



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
Decanato de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias de la Tierra

**ANÁLISIS TECTONOESTRATIGRÁFICO Y DE PROCEDENCIA
EN LA SUBCUENCA DE CESAR: RELACIÓN CON LOS
SISTEMAS PETROLEROS.**

Trabajo de Grado Presentado a la Universidad Simón Bolívar por:
ROSA CAROLINA AYALA CALVO
Código 0584418

Como Requisito Parcial para Optar al Título de:
MAGISTER EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Realizado con la Tutoría de la Profesora:
CRELIA PADRÓN DE CARRILLO

Sartenejas, Mayo de 2009



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
Decanato de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias de la Tierra

**ANÁLISIS TECTONOESTRATIGRÁFICO Y DE PROCEDENCIA
EN LA SUBCUENCA DE CESAR: RELACIÓN CON LOS
SISTEMAS PETROLEROS**

Este Trabajo de Grado ha sido aprobado en nombre de la Universidad Simón Bolívar por el siguiente Jurado examinador:

Presidente

Miembro Externo

Crelia Padrón de Carrillo
Miembro Principal – Tutor

Fecha: _____

Sobre todo lo que posees, ¡adquiere inteligencia!

Engrandécela, y ella te engrandecerá.

Prov 4: 7-8

Dedicada a mis tres razones de luchar para
ser mejor cada día: Dios, mi mamá y Andrés.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas e insituciones que de una u otra manera hicieron posible el desarrollo de este Trabajo de Grado.

Mi agradecimiento personal es para mi familia, y en especial mi mamá, Stella Calvo; mi esposo, Andrés López; mi prima Esperanza Díaz de Muñoz; y mi hermana Diana Ayala por su importante apoyo moral y material durante el tiempo que estudié la Maestría.

A la empresa Drummond Ltd., y a la Corporación Geológica ARES, por la financiación del Proyecto y el apoyo técnico recibido.

A los Geólogos Germán Bayona, Javier Mesa, Ricardo Triana, Victor Valencia, Alberto García y Agustín Cardona por su importante colaboración en diferentes fases del desarrollo de este proyecto.

A los Geólogos, asistentes y personal administrativo de Drummond Ltd. que me colaboraron para el desarrollo de la salida de campo: Carolina Ojeda (ARES), Martha Bermúdez, Diana Tabares, Andrea Galeano, Sebastián Delgado, José Amaya, y Juan Carlos Cubillos.

A la Geóloga Clara Escobar, que siempre promovió mi estudio de Maestría, y su apoyo fue vital para conseguir la financiación del proyecto.

También quiero agradecerle al personal de la Universidad Simón Bolívar por brindarme la oportunidad de cumplir esta meta tan anhelada en mi vida. A profesores como Crelia Padrón (tutora de este Trabajo de Grado), Franklin Yoris, Juan Francisco Arminio, Vincenzo Costanzo, Milagrosa Aldana y Antonello Lilliu por compartir su valioso conocimiento y tiempo. Realmente aprecio las cosas que aprendí durante el transcurso de la maestría. Raydín, Carmen y Rosa que me tuvieron tanta paciencia y su colaboración fue imprescindible en los momentos en que me encontré fuera de Caracas.

A mi compañero Evert Durán que además de ayudarme muchísimo con todos los trámites de la Universidad mientras no estuve en Caracas, ha sido un excelente compañero de maestría y amigo. A mis compañeros de estudio y amigos en Caracas: Katty, Jacmira, Indira, Aurora, Alejandra, Mirtha, los Josés, Myriam, y muchos más, que me dejaron un grato recuerdo de mi paso por la Universidad.

Si de pronto se me quedó alguien por fuera, también le quiero dar gracias. Cada persona que compartió conmigo durante todo este tiempo aportó un granito de arena para que pudiera llegar al final.

RESUMEN

En el presente Trabajo de Grado se realizó una evaluación tectonoestratigráfica y geoquímica de la subcuenca de Cesar, para el intervalo Barremiano-Mioceno.

Se identificaron las tendencias de litologías y espesores a lo largo de la subcuenca para el intervalo Barremiano-Mioceno, y con el análisis de facies se obtuvieron mapas paleogeográficos del área de estudio, mostrando la variación de la cuenca en ambientes continentales (Barremiano), ambientes marinos mixtos (Aptiano-Albiano), marinos de costa afuera con predominio de carbonatos (Cenomamiano-Turoniano), fluvio-deltáicos (Paleoceno), y continentales de tierras bajas y áridas (Eoceno).

Con los datos estratigráficos, geocronológicos, petrográficos y geoquímicos integrados se realizó el modelo de evolución y geometría de la cuenca a través de los diferentes eventos tectónicos ocurridos: Jurásico-Cretácico Temprano, Campaniano-Paleoceno Medio, Paleoceno Tardío-Eoceno Medio, Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano, Mioceno Tardío-Pleistoceno Tardío. También se identificaron fallas activas en cada uno de estos eventos.

En el análisis geoquímico se identificaron los intervalos generadores y se evaluaron de acuerdo a las facies existentes, se realizaron mapas de calidad de roca generadora para cada uno de ellos, y se elaboró un modelo de evolución termal para la paleococina interpretada (ubicada en el sureste de la cuenca), obteniendo así el intervalo Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano como principal tiempo de generación de hidrocarburos.

Se correlacionó el origen de los rezumaderos encontrados en el Cesar, y se evaluó el potencial de la cuenca de tener acumulaciones promisorias. Se recomendó enfatizar la parte media de la cuenca y realizar un modelo tridimensional, especialmente en las zonas de falla del Hatillo y Arenas Blancas. Se concluyó que de existir acumulaciones, éstas podrían ser pequeñas y asociadas a sistemas complejos de Fallas que permitan encasillar los hidrocarburos impidiendo su migración durante los eventos recientes.

Palabras Clave: Subcuenca de Cesar, Procedencia, Geoquímica, Tectónica.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
OBJETIVOS GENERALES	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
BASE DE DATOS	7
CAPITULO 1 - MARCO GEOLÓGICO	9
1.1. MARCO TECTÓNICO Y ESTRUCTURAL	9
1.1.1. FALLAS Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRINCIPALES.....	11
Falla de Santa Marta.....	11
Falla de Oca.....	11
Sistema de Fallas de Perijá.....	12
Alto de Verdesia.....	13
Sinclinal de la Loma.....	13
Sinclinal del Descanso.....	14
Anticlinal de Becerril	15
1.1.2. ETAPAS DE EVOLUCIÓN DE LA CUENCA	15
Primera Fase: Margen Pasivo I (Paleozoico)	15
Segunda Fase: Margen compresivo I (Permico Superior-Triasico)	15
Tercera Fase: Etapa de Rift (Jurásico).....	15
Cuarta Fase: Cuenca de Back-arc (Aptiano-Maastrichtiano).....	16
Quinta Fase: Margen compresivo II (Maastrichtiano Tardío-Eoceno)	16
Cuenca Intramontana (Eoceno Tardío-reciente).....	17
1.2. ESTRATIGRAFIA.....	17
1.2.1. PRECAMBRICO	17
Cinturón Metamórfico de la Sierra Nevada (Mesoproterozoico).....	17
1.2.2. PALEOZOICO	19
Formación Perijá (Neoproterozoico-Ordovícico?).....	19
Grupo Río Cachirí (Devónico)	20
Rocas del Carbonífero (Pensilvaniano).....	21
Formación Manaure (Pérmico).....	22
Complejo Metamórfico de Sevilla (Pérmico-Triásico temprano).....	22
1.2.3. TRIÁSICO-JURÁSICO	23

Secuencia Volcano-sedimentaria de la Sierra Nevada de Santa Marta (Jurásico Temprano a Medio).....	23
Grupo La Ge (Jurásico Temprano a Medio).....	23
Formación La Quinta (Jurásico Tardío-Cretácico más Temprano).....	24
1.2.4. CRETÁCICO	24
Formación Río Negro (Barremiano-Aptiano?).....	24
Formación Lagunitas (Aptiano-Albiano)	26
Formación Aguas Blancas (Aptiano Tardío-Cenomaniano)	26
Formación La Luna (Turoniano-Coniaciano).....	27
Formación Molino (Campaniano-Maastrichtiano).....	29
1.2.5. PALEÓGENO	30
Formación Barco (Paleoceno Temprano a Medio).....	30
Formación Cuervos (Paleoceno Tardío).....	30
Cinturón de Santa Marta (Maastrichtiano Tardío-Eoceno)	32
Eoceno no diferenciado (Eoceno Temprano a Medio).....	32
1.2.6. NEÓGENO	33
Formación Cuesta (Oligoceno Temprano-Mioceno Tardío).....	33
1.3. ESTUDIOS ANTERIORES	36
CAPITULO 2 – ANALISIS ESTRATIGRÁFICO	41
2.1. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO.....	41
2.2. OCURRENCIA Y ESPESORES DE CADA FORMACIÓN	42
2.3. CORRELACIONES	56
2.3.1. Cretácico	57
2.3.2. Paleoceno	61
2.4. AMBIENTES DE DEPÓSITO INTERPRETADOS	62
2.4.1. Formación Río Negro	63
2.4.2. Formación Lagunitas	63
2.4.3. Formación Aguas Blancas	63
2.4.4. Formación La Luna	64
2.4.5. Formación Molino	64
2.4.6. Formación Barco	64
2.4.7. Formación Cuervos	65
2.4.8. Eoceno inferior	65
2.4.9. Formación Cuesta	66
CAPITULO 3 – ANALISIS DE PROCEDENCIA	75
3.1. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE PROCEDENCIA	75
3.1.1. Metodología del Análisis Petrográfico	75
3.1.2. Metodología del Análisis Geocronológico	77
3.1.3. Metodología del Análisis de Minerales Pesados	81
3.1.4. Metodología de Medición de Paleocorrientes	81
3.2. POSIBLES AREAS FUENTE EN LA CUENCA	83
3.3. RESULTADOS DE PETROGRAFIA	87
3.3.1. Resultados-Rocas Calcáreas	87
3.3.2. Resultados-Rocas Siliciclásticas	89
3.4. RESULTADOS DE GEOCRONOLOGIA	96

3.5. ANALISIS DE MINERALES PESADOS	102
3.6. ANALISIS DE PALEOCORRIENTES	104
3.7. PROCEDENCIA DE LOS SEDIMENTOS EN LA SUBCUENCA DEL CESAR	106
CAPITULO 4 – MODELO DE EVOLUCIÓN TECTÓNICA Y SU INFLUENCIA EN LOS DEPÓSITOS.....	111
4.1. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL MODELO.....	111
4.2. ESTILO TECTÓNICO ACTUAL	112
4.3. EVENTOS TECTÓNICOS	117
4.3.1. Rift Jurásico Inferior y fase erosiva pre-Cretácica.....	117
4.3.2. Evento Campaniano-Paleoceno medio.....	118
4.3.3. Evento Paleoceno Tardío-Eoceno Medio.....	119
4.3.4. Evento Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano.....	120
4.3.4. Evento Mioceno Tardío-Pleistoceno Tardío.....	121
4.4. MODELO DE EVOLUCIÓN DE LA CUENCA	122
CAPÍTULO 5 - ANALISIS GEOQUIMICO, DESARROLLO Y EVOLUCION DE COCINAS DE HIDROCARBUROS EN LA SUBCUENCA DEL CESAR	125
5.1. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS GEOQUÍMICO	125
5.2. DEFINICIÓN DE LITOFACIES EN LAS ROCAS GENERADORAS	130
5.2.1. Facies de lodolitas laminares silíceas (LSL)	130
5.2.2. Facies de lodolitas silíceas con pirita y nódulos calcáreos (LSN).....	130
5.2.3. Facies de lodolitas calcáreas con agregados de pirita (LCP).....	131
5.2.4. Facies de wackestones de foraminíferos (WKF).....	131
5.2.5. Facies de wackestones con láminas y lentes de calcita (WLC).....	131
5.2.6. Facies de Packstones recristalizados/Grainstones (PKR).....	132
5.2.7. Facies de Packstones bioturbados (PKB)	132
5.2.8. Packstones/Grainstones de Bioclastos con Glauconita y Fosfatos (PGF).....	135
5.2.9. Facies de Packstones silicificados (PKS).....	135
5.2.10. Hardgrounds (HG).....	136
5.2.11. Litofacies en cada Formación.....	136
5.3. CALIDAD DE ROCA GENERADORA	138
5.3.1. COT y madurez a lo largo de la cuenca.....	138
5.3.2. Tipo de Kerógeno.....	144
5.4. MADUREZ TERMAL DE LOS SEDIMENTOS Y COCINAS DE HIDROCARBUROS	146
5.4.1. Análisis de Reflectancia de Vitrinita (Ro) en la cuenca.....	146
5.4.2. Modelaje de Madurez Termal (Diagrama de Soterramiento) de la Cocina Interpretada.....	148
Espesores y edades.....	151
Espesores erosionados.....	151
Flujo de calor.....	154
Temperaturas de Superficie y Paleopropiedades de agua.....	155
5.4.3. Tiempos de Generación de Hidrocarburos.....	156
5.5. EFICIENCIA DE EXPULSIÓN Y RUTAS DE MIGRACIÓN	157
5.5.1. Eficiencia de Expulsión.....	157
5.4.2. Correlaciones Roca-Crudo	158

5.4.3. Posibles Rutas de Migración	160
CAPITULO 6 – SISTEMAS PETROLEROS.....	163
6.1. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE SISTEMAS PETROLEROS.....	163
6.2. HISTORIA EXPLORATORIA EN LA CUENCA: ACIERTOS Y DESACIERTOS	163
6.3. ROCAS GENERADORAS	168
6.4. RESERVORIOS	170
6.5. SELLO.....	172
6.6. TIPOS DE TRAMPAS.....	173
6.7. AREAS CON MAYOR PROSPECTIVIDAD.....	174
CONCLUSIONES.....	175
Consideraciones Estratigráficas:.....	175
Consideraciones Tectónicas:	177
Consideraciones Económicas:	178
Consideraciones acerca de la Metodología de Trabajo:	180
RECOMENDACIONES	181
REFERENCIAS CONSULTADAS.....	183

INDICE DE TABLAS

Tabla I.1. Descripción de la base de datos usada en este estudio.....	7
Tabla 1.1. Litologías predominantes en el Cinturón Metamórfico de la Sierra Nevada.....	18
Tabla 2.1. Espesores de cada Unidad en la Subcuenca del Cesar.....	56
Tabla 3.1. Definición de los fragmentos del amazón.....	76
Tabla 3.2. Cálculos para el conteo de puntos.....	77
Tabla 3.3. Ubicación de las muestras analizadas en este estudio.....	78
Tabla 3.4. Minerales pesados.....	82
Tabla 3.5. Posibles Fuentes de aporte para la subcuenca de Cesar.....	84
Tabla 3.6. Circones de origen metamórfico en las muestras analizadas.....	97
Tabla 5.1. Parámetros de calidad de Roca Generadora, para rocas inmaduras (con menos de 0.6% de Ro).....	129
Tabla 5.2. Definición de intervalos de madurez de roca generadora, basados en la reflectancia de vitrinita (Ro) y su temperatura máxima	129
Tabla 5.3. Parámetros Geoquímicos por cada Facies	136
Tabla 5.4. Porcentajes de Facies por Formación en el pozo La Luna 3E.....	138
Tabla 5.5. Parámetros de las posibles rocas generadoras en la Subcuenca de Cesar.....	139
Tabla 5.6. Porcentajes de Tipo de Kerógeno por Formación mediante petrografía orgánica.....	145
Tabla 5.7. Parámetros usados en el modelamiento termal de la paleococina.....	150
Tabla 6.1. Pozos exploratorios perforados para hidrocarburos convencionales.....	166
Tabla 6.2. Pozos exploratorios perforados para CBM.....	167
Tabla 6.3. Pozos estratigráficos perforados en la subcuenca de Cesar.....	167
Tabla 6.4. Calidad de reservorio de las unidades de la subcuenca de Cesar.....	170

INDICE DE FIGURAS

Figura I-1. Localización geográfica de la Cuenca Cesar-Ranchería, en el noreste de Colombia.....	5
Figura 1.1. Esquema tectónico regional para la esquina noroeste de Suramérica.....	10
Figura 1.2. Mapa Geológico Generalizado del área de estudio.....	14
Figura 1.3. Columna Generalizada en la subcuenca de Cesar y alrededores.....	34
Figura 1.4. Registro eléctrico tipo de la subcuenca de Cesar.....	35
Figura 2.1. Afloramientos y espesores de la Formación Lagunitas en la cuenca Cesar-Ranchería.....	43
Figura 2.2. Afloramientos y espesores de la Formación Aguas Blancas en la cuenca Cesar-Ranchería.....	44
Figura 2.3. Afloramientos y espesores de la Formación La Luna en la cuenca Cesar-Ranchería.....	47
Figura 2.4. Afloramientos y espesores de la Formación Molino en la cuenca Cesar-Ranchería.....	48
Figura 2.5. Afloramientos y espesores de la Formación Barco en la cuenca Cesar-Ranchería.....	50
Figura 2.6. Afloramiento del Barco en el área de Sororia (Perijá).....	51
Figura 2.7. Afloramientos y espesores de la Formación Cuervos en la cuenca Cesar-Ranchería.....	52
Figura 2.8. Afloramiento del Cuervos Inferior en el área de Sororia (Perijá).....	53
Figura 2.9. Afloramiento del Cuervos Medio en el área de Sororia (Perijá).....	54
Figura 2.10. Afloramiento del Eoceno cerca de Base 39 (al Sur de La Loma de Calenturas).	55
Figura 2.11. Afloramiento de la Formación Cuesta cerca del campo Iguanas (predios de Drummond Ltd).	55
Figura 2.12. Convenciones usadas en las correlaciones regionales.....	57
Figura 2.13. Correlación para el Cretácico de la subcuenca de Cesar.....	59
Figura 2.14. Correlación para el Paleogeno de la subcuenca de Cesar.....	60
Figura 2.15. Esquema Paleogeográfico del Barremiano en el área de estudio.....	67
Figura 2.16. Esquema Paleogeográfico del Aptiano en el área de estudio.....	68
Figura 2.17. Esquema Paleogeográfico del Albiano en el área de estudio.....	69
Figura 2.18. Esquema Paleogeográfico del Cenomaniano Tardío - Turoniano en el área de estudio.....	70
Figura 2.19. Esquema Paleogeográfico del Maastrichtiano Tardío en el área de estudio....	71
Figura 2.20. Esquema Paleogeográfico del Paleoceno Temprano en el área de estudio.....	72
Figura 2.21. Esquema Paleogeográfico del Paleoceno Tardío en el área de estudio.....	73
Figura 2.22. Esquema Paleogeográfico del Eoceno Temprano en el área de estudio.....	74
Figura 3.1. Ubicación de Posibles áreas fuente.....	83

Figura 3.2. Variaciones de las calizas del Cretácico en la subcuenca del Cesar.....	88
Figura 3.3. Diagrama QtFL de clasificación (Dickinson , 1985) para las muestras de arena de la subcuenca del Cesar.....	91
Figura 3.4. Diagrama de procedencia QmFLt (Dickinson& Suczec, 1979) para las muestras de la subcuenca del Cesar.....	93
Figura 3.5. Comparación de los Diagramas QtFL y QmFLt para las subcuencas de Cesar y Ranchería.....	94
Figura 3.6. Esquema de porcentaje composicional – fotos de los dominios composicionales.....	95
Figura 3.7a. Resultados de Geocronología en el intervalo Paleoceno Superior-Oligoceno, y relación con los resultados petrográficos.....	98
Figura 3.7b. Resultados de Geocronología en el intervalo Cretácico Medio-Paleoceno Inferior, y relación con los resultados petrográficos.....	99
Figura 3.8. Curvas de Probabilidad acumulada para las poblaciones de circón, A) en orden estratigráfico; B) distribuidas arealmente para las Formaciones Barco y Cuervos....	101
Figura 3.9. Distribución de los minerales pesados en las muestras analizadas.....	103
Figura 3.10. Paleocorrientes para las Formaciones Barco y Cuervos (Mantos inferiores)....	105
Figura 3.11. Paleocorrientes para las Formaciones Cuervos (Mantos superiores) y Eoceno.....	106
Figura 4.1. Colores usados en los horizontes interpretados.....	112
Figura 4.2. Localización de las líneas sísmicas analizadas	113
Figura 4 .3. Líneas sísmicas A-A' y B-B'.....	114
Figura 4 .4. Líneas sísmicas C-C' y D-D'.....	115
Figura 4 .5. Líneas sísmicas E-E' y F-F'.....	116
Figura 4.6. Detalle de las líneas sísmicas C-C' y F-F', horizontalizadas al tope de La Luna para observar mejor la actividad del Cretácico inferior a medio.....	117
Figura 4.7. Detalle de las líneas sísmicas A-A' y E-E', horizontalizadas a la base del Paleoceno Tardío.....	119
Figura 4.8. Esquema de Evolución de la cuenca	123
Figura 5.1. Mapa de localización de los pozos y afloramientos de donde se obtuvieron los datos de geoquímica analizados en este estudio.....	126
Figura 5.2. Relación entre Tmax (°C) y Ro (%).....	126
Figura 5.3. Corazones de roca de las facies anteriormente descritas.....	133
Figura 5.4. Secciones delgadas de algunas de las facies anteriormente descritas, pertenecientes a los pozos La Luna 3E, Verdesia 1E y Verdesia 2E.....	134
Figura 5.5. Caracterización de facies para el pozo La Luna 3E	137
Figura 5.6. Mapa de Parámetros Geoquímicos para la Formación Aguas Blancas (Miembro Animas) en la Subcuenca de Cesar.....	140
Figura 5.7. Mapa de Parámetros Geoquímicos para la Formación Aguas Blancas (Miembro Tocuy) en la Subcuenca de Cesar.....	141
Figura 5.8. Mapa de Parámetros Geoquímicos para la Formación La Luna en la Subcuenca de Cesar.....	142
Figura 5.9. Mapa de Parámetros Geoquímicos para la Formación Molino en la Subcuenca de Cesar.....	143
Figura 5.10. Diagrama Van Krevelen para el intervalo Aptiano-Maastrichtiano en la Subcuenca de Cesar.....	145
Figura 5.11. Profundidad vs Ro para varios pozos de la subcuenca de Cesar.....	147

Figura 5.12. Principales campos y rezumaderos de petróleo y gas en la Cuenca Cesar-Ranchería y parte Oeste del Lago de Maracaibo.....	149
Figura 5.13. Gradientes Geotérmicos para diferentes pozos de la subcuenca de Cesar.....	155
Figura 5.14. Diagrama de Soterramiento para el área de la paleococina interpretada.....	157
Figura 5.15. Relación entre el porcentaje de Hidrocarburos generados vs madurez termal.....	158
Figura 5.16. Análisis <i>whole-oil</i> para extractos de las Formaciones La Luna y Aguas Blancas. Comparación con crudo de las manifestaciones superficiales encontradas en el área del Descanso (Subcuenca de Cesar).....	159
Figura 5.17. Biomarcadores para las Formaciones La Luna y Aguas Blancas, y correlación con el crudo encontrado en El Descanso.....	160
Figura 5.18. Posibles Rutas de Migración.....	161
Figura 6.1. Ubicación de los contratos de Exploración y Explotación de Hidrocarburos en la Cuenca Cesar-Ranchería.....	168

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. TABLAS DE DATOS

Tabla A1. Resultados de Petrografía para rocas siliciclásticas

Tabla A2. Resultados de Petrografía para rocas calcáreas

Tabla A3. Resultados de Geocronología – Mediciones de cada circón

Tabla A4. Edades de los Circones – Datos discriminados por población

Tabla A5. Resultados de Minerales pesados

Tabla A6. Mediciones de Paleocorrientes

ANEXO 2. FOTOS DE PETROGRAFÍA

ANEXO 3. FOTOS DE MINERALES PESADOS

ANEXO 4. DIAGRAMAS DE PROBABILIDAD-GEOCRONOLOGIA

ANEXO 5. DIAGRAMAS CONCORDIA-GEOCRONOLOGIA

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, realizado como requisito para optar al título de Magister en Ciencias de la Tierra de la Universidad Simón Bolívar, tiene como objetivo aplicar todos los conceptos aprendidos acerca de la exploración de hidrocarburos en un problema real. El área de estudio seleccionada cuenta con varias características que permiten aplicar estos conceptos de una manera integral: Corresponde a una cuenca compleja, con numerosas interrogantes en torno a su evolución y configuración tectónica, formación y preservación de trampas efectivas de hidrocarburos y variaciones laterales de facies. La Cuenca Cesar-Ranchería, ubicada en el norte de Colombia, constituye un área frontera debido a que sólo cuenta con un campo declarado comercial que produce gas de reservorios del Cretácico, y posee escasos datos de geoquímica, bioestratigrafía y petrografía, a pesar de su gran potencial en lo que respecta a rocas generadoras y reservorios. La compleja historia tectónica constituye el mayor riesgo en la exploración de esta cuenca pues la sobreimposición de eventos hace difícil evaluar correctamente el sincronismo de la generación-entrapamiento de hidrocarburos.

Obteniendo nuevos datos de petrografía, geocronología, geoquímica y usando los pozos estratigráficos perforados en los últimos tres años se genera aquí una nueva propuesta para la evolución de la subcuenca de Cesar desde el Cretácico hasta la actualidad. De la misma manera se buscan las zonas más prospectivas que permitan descubrir un nuevo campo en esta cuenca, luego de tantos desaciertos, que si bien no han probado acumulaciones comerciales, proveen valiosa información para futuros estudios en el área.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Realizar un análisis tectonoestratigráfico de las unidades que conforman la secuencia sedimentaria de la Subcuenca del Cesar.

Evaluar el potencial generador de las formaciones La Luna, Cogollo y Molino, con el propósito de definir los pulsos de generación y la posibilidad de que los hidrocarburos generados puedan estar atrapados efectivamente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar un estudio de la evolución tectonoestratigráfica de la Subcuenca del Cesar y compararlo con la evolución del área de Ranchería.

Realizar correlaciones estratigráficas que permitan definir variaciones de las facies dentro de la cuenca y la relación de los eventos tectónicos con los cambios en el ambiente deposicional.

Definir mediante el análisis de procedencia de sedimentos, las variaciones en la fuente de aporte y su relación con los eventos tectónicos ocurridos en la cuenca.

Realizar un análisis de los sistemas petroleros existentes en la Subcuenca del Cesar, identificando el tiempo de formación de los diferentes elementos.

Definir zonas prospectivas en donde se pueda obtener una adecuada sincronización de los elementos del sistema petrolero.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca Cesar-Ranchería se ubica en el área Nororiental de Colombia (Fig. I-1), entre los Departamentos de Cesar y la baja Guajira, y cubre un área de 11.630 Km². Morfológicamente es un valle generado por dos grandes sistemas montañosos: al Noroeste la Sierra Nevada de Santa Marta, que corresponde a la mayor elevación del territorio colombiano con 5.775 m de altura; y al Sureste la Serranía del Perijá, la cual separa la cuenca Cesar-Ranchería de la prolífica cuenca de Maracaibo.

Este estudio se enfoca en la subcuenca de Cesar, la cual se encuentra separada de la subcuenca Ranchería por el alto de Valledupar (que en este trabajo se considera la extensión norte del anticlinal de Verdesia). Esto se debe a que en la subcuenca de Cesar hay menor claridad en la historia evolutiva, y es el área de mayor interés para la empresa Drummond Ltd., quien patrocinó gran parte de este proyecto.

