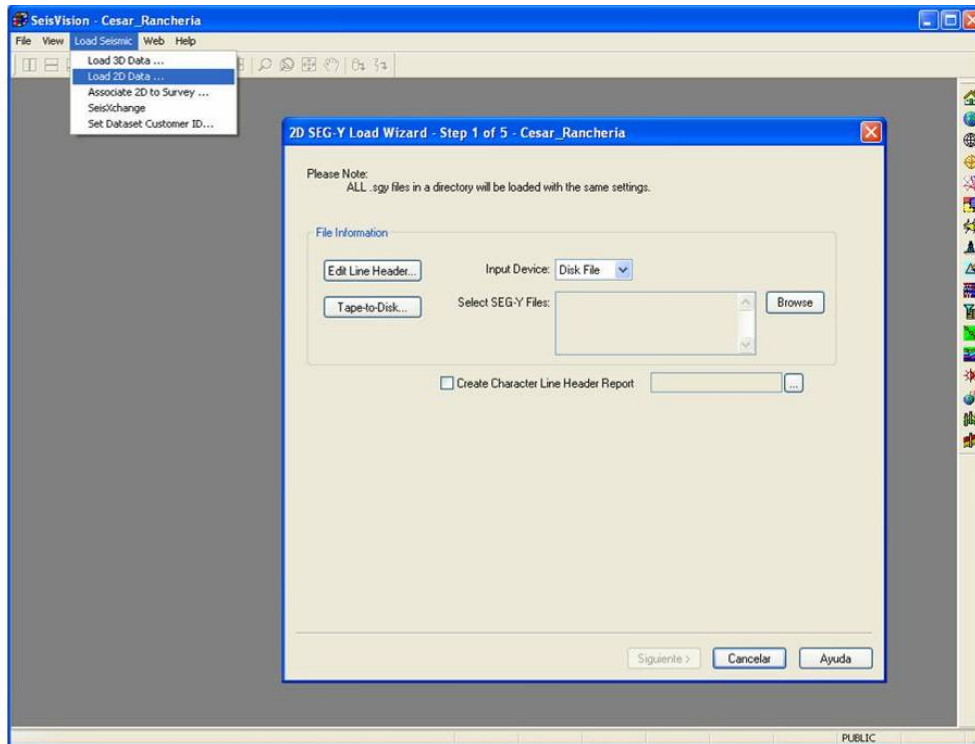


Carga de Datos Sísmicos

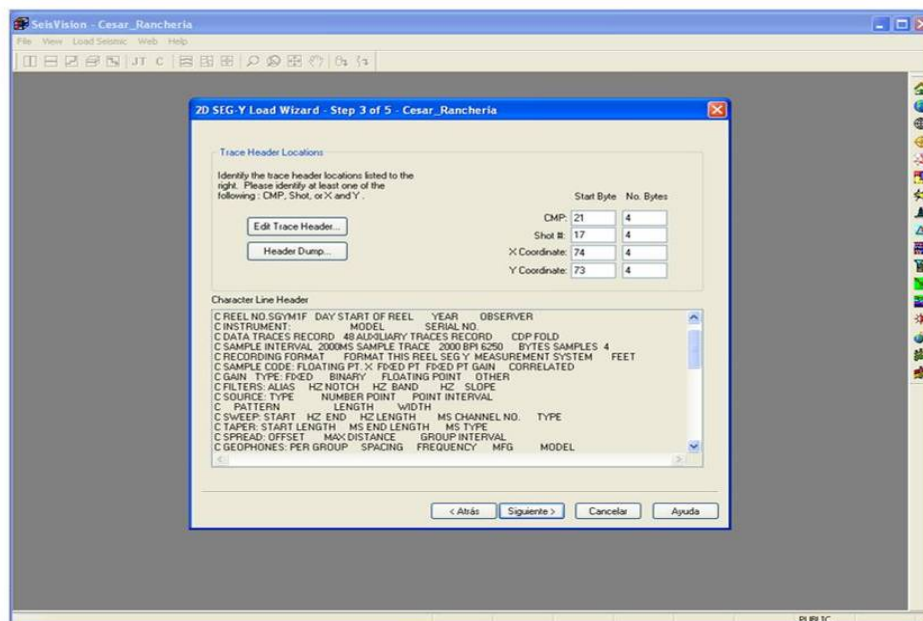
En la parte de sísmica se trabaja la herramienta SeisVision , la cual permite realizar carga de sísmica 2D y 3D; igual que permite desplegar las líneas sísmicas cargadas y la interpretación de horizontes, fallas.

En el menú Load Seismic >> Load 2D Data, se despliega una ventana 2D SEG-Y Load Wizard- Step 1- 5. En estos cinco pasos se convertirá el archivo Seg-Y en archivo 2ds, extensión utilizada por Geographix.

En Browse se direcciona el archivo SEG-Y. Se mueven todos los archivos SEG-Y, a la casilla de selección, luego Accept >> Siguiente.

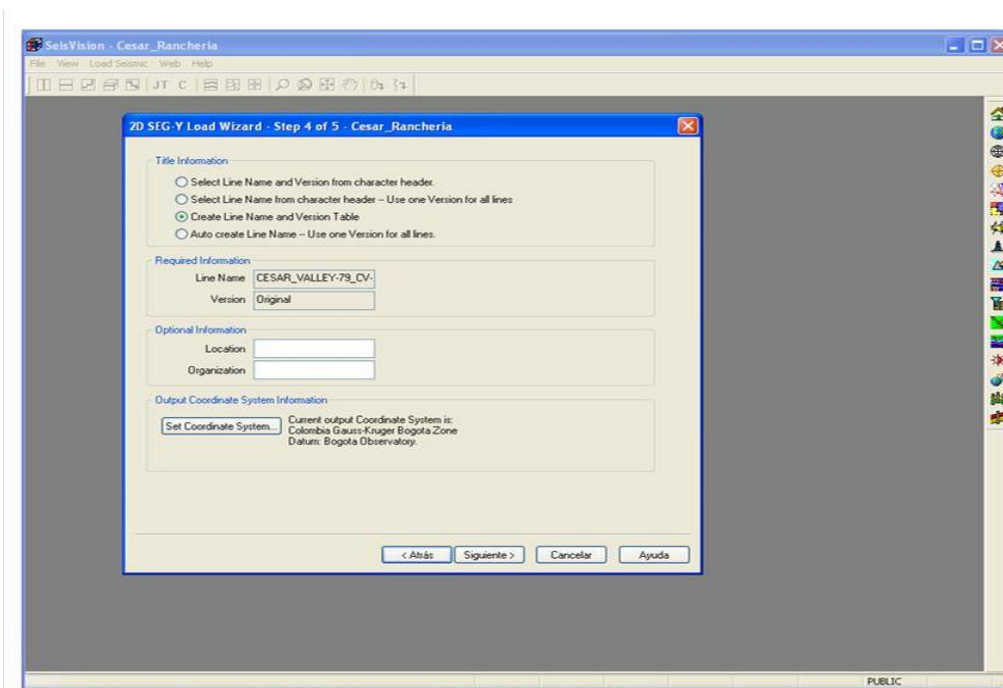


Dentro de la ventana está el recuadro Character Line Header, en el cual se encuentra la ubicación y el byte del CMP, Shot #, X Coordinate, y, Y Coordinate. Estos datos se transcriben en las casillas correspondientes al Trace Header Locations. Trace Header Locations>> Siguiente.



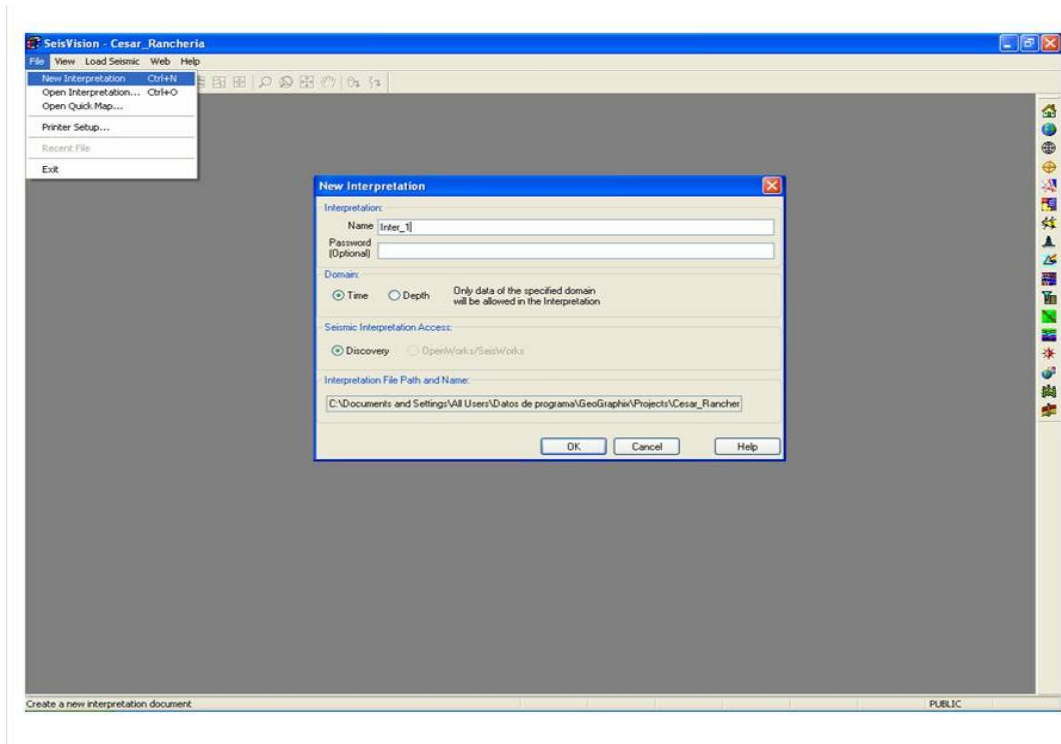
Luego, se selecciona Create Line Name and Version Table. Esta opción se refiere al nombre de la línea y la versión a utilizar. Create Line Name and Version Table >> Siguiente.

Se muestra la dirección donde se crea el nuevo archivo con extensión 2ds y se determinan las características del nombre, >> Load>>Finish.

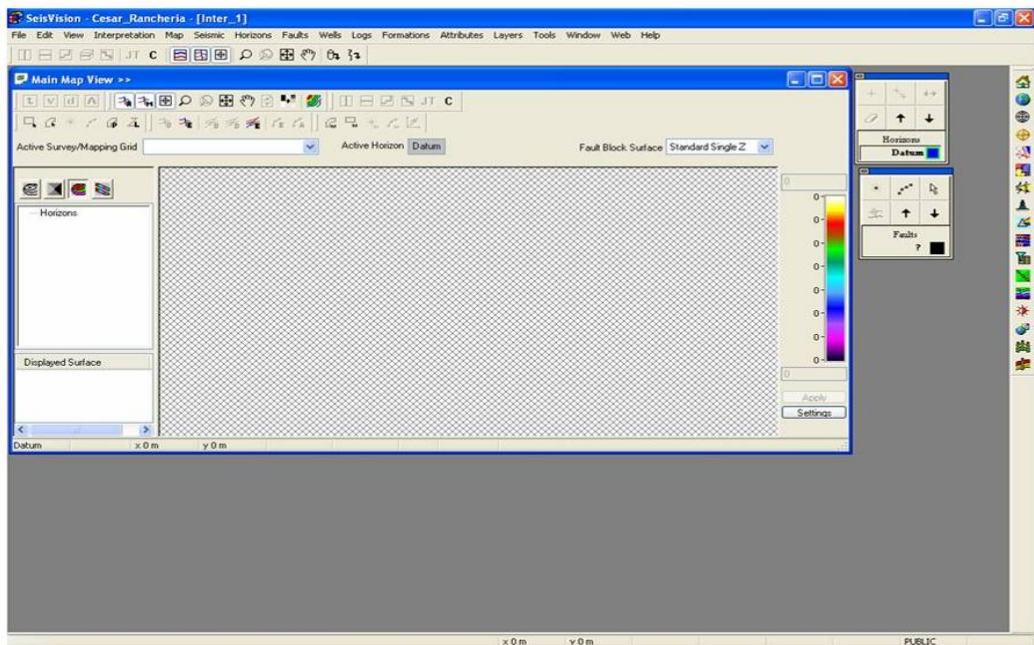


Creando una Interpretación Sísmica en SeisVision

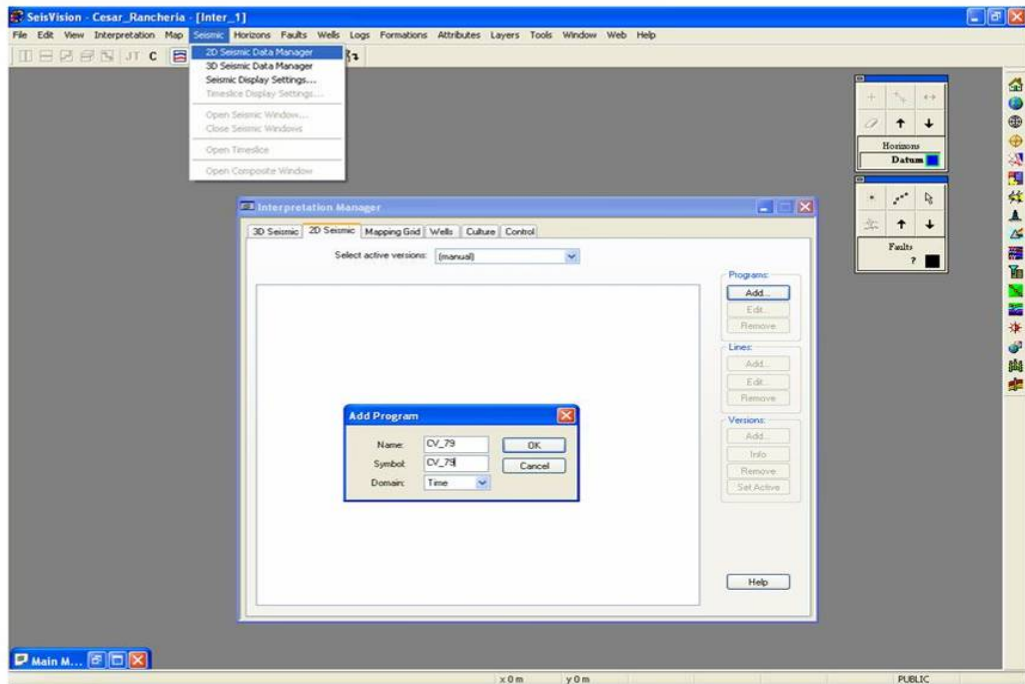
Se activa el menú File>> New Interpretation, y se abre el cuadro de diálogo New Interpretation en el cual se asigna un nombre a la interpretación >> Ok.