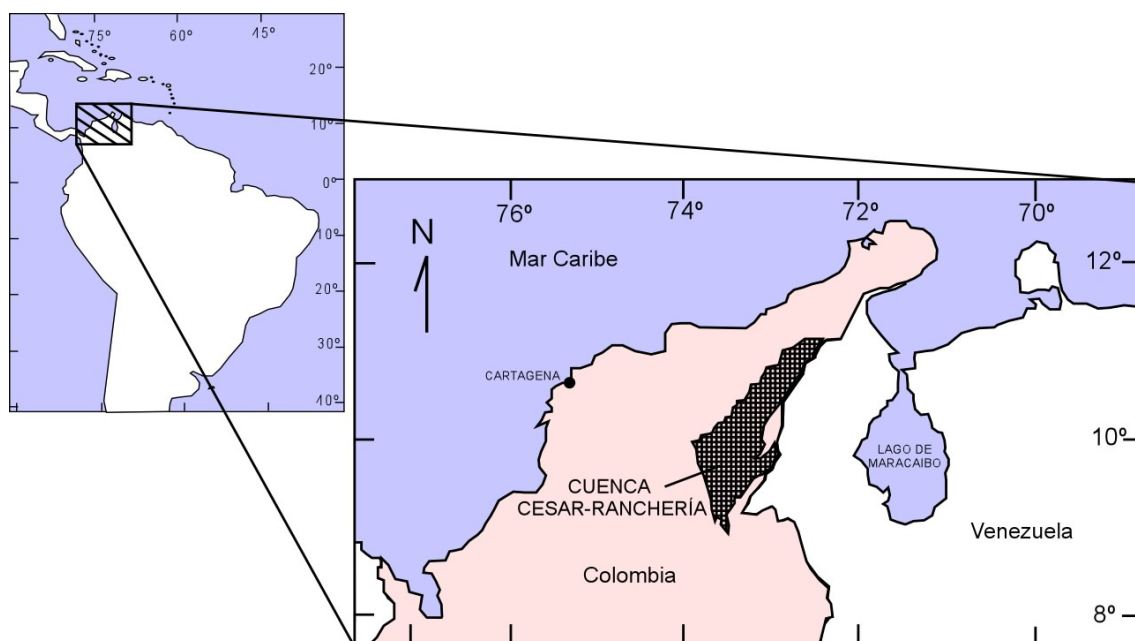


Figura I-1. Localización geográfica de la cuenca Cesar-Ranchería, en el noreste de Colombia.

BASE DE DATOS

Para el desarrollo de este estudio se contó con la siguiente información, además de los artículos consultados, textos geológicos e informes internos de Ecopetrol y de Drummond Ltd.:

	TIPO DE DATO	No.	DETALLES	FUENTE
INFORMACIÓN DE POZOS	POZOS ESTRATIGRÁFICOS	6	REGISTROS	Drummond Ltd.
			Gamma Ray, Densidad, Resistividad, Temperatura	
	POZOS EXPLORATORIOS	3	REGISTROS	Drummond Ltd.
Gamma Ray, Resistividad, Temperatura				
OTROS POZOS (EXPLORATORIOS Y DE CBM)	37	Información de espesores, edades y Formaciones	Drummond Ltd. Intera-Bioss (1995) Ecopetrol (1998) Chajín & Martínez (2008)	
SECCIONES	ESTRATIGRAFICAS	3	Tomadas como referencia para ir a tomar los muestreos de geoquímica, debido a su detalle y correcta ubicación	Consorcio G&G (2001)
	SISMICAS	6	Campañas CV-1979 y CR- 1988. Reprocesadas en el 2004	Drummond Ltd.
	PETROGRAFICAS	83	Las últimas tomadas con tinción de feldespatos, las otras sólo para porosidad.	En esta tesis. Llinás (2004) y Llinás (2006) Ojeda (2009)

ANALISIS	PETROGRAFICOS	196	146 pertenecen al Cretácico de toda la cuenca (ICP, 2001). 50 al Paleoceno y Eoceno de Ranchería (Bayona et al., 2007)	ICP (2001) Bayona et al. (2007)
	GEOQUIMICOS	198	36 son nuevos y fueron tomados en campo (Septiembre de 2008). Todos cuentan con Ro (o en su defecto Roeq), Rock-Eval y COT.	En esta tesis. Ecopetrol (1998). ICP (1990). Mogollón (2009) Reportes internos de pozo (Cesar A1X, Cesar F1X)
	GEOCRONOLÓGICOS	10	Tomados en afloramiento y pozos en Septiembre de 2008	En esta tesis
	MINERALES PESADOS	9	Tomados de las mismas muestras de los análisis geocronológicos	En esta tesis
OTROS	BIOESTRATIGRAFIA	NA	Dos muestras nuevas para esta tesis. Los otros son informes de congresos y revistas e informes de los pozos.	Jaramillo et al (2004, 2007) Forero (1970) Drummond Ltd.
	MAPAS	5	Geológico modificado de Ecopetrol (1998) y Bayona et al. (2007). Mapas del IGAC (El Copey, Bosconia La Jagua) para fase de campo.	Ecopetrol (1998) Bayona et al (2007) www.igac.gov

Tabla I-1. Descripción de la base de datos usada en este estudio.

CAPITULO 1 - MARCO GEOLÓGICO

Para tener un contexto más claro de la cuenca y las unidades que allí se encuentran, se realizó el siguiente marco teórico. Con esta base el desarrollo de los capítulos posteriores es más sencillo de entender.

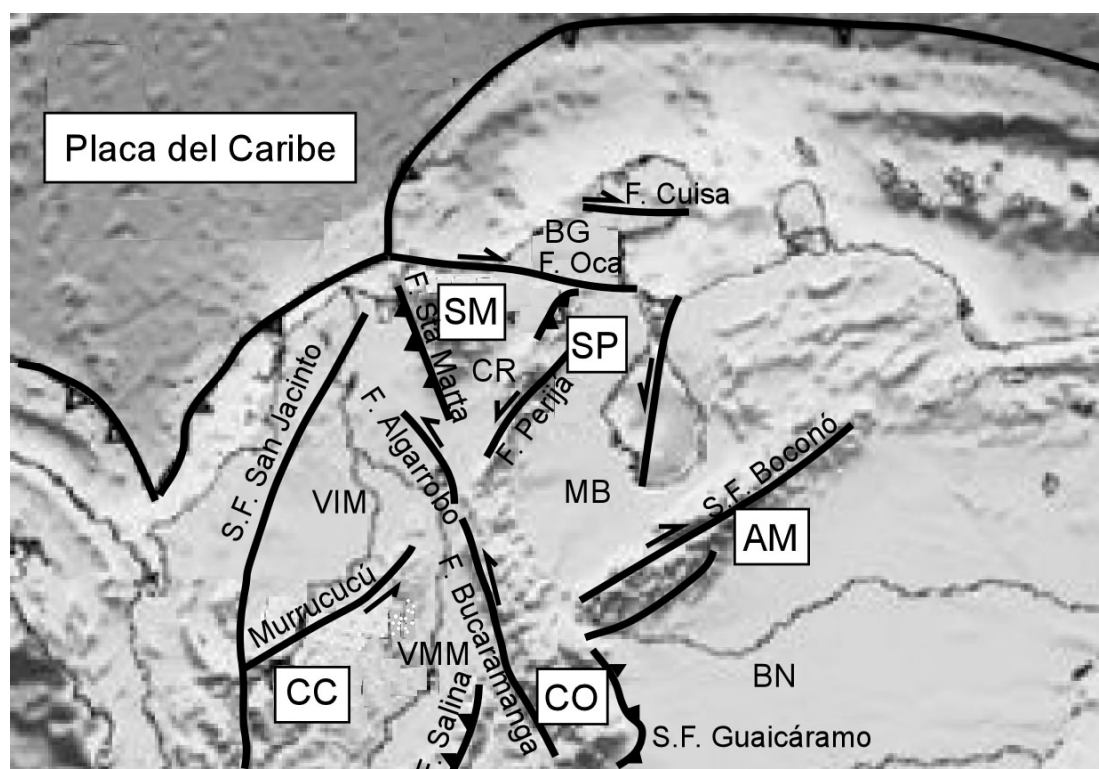
1.1. MARCO TECTÓNICO Y ESTRUCTURAL

La Cuenca Cesar-Ranchería se ubica en el noreste colombiano, limitada al oeste por la Falla de Santa Marta, al norte por la Falla de Oca, y al este por el Sistema de corrimientos del Perijá (Fig. 1.1). La subcuenca de Cesar se encuentra separada de la subcuenca de Ranchería por el alto de Valledupar.

Estructuralmente se considera ubicada la Cuenca Cesar-Ranchería dentro del Bloque de Maracaibo, fragmento de corteza limitado por las Fallas de Santa Marta, Bucaramanga, Boconó y la Falla de Oca. Este bloque estaría sometido a movimientos transpresionales debido al movimiento relativo de la placa del Caribe, el cual creó un desequilibrio isostático de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) y movimientos rotacionales en sentido horario para todo el bloque (Montes et al, 2005). Los grados de rotación se encuentran aun en estudio mediante análisis paleomagnéticos y hasta ahora se tienen sólo especulaciones debido al amplio rango de error reportado en los datos anteriores (alfa-95 superiores al 10%), desde 60° en sentido antihorario para la Serranía de Perijá y los Andes de Mérida hasta 90° en sentido horario para la Península de la Guajira y el Caribe Norte (datos compilados de diversos autores en: Montes et al., 2005).

Para las reconstrucciones de evolución tectónica en esta esquina norte se usa el concepto de que las fallas de Santa Marta y Bucaramanga se encuentran conectadas en un sólo sistema.

Autores como Ujueta (2005) y Mora & García (2006) difieren de este concepto mediante estudios que implican que la Falla de Santa Marta tiene un carácter inverso para el movimiento tectónico reciente y que desde el Oligoceno la subcuenca de Cesar se encuentra conectada con el Valle Inferior del Magdalena, impidiendo el movimiento sinistral Oligo-Mioceno reportado por Villamil (1999). Gómez et al. (2007) en el Mapa Geológico de Colombia sugieren una conexión entre la Falla de Bucaramanga y la Falla de Algarrobo debido a que tienen el mismo estilo tectónico.



MACIZOS Y CORDILLERAS:

SP=Serranía de Perijá

AM= Andes de Mérida

CO= Cordillera Oriental

SM= Sierra Nevada de Santa Marta

CC= Cordillera Central

CUENCAS:

CR=Cesar-Ranchería

BG=Baja Guajira

MB=Maracaibo

VIM= Valle inferior del Magdalena

VMM=Valle Medio del Magdalena

BN=Barinas

Figura 1.1. Esquema tectónico regional para la esquina noroeste de Suramérica. En este esquema se resaltan las Fallas regionales mas importantes que afectan la esquina noroeste de Suramérica. Nótese la interacción entre sistemas inversos y rumbo-deslizantes. También se ubican las cuencas mencionadas en este trabajo. Modificado de Villamil (1999), Montes et al. (2005), Gómez et al. (2007).

1.1.1. FALLAS Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRINCIPALES

A continuación se mencionarán las principales fallas y estructuras asociadas a la Cuenca Cesar-Ranchería y sus características principales. La ubicación de éstas se encuentra en la Figura 1.2.

Falla de Santa Marta

La Falla de Santa Marta (ver Figs. 1.1 y 1.2), se ubica al noroeste de la SNSM, y fue definida por De Cizancourt (1933 en: Ujueta, 2005) como una falla inversa de alto ángulo, aunque no se le dió el nombre de Falla de Santa Marta sino hasta 1956 (en el trabajo de Young et al., según Ujueta, 2005). Ha sido descrita por diversos como la continuidad de la Falla de Bucaramanga basados en la hipótesis propuesta por Raasvelt (1956 en: Ujueta, 2005), a pesar de tener más de 350 km de cubierto y de haber sido considerada previamente una falla diferente a la Falla de Bucaramanga. De hecho, esta Falla no parece tener un desplazamiento de rumbo por lo menos desde el Oligoceno, tiempo en el cual debió ocurrir el desplazamiento de la Falla de Bucaramanga, ya que los depósitos de este tiempo se encuentran en continuidad desde el Valle Inferior del Magdalena hasta la subcuenca de Cesar (Ujueta, 2005; Mora & García, 2006). En línea con los argumentos expuestos anteriormente, en este trabajo se consideran las Fallas de Santa Marta y Bucaramanga como dos fallas diferentes (aunque se reconocen fallas inversas de alto ángulo cubiertas por los depósitos del Oligoceno) y se cree que debido al movimiento de la placa del Caribe existe una rotación tectónica en sentido horario que causa la activación de la Falla de Santa Marta desde el Paleoceno Tardío, permitiendo el basculamiento de la SNSM y compresión de la Subcuenca Ranchería. Según el Insitute Colombiano del Petróleo - ICP (1990) la Falla de Santa Marta inicialmente se originó en el Jurásico producto de movimientos de bloques, y posteriormente se reactivó con los eventos tectónicos ocurridos durante el Cenozoico en la Cuenca Cesar-Ranchería.

Falla de Oca

La Falla de Oca (ver Figs. 1.1 y 1.2) es una falla dextral, de orientación E-W y constituye el límite entre las cuenca de Ranchería y la baja Guajira. Según Ecopetrol (1998) esta falla es activa desde el Eoceno (50 Ma), y se ha calculado un desplazamiento de 180 Km. ICP (1990)

extiende la influencia de esta Falla hasta Trinidad en todo un sistema de Fallas de rumbo dextral, de la misma manera que lo hacen Cediél et al. (2003), donde nombran el Sistema de Fallas de Oca-El Pilar, y asumen su creación en el Triásico tardío como límite norte de la Placa de Suramérica, y el inicio en el Eoceno como falla de rumbo asociado al movimiento de la placa del Caribe, generando magmatismo en la parte norte de la Falla.

Sistema de Fallas de Perijá

Corresponde a fallas de orientación NE-SW, algunas de tipo sinistral. En el Centro y Oriente de la Serranía de Perijá, se resaltan dos Fallas sinestrales que pudieron estar conectadas al mismo sistema y condicionaron los espesores del Paleoceno (La Falla de Perijá, al este de la Subcuenca de Cesar, y la Falla del Tigre, al noroeste de la cuenca de Maracaibo). La Falla de Perijá (Figs. 1.1 y 1.2) tiene gran importancia en el desarrollo de la cocina de hidrocarburos en la subcuenca de Cesar (ver capítulo 5 de este trabajo).

En el occidente del Perijá, las fallas corresponden a sistemas imbricados con transporte tectónico hacia el occidente e involucran basamento pre-Jurásico, marcando el límite de depósito de la Formación Río Negro (Chajín & Martínez, 2008). Autores como Ecopetrol (1998) y Chajín & Martínez (2008) asocian los diferentes sinclinales y anticlinales de la subcuenca de Cesar como producto de los sistemas de corrimientos más occidentales, con despegues de bajo ángulo dentro de la Formación Molino. Dentro de este sistema de corrimientos que afectan la subcuenca de Cesar se encontrarían así los sistemas de Fallas de Cesar, El Hatillo, Arenas Blancas, entre otros (Fig. 1.2). Ecopetrol (1998) también indica que estas fallas son inversas con despegues profundos. Drummond (2005) asocia estas fallas a movimientos transpresivos, que permiten tener comportamientos inversos y de rumbo (estructuras en flor). En la parte norte, cerca de la Mina de Cerrejón y del Pozo El Molino-1X, se encuentra la Falla de Cerrejón, la cual es una falla de cabalgamiento de bajo ángulo que inició su actividad en el Oligoceno y en el Plioceno tuvo su máximo acortamiento (hasta 14 Km, según Intera-Bioss, 1995). El comportamiento de esta falla hace que el área de Ranchería sea mucho más estrecha que el área de Cesar, con un acortamiento estimado de 9% frente a 3% en la subcuenca de Cesar (Intera-Bioss, 1995).

Alto de Verdesia

En la actualidad este alto es un anticlinal limitado por las Fallas de Cesar y su retrocabalgamiento (Fig. 1.2), que permite el afloramiento de unidades del Jurásico y Cretácico en el centro de la Cuenca Cesar-Ranchería, donde predominan los afloramientos del Cenozoico. Según Intera-Bioss, el Alto de Verdesia fue producido en el Oligoceno temprano debido a la inversión de fallas normales y formación de anticlinales asociados a los bloques colgantes. Según Ecopetrol (1998) este alto está presente desde el post-Jurásico y corresponde a un paleo-horst. En este trabajo se encontró un basculamiento de la cuenca desde el Maastrichtiano que indica una zona más levantada hacia el alto de Verdesia, y un levantamiento importante a partir del Eoceno Tardío. La línea E-E' presentada en la Fig. 4.5 muestra una tendencia de los estratos del Oligoceno a desaparecer hacia el alto de Verdesia y a engrosarse hacia el SW, con los estratos del cretácico muy homogéneos (indicando un levantamiento en el Eoceno Tardío y posterior acumulación del Oligoceno en una superficie deformada). No se observa un onlap evidente en el Cretácico inferior.

El mencionado Alto de Valledupar, que divide las subcuencas Cesar y Rancheria según ICP (1990), no ha sido descrito por ningún autor como elemento estructural independiente. En este estudio, a falta de datos hacia la parte norte de la subcuenca de Cesar, se considera el Alto de Valledupar como la terminación norte del Anticlinal de Verdesia, sin descartar que existan otros sistemas de fallas asociados y sean en realidad dos altos diferentes.

Sinclinal de la Loma

El Sinclinal de La Loma (Fig. 1.2) es una estructura de rumbo NE-SW, que se profundiza hacia el SW y permite la acumulación de grandes espesores de depósitos de edad Oligoceno a Reciente. Se encuentra limitado por dos sistemas de fallas con el mismo rumbo: El Sistema de Fallas del Hatillo hacia el Oeste y el "Sistema de Fallas del Tigre" hacia el Este (este último es un nombre usado en minería para la Falla que limita la estructura de Boquerón, pero no guarda relación con la Falla del Tigre que se encuentra en el Perijá venezolano). Estas fallas parecen ser sistemas de cabalgamiento aunque Drummond (2005) enfatiza que el comportamiento de las fallas varía de inversa a normal en las terminaciones norte y sur, sugiriendo componentes de rumbo. Dentro de este sinclinal se perforaron los pozos El Paso-2 y 3, y constituyen las áreas donde el Cretácico se encuentra más profundo en la cuenca actualmente.

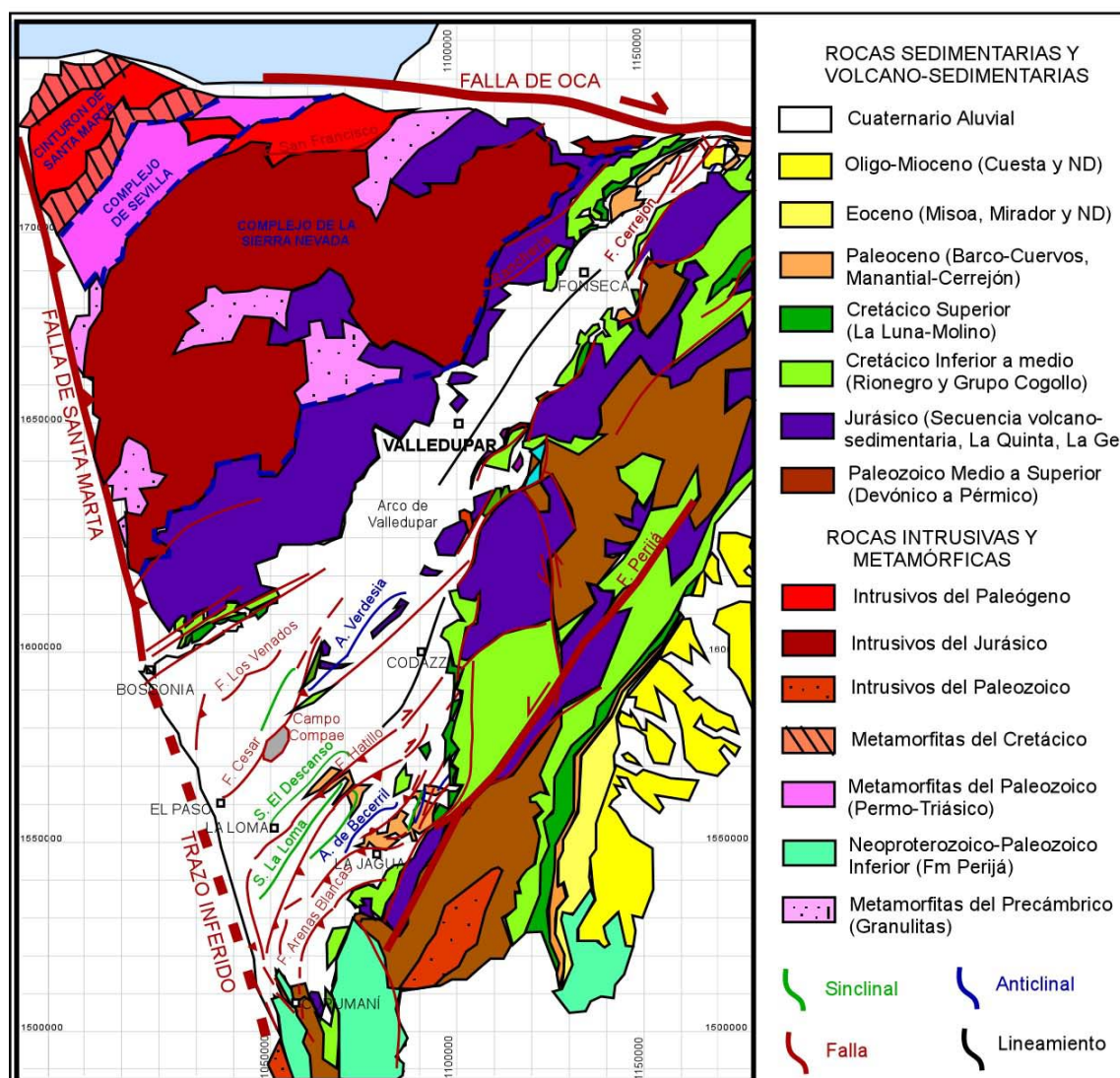


Figura 1.2. Mapa Geológico Generalizado del área de estudio. Nótese la orientación predominante de las estructuras NE-SW. En una línea más gruesa se resaltan las Fallas mayores (Santa Marta, Oca y Perijá). La ubicación concreta de las fallas transicionales entre Santa Marta y Bucaramanga no se puso debido a que se necesita una integración de líneas sísmicas de Cesar y VIM.

Sinclinal del Descanso

Este Sinclinal constituye un área importante dentro de la exploración minera porque contiene las mayores reservas probadas de carbón para explotación a cielo abierto en toda la subcuenca de Cesar. Se encuentra al oeste del sinclinal de La Loma y corresponde a un sinclinal asimétrico cuyo flanco este se encuentra limitado por el Sistema de Fallas del Hatillo. (Ver Fig.1.2 para localización).

Anticlinal de Becerril

El anticlinal de Becerril (Fig. 1.2) se considera un pliegue por propagación de falla relacionado al Sistema de Fallas de Perijá, y expone en superficie las formaciones La Luna y Aguas Blancas (Chajín & Martínez, 2008).

1.1.2. ETAPAS DE EVOLUCIÓN DE LA CUENCA

La evolución de la cuenca Cesar-Ranchería se puede resumir en las siguientes fases:

Primera Fase: Margen Pasivo I (Paleozoico)

Durante este periodo de Margen Pasivo se depositaron sedimentos marinos someros, en ciclos limitados por discordancias, que inician con conglomerados, areniscas y lutitas y culminan con calizas. Las discordancias se asocian a pulsos orogénicos: el primero ocurrido durante el Ordovícico-Silúrico (que metamorfiza la Formación Perijá, y que es correlativo con diferentes unidades en los Andes Suramericanos, desde Mérida hasta Argentina; según García et al., 2005), el otro en el Carbonífero inferior, y el otro en el Pérmico inferior. Todos estos eventos traen consigo el emplazamiento de plutones ácidos en diferentes localidades del norte de Suramérica.

Segunda Fase: Margen compresivo I (Permico Superior-Triásico)

Durante el Pérmico Superior y el Triásico no existe registro sedimentario en la Cuenca Cesar-Ranchería, pero sí intensa actividad magmática y metamorfismo de unidades de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Cordillera Central. Este estilo compresivo, el cual se asocia a la orogénesis Hercínica, es el responsable de la formación de Pangea.

Tercera Fase: Etapa de Rift (Jurásico)

Desde el Jurásico Inferior (aproximadamente 200 Ma) se inicia la separación de Pangea. En este periodo se genera en la cuenca un extenso registro volcánico-sedimentario debido a que en el área de Perijá se desarrolla un rift continental. Las fallas de basamento que constituyen el Rift se vuelven zonas de debilidad en etapas compresivas posteriores, y por esto muchas de las estructuras encontradas en la subcuenca Cesar tienen fallas de alto ángulo. Estas características prevalecen hasta finales del Jurásico cuando la extensión es suficiente para generar una dorsal

oceánica entre Norteamérica y Suramérica e iniciar condiciones de margen pasivo. Las formaciones del Cretácico basal corresponden al relleno post-rift (formaciones Río Negro y Lagunitas) que se caracterizan por presentar diferencias de espesor considerables arealmente, y una clara transición de ambientes continentales a una plataforma estable de carbonatos ocurrida durante el Aptiano (ver capítulo 2 para más detalles de estas formaciones).

Cuarta Fase: Cuenca de Back-arc (Aptiano-Maastrichtiano)

Durante el Cretácico se conectan las cuencas de la esquina noroeste de Suramérica, aunque hacia los Valles de Magdalena y Cesar tienden a existir mas carbonatos y hacia los Llanos Orientales y Catatumbo mas siliciclásticos por su proximidad con el Escudo Guayanés, principal fuente de aporte durante el Cretácico. Cooper et al. (1995) asumen este intervalo de tiempo dentro de un sistema de back-arc, que explicaría el magmatismo Albiano-Cenomaniano observado en la Serranía de San Lucas (Clavijo et al., 2008) y Cordillera Central (Ibañez et al., 2007). En esta etapa de la cuenca se depositan las principales rocas generadoras de hidrocarburos (como es el caso de la Formación La Luna) debido al elevado nivel global del mar y a la presencia de ambientes marinos, que favoreció la combinación de anoxia y presencia de materia orgánica en el medio.

Quinta Fase: Margen compresivo II (Maastrichtiano Tardío-Eoceno)

Es de anotar que durante el Cretácico la parte norte del Valle Medio del Magdalena y la Cuenca Cesar-Ranchería se encontraban conectadas, pero el Paleoceno (Formación Lisama) se encuentra erosionado en la parte norte del Valle Medio del Magdalena, mientras que en la subcuenca de Cesar se hace muy espeso. Esto implica la presencia de un elemento levantado en la parte norte de la Cordillera Central. En el área de Ranchería, Bayona et al. (2007) explican la presencia de espesos paquetes de la Formación Cerrejón como resultado del basculamiento de la SNSM. En el Suroeste de la Subcuenca de Cesar se observa una serie de fallas inversas de alto ángulo que involucran el basamento Jurásico, tal como lo sugieren las interpretaciones sísmicas de Ujueta (2005) y Mora & García (2006). Más detalles de la configuración de la cuenca y eventos tectónicos para este intervalo de tiempo se encuentran en el Capítulo 4 del presente trabajo.

La presencia de un elemento tectónico hacia el Oeste se manifiesta con fuerza en el Paleoceno Tardío, durante el tiempo de depósito de la Formación Cuervos (ver Capítulos 2 y 4 del presente trabajo). Sin embargo, se asume el inicio de esta etapa de inversión tectónica desde el Maastrichtiano porque durante este periodo ocurre la acreción de la Cordillera Occidental de Colombia, y este evento compresivo es el que inicia las fases de deformación de la Cordillera Central. Para este mismo intervalo de tiempo, Cooper et al. (1995) asumen un foreland temprano con una carga tectónica procedente de la Cordillera Central en el centro del País.

Cuenca Intramontana (Eoceno Tardío-reciente)

Mientras en los Llanos Orientales de Colombia se genera una cuenca foreland por el levantamiento de la Cordillera Oriental, en la Cuenca Cesar-Ranchería se desarrolla un sistema en donde ocurren levantamientos a lado y lado de la cuenca, como sucede en el Valle del Magdalena. Durante este intervalo de tiempo se produce la mayor deformación de la cuenca debido a los corrimientos ocurridos en la Serranía de Perijá, y se depositan predominantemente unidades clásticas grueso-granulares de carácter sintectónico.

1.2. ESTRATIGRAFIA

Con el fin de entender el desarrollo de la subcuenca de Cesar y el origen de los clastos encontrados en las unidades del Paleogeno y Neogeno se hará una breve descripción litológica de las formaciones aflorantes sus edades.

En el área de estudio afloran unidades que van desde el Proterozoico hasta el Reciente, como resultado de los complejos eventos tectónicos, los cuales generaron variedad de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas (Ver Figs. 1.3 y 1.4).

1.2.1. PRECAMBRICO

Cinturón Metamórfico de la Sierra Nevada (Mesoproterozoico)

Maya (2001) agrupa dentro de este cinturón un conjunto de rocas metamórficas de presión media en facies granulita, que afloran en zonas de la parte central y oriental de la SNSM (Fig.

1.2.). Estas rocas han sido descritas como Granulitas de los Mangos (Tschanz et al., 1974) y localmente como Gneis de Dibulla (MacDonald & Hurley, 1969).

La edad de este conjunto ha sido datada con numerosos métodos. Para la Granulita de los Mangos se han obtenido dataciones U/Pb de 1.5 Ga y entre 1.0 y 1.3 para los eventos tardíos de cristalización (Cardona et al, 2006; Cordani et al, 2005; Ordoñez et al, 2006; Restrepo et al, 1997). En el gneis de Dibulla se han reportado edades Rb-Sr en roca total de 1.3 Ga (MacDonald & Hurley, 1969).