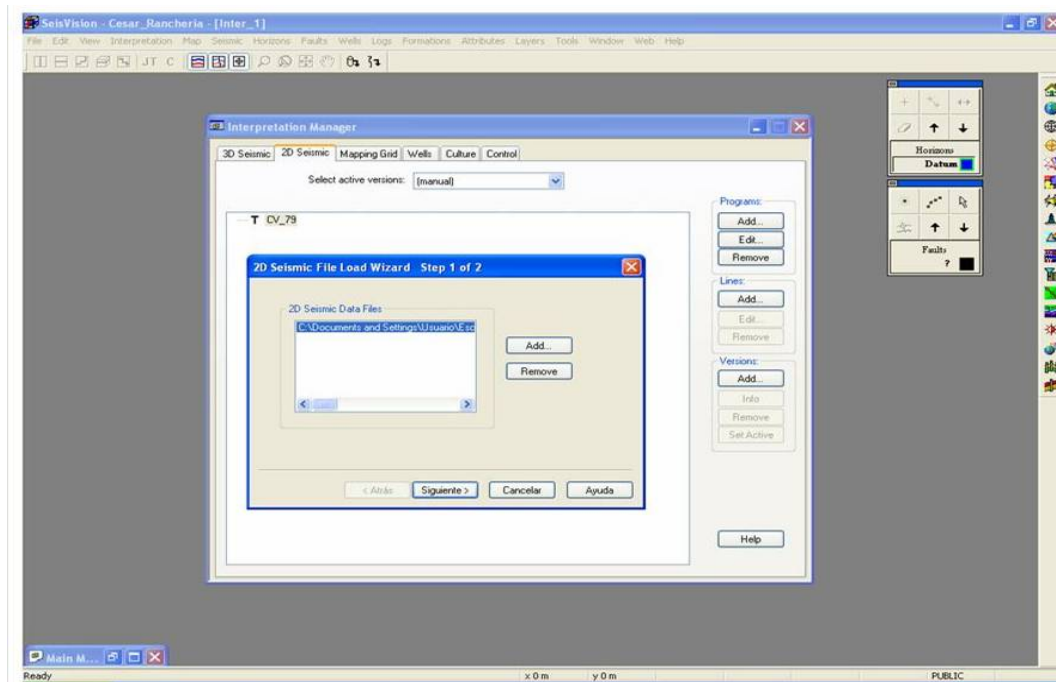
Se activa **Main Map View** y dos paletas **Horizons** y **Faults**. Cada vez que se da nombre a una línea sísmica, esta aparece en **Main Map View**.



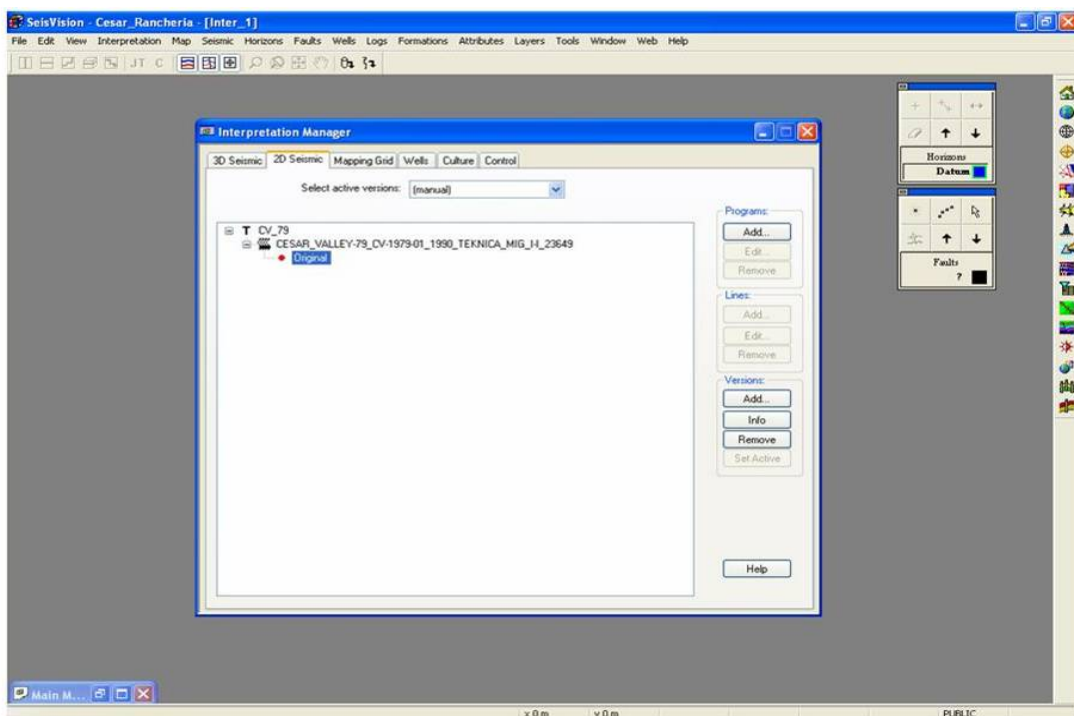
En el menú Seismic >> 2D Seismic Data Manager aparece el cuadro de diálogo **Interpretation Manager**. En él se selecciona la pestaña 2D Seismic >> Add Programs. En esta ventana, se asigna el nombre del programa sísmico que se cargó y el símbolo con el que aparecerá en Main Map View >> Ok.



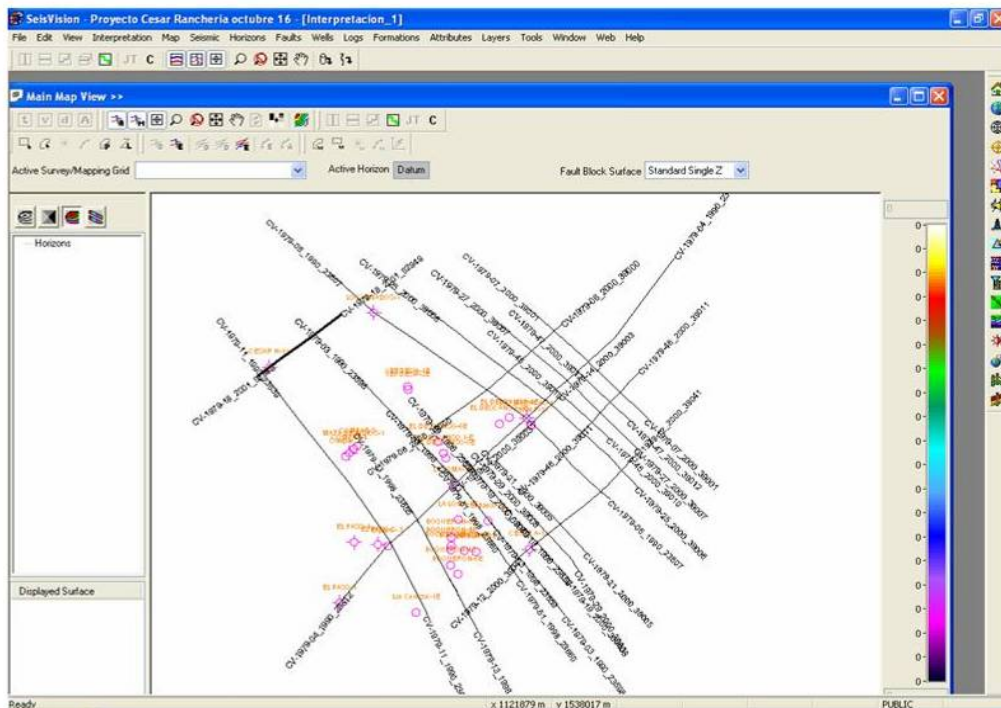
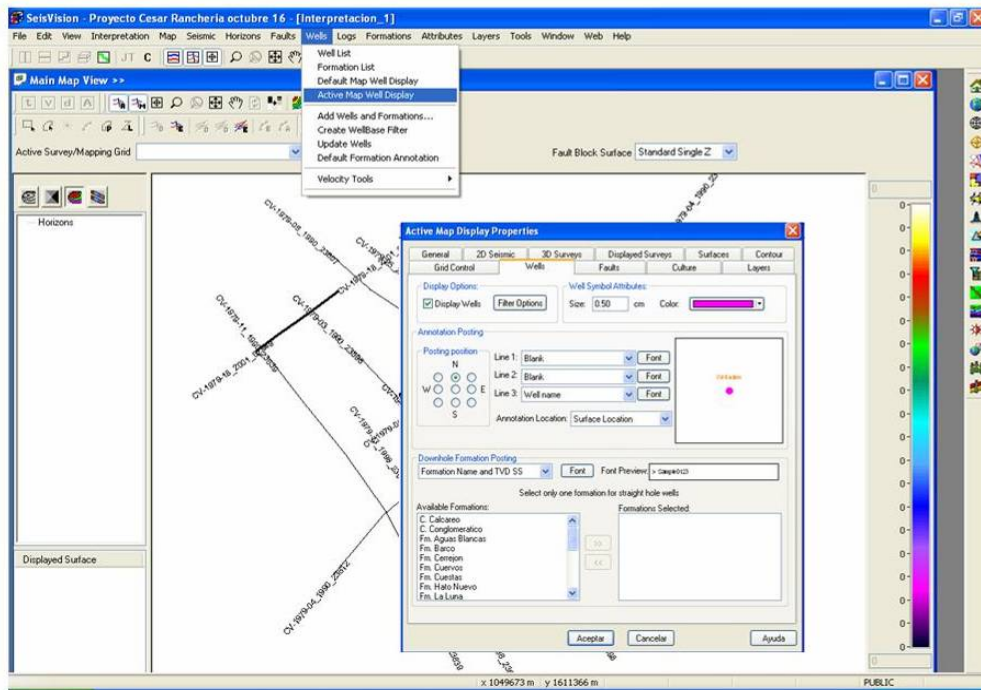
Se añaden las líneas sísmicas al programa, Lines >> Add y aparece el cuadro de diálogo 2D Seismic File Load Wizard >> Add, se direcciona el archivo 2ds >> Siguiente >> Finish.



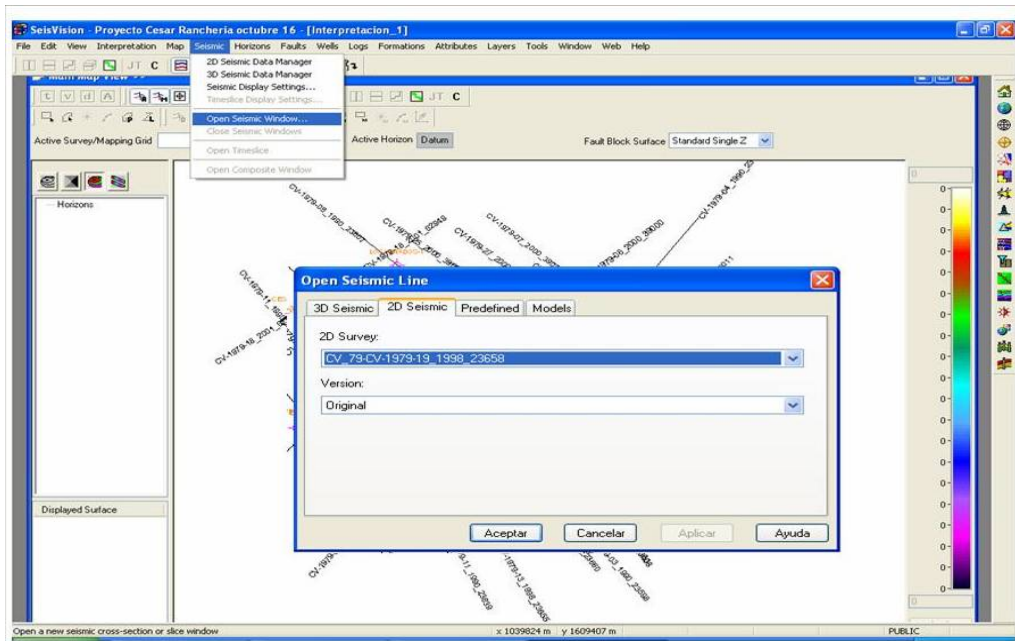
Este procedimiento se realiza para cada línea del programa sísmico >> Cerrar. Se visualizan todas las líneas en Main Map View.



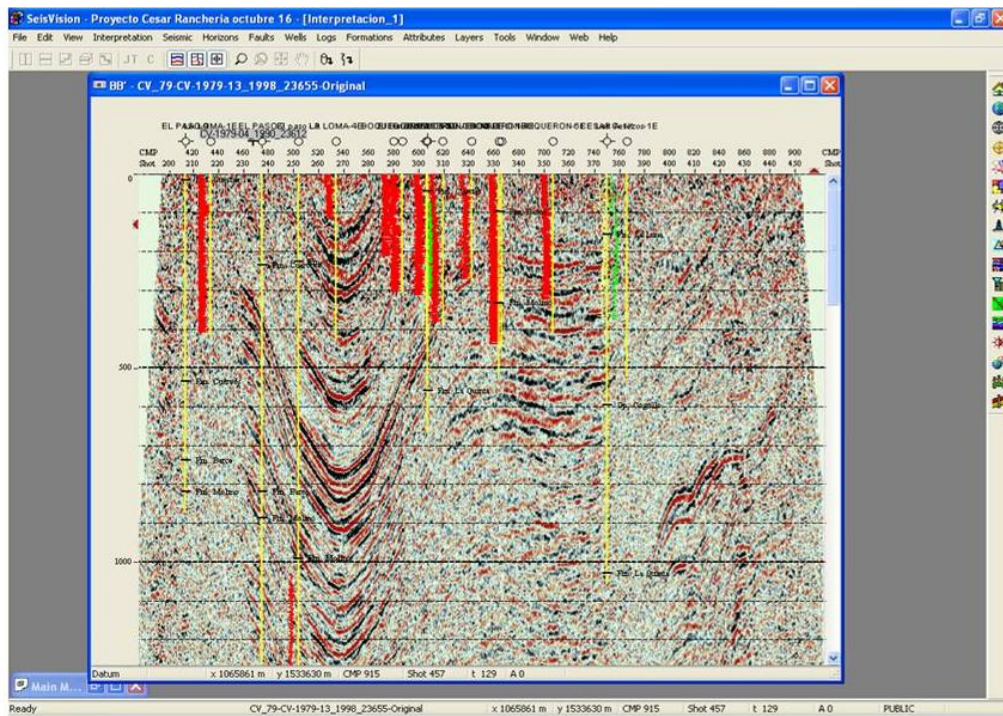
Para desplegar los pozos previamente cargados en Main Map View. Well >>Active Map Well Display>> well >> Display Well, se puede modificar la apariencia de toda la información que se observa en Main Map View.



Para desplegar las líneas sísmicas cargadas, se utiliza el menú Seismic >> Open Seismic Window..., Open Seismic Line >> 2D Seismic >> 2D survey >> se escoge la línea de interés >> Aceptar.



Aparece la línea desplegada en la pantalla.



ANEXO 4
PASOS PARA REALIZAR EL MODELADO GEOQUÍMICO DE UNA LÍNEA SÍSMICA CON PETROMOD 2D

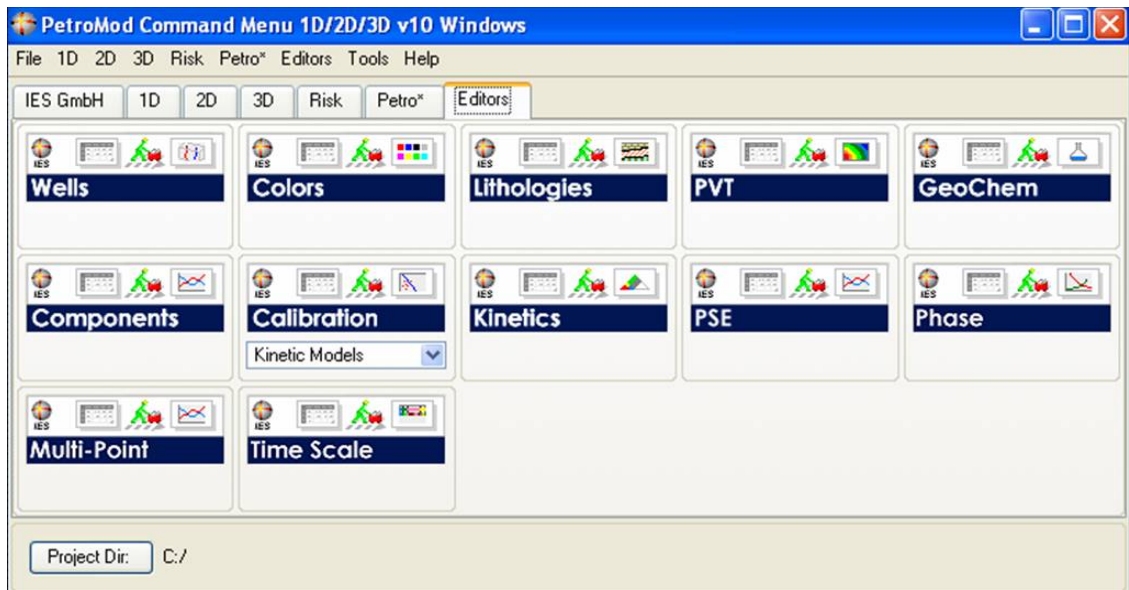
Modelado Geoquímico con PetroMod 2D

El primer proceso es crear una carpeta en C:/ de nombre PetroMod_Data donde el software guarda las carpetas de información, necesarias para generar el modelo.

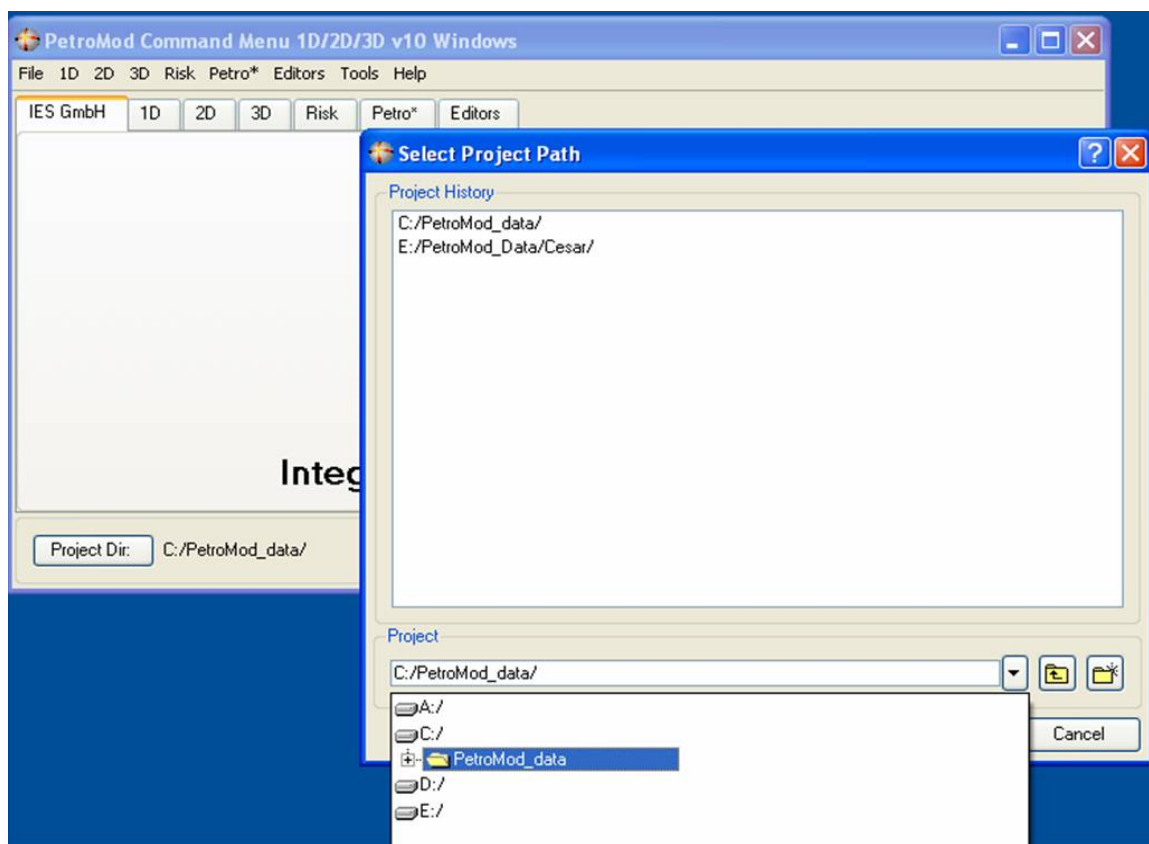
El inicio del programa es en la ventana **PetroMod Command Menu 1D/2D/3D v10 Windows**.



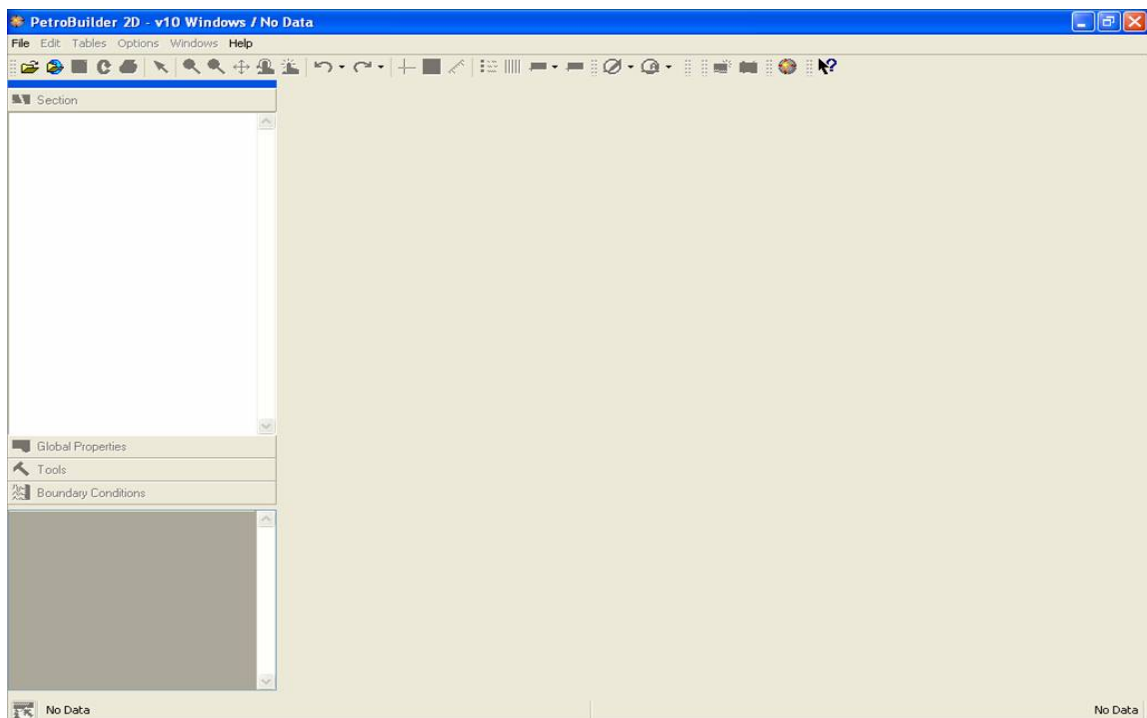
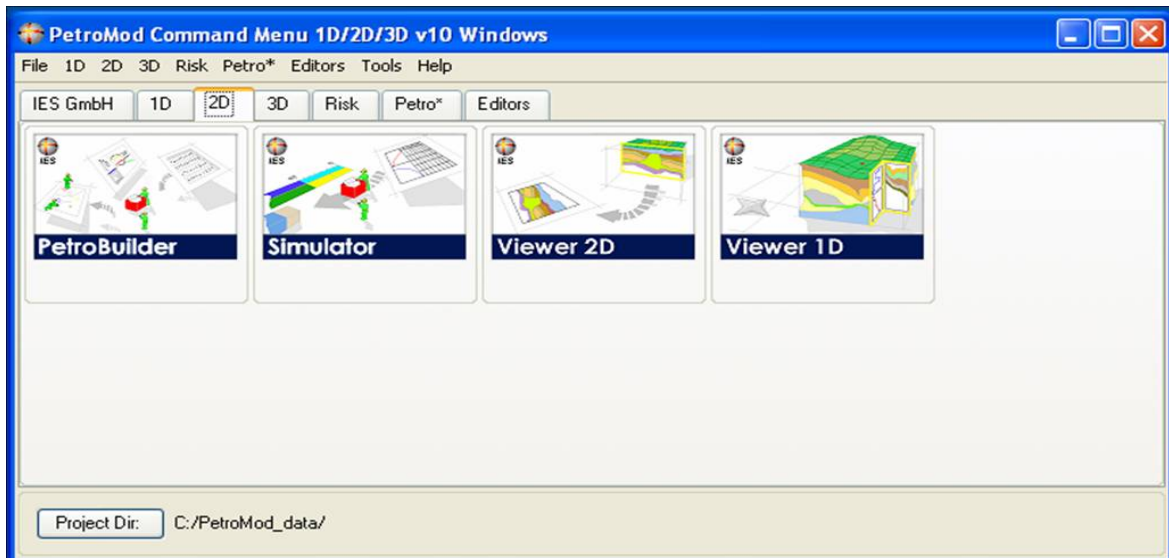
En la pestaña **Editors** se encuentran todas las variables que se generan y adicionan al proyecto. Wells, Colors, Lithologies, PVT, GeoChem, Components, Calibration, Kinetics, PSE, Phase, Multi-Point y Time Scale.