Este cinturón se interpreta como un producto del evento de acreción Greenvilliano, que generó el Supercontinente de Rodinia por colisión de Amazonia, Laurentia y Báltica, y que conforma el basamento de la SNSM, el Macizo de Garzón, la Serranía de la Macarena y el Macizo de Santander (Restrepo et al., 1997; López Ramos, 2005; Cardona et al., 2006).

LITOLOGÍA	MINERALES
Granulitas Cuarzo-Pertíticas	Cuarzo y Oligoclasa
Granulitas Intermedias	Anfíboles Verdes
Granulitas Máficas	Biotita Café, Hornblenda, Piroxeno, Andesina, Apatito y escasos granates
Granulitas Calcáreas y Mármoles wollastoníticos y olivínicos	Calcita, Diópsido, Plagioclasa alterada (albita-Clinozoisita-Clorita), esfena
Granulitas Ultramáficas	Ilmenita, epidota, hornblenda azulosa, esfena, labradorita y abundantes minerales máficos y ultramáficos
Granulitas granatíferas	Almandino color rosa pálido (poco común en las otras granulitas)
Anortositas gnéisicas (Anortosita de Sevilla)	Granate rojo, plagioclasa de tipo labradorita a oligoclasa

Tabla 1.1. Litologías predominantes en el Cinturón Metamórfico de la Sierra Nevada. Datos tomados de Maya (2001).

1.2.2. PALEOZOICO

Formación Perijá (Neoproterozoico-Ordovícico?)

Definida originalmente por Liddle, Harris & Wells (1943) como Serie de Perijá hasta que Bowen (1972) la eleva al rango de Formación. El afloramiento más completo de la secuencia Paleozoica que incluye rocas del Devónico suprayaciendo discordantemente filitas y cuarcitas de posible edad Neoproterozoico a Cámbrico se encuentra en el área de Manaure, al este de Valledupar, en el límite entre los departamentos de Cesar y Guajira (Fig. 1.2.). En esta región, Forero (1970) reconoce tres tipos litológicos, a los cuales les asigna una edad tentativa cambro-ordovícica:

- Filitas de color gris oscuro a violeta, con enriquecimiento de clorita y sericita en los planos de estratificación, y de origen pelítico. Se encuentran en la base de la unidad.
- Cuarcitas blancas muy duras que se encuentran hacia la parte media de la unidad. El contacto con las filitas es concordante y se asocia a un banco de arenisca ferruginosa.
- Meta-arcosas de grano grueso a conglomeráticas y filitas cuarzosas, que se encuentran hacia el tope de la unidad.

El espesor medido en la sección de Manaure es de 530 m: 300 para el conjunto inferior, 80 para las cuarcitas y 150 para las meta-arcosas. Forero (1970) lo correlaciona con la Serie de Quetame en el Macizo de Garzón. Un aspecto interesante es que este mismo autor asume la correlación teniendo un aumento en el grado de metamorfismo de este a oeste, y conecta todo un sistema de edad pre-devónico que abarca La Serranía de la Macarena, parte de la Cordillera Central, El Macizo de Garzón y la Serranía de Perijá. Esto indica que la Formación Perijá se podría asociar al mismo evento de metamorfismo observado en los Paraneises de afinidad gondwánica reportados por Cardona et al. (2006) con edades de 614-429 Ma en el cinturón de Sevilla de la SNSM, y también se tendría el mismo aumento de grado metamórfico de este a oeste. Cardona et al. (2006) correlacionan los paraneises con el Terreno Caucagua-Tinaco de la Cordillera de la Costa. En el Macizo de Santander también se encuentra un Floresta Metamorfoseado con edades de cristalización U/Pb en circones de 477 Ma (Restrepo, 1995 en: Maya, 2001) e intrusiones de edades 417 y 392 Ma (ortoneis de Pamplona, Banks et al., 1985)

El metamorfismo de esta unidad se asociaría así al evento de Formación de Gondwana, ocurrido entre el Neoproterozoico y el Ordovícico (este último evento se asocia a la orogénesis Caparoensis o Caledónica), que afectó toda la esquina noroccidental de Suramérica (Cardona et al., 2006).

Grupo Río Cachirí (Devónico)

Definido por Liddle (1928, en: PDVSA, 2008) como Serie del Río Cachirí, aflorante en el este de la Serranía de Perijá en territorio Venezolano, con un espesor total de 2438 m. El grupo consiste principalmente de lutitas color negro, gris y rojo, areniscas grises micáceas, areniscas cuarcíticas y calizas de color rojo, gris azulado y negruzco. Liddle et al. (1943), describe el grupo compuesto por tres formaciones: Formación Caño Grande, Formación Caño del Oeste y Formación Campo Chico. Posteriormente, Bowen (1972), define una cuarta formación a la cual denomina Formación Los Guineos en la base del grupo, aunque no aflora continua con el resto del Grupo, pero por su edad Devónico inferior y por la presencia del conglomerado basal se asume que está en la base del Grupo.

En Colombia se encuentra bien representado en la sección de Manaure (Forero, 1980), con un espesor de 1100 m. El contacto entre estas rocas devónicas y la Formación Perijá es una discordancia angular (Forero, 1970), que se caracteriza por un conglomerado basal de unos 3 a 5 m de espesor compuesto de clastos de cuarcitas (CoD1, Forero, 1970). El resto de la unidad es muy similar litológicamente al encontrado en territorio venezolano, consistiendo en una alternancia de areniscas y lutitas arenosas (CoD2-areniscas ferruginosas, CoD3-areniscas y lutitas, CoD4-lutita calcárea arenosa; según Forero, 1970). También afloran en los alrededores de Pailitas y Curumaní, siempre hacia el este de la cuenca, cerca de la Serranía del Perijá. No hay reportes de pozos que hayan perforado esta unidad.

La abundante fauna marina encontrada en este Grupo (corales, briozoos, braquiópodos, crinoideos) permite datar la unidad Devónico Inferior a Superior, y es correlacionable con las rocas marinas del Devónico observadas en los Macizos de Santander-Floresta y Quetame, en

donde también se observa una discordancia angular con las rocas pre-devónicas, indicando un periodo orogénico previo al margen pasivo que caracterizó los sedimentos del Devónico acumulados durante la formación de un mar epicontinental en lo que hoy constituye la Cordillera Oriental Colombiana.

Rocas del Carbonífero (Pensilvaniano)

Forero (1970) define un paquete de rocas de edad Carbonífero compuesto de bancos gruesos de arenas rojizas sobre un conglomerado basal, suprayacido por margas y calizas color gris oscuro con intercalaciones de arcillas rojas. En las calizas se encuentran abundantes braquiópodos y bivalvos que permitieron datar la unidad en el Pensilvaniano. El espesor total de la unidad es de 300 m, aunque cabe anotar que sus contactos inferior y superior son discordantes. En la memoria explicativa de la Plancha Geológica del Cesar (Arias & Morales, 1999) y de la plancha 48-La Jagua de Ibirico (Hernandez, 2003) se incluyen estas rocas del Carbonífero y la Formación Manaure dentro del Grupo Cachirí. Sin embargo, esta consideración es errónea si se tiene en cuenta que entre los sedimentos propiamente del Devónico y los del Carbonífero existe una discordancia que elimina todo el registro del Misisipiense, y que la definición original en territorio venezolano correspondía solamente a las rocas del Devónico.

Estas rocas se correlacionan con la Formación Mucuchachí en los Andes de Mérida, unidad compuesta por filitas de color negro a gris verdoso con pirita y areniscas blancas cuarzosas, con un espesor entre 3000 y 4500 m (PDVSA, 2008).

A pesar de que se sigue observando la presencia de un mar epicontinental que abarcó todo el Paleozoico medio-superior en el noroeste suramericano y tuvo su retroceso durante el Pérmico Superior, se resalta el evento orogénico durante el Devónico Superior-Carbonífero inferior, que dio como resultado intrusiones graníticas de 350-390 Ma en el área de Mérida (Bukley, 1976 en: González de Juana et al., 1980).

Formación Manaure (Pérmico)

Originalmente nombrada por Trumpy (1943 en: Intera-Bioss, 1995). En la base presenta un conglomerado de 15 m de espesor compuesto de clastos de areniscas rojas y calizas dentro de una matriz de arenisca calcárea rojiza de grano fino. Sobre estos conglomerados yacen areniscas de color café oscuro, calizas silicificadas, y margas arenosas de 40 m de espesor. En la parte superior de la Formación, se encuentra una caliza fosilífera con delgadas intercalaciones de areniscas calcáreas y limolitas verdosas. Trumpy (1943 en: Intera-Bioss, 1995) recolectó abundante fauna de las calizas obteniendo una edad Pérmico.

El espesor medido en la región de Manaure es de 800 m, y sus contactos inferior y superior son discordantes (Forero, 1970).

Se correlaciona con la Formación Palmarito en Venezuela, que aflora en la parte occidental y suroriental del Lago de Maracaibo. Esta Formación presenta las mismas características litológicas de la Formación Manaure, con calizas de crinoideos hacia el tope que permitieron datar la unidad en el Carbonífero a Pérmico medio.

Complejo Metamórfico de Sevilla (Pérmico-Triásico temprano)

Esta unidad aflora en la parte noroccidental de la SNSM, al norte del lineamiento de Sevilla. Está compuesta por neises de plagioclasa-hornblenda, anfíbolitas, migmatitas, neises hornbléndicos y biotítico-hornbléndicos, mármoles diopsídicos en la facies anfíbolita y esquisto verde. En esta unidad se encuentran El Neis de Buritaca, Neis de los Muchachitos, la unidad informal Metamorfitas no diferenciadas (Tschanz et al., 1969) y el Neis de Don Diego (MacDonald & Hurley, 1969). La edad de este complejo se considera Pérmico por dataciones U/Pb en intrusivos asociados al complejo realizadas por Cardona et al. (2006) de 250-280 Ma, y por una datación K/Ar de 250 Ma en el Neis de Don Diego (MacDonald & Hurley, 1969). Este evento puede estar asociado a la Formación de Pangea, durante el Pérmico Tardío.

1.2.3. TRIÁSICO-JURÁSICO

Secuencia Volcano-sedimentaria de la Sierra Nevada de Santa Marta (Jurásico Temprano a Medio)

Esta unidad está compuesta por limolitas volcanogénicas, rocas volcánicas, grawacas rojas, tobas, brechas, basaltos, cuarcitas y mármoles. Afloran en el centro y oriente de la SNSM. Se han obtenido edades U/Pb en circones entre 175 y 192 Ma para estas rocas, posicionando la unidad entre el Jurásico Temprano a Medio. Ni el espesor ni los contactos se mencionan en los informes revisados. Hacia el área de la Paz, cerca del Perijá se han encontrado también intrusivos graníticos con edades K/Ar de 198 Ma, correlacionables con el mismo evento magmático (Intera-Bioss, 1995).

Grupo La Ge (Jurásico Temprano a Medio)

Este grupo aflora en la parte oriental de la Serranía de Perijá, y se compone de las formaciones Tinacoa y Macoíta. La primera, de 1600 m de espesor, consiste de tobas vítreas, lodolitas y areniscas tobáceas, y calizas localmente silicificadas por la presencia de intercalaciones piroclásticas. La segunda, de 2350 m de espesor en su localidad tipo, se define como una unidad de lutitas y limolitas calcáreas color gris aceituna, intercaladas con grawacas y tobas líticas (González de Juana et al., 1980). Lateralmente la Formación Tinacoa grada a las rocas volcánicas de la Ge, que consisten en tobas y aglomerados volcánicos color gris verdoso.

A pesar de que esta unidad aflora sólo en el flanco oriental de la Serranía de Perijá se incluye por su similitud con la secuencia volcano-sedimentaria de la Sierra Nevada de Santa Marta, lo que indica que probablemente en el basamento de la cuenca Cesar-Ranchería se tengan litologías similares aunque los pozos perforados han llegado sólo hasta la Formación La Quinta, la cual en el área Río Macoíta suprayace transicionalmente a la Formación Macoíta, pero en otras localidades presenta una relación discordante (González de Juana et al., 1980).

Formación La Quinta (Jurásico Tardío-Cretácico más Temprano)

Unidad designada por Kunding (1938, en: PDVSA, 2008) para definir una secuencia de sedimentos rojos que afloran en el área del Perijá y Occidente Venezolano. En la Quebrada la Ge (Serranía de Perijá oriental), esta unidad presenta 800 m de arcosas color marrón a rojo oscuro con restos vegetales y algunas intercalaciones tobáceas, seguidas de 100 m de basaltos-andesitas, conglomerados tobáceos y areniscas verdosas, y 700-800 m de arcosas de grano grueso y conglomerados color rojo a marrón oscuro, y cenizas volcánicas de color rosado. El contenido de volcánicos es mucho mayor en la parte norte que en el sur. En el noreste (Edo. Trujillo, Venezuela) tampoco se encuentran volcánicos. El espesor de esta unidad es muy variable, y se calcula que en el área de Manaure puede alcanzar entre 2700 y 3000 m (Arias & Morales, 1999), mientras que hacia el sur no se ha calculado por la presencia de fallas. En la localidad tipo tiene 1610 m (González de Juana et al., 1980).

Maze (1984) obtuvo edades U/Pb en circones de 140-160 Ma en el área del Perijá, posicionándola en el Jurásico Tardío. Esta unidad se correlaciona con las secuencias continentales rojizas del Valle Medio del Magdalena y la Cordillera Oriental (Formación Girón) en el área de Santander y Boyacá. El ambiente es muy similar en toda esta franja, y se asocia con los sedimentos continentales y lacustres depositados durante el rifting causado por la separación de Pangea en el Jurásico. El adelgazamiento de la corteza continental ocasiona el magmatismo basáltico observado en la parte media de la secuencia, y la abundancia de Hierro proveniente del magmatismo en este ambiente continental permite la precipitación de hematita, generando el color característico de los estratos jurásicos. La acumulación coetánea con la extensión explica los cambios de espesor y la presencia de intercalaciones tobáceas en la unidad.

1.2.4. CRETÁCICO

Formación Río Negro (Barremiano-Aptiano?)

Esta unidad que conforma el Cretácico basal de la cuenca aflora en diferentes puntos ubicados en los bordes de la Cuenca Cesar-Ranchería y Perijá: Manaure, Curumaní, al Suroriente de Casacará, nororiente de Becerril, al oriente de Poponte y en Rincon Hondo, entre otros. Hacia

el occidente el espesor de esta Formación se reduce hasta tener en el área de Bosconia sólo unos pocos metros de conglomerado basal entre las formaciones La Quinta y Lagunitas. Hacia el norte, en la subcuenca de Ranchería, los pozos perforados no encontraron esta Formación, sino que las calizas del cretácico yacen directamente sobre la Formación La Quinta (Papayal-1, Cerrejón-1 y Molino-1X. Datos tomados de Intera-Bioss, 1995). En el área de Maracaibo también se encuentra la Formación Río Negro, la cual se adelgaza hasta desaparecer en el área de Barinas.

La unidad se compone de litoarenitas y arcosas de grano grueso a conglomeráticas, a veces rojizas por la presencia de óxidos de hierro, con delgadas intercalaciones de limolitas arenosas. Según Intera-Bioss (1995), los conglomerados presentan clastos de granulitas, rocas félsicas, areniscas rojas y cuarzo lechoso. En la fase de campo realizada sólo se observaron las areniscas que mostraban una buena cementación y colores rojizos, y en la zona de Bosconia donde el conglomerado es de unos pocos metros se observaba de color muy rojo por la presencia de clastos de la Formación La Quinta. ICP (2001) reporta que el componente principal de las areniscas de la Formación Río Negro corresponde a líticos volcánicos y sedimentarios provenientes de la Formación La Quinta, y hacia la Sierra Nevada de Santa Marta reporta cemento calcáreo, mientras que hacia el Perijá predomina la matriz arcillosa.

La variación en los espesores, que coincide con los ejes de los depósitos de rift en donde se tiene la mayor actividad volcánica, permite definir esta unidad como un depósito continental producto del relleno de una fase post-rift, cuya fuente de aporte principal son los mismos bordes del rift donde se depositan las formaciones del Jurásico. Unidades de clásticos basales que definen el inicio de la transgresión cretácica se observan prácticamente en toda esta parte norte de Suramérica: La Formación Tambor, en el Valle Medio del Magdalena, la base de la Formación Tibasosa, en la Cordillera Oriental, y los clásticos basales de la Cuenca de Maracaibo. Todos suprayacidos por unidades con predominio de carbonatos. El espesor más grande reportado para esta Formación se localiza en el surco de Machiques, con 1500 m. En el área del Cesar el espesor más grande se reportó en el pozo Cesar A1X con 200 m.

Formación Lagunitas (Aptiano-Albiano)

La Formación Lagunitas hace parte del Grupo Cogollo, el cual agrupa las formaciones calcáreas previas al depósito de la Formación La Luna. Se caracteriza por un predominio de calizas fosilíferas en bancos potentes con delgadas intercalaciones arcillosas. Hacia la base el contacto es transicional y en algunas localidades presenta areniscas calcáreas. En el área de Bosconia se observó hacia la base un desarrollo de cuerpos biohermales de algas sobre los conglomerados basales. Intera-Bioss (1995) manifiesta que en la subcuenca de Ranchería el aporte detrítico es mayor que en la subcuenca de Cesar. En el área de las Mercedes, subcuenca de Ranchería, también se encontraron niveles dolomíticos, indicando condiciones someras de alta salinidad (ICP, 2001).

En la localidad tipo tiene un espesor de 180 m (Intera-Bioss, 1995), aunque en promedio esta Formación está en 300-350 m para el centro y norte de la cuenca Cesar-Ranchería y 200 m para el oeste de la subcuenca del Cesar. Esta variación también se interpreta como producto del relleno post-rift. Se correlaciona con la Formación Rosa Blanca en el Valle Medio del Magdalena y Tibú en la cuenca de Maracaibo.

Formación Aguas Blancas (Aptiano Tardío-Cenomaniano)

La Formación Aguas Blancas, definida por Haught et al. (1945, en: Intera-Bioss, 1995), presenta una gran variación litológica, no sólo en la columna estratigráfica sino lateralmente, y esto se explica con la mezcla de fuentes de aporte terrígenas hacia el sureste, arcillas hacia el suroeste y carbonatos hacia el noreste (ver mapa paleogeográfico-capítulo de análisis estratigráfico). Esto hace que en la subcuenca de Ranchería la Formación Aguas Blancas no tenga las características litológicas distintivas y no sea fácil diferenciarla de Lagunitas, por lo cual muchos autores consideran el Grupo Cogollo completo sin hacer diferencias, al igual que en el Lago de Maracaibo. En la subcuenca de Cesar se reconocen tres Miembros para esta Formación:

- El Miembro Animas, compuesto por biomicritas negras intercaladas con lutitas carbonosas fosilíferas, de plataforma media a externa.

- El Miembro Tocuy, compuesto por lutitas negras que hacia el tope presentan intercalaciones de areniscas glauconíticas y calizas arenosas. Se caracteriza por el bajo porcentaje de carbonatos, rasgo poco común en toda la secuencia cretácica de la Cuenca Cesar-Ranchería.
- El Miembro Maracas, también conocido como Miembro Guayacán en el área de Catatumbo, que presenta biomicritas negras con abundante bitumen y olor fétido. Este Miembro es muy difícil de diferenciar de la Formación La Luna en corazones, muestras de mano y afloramiento, pero en registros eléctricos se reconoce por un decrecimiento en la resistividad con respecto a la Formación suprayacente.

En este trabajo se observó que el espesor de cada miembro depende de su ubicación dentro de la cuenca, y que los miembros Animas y Tocuy presentan una variación lateral y se interdigitan, siendo más espeso el Miembro Animas hacia el sureste de la Cuenca, y el Tocuy hacia el centro y oeste. La variación a nivel estratigráfico se debe a cambios relativos en el nivel del mar. Durante el depósito del Miembro Tocuy se observa una somerización relativa, luego del periodo anóxico del Aptiano, y anterior al siguiente periodo anóxico del Cenomaniano-Turoniano.

En total la Formación tiene en promedio de 320 a 390 m. Espesores mayores en general se presentan por repeticiones asociadas a fallas inversas, como en el caso de los pozos Cesar F1X y Cesar A1X. Siempre se había considerado de edad Aptiano Tardío-Albiano Tardío, pero en datos bioestratigráficos obtenidos por ICP (2001) y en el pozo Verdesia-1 (Drummond, 2008a) se amplió el rango al Cenomaniano.

Formación La Luna (Turoniano-Coniaciano)

La Formación La Luna, definida por Herberg & Sass (1937, en: PDVSA, 2008) en el flanco oriental de la Serranía de Perijá, representa la unidad con mayor interés y estudio en el análisis de sistemas petroleros en toda la cuenca, dado su alto potencial como roca generadora, comparable con rocas generadoras de clase mundial como la Formación Kimmeridge del

Jurásico Superior en el Mar del Norte, y es responsable de la generación de grandes volúmenes de hidrocarburos concentrados en el Lago de Maracaibo.

Esta Formación consta de biomicritas negras y lutitas calcáreas, muy bituminosas y con olor fétido, con locales intercalaciones de "chert" que en realidad son biomicritas silicificadas por eventos diagenéticos (aun no se ha definido si estos eventos son tempranos por disolución de radiolarios o si son durante el enterramiento por migración de fluidos, pero sí son previos a la migración de hidrocarburos porque se ve relleno de bitumen entre los cristales de chert).

En la región de Trujillo se reconocen tres miembros principales: La Aguada, Chejendé y Timbetes, de acuerdo al contenido de concreciones y arcillolitas. En la subcuenca de Cesar la Formación parece ser muy uniforme al igual que en el área del Tablazo en el Valle Medio del Magdalena, donde se localiza la sección referencia de Colombia (Bernal, 2008). Los espesores promedio se agrupan en dos tendencias: 100 m hacia el este de la subcuenca de Cesar y Lago de Maracaibo, y 200-300 m en el norte del Lago de Maracaibo y en el Valle Medio del Magdalena. Este salto en los espesores se interpreta como una plataforma de carbonatos inundada (Elrich et al., 2003).

En los análisis bioestratigráficos de la Cuenca Cesar-Ranchería no se ha reportado Santoniano, y los análisis bioestratigráficos del Pozo Molino-1 (subcuenca Ranchería) indican un hiato, pero Ford & Houbolt (1963, en: PDVSA, 2008) reportaron amonitas del Santoniano en el Perijá Oriental, por lo cual no se descarta que sí exista en la cuenca, ya que los datos de bioestratigrafía consultados en la subcuenca de Cesar corresponden a muestras puntuales y no a un control detallado de una sección completa.

El Miembro Tres Esquinas, caracterizado por una abundancia de fosfatos y glauconita y con unos pocos metros de espesor hacia el tope de la Formación La Luna, se considera en la subcuenca del Cesar como parte del Miembro Socuy de la Formación Molino, pero al parecer tienen las mismas características: mayor oxigenación que la Formación Infrayacente, presencia de fosfatos y agregados de pellets glauconíticos. Este depósito se asocia con un evento de marea roja asociado a corrientes de "upwelling". En los pozos Verdesia-2E y La Luna-3E este

conjunto tiene 3 m aproximadamente. La muestra bioestratigráfica tomada en el pozo Verdesia-2E unos metros por encima de esta zona dio como resultado Coniaciano Medio (Drummond, 2008b), una edad inferior a la reportada para el Miembro Tres Esquinas en el área de Venezuela, al cual le asignan una edad Campaniano (PDVSA, 2008). Elrich et al. (2000) amplían el rango de este Miembro al Santoniano.

A nivel global durante el Turoniano-Coniaciano existió un alto nivel del mar, que sumado a las barreras paleogeográficas locales (arcos de islas al occidente Colombiano y el arco de Mérida hacia el Suroriente del Lago de Maracaibo) favorecieron la anoxia de la cuenca, y permitió el depósito de toda una franja de rocas con altos contenidos de materia orgánica que rodea la esquina noroeste de Suramérica, y se puede seguir desde el oriente Venezolano hasta El norte de Perú (en todo esta franja se encuentran rocas generadoras como las formaciones Querecual en el Oriente Venezolano, La Luna en Colombia y Venezuela Occidental, Chipaque en Colombia, y Celendín en el Norte de Perú).

Formación Molino (Campaniano-Maastrichtiano)

La Formación Molino en la Cuenca Cesar-Ranchería está caracterizada por dos unidades litológicas perfectamente diferenciables y trancisionales: Un Miembro inferior (Miembro Socuy), compuesto por biomicritas a lutitas calcáreas, y un Miembro superior, muy espeso, que se compone de lutitas color gris oscuro, y que hacia el tope presenta intercalaciones arenosas, cerca del contacto con la Formación Barco.

En general se considera que esta Formación se depositó durante el Campaniano-Maastrichtiano tardío, aunque en el Pozo El Molino-1X el tope de esta Formación representa el Daniano (Intera-Bioss, 1995). El espesor promedio de esta Formación varía entre 500 y 600 m, y sólo se conocen algunos afloramientos en la subcuenca de Ranchería. En la subcuenca de Cesar sólo se encuentra en el subsuelo.

Esta unidad es correlativa con las formaciones Colón y Mito Juan en Maracaibo y Catatumbo, y con la Formación Umir en el Valle Medio del Magdalena. Sus características litológicas son muy similares, mostrando una conexión uniforme en toda esta zona.

1.2.5. PALEÓGENO

Formación Barco (Paleoceno Temprano a Medio)

La Formación Barco fue definida originalmente por Nortestein et al. (1944) en el área de la concesión Barco en la cuenca de Catatumbo. Esta Formación está compuesta principalmente de areniscas líticas a sublíticas con predominio de clastos metamórficos, lutitas y limolitas. Ocasionalmente se presentan delgados mantos de carbón arcilloso. En la subcuenca de Cesar se presenta una subdivisión de esta Formación, que se atribuye a un límite de secuencia (Mora et al., 2005) y que petrográficamente se observa como un rejuvenecimiento en las areniscas, y un aumento en el contenido de cuarzo, además de concentraciones de minerales pesados (ver capítulo de procedencia de sedimentos). El miembro inferior presenta un fuerte dominio mareal y presenta menos paquetes arenosos que el miembro superior.

Esta Formación marca el retroceso marino de la cuenca Cesar-Ranchería, para iniciar el dominio de facies transicionales durante todo el Paleoceno y luego continentales en el Eoceno, causada no sólo por los cambios eustáticos a nivel global sino por los levantamientos tectónicos ocurridos durante el movimiento de la placa del Caribe. Se correlaciona con la Formación Lisama en el Valle Medio del Magdalena y con las formaciones Hato Nuevo y Manantial en el área de la Guajira, donde se observa un dominio de carbonatos. También en el área de Maracaibo se correlaciona con la Formación Guasare.

Formación Cuervos (Paleoceno Tardío)

Esta Formación, definida inicialmente en la Cuenca de Catatumbo, es muy importante en la subcuenca de Cesar, pues de ella se extrae el carbón, principal actividad económica de la zona. Aunque los espesores y cantidad de los mantos de carbón es muy variable a lo largo de toda la

cuenca, la Formación es relativamente igual en toda la subcuenca del Cesar (ver capítulo de análisis estratigráfico), y está por el orden de 700 a 750 m.

Litológicamente se divide en tres Miembros:

- El Cuervos Inferior, que presenta un predominio de lodolitas y limolitas con escasas capas delgadas de carbón arcilloso.
- El Cuervos Medio, que consta de intercalaciones de areniscas de grano muy fino, limolitas y arcillolitas grises con abundantes restos de plantas, y presenta potentes mantos de carbón que pueden alcanzar 7 metros de espesor.
- El Cuervos Superior, poco definido en esta área, que se caracteriza por un predominio de limolitas color gris verdoso, indicando ambientes salobres subacuáticos. Aquí ya no se presentan carbones.

La Formación Cuervos es correlativa con la Formación Cerrejón en el área de Ranchería y con la Formación Marcelina en el noroeste venezolano. Las tres formaciones son productoras de carbón y constituyen las principales minas de Suramérica: Carbones del Cerrejón, Mina Pribbenow, y Carbones del Guasare.