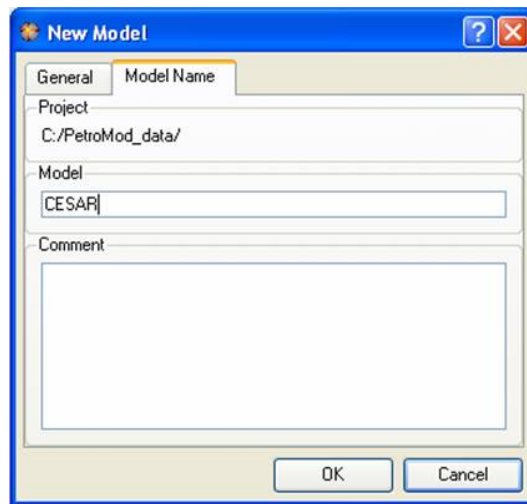
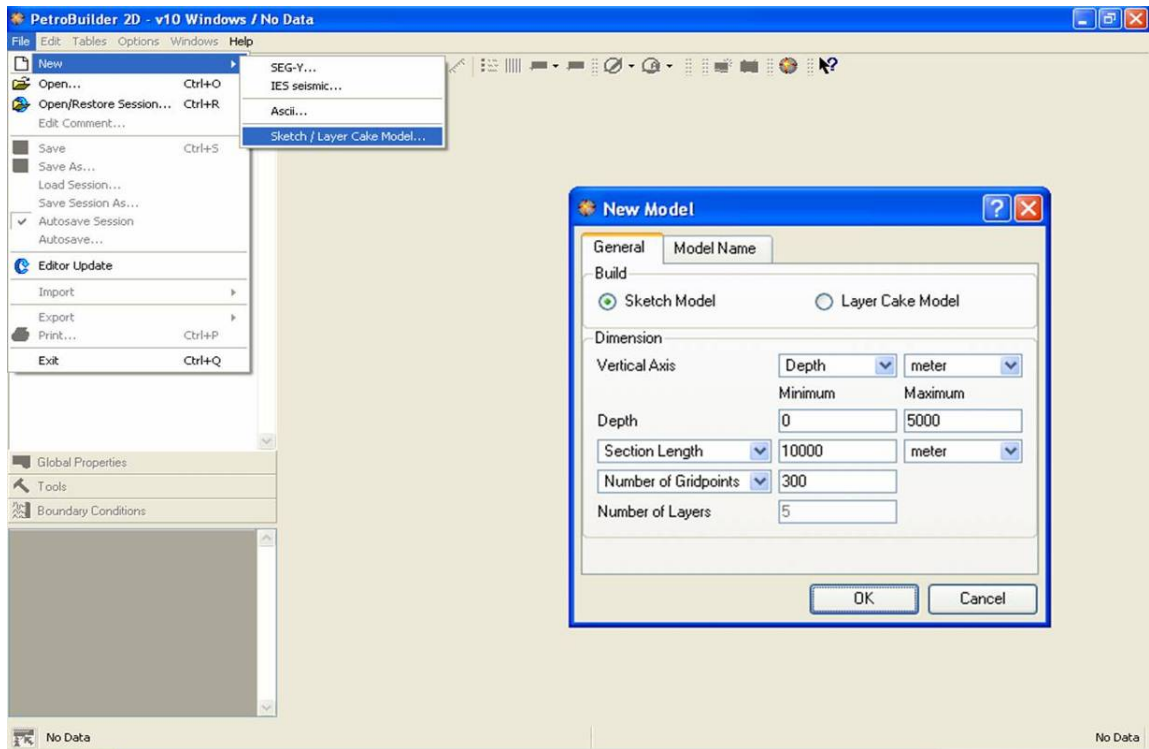
Mediante la opción Project Dir: ubicada en la parte inferior del command menú, se localiza la carpeta C:/Petromod_data >> OK.

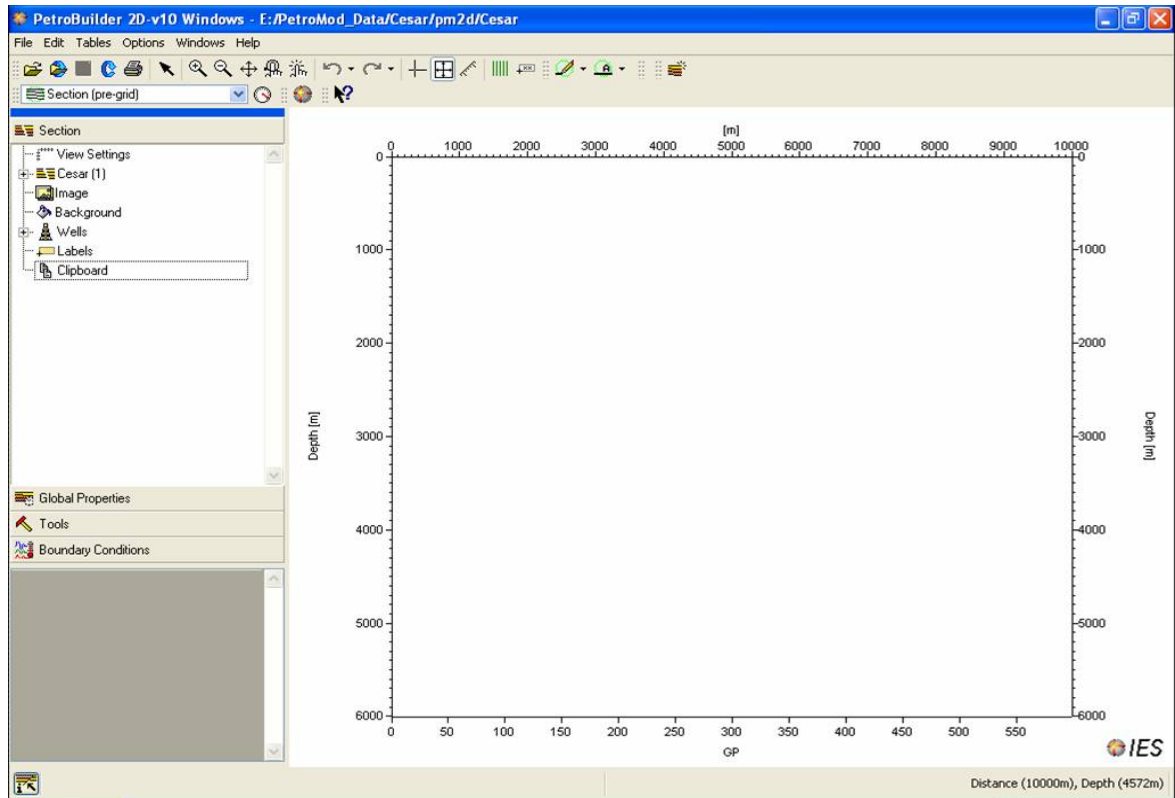


Se selecciona la pestaña **2D** en la que aparecen las opciones PetroBuilder, Simulator, Viewer 2D y Viewer 1D. Se hace clic en PetroBuilder.

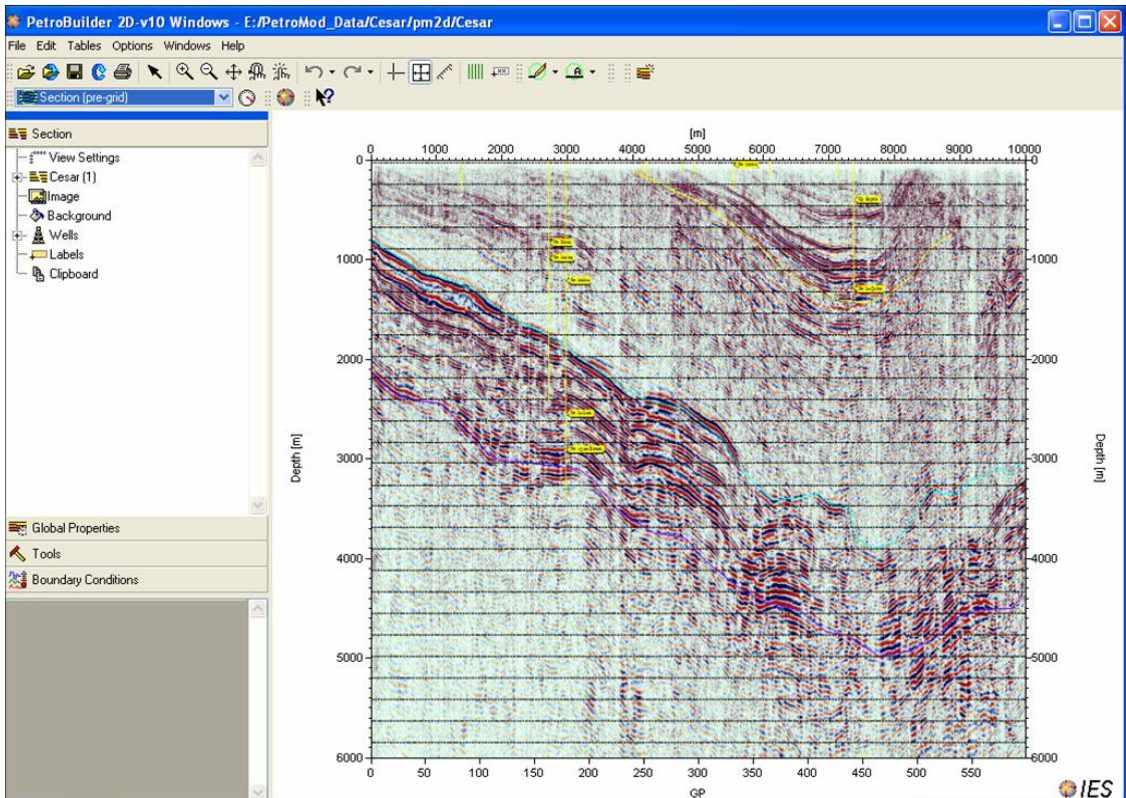
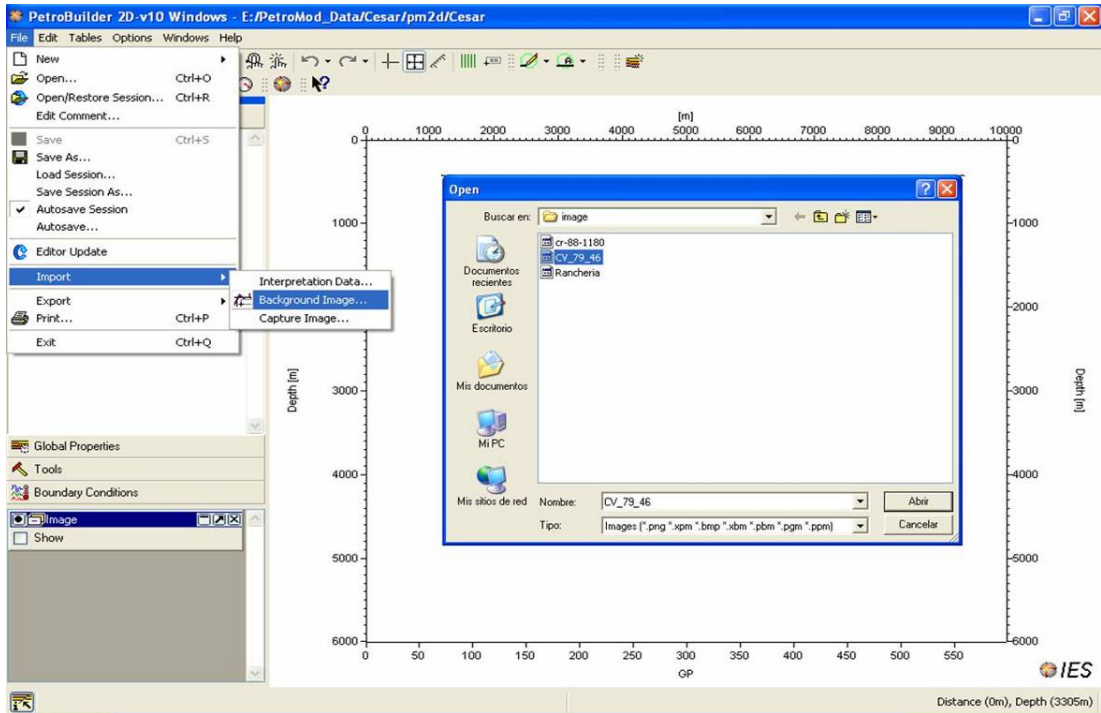


En la ventana PetroBuilder 2D, se escoge File >> New >> Sketch/Layer Cake Model y aparece la ventana de New Model el cual tiene las pestañas: **General** (se definen las dimensiones del modelo) y **Model Name** (en la que se le asigna un nombre, en este caso es CESAR).