Esta sucesión representa un periodo de alta subsidencia debido a la creación de espacio proveniente del oeste por el movimiento de la placa del Caribe. Los espesores en toda el área varían de 900 m en el área del Cerrejón a 550 m en el área de Guasare (Bayona et al., 2007), y se asocian a la geometría de la cuenca debido al balanceo de la Sierra Nevada de Santa Marta. A pesar de los movimientos tectónicos presentes, la secuencia es continua desde el Maastrichtiano hasta el Eoceno inferior. En el área de Ranchería existe un hiato entre las formaciones Cerrejón (Paleoceno Superior) y Tabaco (Eoceno Inferior), además el cambio de facies es fuerte. En la subcuenca de Cesar el cambio es gradual de las lodolitas verdosas de la Formación Cuervos a lodolitas rojizas típicas del Eoceno, y que se atribuye a un cambio ambiental de depósitos salobres subacuáticos a continentales de baja pendiente, áridos y con suelos ácidos, que permiten la disolución de hierro durante los periodos invernales y la precipitación de hematita en los periodos secos, tal como sucede en la actualidad en esta zona,

en donde en temporada invernal se inundan todas las zonas bajas, y en el verano se reseca tanto el terreno que genera costras de óxidos conocidas como "moco de hierro".

Cinturón de Santa Marta (Maastrichtiano Tardío-Eoceno)

En la esquina noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta se encuentra una unidad compuesta por esquistos anfibólicos, esquistos biotíticos, esquistos moscovíticos con silicatos de aluminio (estauroлита y sillimanita) y cuarcitas micáceas, con cantidades menores de ultramafitas metamorfoseadas a tremolita y talco, mármoles y esquistos grafiticos, en dos franjas separadas por el Batolito de Santa Marta. Se agrupan aquí las unidades Esquistos del Gaira, Esquistos de Punta Betín, Filitas de Cinto y Esquistos de El Rodadero, los Esquistos de San Lorenzo, las filitas de Taganga (cloríticas, con epidota) y Esquistos de la Concha (actinolíticos, con zoicita, clorita, esfena y apatito).

Según Maya (2001), un evento metamórfico del Cretáceo tardío, llamado Evento Concha, habría formado los Esquistos del Gaira y San Lorenzo, de acuerdo a dataciones K-Ar entre 128 ± 25 Ma y 102 ± 30 Ma. Varias dataciones en los alrededores de 65 Ma indican una recristalización en el Paleoceno, llamado Evento Gaira o Concha II (MacDonald et al., 1971, citado por Maya, 2001).

Un evento magmático que abarca el Cretácico Tardío al Eoceno asociado al movimiento de la placa del Caribe sobre la esquina noroccidental de Suramérica permitió la cristalización de circones, con edades que oscilan entre 65 y 50 Ma (Agustín Cardona, comunicación personal). En el análisis geocronológico (ver capítulo de Procedencia de Sedimentos) se lograron encontrar detritos de circones con edades de 58 y 50 Ma.

Eoceno no diferenciado (Eoceno Temprano a Medio)

El Eoceno en la subcuenca de Cesar no había sido identificado y se asumía erosionado en todos los modelos previos, hasta que Mora et al. (2005) mencionaron su existencia en los sinclinales de la subcuenca de Cesar, con una posible relación paraconforme con la Formación Cuervos. En este trabajo se considera la posibilidad de que la secuencia sea continua ya que en

los análisis de Procedencia no muestra saltos característicos de periodos erosivos y la respuesta de los circones es casi igual a los últimos mantos de carbón de la Formación Cuervos. Además, en el pozo La Loma 4E no existe ningún conglomerado basal o evidencias de periodos erosivos en la base del Eoceno.

Litológicamente se compone de arcillolitas abigarradas, limolitas y areniscas de grano fino a medio. La secuencia es un poco más fina hacia la base, aunque hasta el momento no se ha podido obtener una columna completa del Eoceno, ya que como se mencionó anteriormente se encuentra preservado sólo en los sinclinales y el tope siempre se encuentra en contacto discordante con la Formación Cuesta.

Esta unidad es correlacionable en tiempo con la Formación Misoa en la cuenca de Maracaibo, aunque las facies son continentales y en Misoa son deltáicas a marinas someras. La edad mínima obtenida en la subcuenca de Cesar es de 50 Ma usando detritos de circón (ver capítulo de Procedencia de Sedimentos). En el área de Ranchería existe un paquete de areniscas gruesas amarillentas de edad Eoceno inferior (56 Ma según Germán Bayona, comunicación personal-artículo en preparación), conocido como Formación Tabaco, cuyos contactos inferior y superior son erosivos.

1.2.6. NEÓGENO

Formación Cuesta (Oligoceno Temprano-Mioceno Tardío)

La Formación Cuesta o San Antonio corresponde a un conjunto conglomerático a arenoso con abundantes clastos de cuarcitas, chert y líticos sedimentarios (limolitas y areniscas), y algunos fragmentos feldespáticos que pueden corresponder a fragmentos de rocas plutónicas o granulitas. Se observan abundantes óxidos de hierro en costras y en el espacio intergranular, indicando que el ambiente árido y continental que inició en el Eoceno también se observa en el Oligo-Mioceno. La Formación Cuesta es reconocible del Cuaternario aluvial por el tipo de clastos presentes (los clastos del aluvial son principalmente areniscas y cuarcitas). Hacia el área del Perijá el cuaternario orientado presenta principalmente clastos de las formaciones La Quinta y Río Negro.

EDAD		UNIDAD	LITO-LOGIA	ESPESOR PROMEDIO	DESCRIPCIÓN GENERALIZADA	MANIFEST. DE HIDROCARBUROS	E.S.P			
CENOZOICO	NEOGENO	Holoceno 0.01	Q. ALUVIAL	+15 m		Conglomerados y areniscas de grano grueso con clastos de cuarcitas y areniscas				
		Pleistoceno 1.81	Q. ORIENTADO							
		Plioceno 5.33								
	PALEOGENO	Mioceno	23.0	FM CUESTA	0-600 m		Conglomerados y areniscas de grano grueso con clastos de cuarcitas, chert y líticos sedimentarios	↓		
			33.9							
		Eoceno	55.8	EOCENO ND	0-300 m	Arcillolitas abigarradas y litoarenitas con chert	Impregnaciones locales en pozos de carbón en El Descanso, cerca de zonas de falla	↓		
			Paleoceno	58.7	FM CUERVOS	700 m			Arcillolitas, limolitas y areniscas de grano muy fino con abundantes mantos de carbón	
		Selandiano	61.7	FM BARCO	330-350 m	Litoarenitas a sublitoarenitas, hacia la base presenta intercalaciones heterolíticas-CO.	El Paso-2: Trazas de aceite de 24.5 API	○		
			Daniano 65.5							
		MESOZOICO	CRETACICO	Maastrichtian 70.6	FM MOLINO	520-600 m		Espeso paquete de lutitas, hacia la base calcáreas y con pellets glauconíticos y fosfatos	El Paso-2: oil/gas shows El Paso-3: 796.5 BPD de petróleo de 41.1 API Compae 1, 2 y 3: Productores de Gas	
Campaniano 83.5	Mbo Socuy Mbo Tres Esquinas			75-80 m	?	○				
Santoniano 85.8										
Coniaciano 89.3	FM LA LUNA			100-130 y 170-240 m	Biomicrocristas carbonosas y bituminosas con foram. planctónicos	El Paso-3: oil show Compae 1, 2 y 3: Productores de Gas				○
Turoniano 93.5										
Temprano	Cenomaniano 99.6		GRUPO COGOLLO	Mbo Maraca	320-400 m	Maraca: Biomicrocristas carbonosas Tocuy: Lutitas y areniscas glauconíticas Animas: Biomicrocristas y lutitas carbonosas	El Paso-3: 24 BPD de petróleo con 37 API Cesar-F1X: 700-833 MCFD de Gas			
	Albiano		Mbo Animas							
	Aptiano 112		LAGUNITAS	170-350 m				Packstones recristalizados de bivalvos y equinod.	Cesar-A1X: oil shows	○
	Neocomiano 125		FM RIONEGRO	en el Cesar 5-200 m				Litoarenitas y arcosas rojizas, conglomerados	Cesar-H1X: Impregnaciones de Brea	○
JURÁSICO	Tardío 146	FM LA QUINTA	2700-3000 m	Sedimentos rojos, arcosas, tobas vitreas	aun sin evaluar.No evidencia de riqueza orgánica en las lutitas, más alta diagénesis en arenas si existe el Paleozoico en las partes profundas de la cuenca					
	Medio 176	LA GE	3900 m	Tobas vitreas, capas de ceniza, areniscas, calizas silicificadas						
	Temprano 200	SECUENCIA VOLCANO-SEDIM								
PALEOZOICO	TRIÁSICO	251	FM MANAURE	800 m	Secuencias de profundización que inician con conglomerados, arenas, margas, y culminan con calizas fosilíferas, separadas por discordancias					
	CARBONÍFERO	299	ROCAS D. CARBON	300 m						
	DEVÓNICO	359	GP CACHIRÍ	1100 m						
	SILÚRICO	444								
	ORDOVÍCICO	488	FM PERIJÁ	530 m	Filitas, cuarcitas y meta-arcosas, con intrusiones ácidas					
NEOPROTEROZOICO	1000	CINTURÓN DE LA SIERRA NEVADA	N.A.	Granulitas y anortositas néisicas						
MESOPROTEROZOICO	1600									

Elementos del Sistema Petrolero: ◆ Generadora ○ Reservorio ▨ Sello ↓ Sobrecarga

Figura 1.3. Columna Generalizada en la subcuenca de Cesar y alrededores. Modificado de: Intera-Bioss (1995) y Drummond (2005).

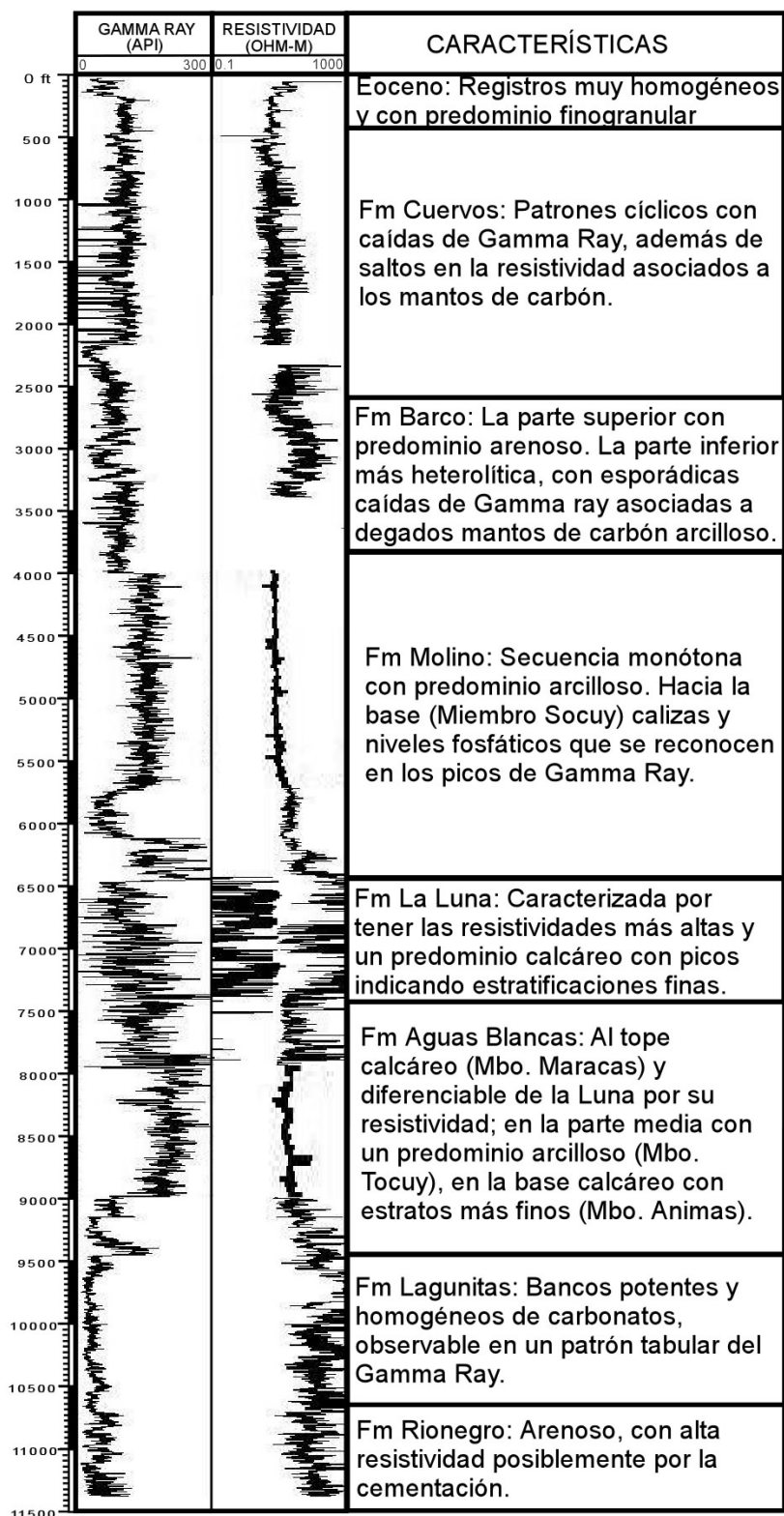


Figura 1.4. Registro eléctrico tipo de la subcuenca de Cesar (compilación de varios pozos).
Nótese los patrones característicos de cada Formación.

El origen de la discordancia sobre la cual se desarrolla la Formación Cuesta se atribuye a los levantamientos de la Serranía de Perijá y la SNSM producto de la Orogenia Andina. Especialmente el Alto de Verdesia se levanta, generando mayores depósitos hacia el Suroeste de la cuenca. Para el tiempo de depósito de la Formación Cuesta se asume una cuenca Intramontana tal como se observa en la actualidad. La actividad tectónica continúa durante el cuaternario (Plioceno y Pleistoceno) que genera terrazas orientadas en la Serranía de Perijá.

En la subcuenca de Ranchería existe un conjunto conglomerático de posible edad Mioceno medio (Intera-Bioss, 1995), que consiste en un flujo de gravedad formado por clastos de carbonatos cretácicos, provenientes de los bordes de la cuenca durante el levantamiento de las unidades. Este conjunto conglomerático se correlaciona con la Formación Cuesta a pesar de sus características litológicas diferentes. Se asume que debido a la mayor deformación en la subcuenca de Ranchería se levantó el cretácico y ésta es la fuente principal por caída directa de bloques, mientras que en la subcuenca de Cesar existe mezclas de fuentes del cretácico y de rocas cristalinas y sedimentarias provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta y el Perijá, por el desarrollo de canales fluviales que distribuyeron el sedimento hacia el centro de la cuenca. No se ha obtenido aún una edad definitiva para este conjunto ya que no hay reportes de magmatismo de edad Mioceno en la parte norte de Colombia y por eso no se obtuvieron circones sinorogénicos.

1.3. ESTUDIOS ANTERIORES

Hasta el momento la Cuenca Cesar-Ranchería mantiene su status de área fronterera, debido a la poca exploración y a que sólo existe un campo declarado comercial, a pesar de que muchos pozos han mostrado producciones no comerciales y/o manifestaciones locales de hidrocarburos.

Compañías petroleras como Intercol y TROCO iniciaron estudios en la Cuenca, perforando entre 1947 y 1954 ocho pozos exploratorios sin éxito alguno, pero obteniendo valiosa información de las rocas presentes en la cuenca. Entre estos pozos se encuentran El Paso 1, 2, 3, 4 y los Venados-1.

En 1980 se reinició la exploración en la subcuenca de Cesar con la compañía Phillips, la cual perforó los pozos Cesar A1X, H1X y F1X. Si bien no se obtuvo producción comercial los análisis realizados permitieron conocer más aspectos de la madurez y litología de la cuenca, y aun se usan estos pozos para correlaciones regionales.

En 1990, el ICP realizó el primer estudio regional de la Cuenca denominado "Proyecto Cesar-Ranchería", donde se recopiló toda la información de la cuenca y se hizo la primera evaluación de la cuenca desde el punto de vista de sistemas petroleros. De este estudio se obtuvo una definición de los estilos estructurales en la cuenca y se resaltan conclusiones aun válidas como la diferenciación de la evolución y estilo tectónico de las subcuencas Cesar y Ranchería. También se obtuvo la primera aproximación del tiempo de generación de hidrocarburos, el cual data del pre-Eoceno medio según los autores del estudio. Para este momento no se conoce la presencia de Eoceno en el Cesar y se cree que el conjunto calcáreo del Mioceno en Ranchería es una transgresión marina y no depósitos de bloques de carbonatos del Cretácico. Se establece como objetivo las areniscas de Tocuy, aunque se sobrevalora su espesor y calidad de reservorio.

En 1995, el consorcio Intera-Bioss realiza una evaluación Geológica Regional de la cuenca Cesar-Ranchería. En este se relaciona la cuenca en estudio con las cuencas de Maracaibo, Catatumbo y parte norte del Valle Medio de Magdalena, con el fin de entender de manera conjunta la evolución de la cuenca. En este estudio se identificaron diferentes prospectos y leads que sirvieron de base para descubrir en el año 1997 el Campo Compae, único productor de gas comercial en la cuenca. Se sugirió la presencia del hidrocarburo migrado antes del Oligoceno sólo en trampas estratigráficas en los bordes de la cuenca.

En 1998 Ecopetrol realiza por tercera vez una evaluación del potencial petrolífero de la cuenca dado el éxito del descubrimiento de Compae. Los resultados son prácticamente iguales a los obtenidos en las dos evaluaciones anteriores, aunque se generan secciones regionales muy útiles para definir el estilo tectónico presente en la cuenca.

En el año 2001 se generan dos proyectos que permitieron conocer las unidades del Cretácico en la Subcuenca de Cesar y aportaron valiosa información. El Consorcio G&G realiza una fase de campo en donde recolecta muestras del cretácico, levanta columnas estratigráficas en varios puntos de la Cuenca Cesar-Ranchería y realiza un análisis de fracturas y elementos estructurales. ICP realiza un análisis petrográfico de todas estas muestras y evalúa su potencial como reservorio de hidrocarburos.

En el año 2004 la empresa Drummond Ltd. (productora de carbón en el área de Cesar), adquiere mediante contrato de Asociación con la ANH el Bloque La Loma. Con este contrato la empresa inicia actividades de exploración de hidrocarburos convencionales y no convencionales en la subcuenca de Cesar. Los diferentes pozos estratigráficos perforados por Drummond Ltd. (La Luna 3E, Verdesia 1E, Verdesia 2E, Diablito 1E, Barco 1E, los Cerezos 1E) sumados a los pozos de exploración de Gas Metano asociado al Carbón permitieron obtener registros corazonados completos del Cretácico y Paleoceno en el centro de la cuenca, y conocer la relación entre el Paleoceno y el Eoceno, que siempre se consideró discordante.

Jaramillo et al. (2007) y Bayona et al. (2007) mediante estudios palinológicos, petrográficos, estratigráficos y de procedencia en el área de Cerrejón y Guasare determinaron la configuración tectónica de la Subcuenca de Ranchería, proponiendo un modelo de basculamiento de la SNSM que permite la acumulación de 990 m de la Formación Cerrejón en un periodo de tiempo estimado de 2 Ma.

Diferentes estudios de carácter estratigráfico y estructural en afloramientos del Perijá y SNSM permitieron conocer mejor las unidades que conforman la Cuenca. Entre ellos se resaltan los trabajos realizados en la Serranía de Perijá por Forero (1970) y Bowen (1972) donde se estudió el Paleozoico, Tchanz et al. (1969) donde se conoció la configuración de la SNSM, Gallango & Novoa (2002) que estudiaron la configuración estructural de la Serranía de Perijá, Ujueta (2005) que determinó la no-relación entre las fallas de Santa Marta y Bucaramanga, y los estudios realizados en el Cretácico para las cuencas de Maracaibo y Valle Medio del Magdalena que permitieron extender y relacionar las facies de las formaciones del Aptiano al

Maastrichtiano para esta cuenca (Bartok et al., 1981; Elrich et al., 2003; González de Juana et al., 1980, Villamil, 1999).

Dataciones U/Pb en diferentes Macizos aledaños a la subcuenca de Cesar permitieron realizar los análisis de procedencia de este trabajo. Se resaltan los trabajos de Dasch & Banks (1981), Priem et al. (1982), Dörr et al. (1995), Cordani et al. (2005), Vinasco et al. (2005), Cardona et al. (2006), Clavijo et al. (2008), e Ibáñez et al. (2008), entre otros. Cabe anotar que diferentes investigadores colombianos continúan en el esfuerzo de conocer a fondo los eventos metamórficos que formaron los macizos aledaños a la subcuenca de Cesar y esto permitirá aclarar más inquietudes a futuro.

CAPITULO 2 – ANALISIS ESTRATIGRÁFICO

El análisis estratigráfico se realizó con el fin de evaluar litologías, espesores y cambios laterales de facies; de esta manera poder entender el cambio en los depósitos a través del tiempo geológico y su relación con la geometría de la cuenca.

2.1. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO

Para el análisis estratigráfico se recolectó la información existente de cada una de las formaciones: espesores, litología, petrografía, mapas paleogeográficos y dataciones. A partir de la información recopilada se elaboraron columnas estratigráficas del área de estudio (Figs. 2.13 y 2.14) y se dividieron en dos grupos: la secuencia Cretácica, que comprende los afloramientos y pozos con información entre las formaciones Río Negro y Molino (Fig. 2.13), y la secuencia Terciaria, que comprende los pozos y afloramientos con información entre las formaciones Molino (tope) y Cuesta (Fig. 2.14). La cuenca es muy deformada lo que dificulta encontrar pozos con la secuencia completa. En los pozos donde se encontró la secuencia repetida se redujo a su espesor real.

En cada columna estratigráfica se interpretó el ambiente de depósito y se analizaron los patrones de apilamiento de las parasecuencias siguiendo el criterio propuesto por Van Wagoner et al. (1990), con el fin de identificar las superficies máximas de inundación (MFS). Estas superficies se correlacionaron a lo largo de toda la cuenca para observar las variaciones faciales en intervalos iguales de tiempo. En este estudio se prefirió el uso de superficies de inundación en vez de discordancias por su fácil reconocimiento en los pozos, además de la buena continuidad lateral sobre horizontes sincrónicos.

Una vez realizadas las correlaciones, se realizaron mapas paleogeográficos *in-situ* y para el tiempo de depósito asumiendo los modelos tectónicos previos (Mann et al., 2006, Cardona et

al., 2009) y la ubicación relativa de la Subcuenca del Cesar. El motivo de realizar estas dos comparaciones es entender cómo fue el depósito en ese tiempo, pero en la actualidad es útil saber en qué punto de la cuenca están ciertas facies, con fines de exploración. Cabe destacar que los datos de espesores que se reportan en los gráficos siguientes corresponden a los obtenidos después de revisar la información de registros eléctricos, bioestratigrafía, y a las correlaciones realizadas. Por ejemplo, los informes anteriores a este trabajo (Intera-Bioss, 1995; Ecopetrol, 1998; Drummond, 2005) muestran espesores mayores en las formaciones La Luna y Aguas Blancas en el pozo Cesar A1X, ya que se habían ignorado repeticiones de espesor por fallamientos inversos a pesar de que siempre se representaban en la sísmica y en la geoquímica (ver explicación más adelante en la sección 2.2 para la Formación La Luna).

2.2. OCURRENCIA Y ESPESORES DE CADA FORMACIÓN

Las unidades estudiadas en este trabajo se encuentran en un rango comprendido entre el Aptiano y el Eoceno Inferior (Figs. 2.13 y 2.14). La mayoría de los afloramientos del Cretácico se encuentran en los bordes de la cuenca, cerca de los Macizos levantados. Una excepción en el centro de la cuenca es el Alto de Verdesia, donde se encuentran afloramientos del Jurásico y Cretácico. En el centro y suroeste de la subcuenca del Cesar el Cretácico se encuentra en pozos profundos. La Formación Molino, debido a su predominancia de lutitas, es muy escasa en afloramientos, los cuales se presentan sólo en la parte norte de la cuenca (Ranchería) donde hubo mayor deformación (Fig. 2.4).

El Grupo Cogollo (formaciones Lagunitas y Aguas Blancas), presenta espesores muy variables en la cuenca, con un rango de 610 m en el surco de Machiques a unos 200 m en la plataforma del Lago de Maracaibo (Stauffer, 1994). El espesor promedio completo es de 460-500 m. En el pozo Cesar A1X (centro-orientado de la subcuenca del Cesar) a pesar de las repeticiones estratigráficas el espesor de la Formación Lagunitas es grande en comparación con el borde occidental de la Cuenca (pozo Cesar H1X). Se asume que la variación de 344 a 171 m en el espesor de la Formación Lagunitas puede ser debido al avance transgresivo, y a la misma geometría de la cuenca. Esto hace que en el pozo Cesar A1X el Grupo Cogollo tenga un

espesor de 725.4 m. El aumento del espesor de esta Formación a medida que se acerca a los surcos que delimitaban antiguos rifts (ejemplo, surco de Machiques) es coherente con lo propuesto por Intera-Bioss (1995), respecto a que esta unidad corresponde a un relleno post-rift, y la Formación Aguas Blancas representarían la transición de la fase post-rift a margen pasivo (o cuenca Back-arc).

**FORMACIÓN LAGUNITAS
(BARREMIANO-APTIANO TARDÍO)**

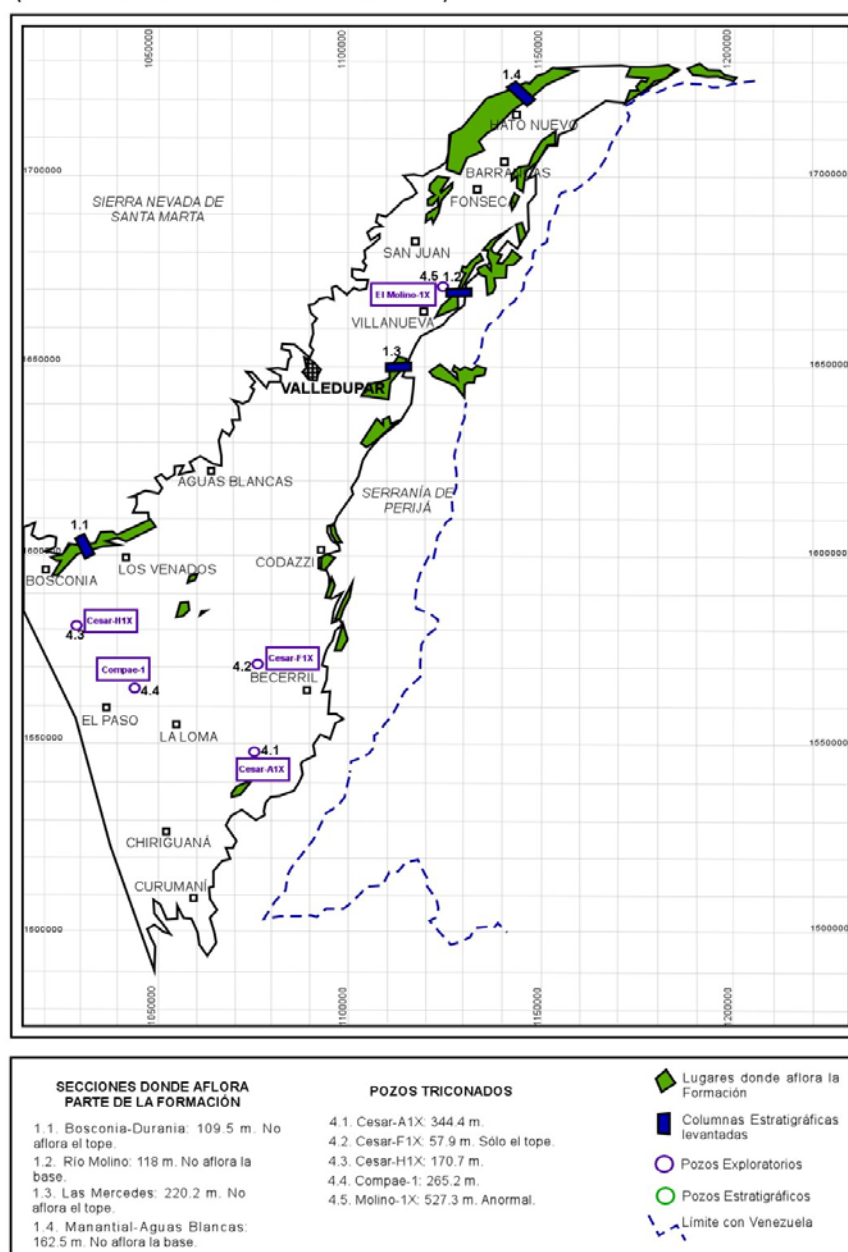


Figura 2.1. Afloramientos y espesores de la Formación Lagunitas en la cuenca Cesar-Ranchería

En la parte norte (subcuenca Ranchería y Lago de Maracaibo), el Grupo Cogollo es muy difícil de diferenciar en sus dos formaciones, y presenta un predominio de carbonatos en toda la secuencia.