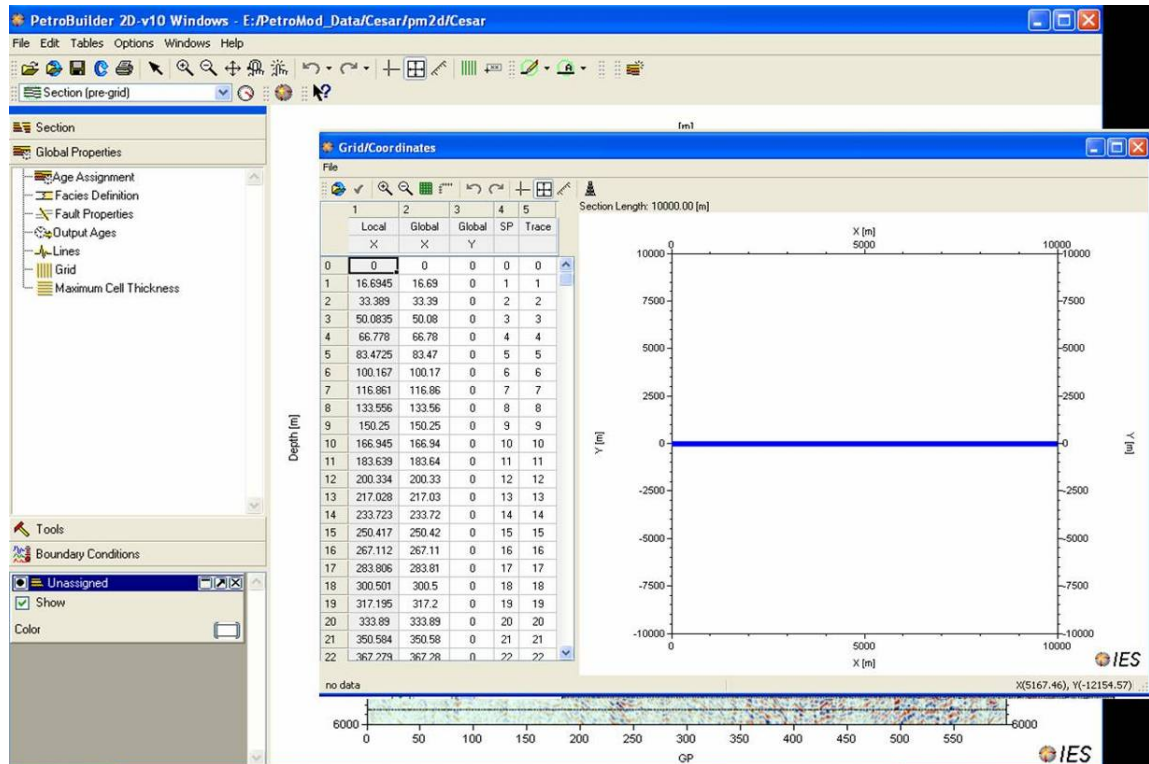




Se importa una imagen, en formato PNG la cual previamente se adjunta a la carpeta Image creada en el disco C:, la ruta es C:/PetroMod_Data/Cesar/Data/Image y se selecciona la imagen (se toma de una línea sísmica, interpretada previamente en el software SeisVision).



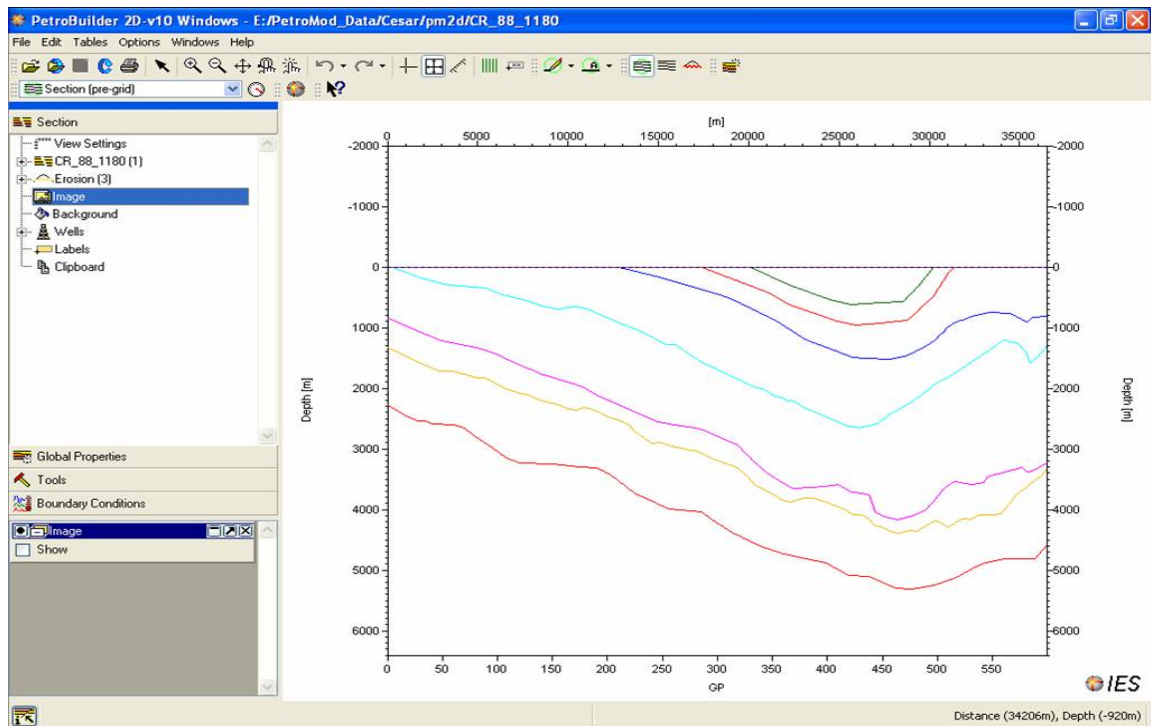
Luego, se referencia la imagen con las coordenadas de sus extremos. Éstas son tomadas del encabezado de la línea sísmica. Menú Global Properties >> Grid.

En la casilla cero (0), Global X, la coordenada inicia en X; y en Global Y, la coordenada inicial en Y. De igual manera en escriben las coordenadas finales en la ultima casilla, seleccionando así todas las casillas y con clic derecho se escoge la función **Interpolation in Y Direction**. Con esto se asignan las coordenadas a la largo de toda la línea.

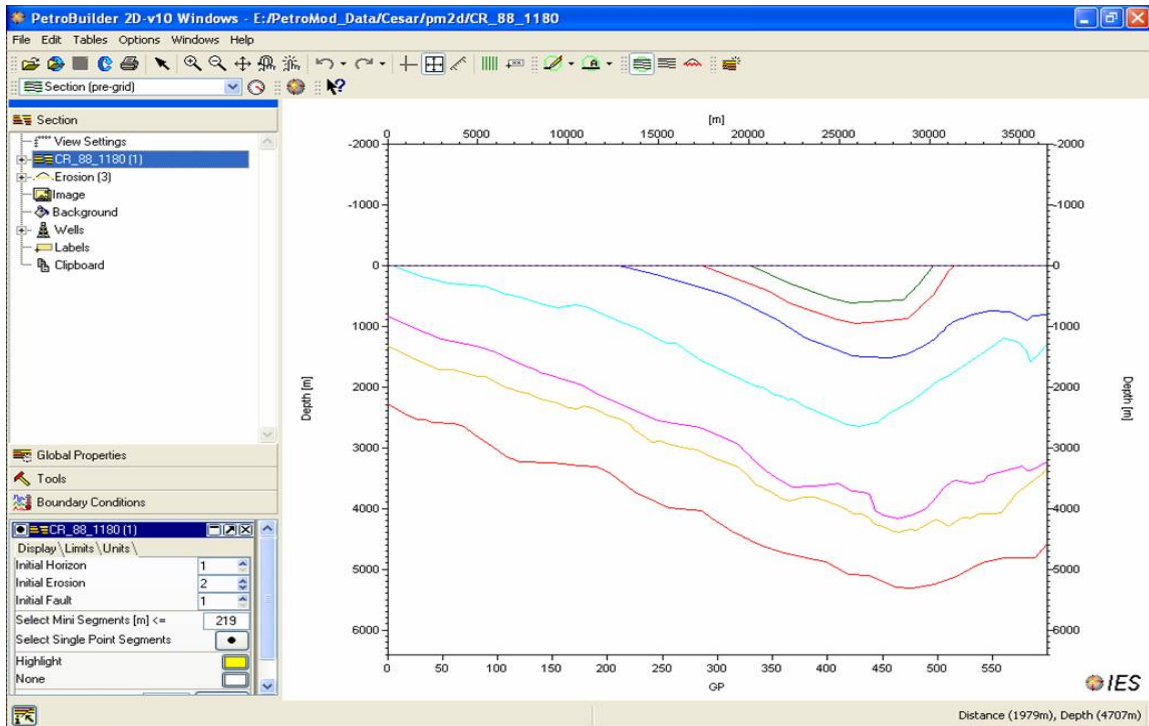


Se delimitan sobre la imagen los horizontes que se interpretaron en ella. Para esto se utiliza la herramienta (lápiz) , y de igual forma se asignan a un tope con la herramienta Assing .

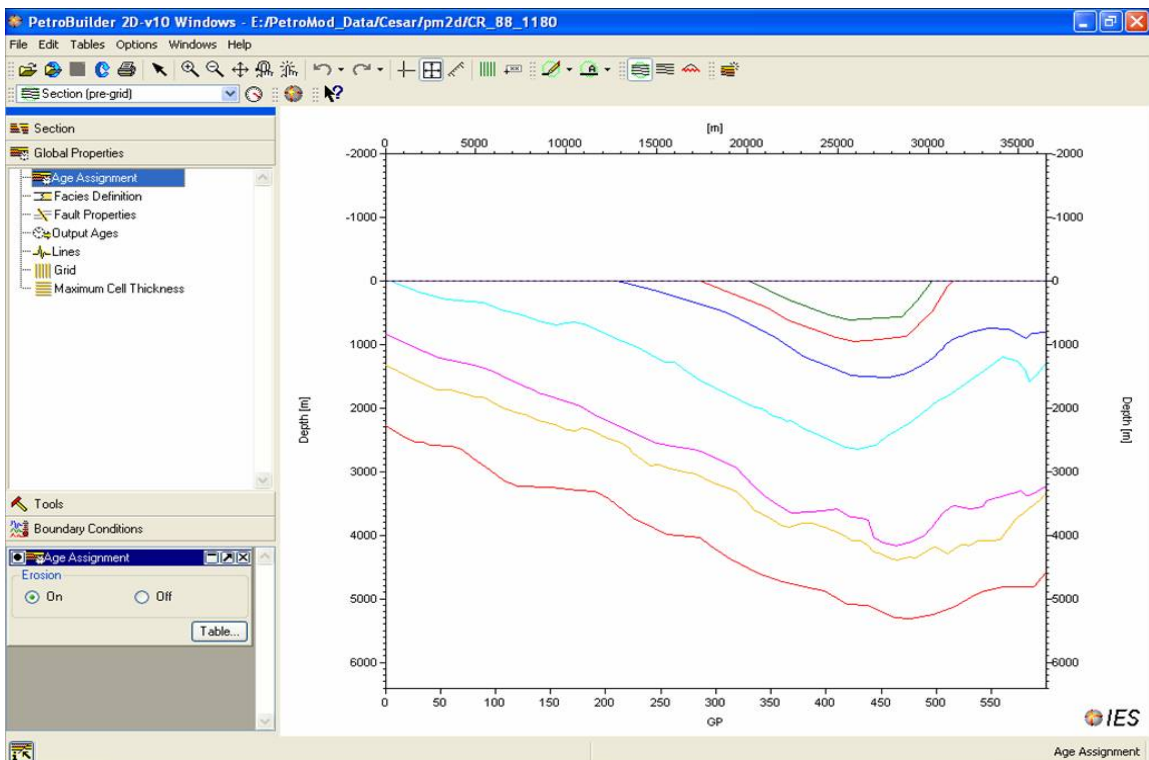
En la parte inferior izquierda, aparecen las funciones activas, en este caso Image, en la cual está la opción **Show**. Show se encarga de activar o desactivar el template de fondo. Activa la opción Show muestra los trazos que se realizaron con anterioridad.