FORMACIÓN AGUAS BLANCAS (APTIANO TARDÍO-ALBIANO MEDIO)

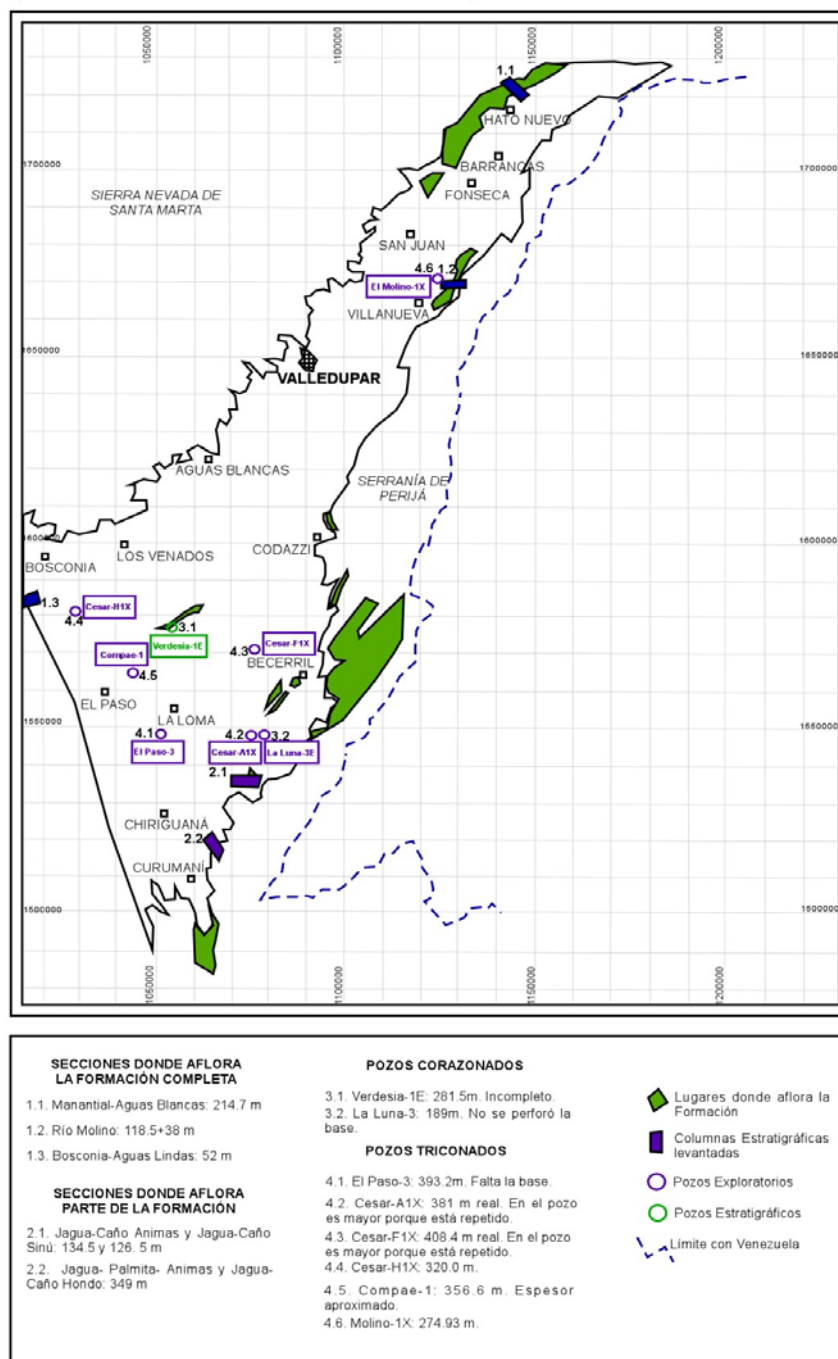


Figura 2.2. Afloramientos y espesores de la Formación Aguas Blancas en la cuenca Cesar-Ranchería

La Formación La Luna, a pesar de ser una de las unidades cretácicas más estudiadas en todo el norte de Suramérica debido a sus buenas características como roca generadora, aun siguen encontrándose cosas nuevas por reevaluar. A esta Formación se le han asignado espesores de 109 m (Consortio G&G, 2001) a 335 m (pozo Cesar A1X, reportado por Phillips-1980 en el informe de pozo y autores subsiguientes). En el presente estudio se obtuvo un espesor mucho más pequeño para el pozo Cesar A1X, basado en tres evidencias: Comparación de registros eléctricos y Bioestratigrafía de los pozos corazonados La Luna-3E, Verdesia-1 y Verdesia-2; y la presencia de Saltos en el Ro del pozo Cesar-A1X que indicaba zonas de falla justo en el punto en donde el registro eléctrico marca repeticiones, evidencia que hasta el momento había sido ignorada por falta de datos. Cabe anotar que los pozos corazonados por Drummond son recientes (2005) y por lo tanto estos datos no se habían podido evaluar en los informes anteriores. La Formación La Luna en el campo Compae tiene un espesor de 176.5 m (Chajín & Martínez, 2008). En la sección Tipo en Colombia ubicada en el Tablazo (Valle Medio del Magdalena), Bernal (2008) encontró que la Formación no supera 170 m (se midieron 132.9 m y el resto es cubierto y fue asumido por geometría). En la Localidad Tipo ubicada en la Quebrada La Luna (Machiques, Edo. Zulia) la sección mide 129 m aunque es fallada (Jordán & Scherer, 1982). En el Pozo El Paso-3 esta Formación tiene 240 m. En el frente oriental de la Serranía de Perijá no supera 183 m de espesor (PDVSA, 2008). En el área de Ranchería se midieron entre 100 y 130 m de Formación (ICP, 2001), con un predominio de arcillolitas negras con foraminíferos planctónicos de plataforma externa.

En conclusión se observa que la Formación la Luna varía entre 100 y 240 m. Los cambios de espesor hacia el Sureste se deben a la presencia de una barrera ubicada en el Macizo de Santander (Bernal, 2008), que hace que en el área de Catatumbo esta Formación tenga sólo de 43 a 86 m (PDVSA, 2008), y un pequeño depocentro se ubicaría en cercanías al pozo El Paso3. Los cambios bruscos de espesor, de un promedio de 100 m a 200 m, pueden ser explicados por la existencia de una plataforma de carbonatos inundada durante el tiempo de depósito del Miembro Maracas y la base de la Formación La Luna, tal como lo propone Elrich et al (2003), que causa los espesores de 100 m, y en las partes más profundas donde no existió dicha plataforma previa sea de 200 m. Dicha plataforma abarcaría la parte centro-oriental y norte de la cuenca, cubriendo los pozos Cesar A1X, La Luna-3E, Verdesia-2, y las secciones

del Perijá (ver Fig. 2.18 para observar la ubicación de esta posible plataforma inundada). Otra posible explicación es la condensación de los estratos en las zonas más profundas de la cuenca, pero esto generaría un modelo más complejo donde justo el área de Perijá sea la más condensada.

A fin de corroborar esta hipótesis se recomienda una revisión y amarre bioestratigráfico de las secciones para determinar con certeza si los cambios de espesor ocurren efectivamente por barreras paleogeográficas en la parte norte, si hay repetición de las secciones o si dentro de la Formación La Luna se están agrupando otros miembros de otras formaciones acá en Colombia. Por ejemplo, el horizonte guía Tres Esquinas se asocia a la Formación La Luna en Venezuela y en sus características y espesor es muy similar a la parte inferior del Miembro Socuy de la Formación Molino en Cesar-Ranchería. En algunos informes de pozos corazonados se ha incluido parte del Miembro Maracas dentro de la Formación La Luna porque son muy similares litológicamente aunque en registro eléctrico son fáciles de reconocer por el decrecimiento abrupto en la resistividad (ver Fig. 1.4, registro eléctrico tipo de la subcuenca de Cesar).

La Formación Molino, coetánea con las formaciones Colón y Mito Juan en el área de Maracaibo, y Umir en el área del Valle Medio del Magdalena, presenta un espesor promedio entre 520 y 600 m en la cuenca Cesar-Ranchería. En los pozos El Paso alcanza 1000 m, casi el doble del promedio para la subcuenca de Cesar. La Fig.4.7 muestra un leve engrosamiento hacia el Suroeste de todo el intervalo Maastrichtiano-Paleoceno Superior, pero también los pozos El Paso-2 y El Paso-3 se encuentran afectados por zonas de falla que repiten la secuencia, lo que puede explicar esos grandes espesores. En el área del Perijá venezolano tiene 470 m, y se han medido espesores en todo el occidente venezolano entre 360 y 600 m a excepción de la localidad tipo, donde se reportaron 900 m (PDVSA, 2008). Esta Formación se caracteriza por un espeso paquete de shales grises a gris oscuro, que presenta un contacto transicional con la Formación Barco en la Subcuenca de Cesar, marcando una regresión progresiva de facies marinas de plataforma media a externa a facies deltáicas y mareales.

FORMACIÓN LA LUNA TURONIANO-CONIACIANO

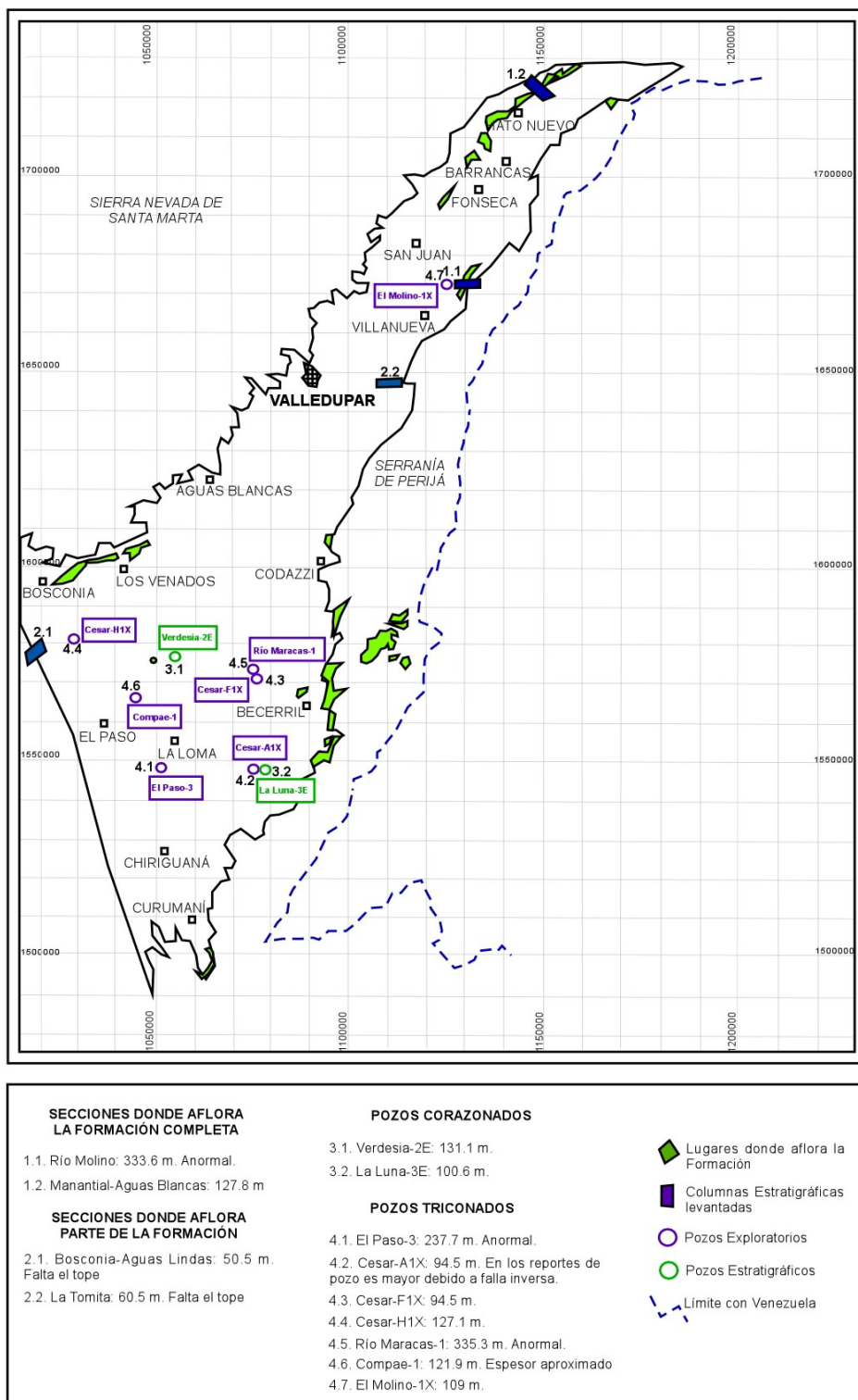


Figura 2.3. Afloramientos y espesores de la Formación La Luna en la cuenca Cesar-Ranchería

FORMACIÓN MOLINO CAMPANIANO-MAASTRICHTIANO

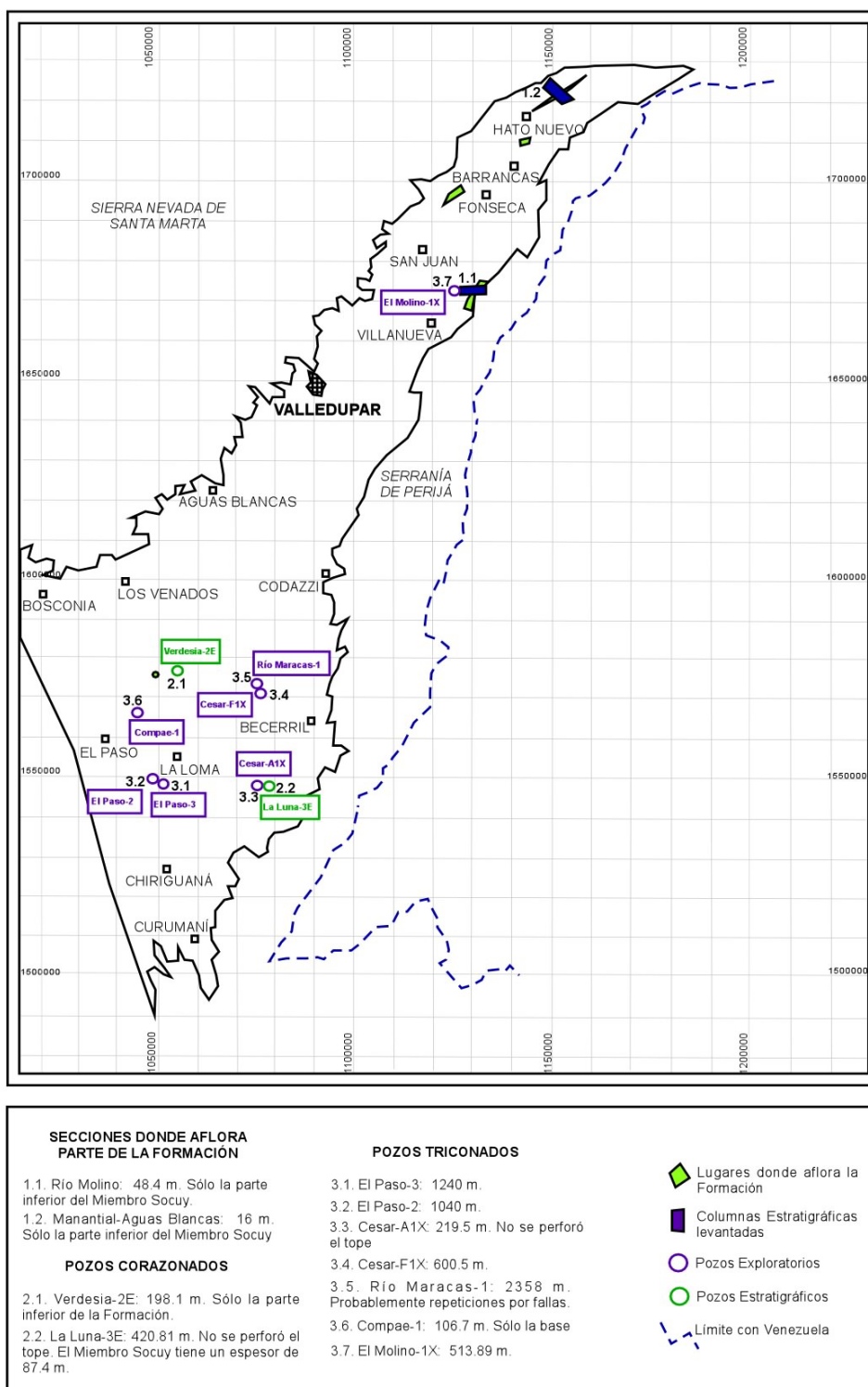


Figura 2.4. Afloramientos y espesores de la Formación Molino en la cuenca Cesar-Ranchería

Los afloramientos de las formaciones Barco-Cuervos se encuentran confinados a la parte centro-oriental de la subcuenca del Cesar, y son más abundantes hacia el este. En pozos como Cesar H1X ni siquiera existe. Esto hace que se planteen dos hipótesis: La primera asume que el Paleoceno en el noroccidente de la subcuenca de Cesar fue erosionado, es decir, el levantamiento de la SNSM es post-Paleoceno. La segunda considera el modelo de Basculamiento de la SNSM durante el Paleoceno Tardío, propuesto por Bayona et al. (2008, conferencia de la ACGGP) donde la geometría de la cuenca se acuña en dirección a la SNSM, por ende, el Paleoceno Tardío era muy pequeño, y con los eventos de deformación desapareció. La discusión de la hipótesis tomada en este estudio (que fue la segunda) se desarrolla en el capítulo 4.

La Formación Barco tiene en promedio entre 330 y 350 m de espesor. En el pozo El Paso-3 se reportan 495 m. A pesar de que esta Formación se extiende en todo el oriente Colombiano desde Cesar-Ranchería hasta los Llanos Orientales, sus características composicionales y espesores varían considerablemente. En el área de Catatumbo en promedio presenta 194 m (PDVSA, 2008), y las arenas son mucho más cuarzosas y con abundante chert (Carolina Ojeda, tesis de grado en preparación, Universidad Nacional de Colombia). En la subcuenca del Cesar, las arenas son líticas a sublíticas, con abundantes fragmentos metamórficos. Este cambio en la madurez composicional está representada en la existencia de otra fuente de aporte. Hacia los Llanos Orientales y Catatumbo el origen de las arenas es del Escudo de Guayana, por lo tanto son más maduras, y predominan las cuarzoarenitas a sublitoarenitas. En el occidente (Perijá) son más líticas, con poco feldespatos y chert, en el norte (Cesar) con más líticas metamórficos, y se asumen aportes de la Cordillera Central (Van Andel, 1958) y posiblemente del Macizo de Santander.

En el área norte, en la subcuenca de Ranchería y en la cuenca de Maracaibo, para el tiempo de depósito de la Formación Barco (Paleoceno Temprano a Medio) existen carbonatos (formaciones Hato Nuevo y Manantial en Ranchería y Guasare en Maracaibo y este de Perijá), indicando un aporte siliciclástico predominantemente del Sur. En la Formación Manantial empiezan a aparecer intercalaciones arenosas mezcladas con carbonatos.

FORMACIÓN BARCO PALEOCENO INFERIOR A MEDIO

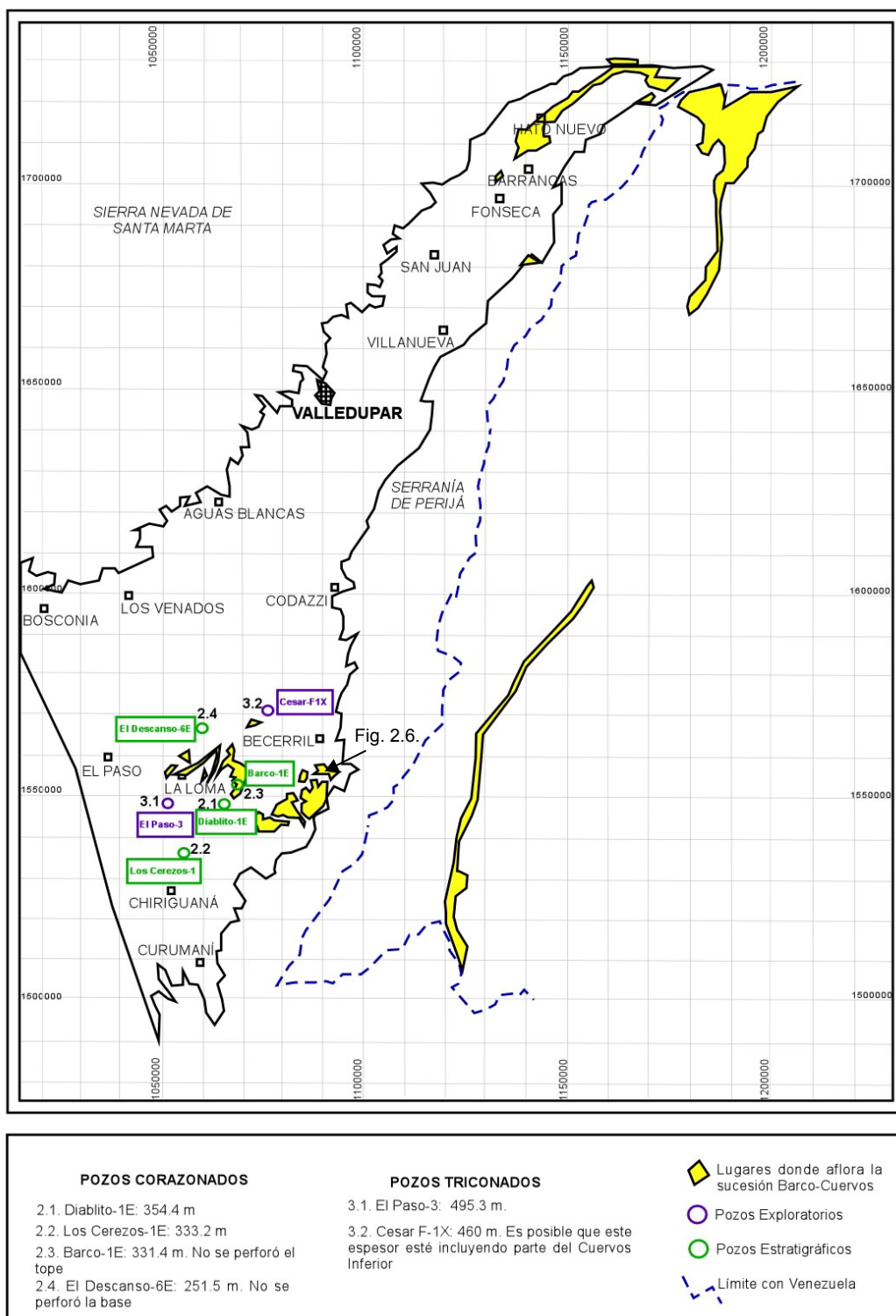


Figura 2.5. Afloramientos y espesores de la Formación Barco en la cuenca Cesar-Ranchería



Figura 2.6. Afloramiento de la Formación Barco en el área de Sororia (Perijá), con predominio de areniscas con estratificación inclinada planar. Localización del afloramiento en la Fig. 2.5.

La Formación Cuervos, si bien en las correlaciones estratigráficas se ve muy uniforme, y prácticamente presenta el mismo ambiente de depósito en toda la cuenca, presenta variaciones en cuanto al contenido de carbón. Mientras en Boquerón y Sororia los mantos de carbón son más gruesos y abundantes en la parte inferior del miembro medio de la Formación Cuervos, en El Descanso se encuentran un poco más arriba estratigráficamente. La Formación completa tiene un espesor promedio en la subcuenca de Cesar de 700 m, en los cuales los primeros 150 m son con predominio de arcillolitas y mantos delgados de carbón, los siguientes 450 m son de abundantes mantos gruesos de carbón y los últimos metros son arcillosos-limosos y presentan una coloración verdosa-azulosa, típica de ambientes salobres pero ya sin tanto aporte de materia orgánica. En los capítulos 4 y 5 se asume de acuerdo a los datos de madurez termal y procedencia, que la Formación Cuervos debió ser más espesa hacia el este (en cercanías al Perijá), pero por levantamientos tectónicos posteriores en la actualidad la secuencia es más pequeña. Se solicitó un análisis palinológico al Dr. Carlos Jaramillo (Smithsonian Tropical Research Institute), para tres muestras en la Formación Cuervos en el

FORMACIÓN CUERVOS PALEOCENO SUPERIOR

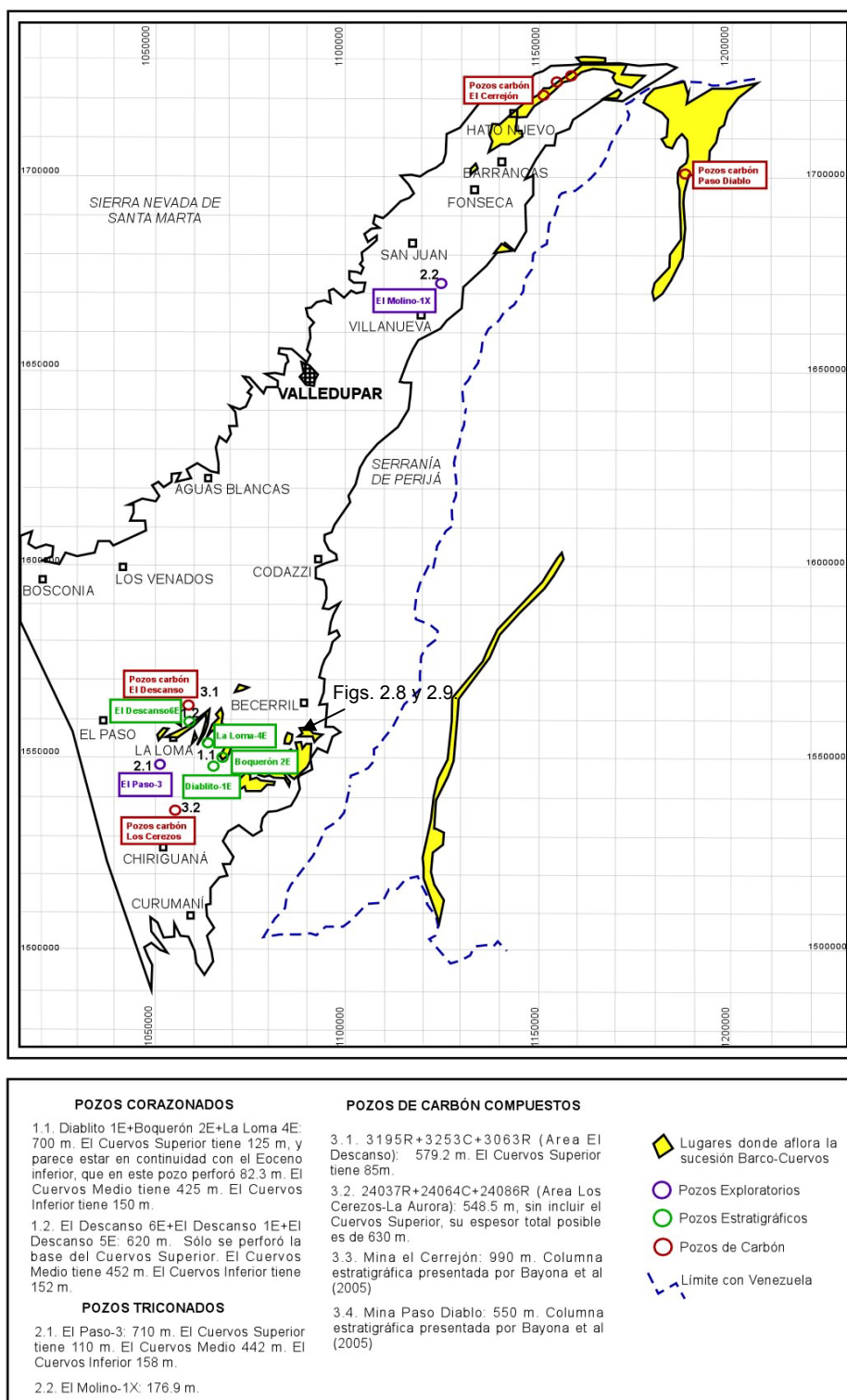


Figura 2.7. Afloramientos y espesores de la Formación Cuervos en la cuenca Cesar-Ranchería

Perijá. Una salió estéril, pero las otras dos mostraron edades Paleoceno Medio a Tardío, incluso en los mantos más superiores, indicando que el tope de los carbones en Perijá es más joven que el tope de los carbones en el centro de la cuenca, optando a favor de tener un Cuervos espeso en el Perijá y erosionado durante las últimas fases tectónicas.