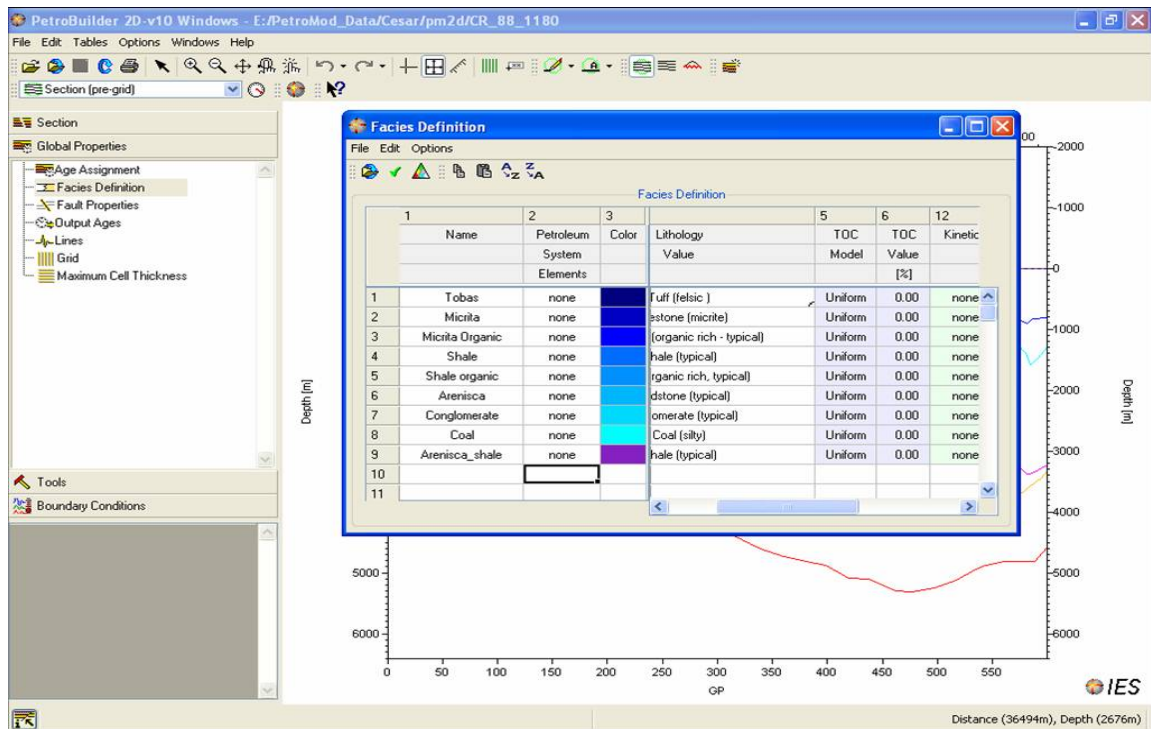
En el árbol de **Section**, se señala el nombre de la interpretación y en la parte inferior aparecen las propiedades de Display, Limits y Units, en las cuales se modifican las escalas horizontales, verticales y las unidades a implementar.



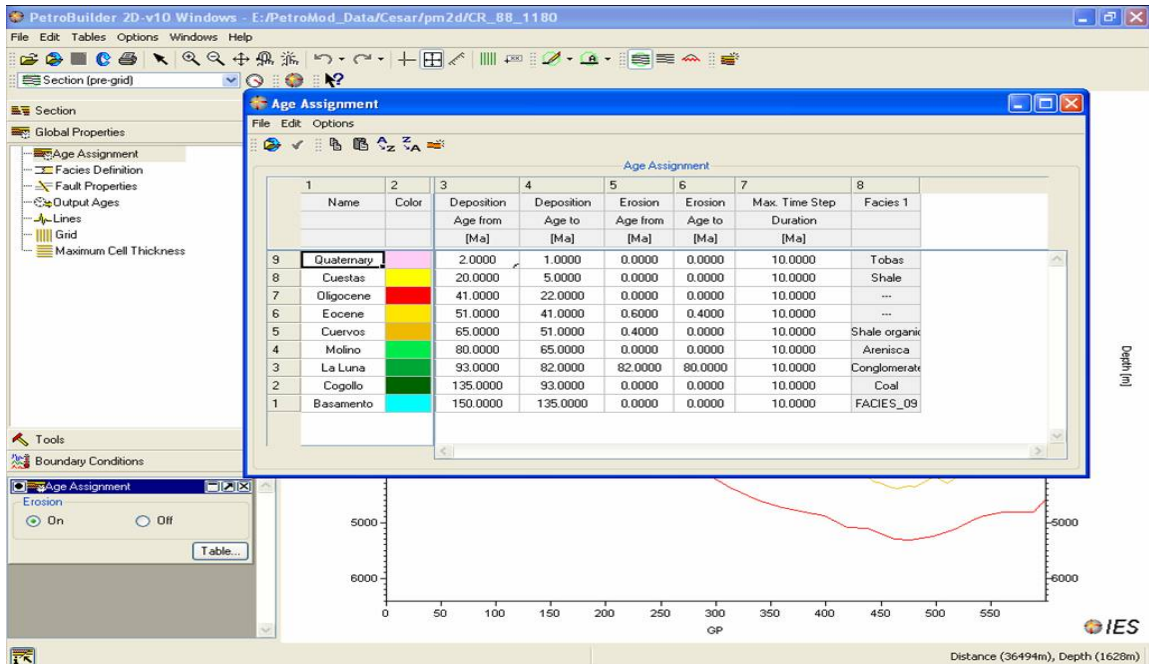
El árbol de **Global Properties** contiene las herramientas Age Assignment, Facies Definition, Fault Properties, Lines, Grid entre otras.



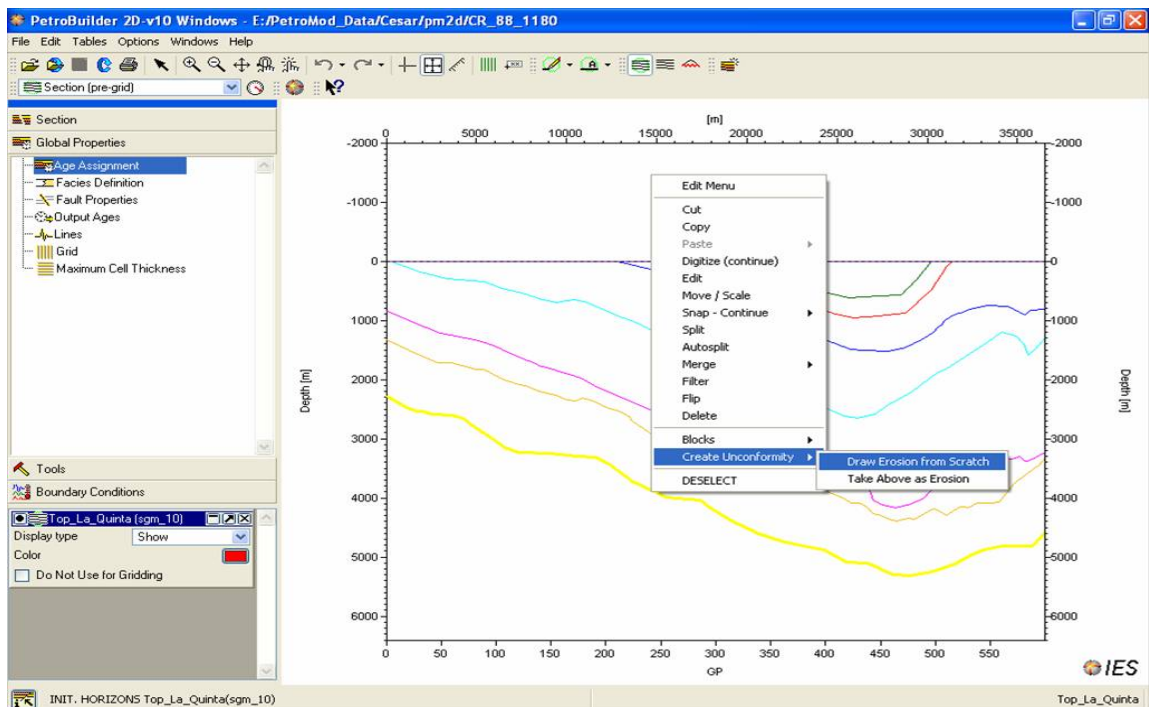
Se escoge **Facies Definition**, y aparece la tabla de facies, las cuales se asignan manualmente colocándole a cada una el tipo de litología que posee, así como algunos datos geoquímicos.



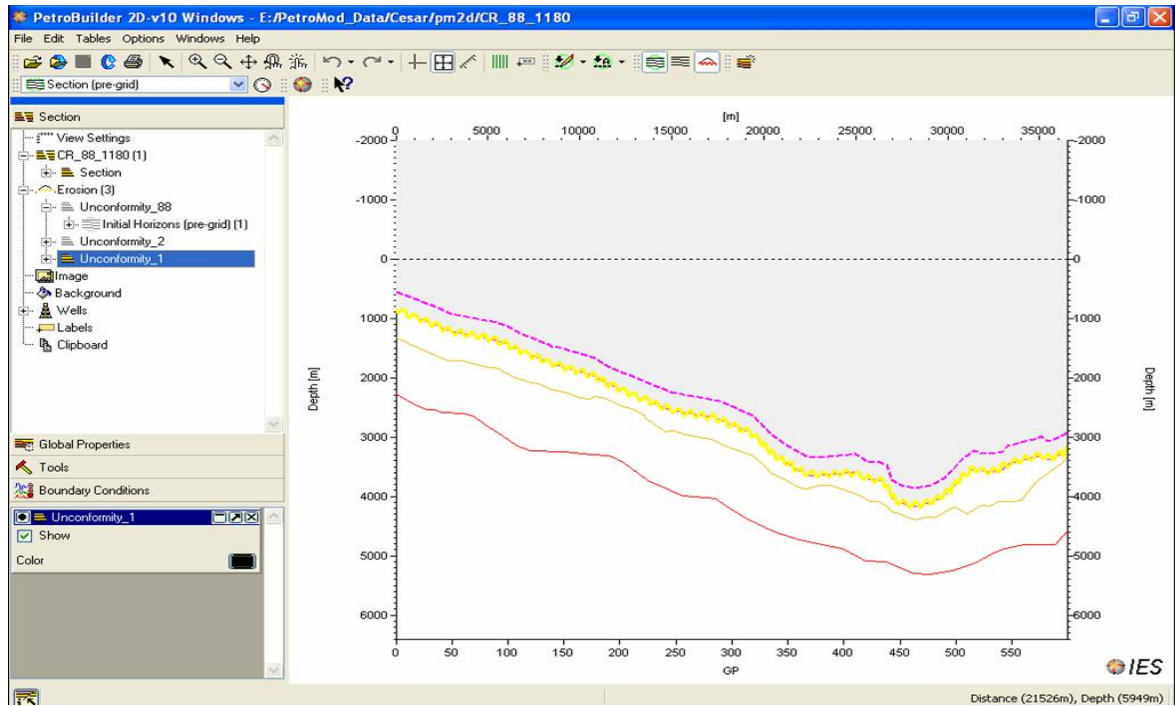
Se asignan luego, las edades y los eventos erosivos a cada horizonte. Global Properties >> Age Assignment.




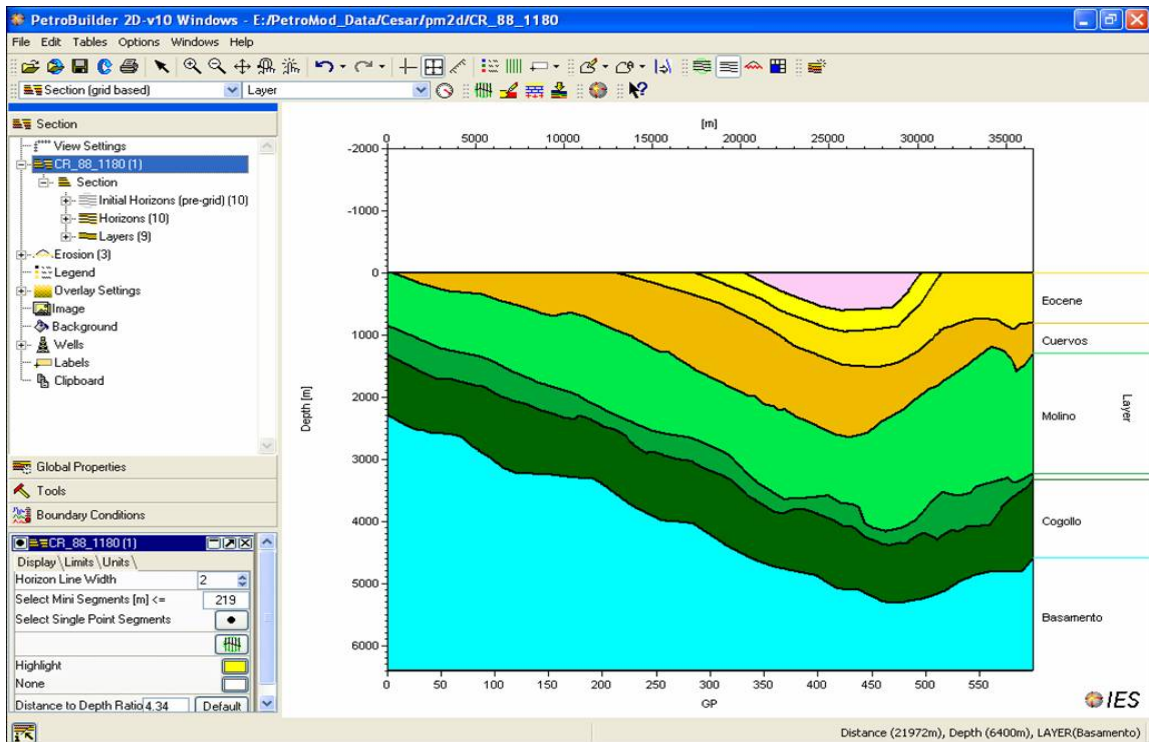
En la construcción del modelo geoquímico, es necesario discriminar en la columna estratigráfica los eventos erosivos como inconformidades, hiatos, etc. Entonces, se selecciona el tope del horizonte con clic derecho Create Unconformity >> Draw Erosion from Scratch.



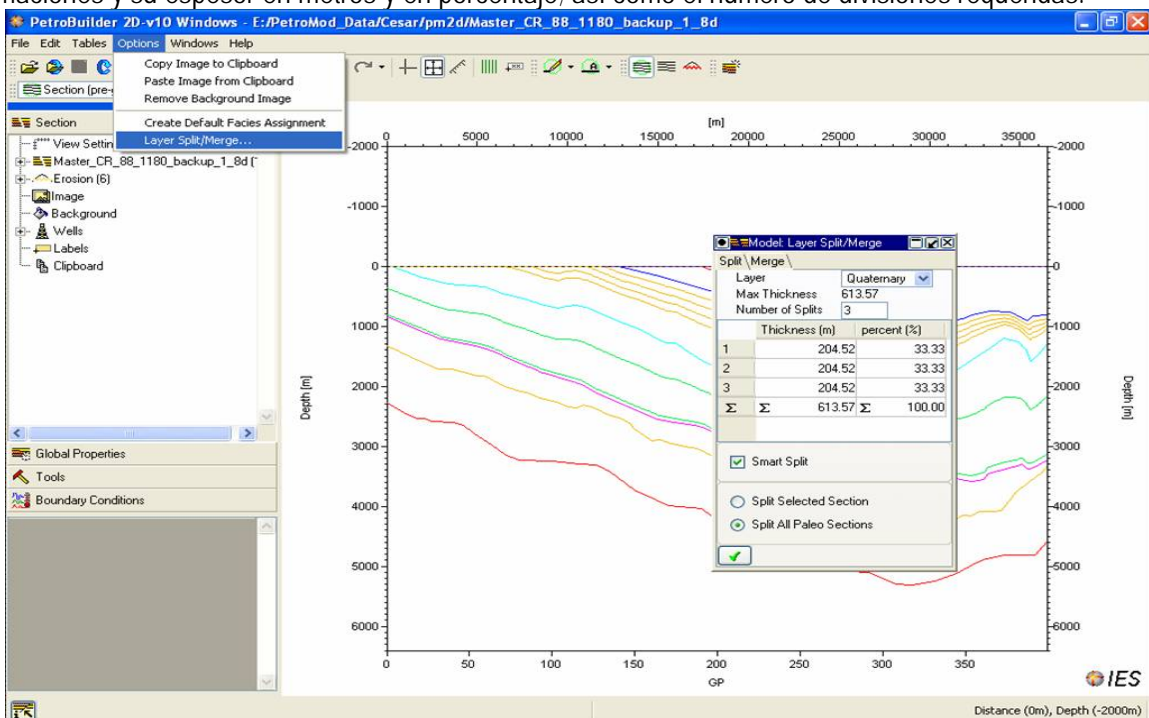
Aparece en pantalla una línea amarilla zigzagueante, a partir de la cual la pantalla se torna de dos colores: la parte superior de gris y la parte inferior de blanco.



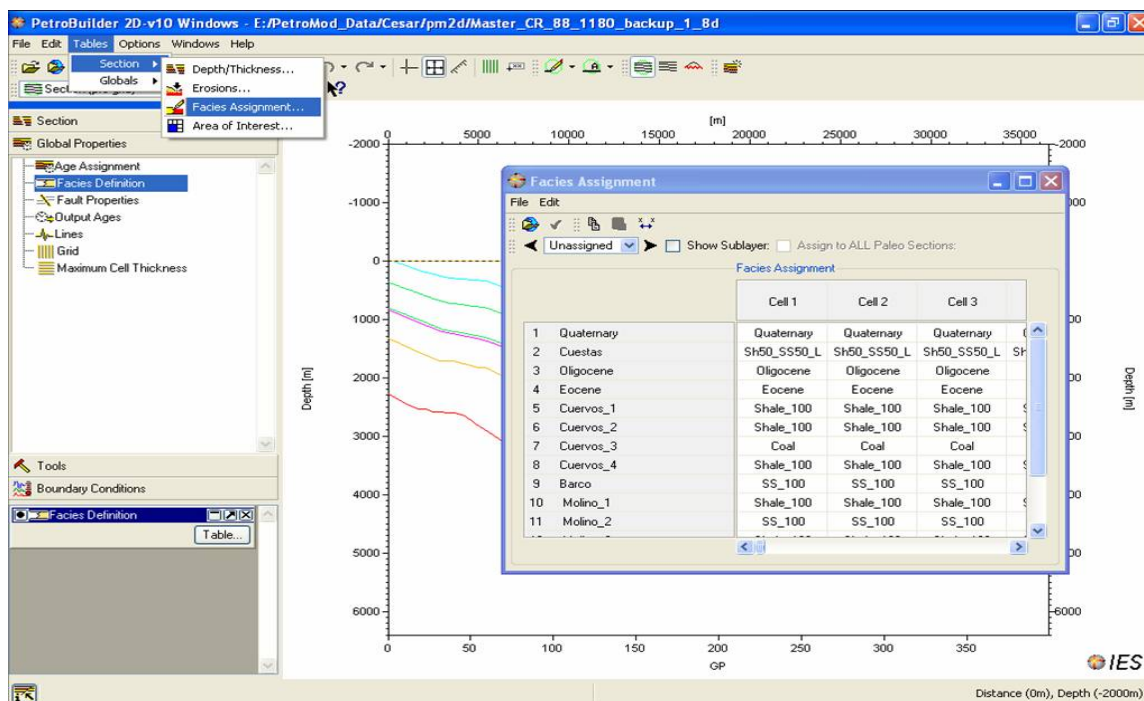
Se repite el proceso para las demás erosiones y luego se selecciona **Section Grid based** y se hace clic en el botón . Se coloca la opción **Simulator Preview (Event)**, para observar la evolución del modelo a través del tiempo de ocurrencia de los eventos, mostrando evento a evento, del más antiguo, al más reciente.



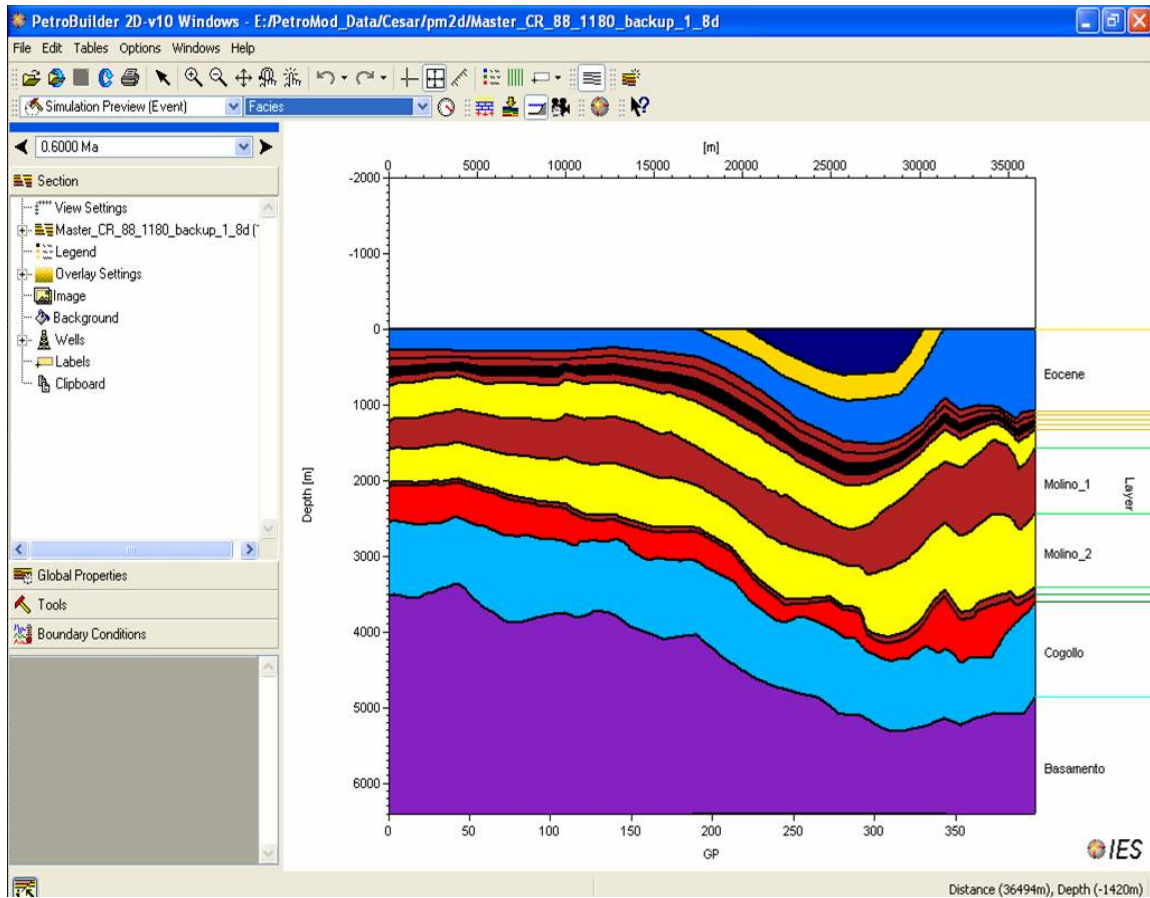
Se dividen las formaciones en subcapas (por miembros, por facies), utilizando la herramienta **Splits**, que se encuentra Options >> Layer Splits/Merge. Aparece un recuadro en el cual se observan una a una las formaciones y su espesor en metros y en porcentaje; así como el número de divisiones requeridas.



Es entonces, cuando se asigna a cada división una facies. Tables >> Section >> Facies Assignment... En el recuadro se pueden editar los nombres y por variar la facies por celdas. (Ej. Shale_100).

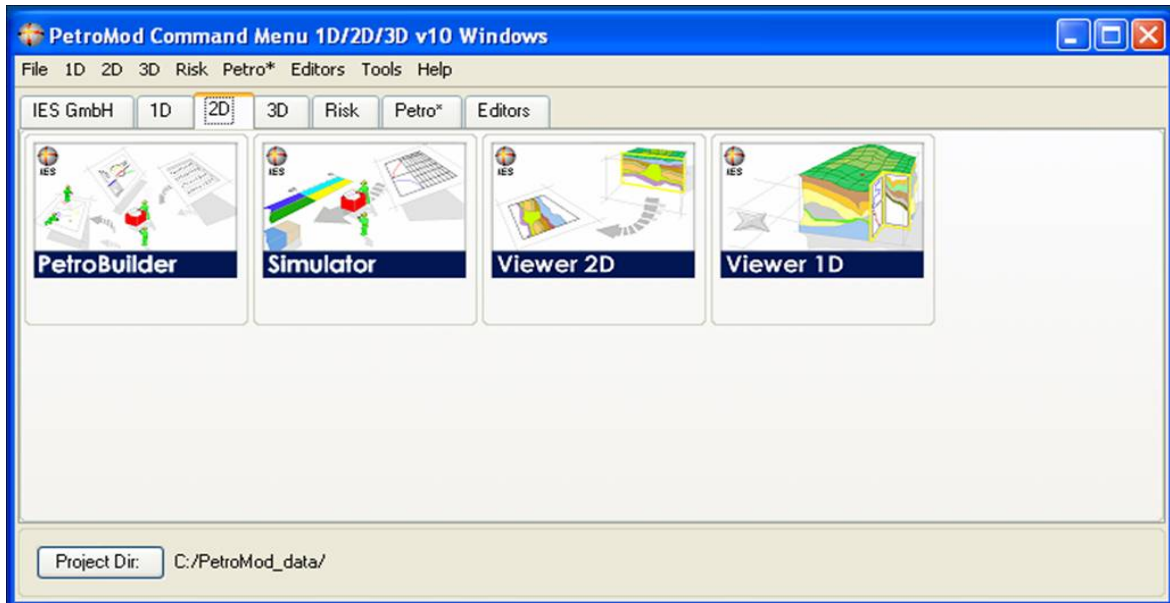


Se guardan los cambios y se grilla, con la opción **grid**, regresando al modo Grid Based y se ve la nueva apariencia del modelo.

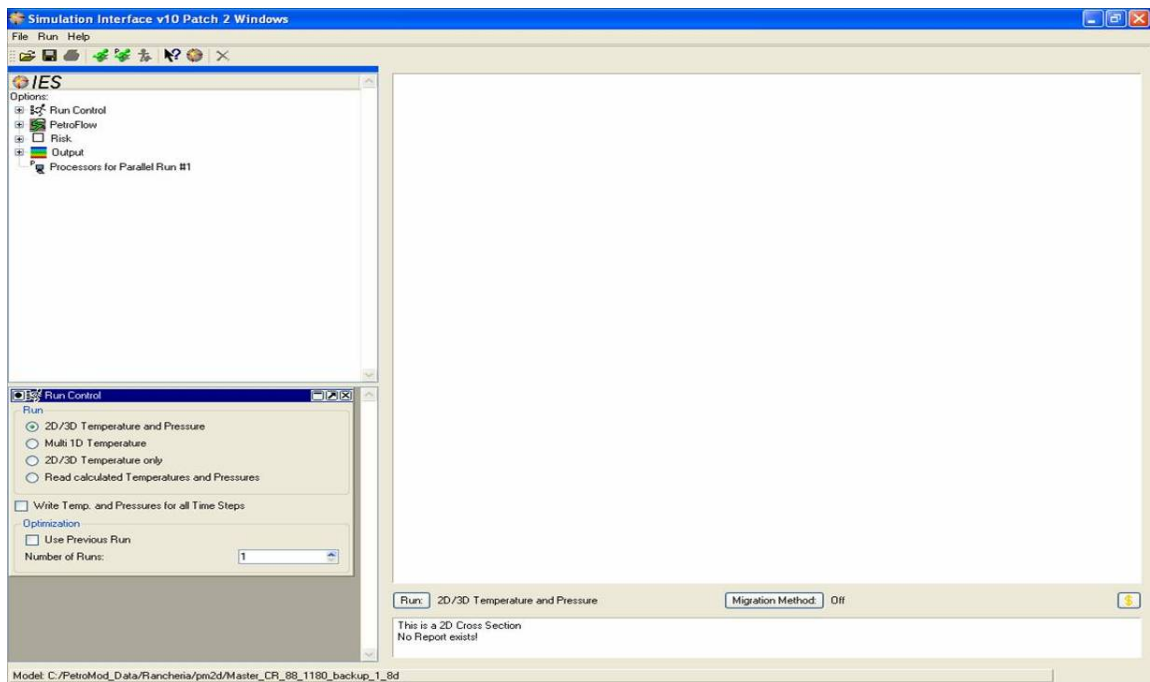


Se hace un backup del modelo, yendo al Command menú >> Tools >> Copy Model >> se selecciona el archivo que estamos trabajando y se le hace una variación al nombre, Ej. CV_79_Backup >> OK >> Close.