En el área del Cerrejón (Subcuenca Ranchería), la Formación Cerrejón, equivalente temporal de la Formación Cuervos y con el mismo ambiente de depósito, tiene 990 m. En Guasare (Perijá venezolano) tiene 550 m, y se conoce como Formación Marcelina. En la costa Oeste del Lago de Maracaibo (campo Alturitas) el Paleoceno completo tiene 390 m, y en el centro-orientado no existe el Paleoceno superior, sino que se encuentra la Formación Misoa en contacto discordante con Guasare (Lugo & Mann, 1995). Estas variaciones de espesor evidentemente tienen relación con el levantamiento de Macizos como la Sierra Nevada de Santa Marta, explicado con más detalle en el capítulo 4.



Figura 2.8. Afloramiento del miembro inferior de la Formación Cuervos en el área de Sororia (Perijá). Nótese el predominio de facies finogranulares. Localización del afloramiento en la Fig. 2.7.



Figura 2.9. Afloramiento del miembro medio de la Formación Cuervos en el área de Sororia (Perijá). Nótese los mantos de carbón con buena continuidad lateral y separados por capas de areniscas de grano fino a muy fino, arcillolitas y limolitas. Localización del afloramiento en la Fig. 2.7.

Los afloramientos del Eoceno y la Formación Cuesta son escasos, y se encuentran principalmente en zonas donde se han abierto carreteras recientes. Geomorfológicamente se ven como pequeñas lomas que sobresalen sobre el relieve plano que conforma la región.

El Eoceno sólo se encuentra en las partes más profundas de la cuenca donde no se alcanza a erosionar todo, y no se ha conocido su espesor total. El máximo conocido es de 300 m para el Eoceno en el centro de la Cuenca y 600 para la Formación Cuesta en el pozo Cesar H1X. En el pozo Chimila-A1 se reportan 308.9 m de espesor, aunque no se hace una diferenciación entre la Formación Cuesta y el Eoceno, que probablemente se encuentre conformando parte de este espesor (los últimos 50 m de estos 308.9 m reportan polen asociado a las Biozonas del Paleoceno Tardío – F. Perforatus, con edad aproximada de 57 Ma, según Jaramillo & Rueda, 2004). Se cree que el espesor máximo que pudo alcanzar esta Formación está por el orden de 800 m hacia el sureste de la subcuenca de Cesar (ver capítulo 5, modelamiento de madurez termal de la cocina de hidrocarburos), y ahora sólo se conservan relictos de éste en las zonas más profundas de la cuenca.



Figura 2.10. Afloramiento del Eoceno cerca de Base 39 (al Sur de La Loma de Calenturas). Nótese la pequeña loma que conforma y los colores abigarrados característicos de esta unidad.



Figura 2.11. Afloramiento de la Formación Cuesta cerca del campo Iguanas (predios de Drummond Ltd).

Unidad	BOSCONIA (m)	CESAR H1X (m)	EL DESCANSO (m)	EL PASO (m)	BOQUERON (m)	CESARA1X Y LA LUNA 3E (m)	PERIJÁ (JAGUA, SORORIA) (m)
Cuesta	NP	604	-	287	10*	NP	-
Eoceno	NP	NP	-	125	300	NP	NP
Cuervos Superior	NP	NP	36*	110	125	NP	NP
Cuervos Medio	NP	NP	432	442	425	NP	242*
Cuervos Inferior	NP	NP	152	158	150	NP	20*
Barco	NP	NP	251.5*	495.3	354.4	NP	50*
Molino	NP	NP	-	1240	-	420.8*	NP
La Luna	50.5	127.1	-	237.7	-	100.6	-
Aguas Blancas	52*	320	-	393.2	-	381	349
Lagunitas	109.5*	170.7	-	-	-	344.4	-
Río Negro	5	39.5	-	-	-	168	-

* espesores parciales
 NP No Presente (erosionado o no depositado)
 - Sin información

Tabla 2.1. Espesores de cada Unidad en la Subcuenca del Cesar. La localización de las secciones de esta tabla se encuentran en las Figuras 2.1 a 2.7.

2.3. CORRELACIONES

Como se explicó en la metodología, las correlaciones se hicieron a partir de la identificación de superficies de inundación. En cada pozo o sección utilizada se interpretó el ambiente de depósito a partir de la petrografía y la descripción litológica, y se definieron las tendencias de aporte de sedimentos / espacio de acomodación. Estas tendencias se obtienen a partir de la relación entre las capas, si las facies se profundizan o somerizan. Se marcaron los topes litoestratigráficos que aparecen sombreados con color para observar la relación entre la litoestratigrafía y las superficies de correlación. El criterio para definir las superficies principales de correlación (marcadas con líneas verdes) fue determinar la importancia de este evento a lo largo de toda la cuenca (ej., el evento anóxico en la Formación La Luna, el cambio de calizas a un paquete muy espeso de lutitas grises en la Formación Molino, el cambio de coloración de las lodolitas de la Formación Cuervos, etc.). Las convenciones usadas en las dos correlaciones realizadas se encuentran ilustradas en la Fig. 2.12.





























LITOLOGÍA		CORRELACIONES	
DETRÍTICAS  Conglomerado  Arenisca de grano medio y/o conglomerática)  Arenisca de grano fino a muy fino  Arenisca con cemento calcáreo  Intercalaciones con predominio de arenisca  Intercalaciones con predominio de limo/arcilla  Limolita  Arcillolita	CALCÁREAS Y QUÍMICAS  Boundstone de algas  Grainstone y Packstone  Wackestone  Mudstones y arcillolitas calcáreas  Dolomita  Chert  Yeso ORGÁNICAS  Carbón  Arcillolita carbonosa	MUESTRAS  Geocronología y análisis de minerales pesados  Geocronología (ubicación estratigráfica equivalente)  Petrografía  Geoquímica	Topo La Luna  Limite litoestratigráfico (Formaciones y Miembros)  Máxima superficie de Inundación(MFS)  Superficie de correlación (sup. inundación)  Limite de secuencia (discordancia)
AMBIENTES DE DEPÓSITO			
Ambientes Marinos REXT: Rampa Externa (lower offshore) RMTR: Rampa media con depósitos de tormenta RIBE: Rampa interna de Baja Energía (e.j. Lagoon) RIAE: Rampa interna de Alta Energía (upper offshore-shoreface)	Ambientes Continentales SBIO: Montículo de bioclastos (shoal) SRTM: Estromatolito de algas (intermareal)	Ambientes Transicionales (deltáicos y estuarinos) LIND: Llanura de inundación CFLV: Canal Fluvial BACR: Barras de acreción lateral LAGO: Lacustre CRVS: Desborde	Ambientes Transicionales (deltáicos y estuarinos) PROD: Prodelta CDIS: Canal distributivo LCST: Llanura costera CMRL: Canal mareal PMRL: Planicie mareal
TASA DE ACOMODACIÓN /APORTE DE SEDIMENTO	 A menor a S: progradación	 A mayor a S: retrogradación	 A igual a S: agradación

Figura 2.12. Convenciones usadas en las correlaciones regionales.

2.3.1. Cretácico

La correlación del Cretácico (Fig. 2.13) se encuentra mostrando la subcuenca del Cesar en sentido NW-SE. El datum usado fue la superficie MFS4. Se reconocieron 4 superficies principales que se manifiestan en toda la cuenca y marcan eventos de inundación regionales: MFS1, que registra el tope de la Formación Lagunitas e inicia con mudstones y lodolitas de ambientes de plataforma media a externa; MFS2, que registra un evento previo a una gran progradación de las parasecuencias, y en el cual se registran fosfatos asociados; MFS3, que marca el momento de mayor anoxia en la Formación La Luna y presenta intercalaciones de capas que en afloramiento se reconocen como chert, pero en realidad corresponden a biomicritas silicificadas; y MFS4, que registra el cambio de biomicritas fosfáticas y glauconíticas del Miembro Socuy a un espeso paquete de shales negros de varios cientos de metros.

Nótese que en la Formación Aguas Blancas los límites litoestratigráficos no coinciden con las superficies de correlación, esto se explica como una migración de facies. Las facies más calcáreas se ubican hacia el sureste, y las arcillosas hacia el noroeste. Esto hace que el Miembro Tocuy sea mucho más espeso hacia el noroeste que hacia el sureste, y el caso contrario para el miembro Animas que es calcáreo. Ambientalmente es más somero el Miembro Tocuy en los pozos Verdesia y La Luna-3E aunque sea más arcilloso que Animas, el cual es calcáreo pero con facies de plataforma media a externa. Como se verá en el capítulo 5 este hecho tiene grandes implicaciones en la calidad de roca generadora (aquí las calizas son mejores generadoras de HC). Sin embargo, en el borde noroeste (pozo Cesar H1X) no se encuentran facies someras (arenas glauconíticas), lo que nos lleva a dos Hipótesis: La primera, es que el depocentro se encuentre hacia esta zona; la segunda, que se trate de una zona somera de baja energía por alguna clase de barrera, donde no permite el desarrollo de carbonatos. Considerando las formaciones del Valle Medio del Magdalena (Tablazo y Simití) que presentan facies arcillosas pero de ambientes de plataforma interna a media, se asume para el mapa paleogeográfico la hipótesis 2, aunque no se determina una barrera occidental.

Una transgresión se marca con el Miembro Maracas de la Formación Aguas Blancas, que cubre las arenas glauconíticas con una capa muy pequeña de bioclastos (posible montículo) en dos pozos corazonados, y deposita facies de plataforma media a externa. En la Formación La Luna las rocas alcanzan un máximo de profundidad y contenido de materia orgánica hasta el Miembro Socuy, donde ocurre una somerización e inicia el depósito de lutitas, y finaliza el aporte de carbonatos en la cuenca. Según esto, se esperaría la mayor producción orgánica hacia el este de la cuenca donde hay más contenido de carbonatos micríticos.

El Miembro Socuy (parte inferior de la Formación Molino), caracterizado por biomicritas con abundantes pellets glauconíticos y fosfatos en la base, se reconoce fácilmente en toda la subcuenca del Cesar, y su litología es similar en diferentes muestras analizadas, debido a que durante el depósito de la Formación La Luna la cuenca estaba profunda y homogénea y no mostraba variaciones faciales considerables.

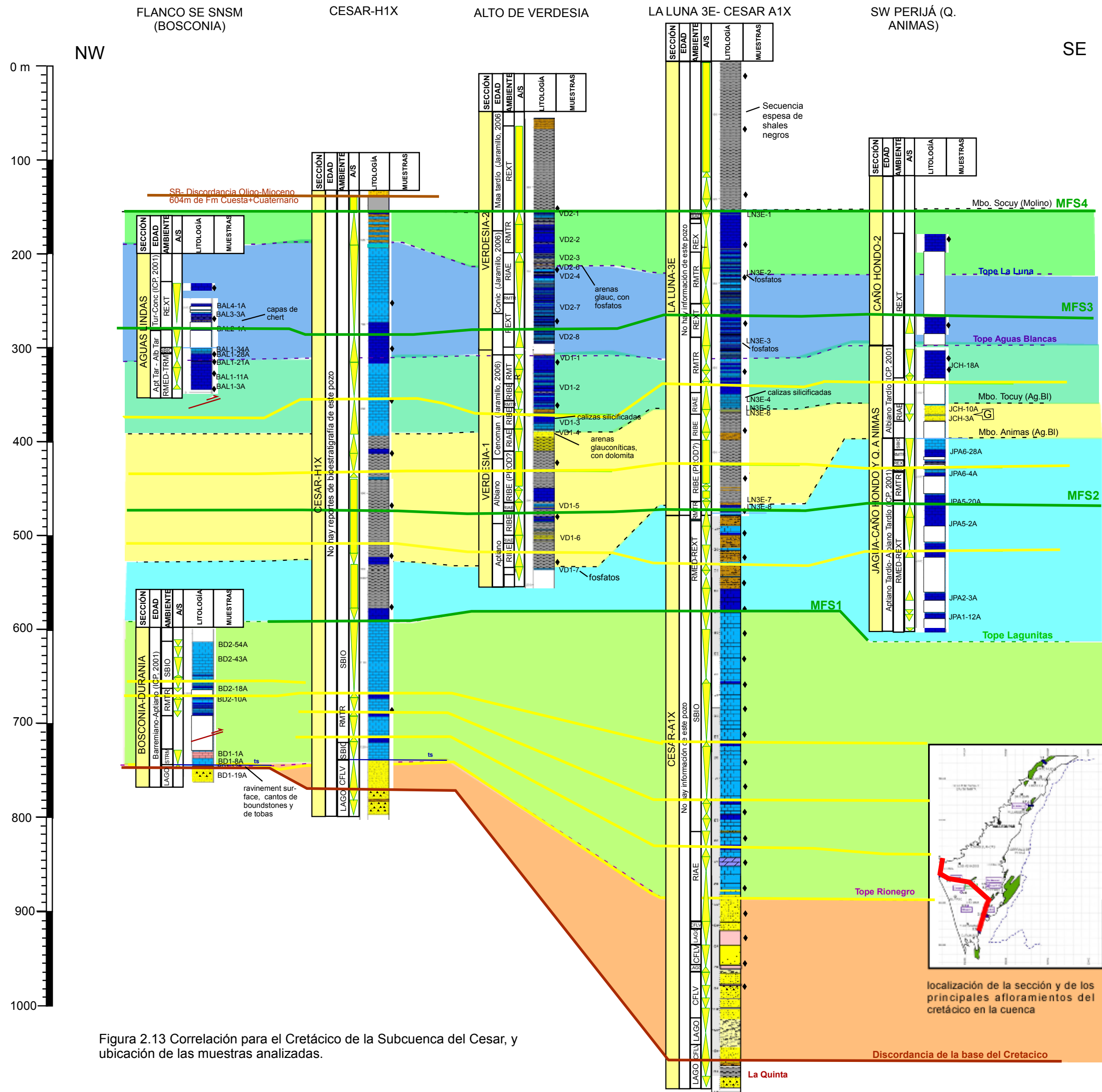


Figura 2.13 Correlación para el Cretácico de la Subcuenca del Cesar, y ubicación de las muestras analizadas.

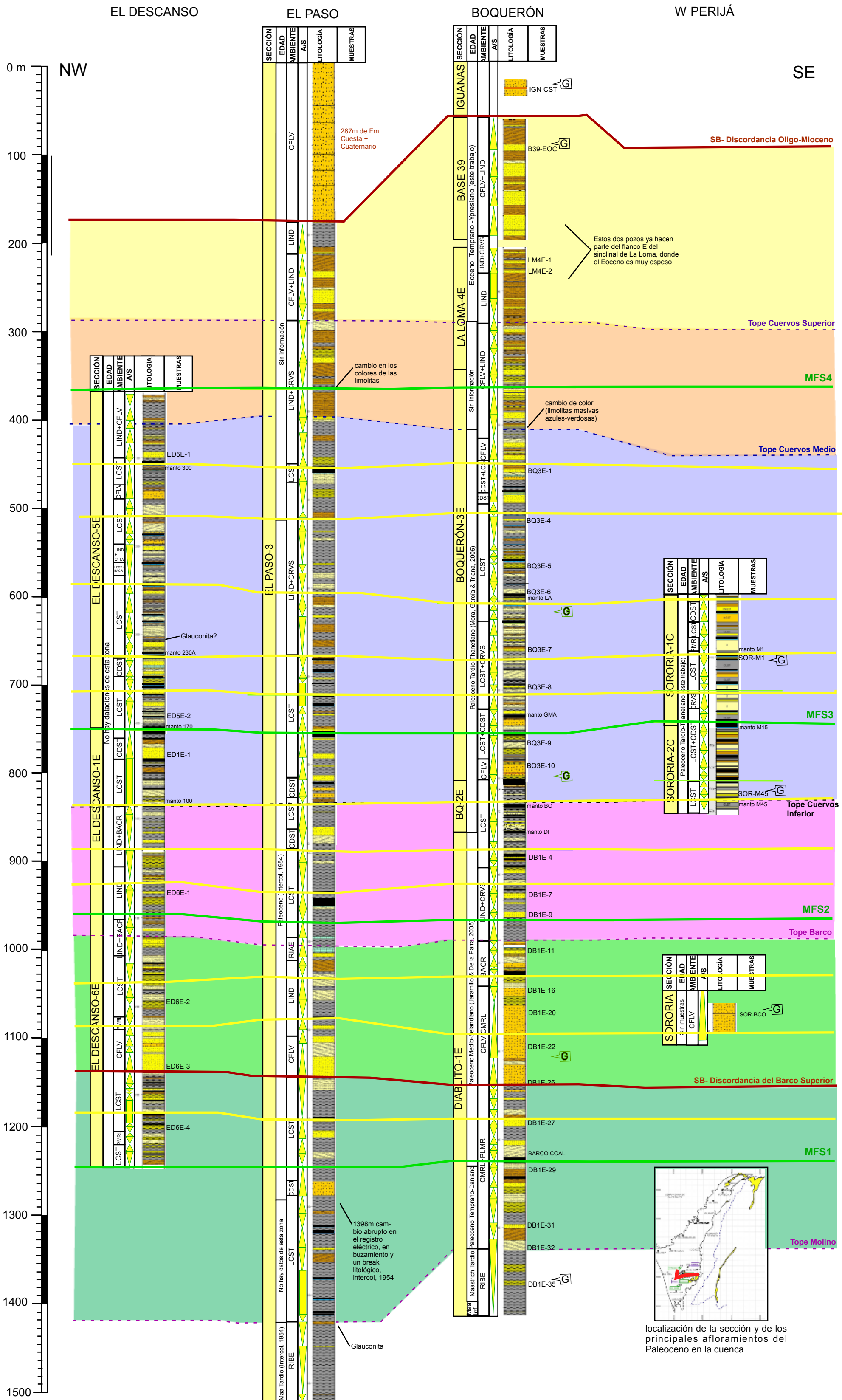


Figura 2.14. Correlación para el Paleoceno de la Subcuenca del Cesar, y ubicación de las muestras analizadas.

2.3.2. Paleoceno

El Paleoceno en la subcuenca del Cesar tiene un espesor aproximado de 1050 m, y unos 700 m fueron conservados en un corto lapso de tiempo, aproximadamente de 3 Ma (se conoce por el análisis realizado en circones detríticos durante el presente estudio que el manto 45 tiene una edad mínima de 58 Ma), a diferencia de los 350 m inferiores que representan un intervalo de tiempo de 7 Ma. Esto muestra la presencia de una cuenca activa que tuvo su máxima subsidencia durante el depósito del miembro medio de la Formación Cuervos.

La correlación para el Paleoceno y Eoceno (Fig. 2.14) , con datum en la superficie MFS4, se realizó en sentido W-E, y comprende desde la parte central de la subcuenca del Cesar hasta el Perijá, a falta de afloramientos en la parte más occidental de la subcuenca. Se escogieron cuatro superficies principales de correlación: la superficie MFS1, en la cual se encuentra el Barco Coal, primer manto espeso de carbón arcilloso dentro de la secuencia, y representado en el Paso-3 como un periodo muy arcilloso; MFS2, que marca el inicio de una secuencia altamente agradacional que da origen a abundantes mantos de carbón; MFS3, que da lugar a mantos de carbón de gran espesor en toda la cuenca; y MFS4, que marca la última superficie de inundación observada a partir del análisis de parasecuencias.

La Formación Barco presenta algunas variaciones faciales dentro de la cuenca. Hacia el Noroeste (Descanso) las facies son menos arenosas que hacia el sureste (Boquerón). En esta cuenca el levantamiento de los bordes causa los fragmentos líticos, y se observa un muy tenue incremento de los fragmentos líticos hacia el área de Boquerón (12.9% para la muestra DB1E-26, mientras que en la muestra ED6-3 tiene 11.7%). En el área de Sororia los líticos alcanzan el 24.6%, aunque en este estudio se cree que el Barco de este afloramiento es más correlativo con las facies lodosas del tope de la Formación Barco. Igualmente se estaría asumiendo más arenas hacia el Perijá en el mismo tiempo que el centro de la cuenca es más heterolítico. En el capítulo 2 se puede observar un dato de paleocorriente con fuente de aporte proveniente del Sureste. Esto implica que los paquetes más potentes de arenas se encontrarían hacia el sureste, pero no necesariamente indica las arenas con mejor calidad de reservorio, ya que contienen líticos metamórficos dúctiles.

La Formación Cuervos es muy homogénea en espesor para la parte central de la cuenca, pero ambientalmente se observa que los carbones son más abundantes y espesos hacia la base en Boquerón y Sororia, mientras que en el Descanso se conservan más arriba estratigráficamente.

Mora et al (2005) proponen que el Eoceno se encuentra paraconforme sobre la Formación Cuervos, pues en el centro de la cuenca se ve totalmente continuo en los reflectores sísmicos (Figs. 4.3 y 4.4). En este trabajo se propone que la secuencia es continua, ya que en el pozo La Loma 4E lo único que diferencia el Eoceno del miembro Superior de la Formación Cuervos es el cambio de color, pero no existen conglomerados basales, superficies erosivas o similar. Además, la secuencia es continua pasando de ambientes deltáicos con carbones, a ambientes salobres con lodolitas verdosas, y por último lodolitas abigarradas que indican no sólo el desarrollo de paleosuelos ya de ambientes continentales, sino que indican ambientes áridos con alta acidez, que disuelven óxidos ferrosos para precipitarlos en épocas de sequía, tal como ocurre en la actualidad en esta zona generando las costras ferruginosas en el suelo o "moco de hierro".

2.4. AMBIENTES DE DEPÓSITO INTERPRETADOS

Se elaboraron mapas paleogeográficos con la ubicación actual (Figs. 2.15 a 2.22), que permiten observar la evolución de los ambientes de depósito en el área de estudio. Sin embargo, se es consciente que esta cuenca está sujeta a la deformación producida por el movimiento de la placa del Caribe sobre la esquina norte de Suramérica, y por eso los mapas iniciales (Barremiano, Aptiano) se pueden ver con una curvatura de unos 20° hacia la derecha, que indican que todos estos ambientes inicialmente tenían un rumbo NNE y una línea de costa más suave, formando durante el movimiento de la placa del Caribe esa curva tan pronunciada en lo que en los mapas correspondería a la esquina noroeste de la Sierra Nevada de Santa Marta. Los 20° se tomaron intencionalmente asumiendo que esa es la rotación que presentan las capas de la Quinta en la Sierra Nevada de Santa Marta (Germán Bayona, sometido a publicación).

2.4.1. Formación Río Negro

El ambiente de Río Negro a pesar de ser predominantemente continental y lacustre está determinado por la presencia de fallas normales. El límite occidental se asume que debe ser la Falla de Perijá, pues ésta reúne dos características aceptables: 1. es una falla de alto ángulo, 2. al este de la Falla de Perijá los espesores de Río Negro son muy grandes en comparación al resto de la subcuenca del Cesar. La tendencia de engrosamiento hacia el este se interpreta como presencia de varias fallas de rift que definen los bordes de la cuenca, y estas fallas se pueden ver en los cortes regionales, aunque la sísmica es de muy mala resolución y no permite seguir los reflectores pre-Lagunitas.

2.4.2. Formación Lagunitas

De la Formación Lagunitas sólo existe petrografía de la zona de Bosconia. Sin embargo, la respuesta eléctrica es muy característica de bancos de carbonatos en toda la cuenca para la Formación Lagunitas, por lo tanto se asume que el ambiente es uniforme en toda el área. Bartok et al (1981) delimita la zona del Lago de Maracaibo como una plataforma somera de carbonatos, y el límite se encuentra al norte de éste. La petrografía muestra facies muy someras (ver anexo 1-Tabla A2), de plataforma interna a media, con predominio de packstones de bioclastos (bivalvos y equinodermos). Hacia el área de Catatumbo se encuentran arenas glauconíticas de ambientes muy someros, con probable aporte del Escudo de Guayana. Es de anotar que la Sierra Nevada de Santa Marta no muestra en lo más mínimo características de barrera en su posición actual, por el contrario, las facies tienden a ser más micríticas hacia el noroeste, por lo cual se asume para este periodo que no existe en la cuenca en su posición actual. Probablemente se encuentra más al sur permitiendo el desarrollo de estromatolitos de algas sobre pequeños relieves.

2.4.3. Formación Aguas Blancas

La Formación Aguas Blancas es muy variada en Litología, y esto se debe a que el mismo ambiente deposicional permite el desarrollo de barras arenosas y ambientes mareales hacia el sur, y hacia el Noreste carbonatos en montículos de bioclastos y arrecifes. Las facies más

arcillosas se asumen hacia el oeste con el desarrollo de lodolitas de plataforma media. Debido a que es una unidad progradante entre los miembros Animas y Tocuy, y transgresiva entre los Miembros Tocuy y Maracas, en la columna estratigráfica superpone facies calcáreas sobre facies siliciclásticas y viceversa. Casos similares suceden actualmente en zonas donde se desarrollan montículos de carbonatos como pequeñas islas cerca de continente donde ocurre el aporte terrígeno (e.j. Parque Nacional de Morrocoy, Venezuela).

2.4.4. Formación La Luna

La Formación La Luna representa un periodo de gran inundación en la cuenca, y que se conecta a nivel regional en todo el norte de Suramérica. En el modelo paleogeográfico se asume que la Formación La Luna se acumula sobre una plataforma de carbonatos inundada y eso permite los cambios de espesor en la cuenca, de unos 100-110 m sobre la plataforma a 200 m fuera de ella. Hacia el oeste se acumulan las facies más profundas con predominio de arcillolitas con foraminíferos planctónicos.

2.4.5. Formación Molino

Durante el Maastrichtiano ocurre la transición de ambientes marinos típicos del margen pasivo del Cretácico a un margen activo controlado por el movimiento de la Placa del Caribe. El tope de la Formación Molino, correlativo con la Formación Mito Juan en la cuenca de Maracaibo, se deposita en ambientes transicionales con influencia de mareas. De esta manera, da inicio a los depósitos transicionales que predominan durante todo el Paleoceno en la subcuenca del Cesar.

2.4.6. Formación Barco

En el Paleoceno Temprano a Medio el movimiento de la placa del Caribe ayuda a desarrollar una plataforma de carbonatos representada por la Formación Guasare en la Cuenca de Maracaibo. El levantamiento de los bordes de la cuenca constituye una fuente de aporte de sedimentos, además de los ríos provenientes del sur. En la parte norte, donde se depositan las formaciones Hato Nuevo y Manantial, ocurre una mezcla de aporte detrítico y carbonatos de la

plataforma somera. Esta Formación Barco es mucho más lítica que la Formación Barco de Catatumbo y los Llanos Orientales (Carolina Ojeda, tesis de grado en preparación, UNAL), debido a que su aporte no proviene sólo del cratón, sino de la cobertera sedimentaria cretácica en levantamiento.

2.4.7. Formación Cuervos

A medida que la placa del Caribe continúa su movimiento la subsidencia aumenta por el basculamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta, y se reactivan fallas que ayudan a controlar la sedimentación (ej, Falla de Perijá, Fallas de la parte Norte de la Cordillera Central). La creación de esta cuenca genera levantamientos hacia el área de Maracaibo, erosionando parte de la plataforma de carbonatos del Paleoceno Inferior y aportando clastos de micrita a la cuenca. El vulcanismo asociado a la placa del Caribe aporta algunos circones a la cuenca que permitieron datar las unidades del Paleoceno Superior y Eoceno Inferior. El Paleoceno Superior es un periodo muy homogéneo en la cuenca, donde predominan las mismas facies deltáicas, de planicies costeras con desarrollo de carbones. A pesar de tener el mismo ambiente de depósito, el espesor de esta unidad es muy variable en cada parte de la cuenca, y esto se interpreta como producto de la geometría generada por el basculamiento de la Sierra Nevada sumado a la reactivación de fallas de basamento que ayuda a controlar la sedimentación.

2.4.8. Eoceno inferior

Para el Eoceno, la subcuenca del Cesar continúa emergiendo en un ambiente aluvial de baja pendiente, muy árido, mientras que en la subcuenca Ranchería se observan conglomerados (Formación Tabaco) infiriendo mayor cercanía a la zona de levantamiento; y en la zona de Maracaibo se genera una cuenca Foreland debido a la acreción de las napas de Lara, y acumula los depósitos deltáicos de la Formación Misoa. El levantamiento de la Serranía de Perijá continúa hasta que las cuencas quedan separadas completamente.

2.4.9. Formación Cuesta

Finalmente, durante el Eoceno Tardío-Oligoceno, ocurren eventos de levantamiento asociados a los primeros pulsos de la Orogenia Andina, y se deposita la Formación Cuesta, conglomerática y de ambiente continental. Esta Formación es más gruesa hacia el suroeste, y según Mora & García (2006) se conecta en una sola cuenca con el Valle Inferior del Magdalena. Los eventos de levantamiento continúan durante el Plioceno y Pleistoceno, deformando la Formación Cuesta y generando algunas terrazas cuaternarias orientadas.