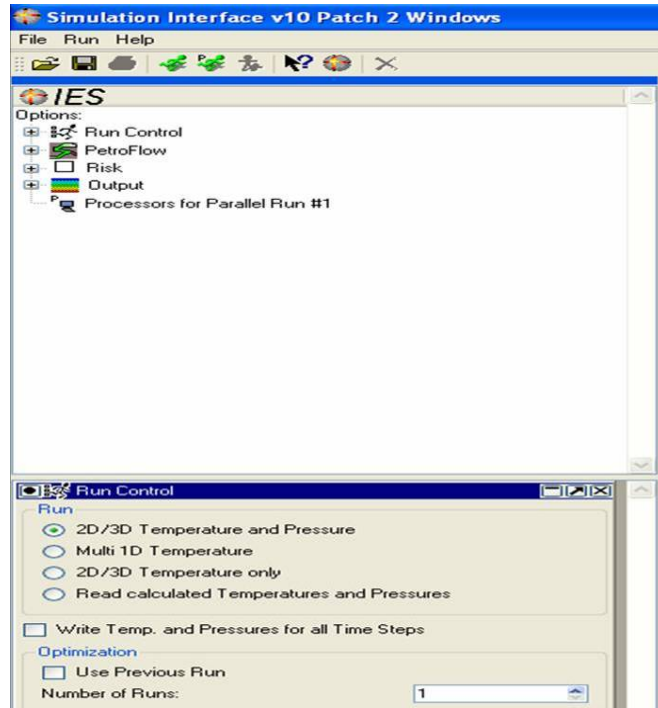
De nuevo en Command Menu, se toma la opción Simulator. Abriéndose el archivo nuevamente y asignándole las características de simulación. Command Menu 1D/2D/3D >> 2D >> Simulator.



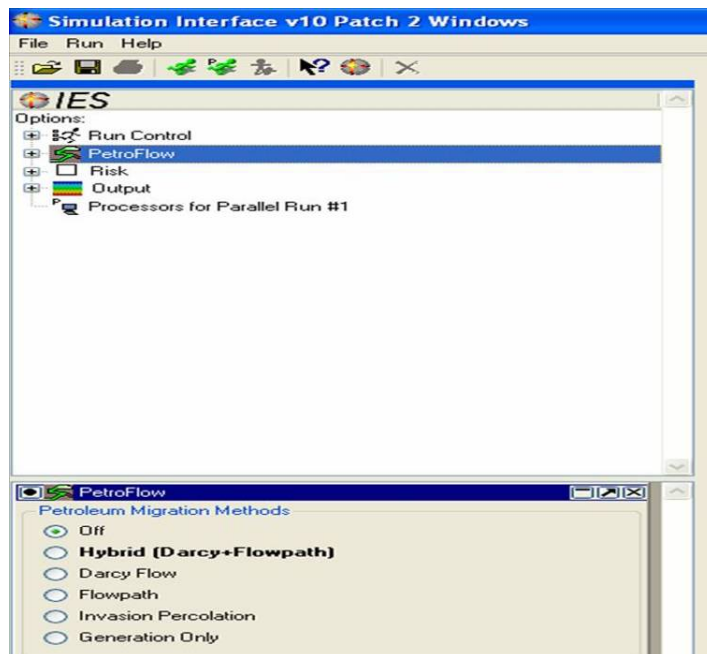
Luego aparece la ventana **Simulator Interface**.



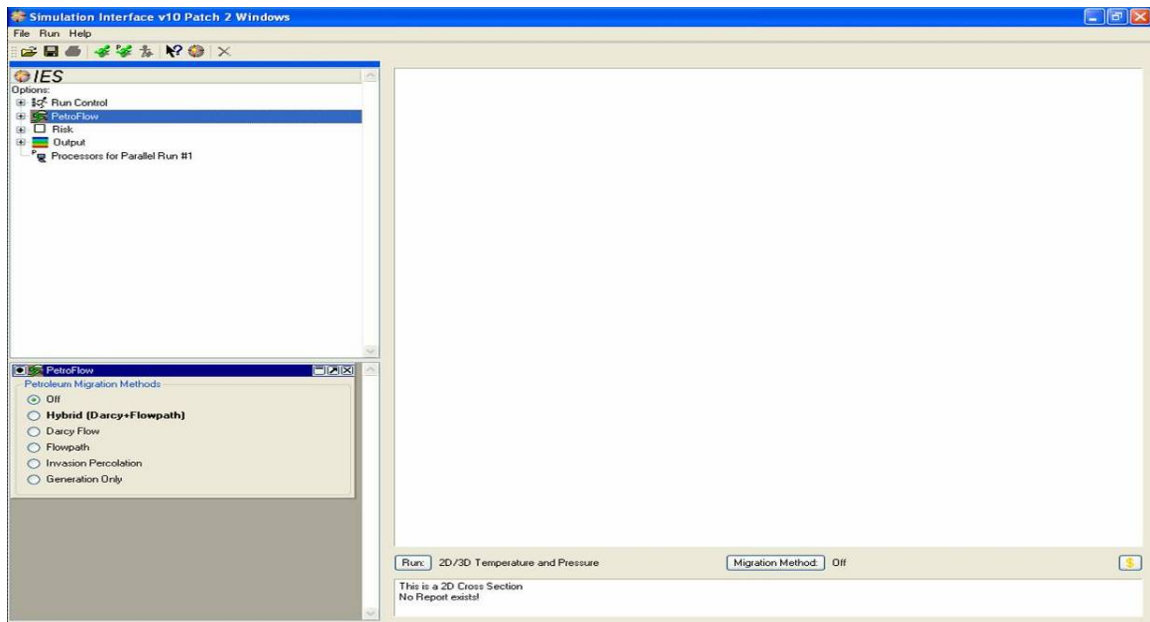
Se marca Run Control en el árbol Options, en la parte inferior sale el menú Run en el cual se escoge el modo que en el que se quiere ejecutar la simulación como 2D/3D Temperature and Pressure, Multi 1D Temperaty, 2D/3D Temperatura only, Reas calculated Temperaturas and Pressures; en Optimization se selecciona las repeticiones que se necesitan.



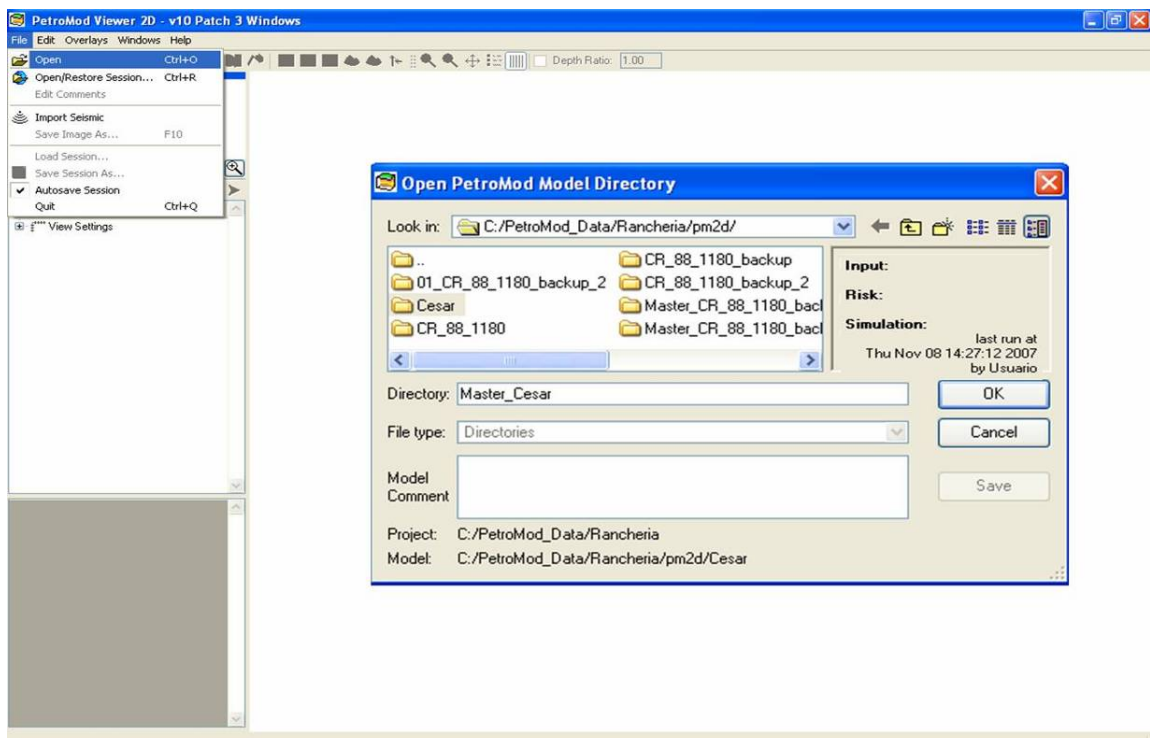
En el árbol Options se encuentra la opción PetroFlow, se despliega el menú en la parte inferior con el modo Petroleum Migration Methods, en esta opción se determina el modo de migración que se necesita para ejecutar el simulador.



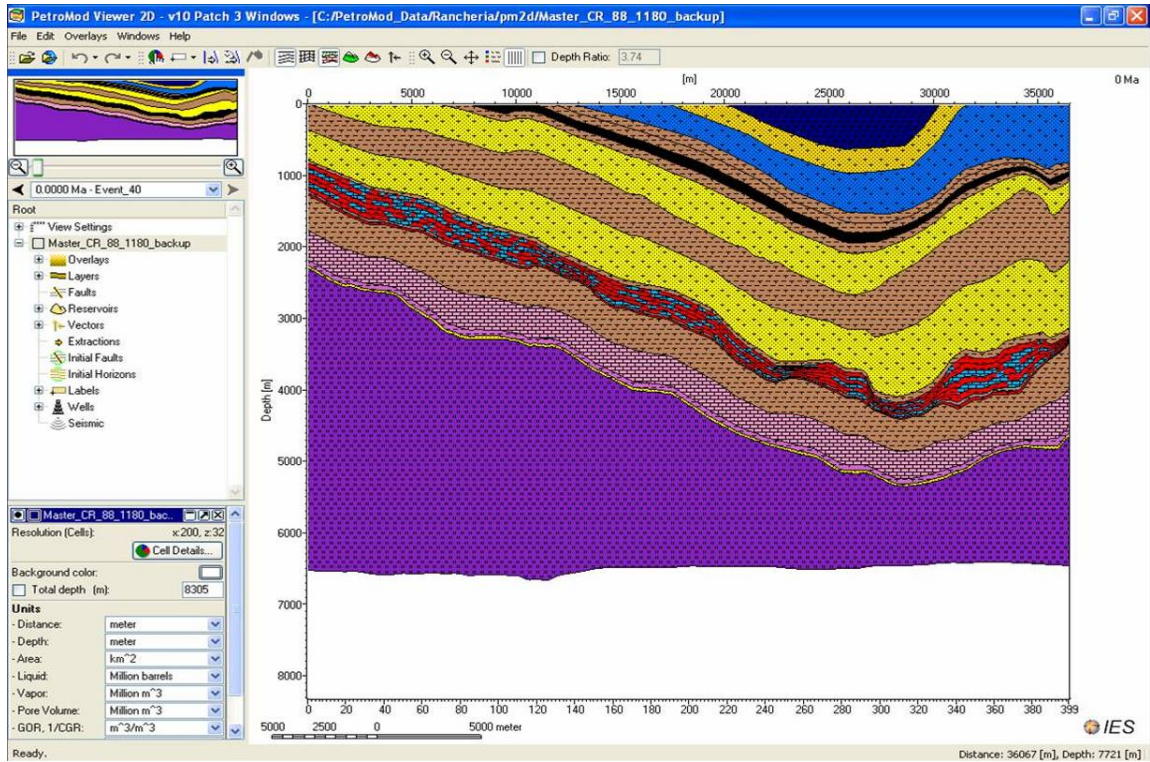
Se ejecuta entonces, la simulación. Para eso se hace clic en Run y al lado aparecen las condiciones que con anterioridad se seleccionaron. Este proceso puede tardar unos minutos y requiere que esté totalmente terminado para cerrar la aplicación.



Después de simular se procede a abrir el archivo en Viewer 2D, ubicado en Command Menu >> 2D >> Viewer 2D



En Viewer 2D aparece el modelo con todos los datos incluidos, en este se ilumina la trampa y las vías de migración, también se obtienen modelos 1D



La característica principal de estos modelos 1D que no son interconectados uno con el otro.