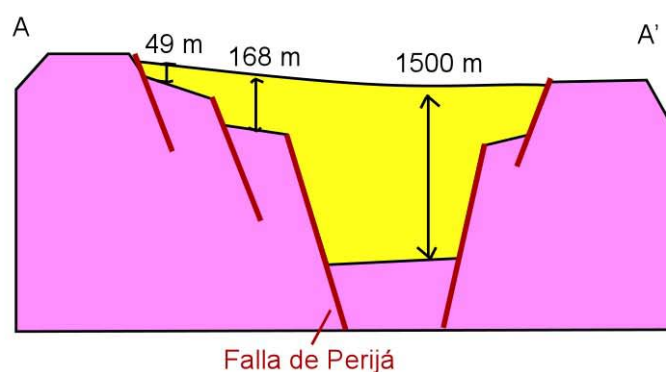
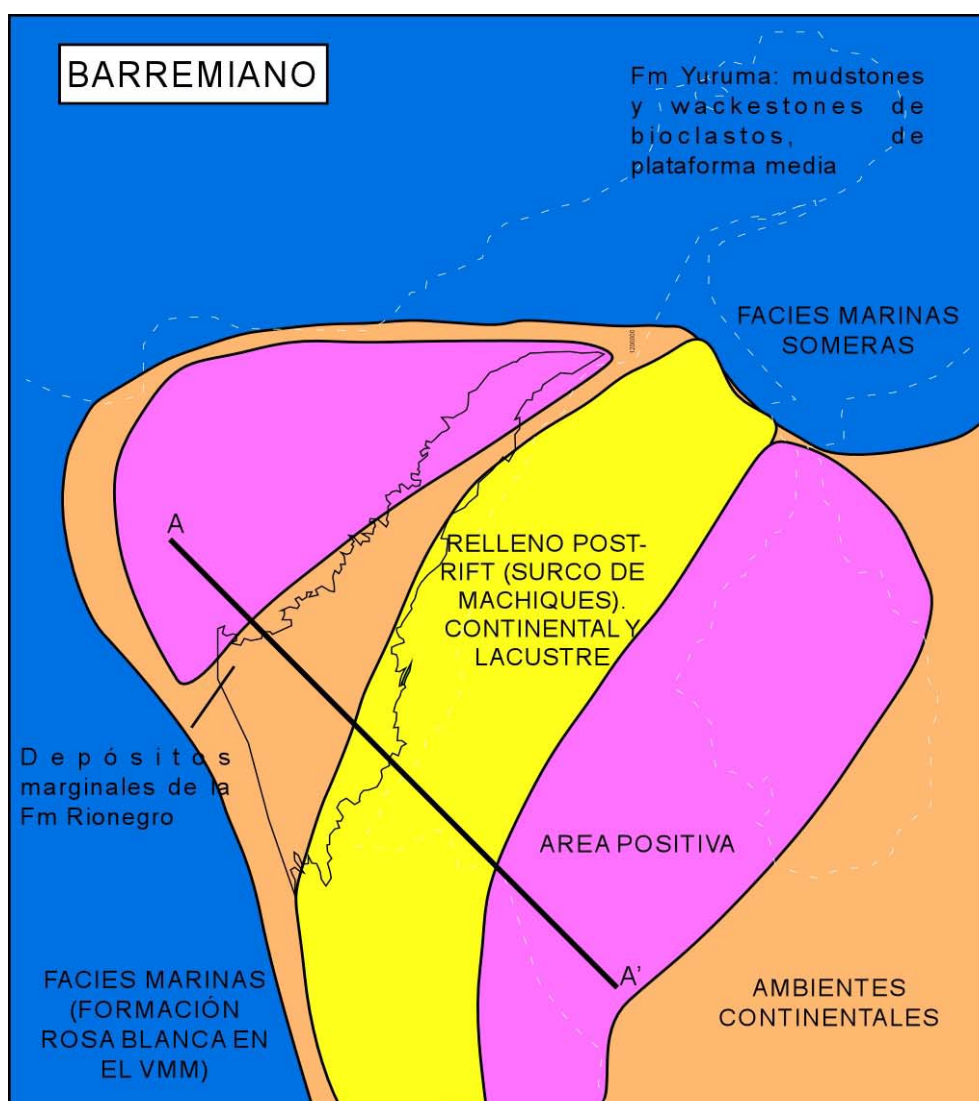


Figura 2.15. Esquema paleogeográfico del Barremiano (Formación Río Negro) en el área de estudio, interpretado a partir de los datos obtenidos. Nótese los cambios de espesor en la Formación Río Negro, asociados al relleno post-rift.

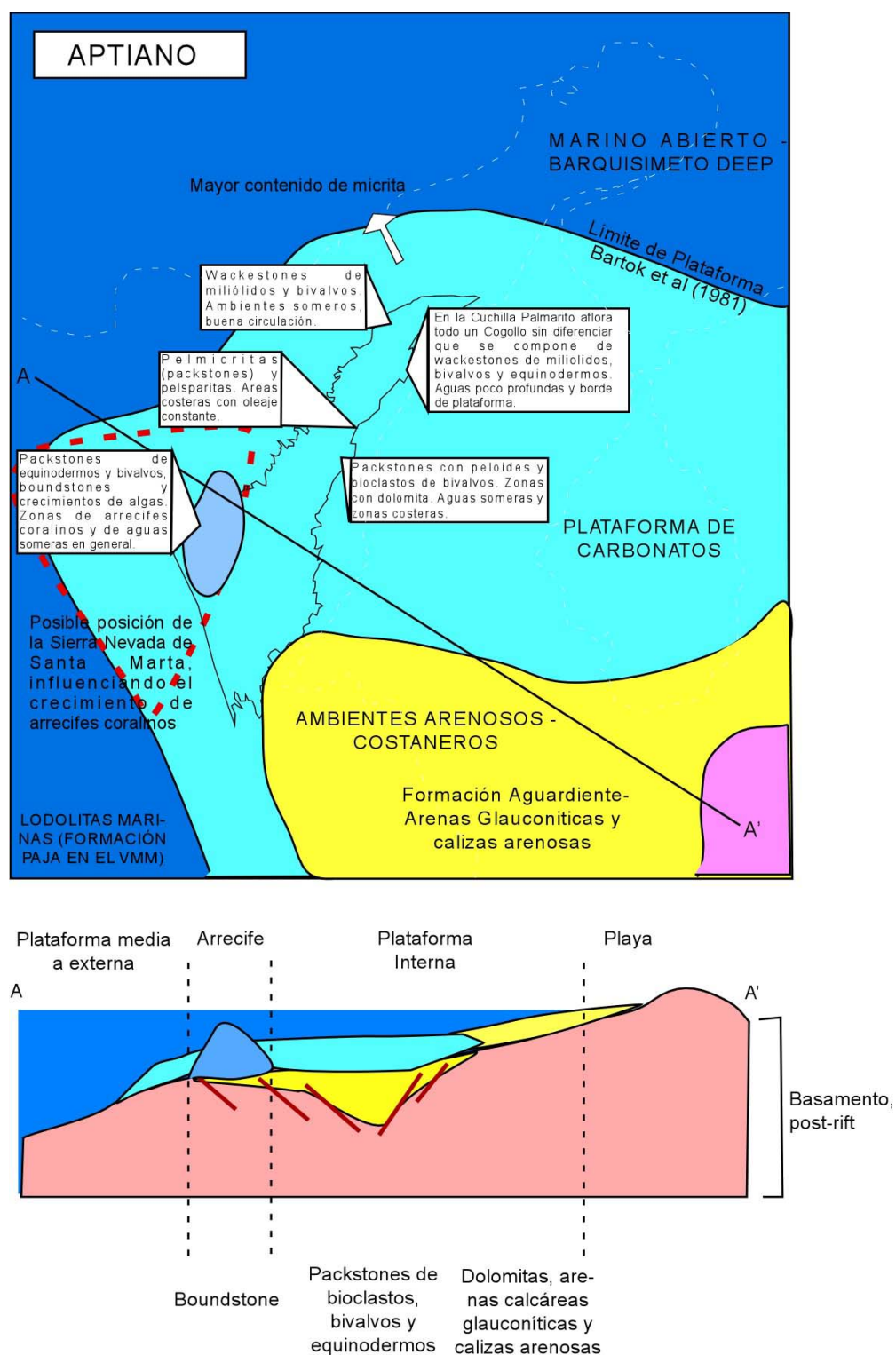


Figura 2.16. Esquema Paleogeográfico del Aptiano (Formación Lagunitas) en el área de estudio, interpretado a partir de los datos obtenidos. Nótese la uniformidad en las facies de carbonatos bioclásticos, a pesar de las variaciones en Catatumbo (facies arenosas) y en el VMM (facies lodosas).

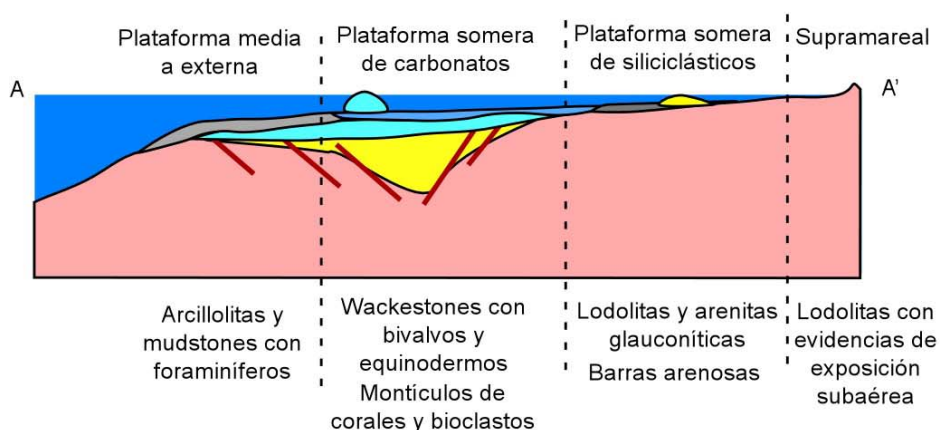
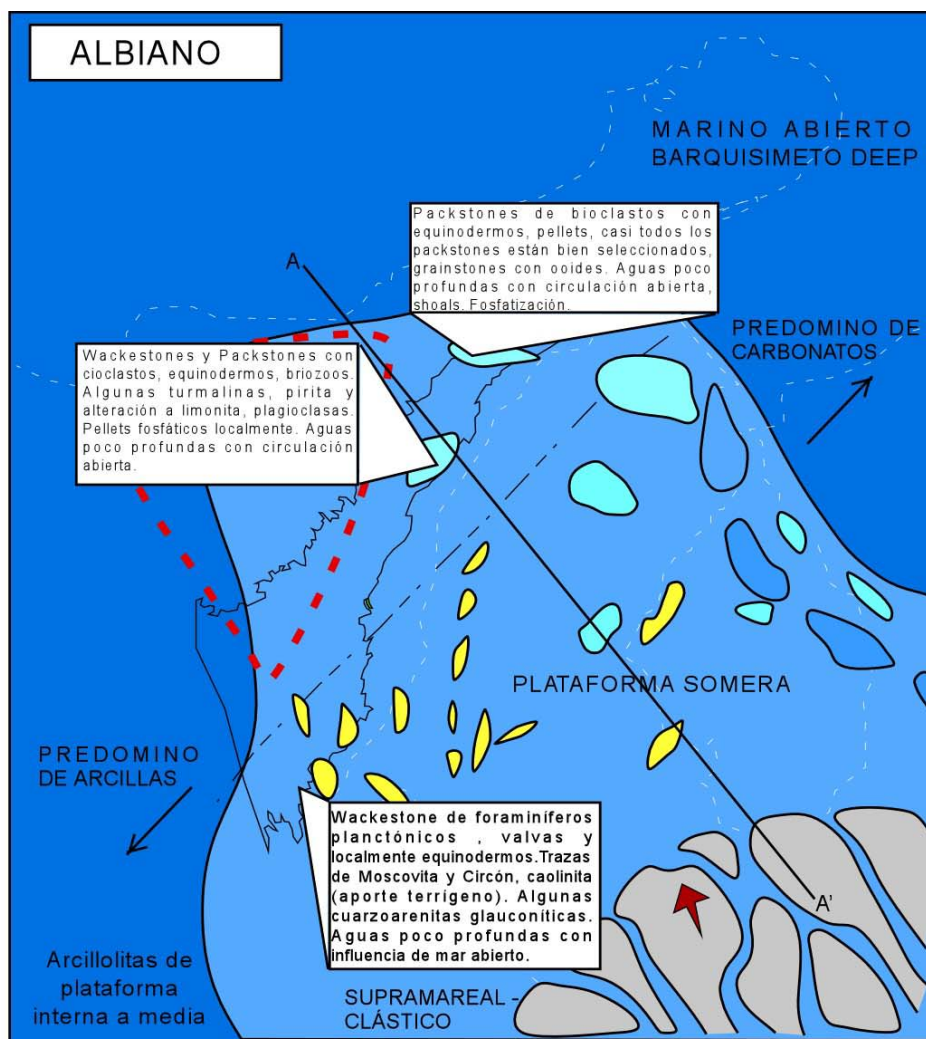


Figura 2.17. Esquema Paleogeográfico del Albian (Formación Aguas Blancas) en el área de estudio. Modificado de Bartok (1981) y Stauffer (1994). Nótese la variedad de litologías que coexisten en el mismo intervalo de tiempo, causando cambios faciales fuertes dentro de la misma Formación.

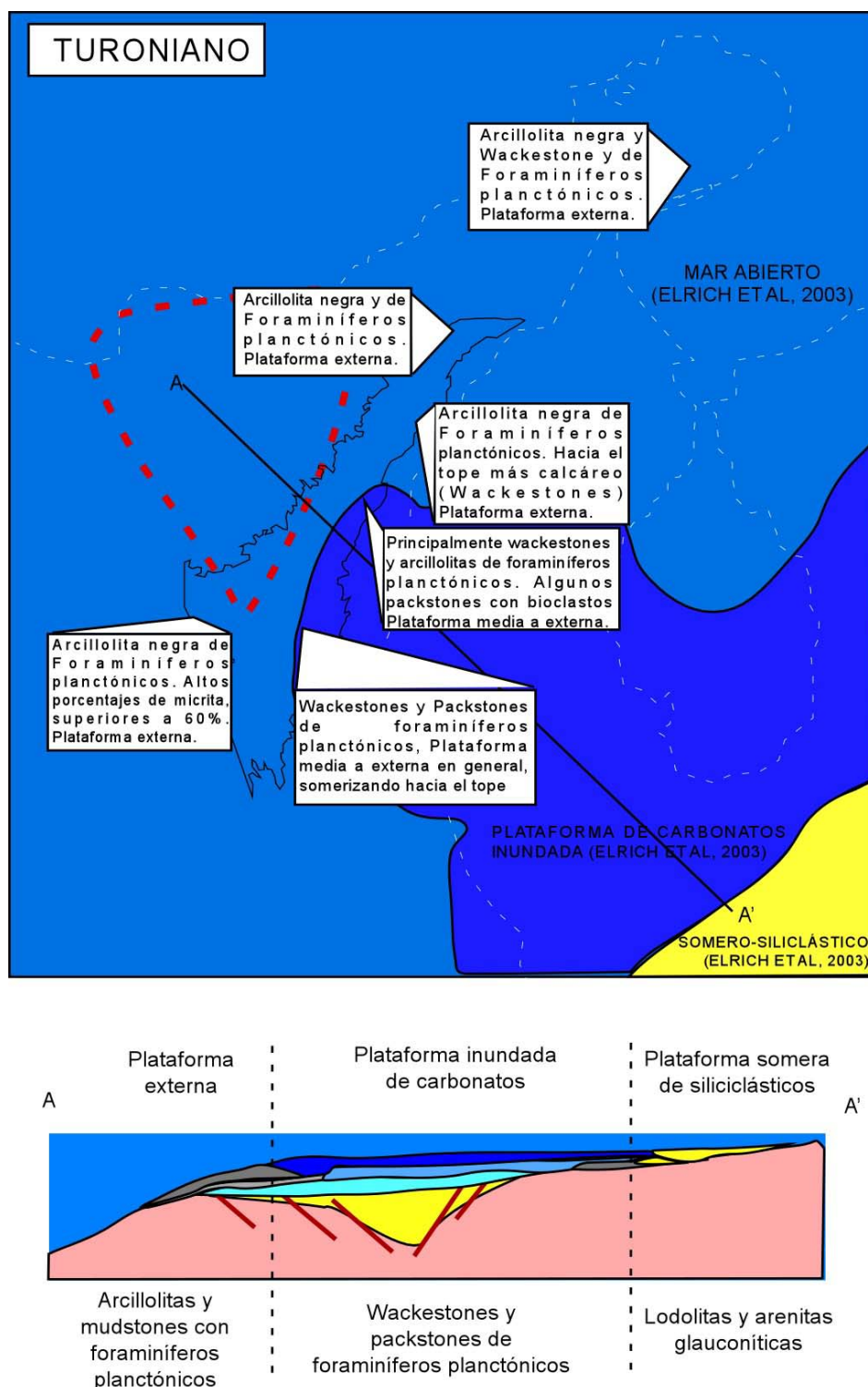


Figura 2.18. Esquema Paleogeográfico del Cenomaniano Tardío - Turoniano (Mbo Maracas-Formación La Luna) en el área de estudio. Modificado de Elrich et al (2003). Nota: el perfil no tiene escala real y se usa sólo como esquema de los ambientes prevalecientes en el área.

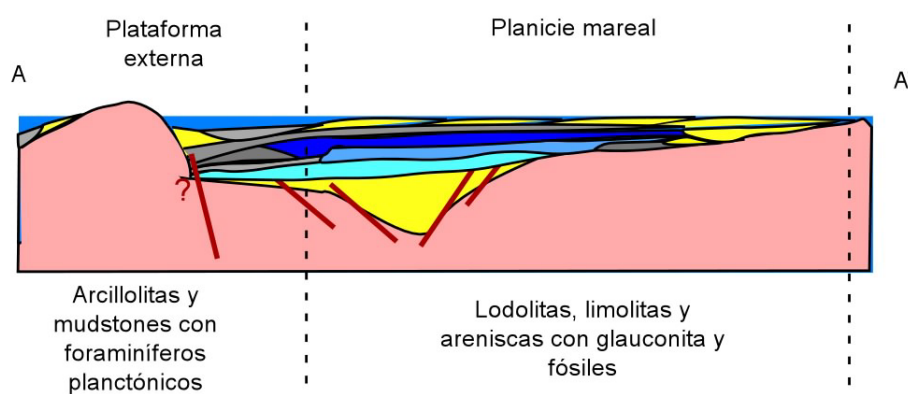
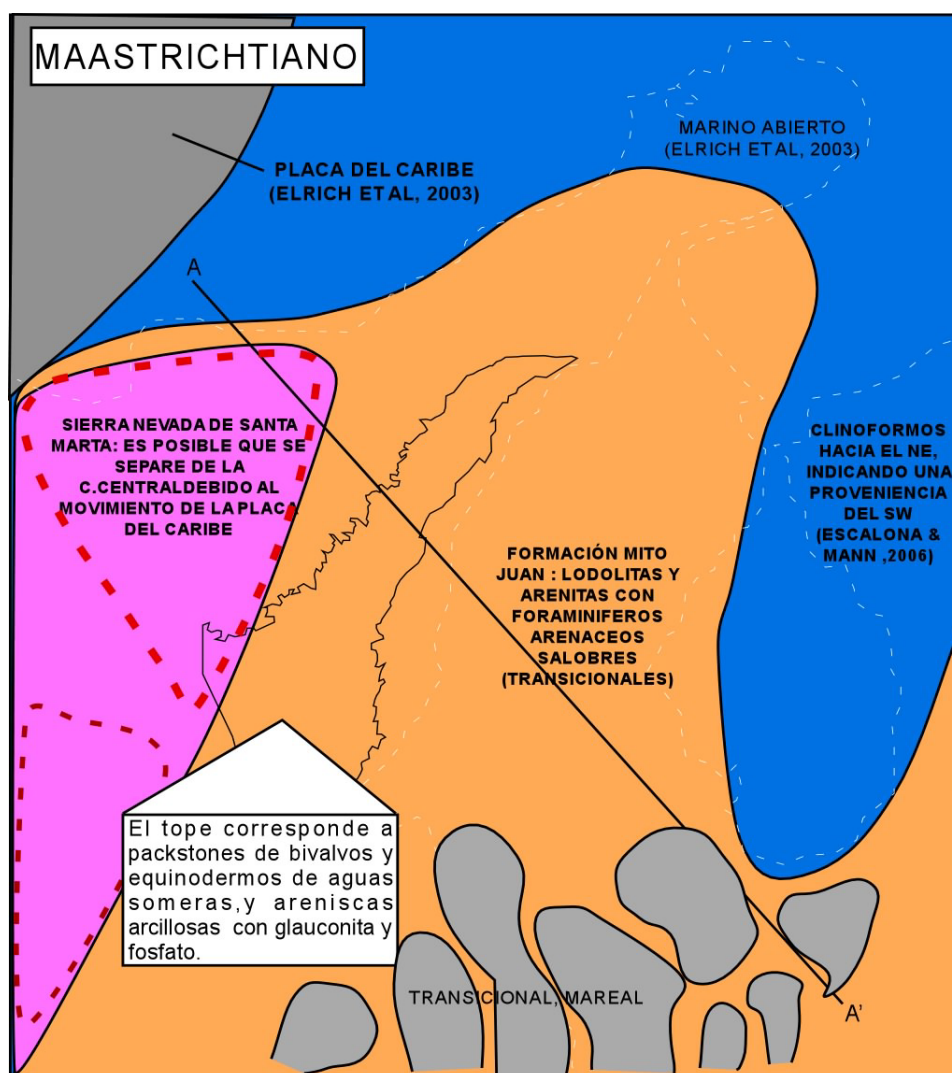


Figura 2.19. Esquema Paleogeográfico del Maastrichtiano Tardío (Tope de Molino) en el área de estudio. Modificado de Elrich et al (2003).

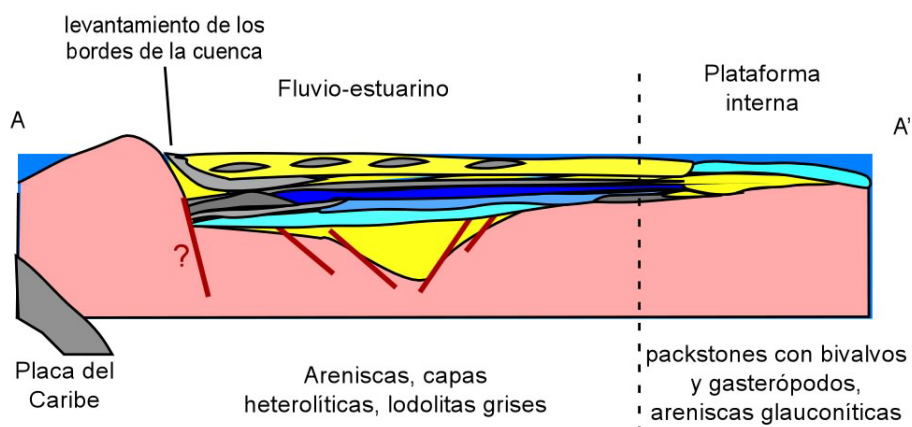
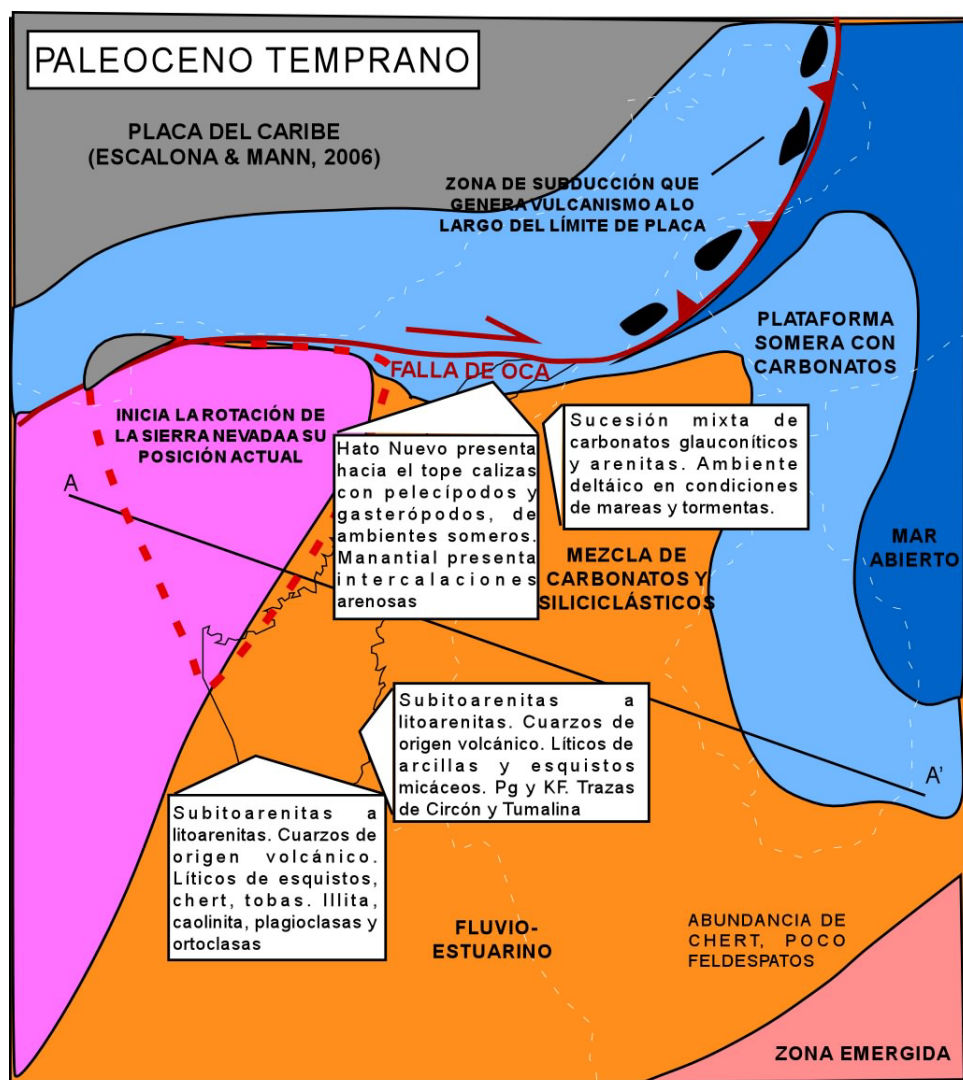


Figura 2.20. Esquema Paleogeográfico del Paleoceno Temprano (Formación Barco) en el área de estudio. Modificado de Villamil (1999).

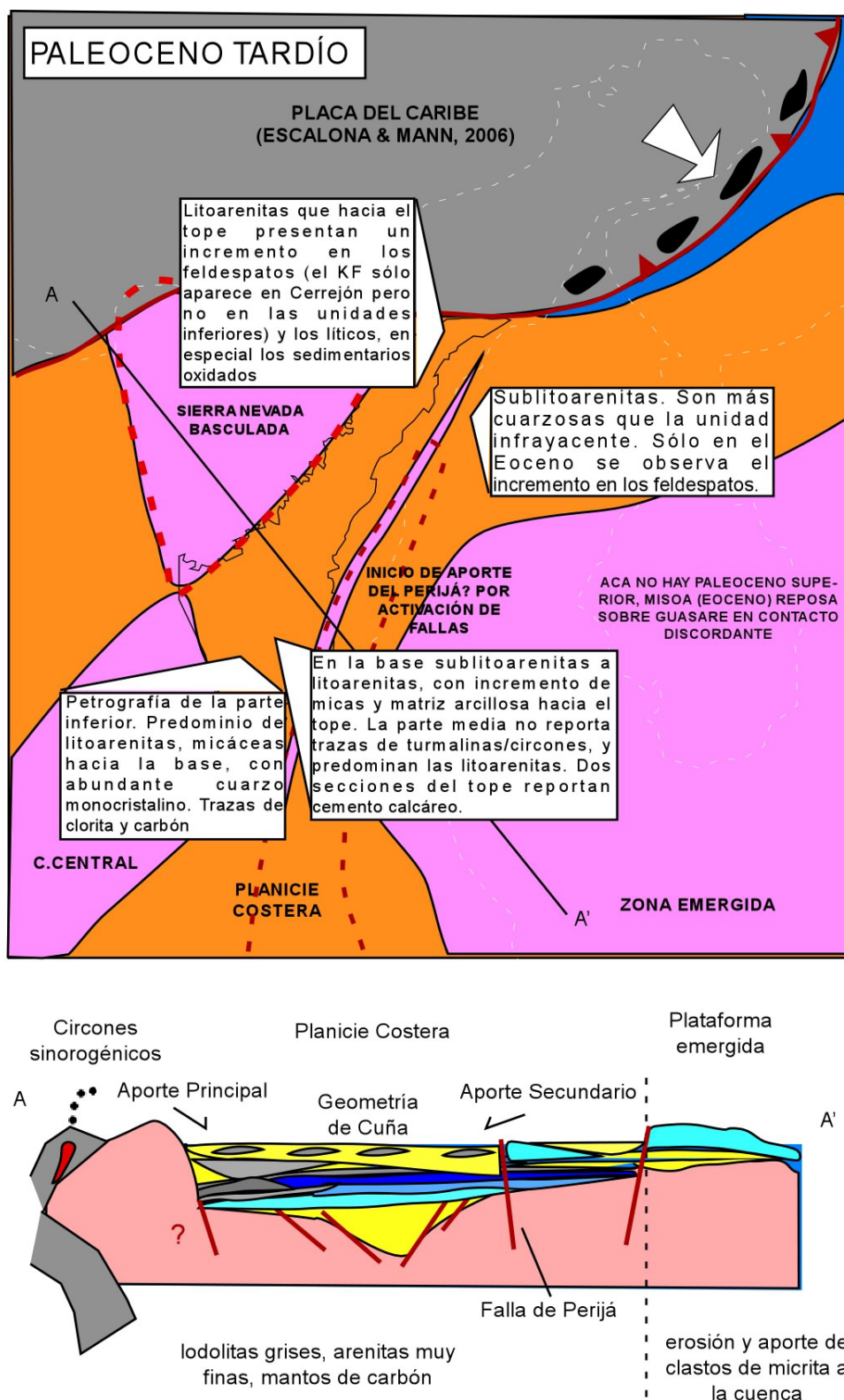


Figura 2.21. Esquema Paleogeográfico del Paleoceno Tardío (Formación Cuervos) en el área de estudio, interpretado a partir de los datos obtenidos.

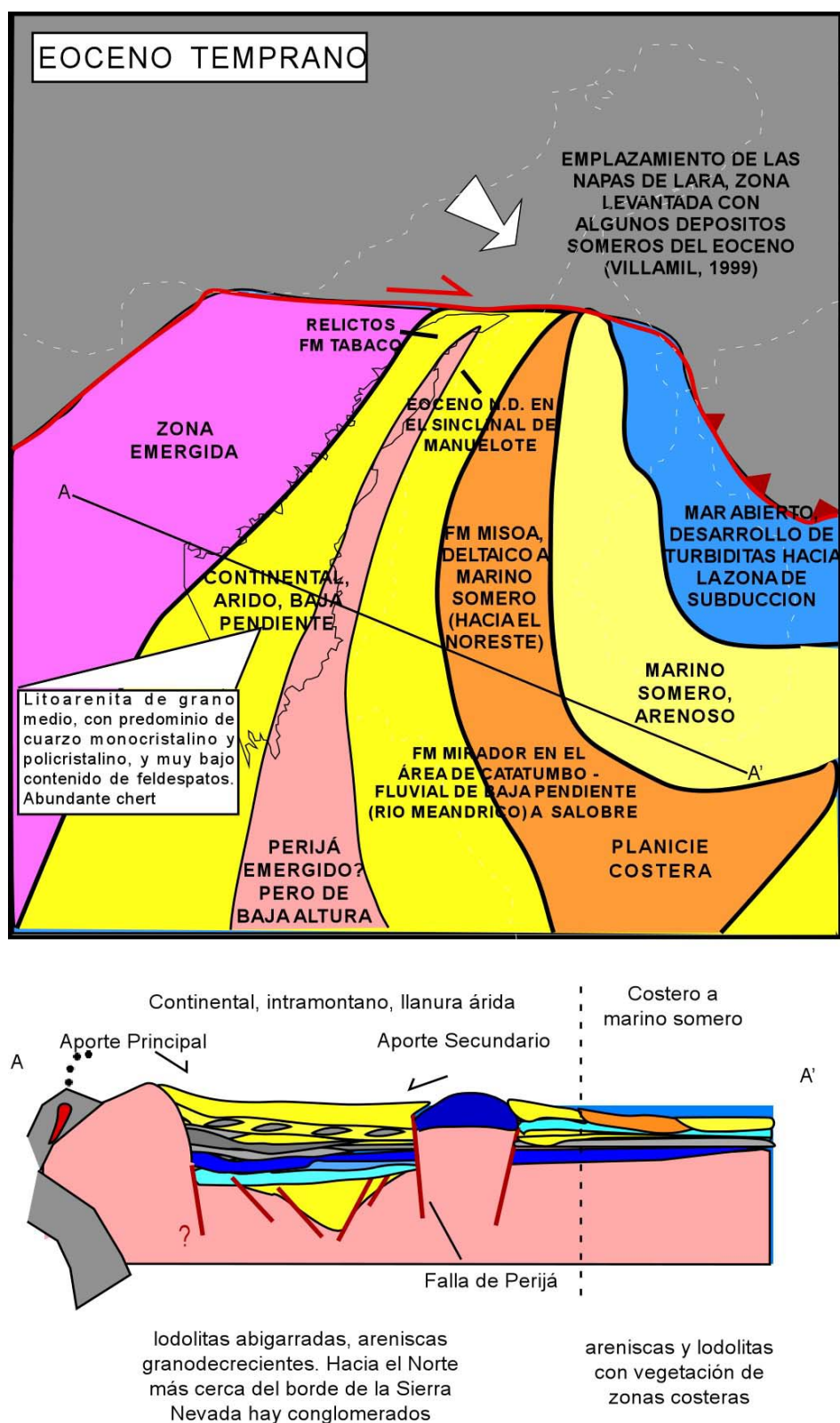


Figura 2.22. Esquema Paleogeográfico del Eoceno Temprano en el área de estudio, interpretado a partir de los datos obtenidos.

CAPITULO 3 – ANALISIS DE PROCEDENCIA

El análisis de procedencia de sedimentos se realizó con el fin de establecer la relación entre las unidades depositadas (las cuales fueron estudiadas en el capítulo anterior) y sus fuentes de aporte de sedimentos. Entender el cambio de las fuentes de aporte es importante porque permite conocer el tiempo de levantamiento de Macizos y por consiguiente mejoran el modelo de evolución tectónica.

3.1. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE PROCEDENCIA

Para realizar los análisis de procedencia de sedimentos se combinaron las siguientes técnicas:

- Petrografía
- Geocronología en detritos de circón
- Análisis de minerales pesados
- Medición de paleocorrientes

3.1.1. Metodología del Análisis Petrográfico

La petrografía permite conocer el tipo de detritos presentes en las unidades sedimentarias. Para este análisis se realizaron 20 secciones delgadas impregnadas con sodio cobalnitrito para identificación de feldespatos. Estas secciones corresponden a las formaciones Aguas Blancas, La Luna, Barco, Cuervos, Eoceno y Cuesta (para su ubicación ver Figs. 2.13-2.14, y Tabla 3.3). Las muestras se tomaron de acuerdo a las zonas donde no hubiera información petrográfica, y los resultados se complementaron con las muestras previas a este estudio con el fin de tener un registro petrografico completo del área de estudio.

Se realizó un conteo de puntos (250 en promedio) y los granos del armazón se normalizaron excluyendo matriz, minerales accesorios, intraclastos y cementos, para obtener los gráficos. Los intraclastos no se tienen en cuenta debido a que éstos son detritos intracuenca o de fuente muy cercana.

CODIGO	NOMBRE	DESCRIPCION
Qm	Cuarzo Monocristalino	Granos de caras limpias
Qps	Cuarzo Policristalino sedimentario	Fragmento con granos de cuarzo de tamaño arena muy fina a limo, sn contactos suturados y usualmente con material intergranular
Qpf	Cuarzo Policristalino Foliado	Contactos suturados y cristales alargados y alineados
Qp	Cuarzo Policristalino	Contactos suturados, cristales equant
Qc	Chert	Cuarzo microcristalino, en nicoles paralelos algo grisáceo
PI	Plagioclasa	En general con maclas, fragmentos euhedrales y fragmentos meteorizados
KF	Feldespato Potásico	Reconocibles por la tinción amarilla en nicoles paralelos. La microclina se diferenció por la textura enmallada
Lm	Lítico metamórfico	Se reconocieron esquistos micáceos, grafitosos, y cuarcitas micáceas de bajo grado
Ls	Lítico sedimentario	Fragmentos finogranulares (limo y arcilla), a veces laminados y con sericita. En nicoles paralelos se identifican por sus colores oscuros o pardos
Lso	Lítico sedimentario oxidado	Fragmentos con superficies de óxidos
Lv	Lítico Volcánico	Fragmentos con texturas porfíricas, en donde se observan algunos cristales embebidos en una matriz microcristalina. Localmente existe impregnación de feldespatos en el grano
Mp	Minerales pesados	Accesorios, ya sea opacos (Ox) o cristalinos (Zr)
Ca	Fragmentos de carbonatos	Granos de micrita, más gruesos que los demás, que al tener disolución parcial dan la apariencia de cemento calcáreo en parches
Glc	Glauconita	Fragmentos redondeados color verde, con nicoles cruzados se ve de color amarillo y microcristalina
PII	Pellets	En general glauconíticos, acumulados en grandes masas
For	Foraminíferos	En su mayoría planctónicos, globosos, de unas pocas decenas de mm de diámetro
Biv	Bivalvos	Fragmentos rotos de conchas de bivalvos
ISil	Intraclastos siliciclásticos	Fragmentos de clastos limosos muy similares a la matriz y por tanto difíciles de distinguir. Se consideran clastos intracuenca retrabajados por pulsos de mayor energía

Tabla 3.1. Definición de los fragmentos del armazón.

Se trabajó únicamente la fracción de arenas (excluyendo rocas detríticas de grano muy fino). En la Formación Cuesta y el Cuaternario aluvial se analizaron algunos clastos en los conglomerados, pero éstos no se tuvieron en cuenta para los diagramas triangulares. La descripción de éstos se realiza en los resultados petrográficos (sección 3.3.2).

Los granos identificados se denominaron siguiendo la metodología de Bayona et al. (2007). Sus características principales están consignadas en la tabla 3.1. Para realizar el análisis de procedencia y la clasificación petrográfica se contabilizó según los parámetros estipulados en la tabla 3.2. Los resultados se graficaron en los diagramas QtFL para clasificación de Dickinson (1985) y QmFLt para procedencia de Dickinson & Suczek (1979). Ver Figs. 3.3 y 3.4 de este capítulo.

CODIGO	DESCRIPCION
Armazón normalizado	Total de puntos - (matriz que incluye materia orgánica y bitumen+cemento+poros+accesorios)
%Fragmento normalizado	Fragmento/Armazón normalizado
Qt	% Cuarzo total= Qm+Qp+Qpf+Qc
Qm	% Cuarzo monocristalino
F	% Plagioclasa + OrCOTIasa + Microclina
L	% Ls+Lm+Lv
Lt	% Ls+Lm+Lv+Qp++Qps+Qpf+Qc

Tabla 3.2. Cálculos para el conteo de puntos. Metodología según Bayona et al. (2007)

3.1.2. Metodología del Análisis Geocronológico

La geocronología es una técnica que permite conocer las edades de los detritos presentes en las rocas. Teniendo un registro geocronológico de todas las posibles fuentes de aporte se puede tener una correlación directa entre sedimento-roca fuente. Igualmente, si existen circones de origen volcánico contemporáneos con la edad del depósito es posible datar los sedimentos en zonas donde no hay buen recobro de palinología.

Para este análisis se realizaron dataciones U/Pb en 100 detritos de circón para 10 muestras. 7 de ellas representan el total de la secuencia en orden estratigráfico (Albiano, Maastrichtiano,

Paleoceno Inferior, 2 del Paleoceno superior, Eoceno y Oligo-Mioceno), y se tomaron 3 muestras del Paleoceno en el área del Perijá para observar las variaciones entre el centro y el borde oriental de la cuenca. Para su ubicación ver Fig. 2.14, y Tabla 3.3.

MUESTRAS DE GEOCROLOGIA					
LOCALIDAD	MUESTRA	PROFUNDIDAD (PIES)	ESTE (X)	NORTE (Y)	FORMACION
Sororia	SORORIA M1-M2	Afloramiento	1087563	1547258	Cuervos Medio
Sororia	SORORIA M45	Afloramiento	1086951	1547582	Cuervos Medio
Sororia	SORORIA BARCO	Afloramiento	108523	1548423	Barco Superior
Mina-Pit Central	MANTO ROUZOD	Afloramiento			Cuervos Medio
Mina-Pit Sur	MANTO AGUILA	Afloramiento			Cuervos Medio
Diablito 1E	DIABLITO 1E	1836.0-1837.2'	1065647	1547602	Tope Molino
Barco-1E	BARCO 1E	458-460'	1067742	1553157	Barco Superior
La Loma	BASE 39	Afloramiento	1056668	1555085	Eoceno
Boqueron	IGUANAS	Afloramiento	1062411	1553054	Cuesta
La Jagua	CANO HONDO	Afloramiento	1077700	1539401	Aguas Blancas
MUESTRAS DE PETROGRAFIA					
LOCALIDAD	MUESTRA	PROFUNDIDAD	X	Y	FORMACION
La Loma	BASE39	Afloramiento	1056668	1555085	Eoceno
Sororia	SOR-BCO	Afloramiento	108523	1548423	Barco Superior
Sororia	SOR-M1	Afloramiento	1087563	1547258	Cuervos Medio
Sororia	SOR-M45	Afloramiento	1086951	1547582	Cuervos Medio
Boqueron	IGUANAS	Afloramiento	1062411	1553054	Cuesta
La Luna-3E	LN3E-1	719.3-719.6	1078721	1548115	Molino (Socuy)
La Luna-3E	LN3E-2	954.6-954.9	1078721	1548115	Molino (Socuy)
La Luna-3E	LN3E-3	1210.7-1211.0	1078721	1548115	La Luna
La Luna-3E	LN3E-4	1435.0-1435.2	1078721	1548115	Cto La Luna-Maracas
La Luna-3E	LN3E-5	1477.8-1478.0	1078721	1548115	Base Mbo Maracas
La Luna-3E	LN3E-6	1479.3-1479.5	1078721	1548115	Tope Mbo Tocuy
La Luna-3E	LN3E-7	1566.8-1567.1	1078721	1548115	Mbo Tocuy
La Luna-3E	LN3E-8	1859.7-1859.9	1078721	1548115	Tope Mbo Animas
El Descanso-6E	ED6E-1	237.7-237.8	1059102	1567315	Cuervos Inf
El Descanso-6E	ED6E-2	630.5-630.7	1059102	1567315	Barco Superior
El Descanso-6E	ED6E-3	880.3-880.4	1059102	1567315	Barco Superior
El Descanso-6E	ED6E-4	1103.6-1103.7	1059102	1567315	Barco Inferior
El Descanso-1E	ED1E-1	754.3-754.4	1059993	1565246	Cuervos Med
El Descanso-5E	ED5E-1	312.8-312.9	1060388	1564385	Cuervos Med
El Descanso-5E	ED5E-2	1286.9-1287.1	1060388	1564385	Cuervos Med

Tabla 3.3. Ubicación de las muestras analizadas en este estudio.

Los detritos de circón se extrajeron de la muestra usando primero un método de separación mecánica, seguido de una separación por gravedad, y por último una separación por susceptibilidad magnética. La extracción se realizó en los laboratorios de Gmas en Bogotá y las últimas fases de separación magnética y el montaje de las muestras se realizaron en los laboratorios de la Universidad de Arizona en Tucson.

Se recolectaron aproximadamente 2 Kg de muestra, los cuales se trituraron para ser llevados luego a la mesa Wilfley. Esta mesa posee un ángulo de 25° y su función es separar los minerales pesados por gravedad. Una vez realizado este proceso, se separaron los minerales magnéticos (e.j., magnetita, residuos de hierro) usando un magneto. En el siguiente paso, se realizó una extracción usando Ioduro de Metileno, un líquido con una densidad aproximada de 3.32 g/cc. Los granos que flotan son separados del concentrado porque no corresponden a circones. Como el Ioduro de metileno es muy contaminante, la muestra se lava bien con acetona. El último paso para extraer los circones es usando un separador magnético Frantz a diferentes susceptibilidades magnéticas, que remueve el granate (0.3), monacita (0.5) y esfena (0.7-1.0).

Una vez los detritos se encuentran separados, se realizaron los montajes en un tubo plástico circular y se le agregó resina epóxica, la cual se pulió manualmente al secarse para destapar las caras de los circones. A esta muestra se le toma una fotografía para ubicar cada circón que es medido y así poder analizar sus formas y tamaños.

La medición de edades U/Pb se realiza en los detritos de circón debido a: 1. su estabilidad (los circones sólo se forman en fases magmáticas o metamórficas de alto grado, con temperaturas superiores a 700°C, según experimentos termocronológicos de Titanio en Circón, – Harrison et al., 2007; Baldwin et al., 2007); 2. su resistencia a la meteorización (cabe anotar que la meteorización en los minerales causa pérdidas de elementos, en el caso del circón causa pérdidas de Pb); y 3. a que es un mineral rico en Uranio muy común en las rocas, a diferencia de la Uraninita y la Monacita, que también son ricos en Uranio pero de rara ocurrencia. Normalmente se utiliza el método U/Pb debido a su vida media que permite datar circones

incluso del arqueano (^{238}U - ^{206}Pb tiene un $t_{1/2}$ de 4.468 Ga y el ^{235}U - ^{207}Pb 0.704 Ga). En el LaserChron Center de la Universidad de Arizona se realizan dataciones U/Th/Pb en los detritos usando un laser ablation multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICPMS). Se perfora el detrito a analizar 150 veces con un laser Wave/Lambda Physik DUV193 Excimer, el cual opera a 193 nm de longitud de onda, y deja un hueco en el cristal de 35 micras de diámetro y 15 de profundidad aproximadamente. El material perforado se pasa por un medidor de plasma usando Helio como conductor. Los contenidos de ^{238}U , ^{232}Th , ^{208}Pb , ^{207}Pb , ^{206}Pb y ^{204}Pb se miden simultáneamente.

Se miden dos edades usando la relación $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$. Las edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ se usan para granos con menos de 1000 Ma y $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ para granos de más de 1000 Ma. Esta división resuta del incremento de la incertidumbre de las edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y decrecimiento de la incertidumbre de las edades $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 2en función de la edad (ver diagramas concordia, anexo 5). El equipo realiza las correcciones respectivas para el plomo común (asumiendo composición inicial de Stacey & Kramers, 1975), el cálculo de edades y evalúa el error. La muestra debe estar lo más limpia posible con el fin de evitar contaminaciones con plomo y obtener edades erróneas. Cada cinco mediciones se perfora una muestra conocida de 564 ± 4 Ma ubicada también en la muestra para evaluar el desempeño del equipo y que los datos sean confiables.

Los resultados obtenidos se graficaron en diagramas de probabilidad, probabilidad acumulada y diagramas concordia usando Isoplot (una macro para excel realizada por Ludwig, 2003). Los diagramas de probabilidad y probabilidad acumulada sirven para evaluar el porcentaje de circones por edad; y el diagrama concordia sirve para evaluar que no existan pérdidas de Pb en el sistema de los circones, y que las edades calculadas por el sistema correspondan a la respuesta normal del decaimiento de los isótopos de U y Pb.

3.1.3. Metodología del Análisis de Minerales Pesados

Como minerales pesados se consideran todos aquellos con densidades mayores a 2.8 g/cc (Mange & Wright, 2007). Durante el proceso de separación de circones para geocronología se obtiene un concentrado de minerales pesados de todos los tipos. Una población aleatoria se escoge y se monta en una resina epóxica. Esta muestra se analizó bajo microscopio de luz transmitida para identificar: 1. El tipo de grano, 2. Origen (en el caso de los circones), 3. Grado de retrabajamiento, 4. Relación minerales estables/inestables en cada muestra. La tabla 3.4 resume las características principales de los minerales pesados, cuyos datos fueron tomados de Mange & Wright (2007), y www.webmineral.com.

Se contaron 300 granos por sección, y los porcentajes de cada uno fueron calculados. Posteriormente, se realizaron gráficos de porcentaje a nivel estratigráfico para observar las variaciones.

3.1.4. Metodología de Medición de Paleocorrientes

Las paleocorrientes se tomaron en campo, identificando el tipo de estructura (estratificación en artesa, inclinada planar, clastos imbricados). A las artesas se les tomó medidas sobre dos caras (cada una con su rumbo y buzamiento) y luego mediante redes estereográficas se calculó el eje. Todos los datos fueron corregidos por el buzamiento de las capas, y posteriormente graficados en la red estereográfica para identificar dominios de direcciones de flujo. Todas las mediciones se encuentran referenciadas mediante sistema GPS. En las Figs. 3.10 y 3.11 se observan los resultados de las paleocorrientes tomadas.

MINERAL	COMPOSICIÓN	GRAVEDAD ESPECÍFICA	ROCAS ASOCIADAS MAS COMUNES	RESISTENCIA
Magnetita	Fe ₃ O ₄	5.1-5.2	Rocas ígneas y gneises	Estable a mod. Estable
Ilmenita	FeTiO ₃	4.72	Rocas ígneas y gneises	Estable a mod. Estable
Hematita	Fe ₂ O ₃	5.3	Granitos, metam. de contacto y sedimentarias	Estable a mod. Estable
Pirita	FeS ₂	5	Granitos, metam. y sedimentarias	Estable a mod. Estable
Epidota	Ca ₂ (Al,Fe) ₃ (SiO ₄) ₃ (OH)	3.35-3.45	Ortogneises y anfibolitas	Moderadamente estable
Olivino	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	3.27-3.37	Gabbros, peridotitas,	Muy inestable
Augita	Ca(Mg,Fe,Al)(Al,Si) ₂ O ₆	3.2-3.4	Basaltos, Gabbros, gneises	Inestable
Hornblenda	Ca ₂ Na(Mg,Fe) ₄ (Al,Fe,Ti) ₃ Si ₆ O ₂₂ (OH) ₂	3.2	Rocas ígneas y metamórficas cristalinas (gneises y anfibolitas)	Inestable
Cianita	Al ₂ SiO ₅	3.56-3.66	Paragneises y esquistos micáceos	Moderadamente estable
Andalusita	Al ₂ SiO ₅	3.16-3.20	Paragneises (de shales)	Inestable
Sillimanita	Al ₂ SiO ₅	3.23	Paragneises con muy alto grado metamórfico	Moderadamente estable
Granate (Almandino)	Fe ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃	4.25	Esquistos micáceos	Estable
Esfena	CaTiSiO ₅	3.4-3.55	Granitos y gneises	Moderadamente estable
Zoisita	Ca ₂ Al ₃ Si ₃ O ₁₂ (OH)	3.3	Pegmatitas y rocas metamórficas	Moderadamente estable
Apatito	Ca ₂ (F,Cl,OH)(PO ₄) ₃	3.15-3.20	Pegmatitas, venas H-T y aureolas de met. contacto	Estable
Estaurolita	FeAl ₄ Si ₂ O ₁₀ (OH) ₂	3.65-3.75	Esquistos y gneises	Estable
Monazita	(Ce,La,Y,Th)PO ₄	5.0-5.3	Granitos y Gneises	Estable
Rutilo	TiO ₂	4.18-4.25	Granitos y Gneises	Ultraestable
Turmalina	(Na,Ca)(Al,Fe,Li)B ₃ Al ₃ (AlSi ₂ O ₉)(OH,F) ₄	3.0-3.25	Pegmatitas y Granitos	Ultraestable
Circón	ZrSiO ₄	4.6-4.7	Granitos, gneises, esquistos	Ultraestable

Tabla 3.4. Minerales pesados. Tomado de www.webmineral.com y Mage & Wright (2007)

3.2. POSIBLES AREAS FUENTE EN LA CUENCA

La Cuenca Cesar-Ranchería actualmente es una cuenca intra-montana rodeada de Macizos con múltiples eventos de levantamiento. La Figura 3.1 muestra la ubicación de las posibles fuentes de aporte contempladas en este estudio, que en total son 6. En la tabla 3.5 se resumen las características litológicas, edades y eventos de levantamiento reportados para cada uno de ellos. Nótese que la mayoría de ellos se encuentran levantados para el tiempo de Depósito Paleoceno-Reciente.

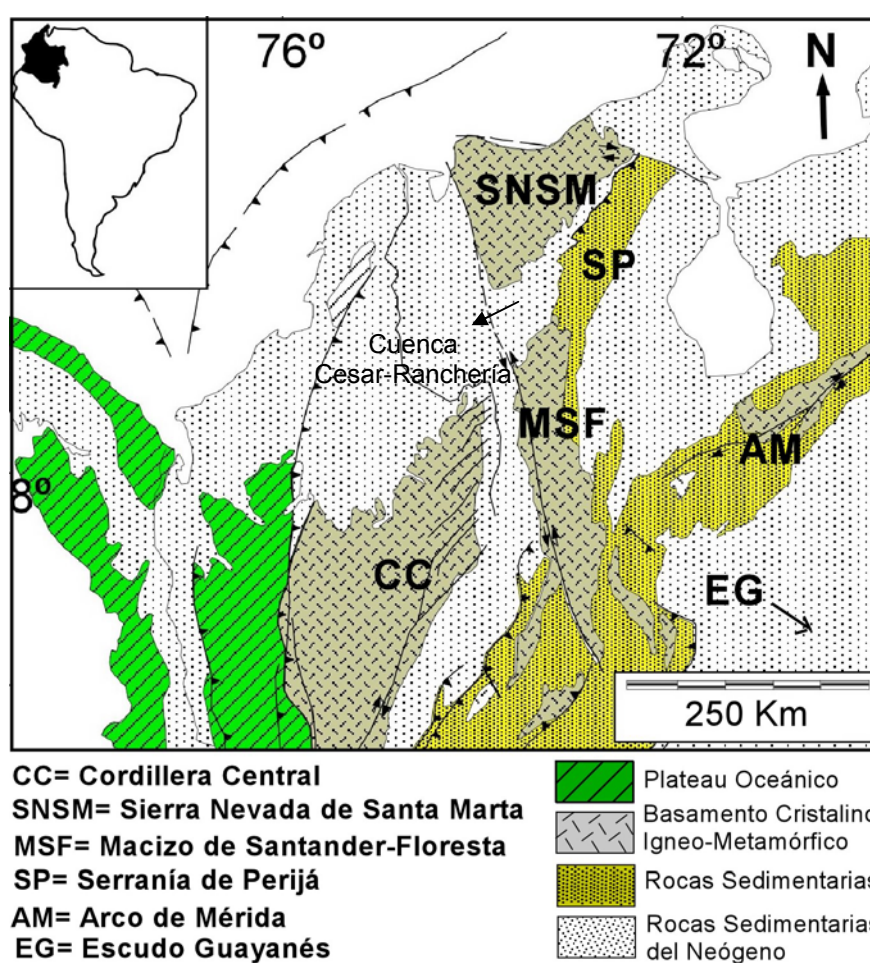


Figura 3.1 Ubicación de Posibles áreas fuente. Modificado de: Bayona et al (2008, conferencia técnica de la ACGGP).

1 - ESCUDO DE GUAYANA		
TIEMPO DE EXPOSICIÓN SUBAÉREA: Paleozoico inferior al reciente (González de Juana, 1980) MINERALES DIAGNÓSTICO: Circón, turmalina, epidota, apatito CARACTERÍSTICAS A RESALTAR: Provincias muy antiguas y lejanas, los sedimentos provenientes de esta área deberían ser muy maduros y con contenido de minerales accesorios ultraestables		
LITOLOGÍA	PERIODOS OROGENICOS Y POSIBLES EVENTOS DE CRISTALIZACION DE CIRCONES	EDADES U/Pb DE CIRCONES
<p>Complejo Migmatítico de Mitú (1.4-1.6 Ma): Granitos, Neises Migmatíticos cuarzo-feldespáticos. (Priem et al, 1989)</p> <p>Litologías tomadas de Mendoza (2000) y Ostos et al (2005):</p> <p>Provincia de Imataca (Arqueano, más de 2.5 Ga): Gneis granítico migmatítico y no migmatítico, granulitas félsicas rojas y verdes, gneis oligoclásico-cuarzo-biotítico, gneis granítico</p> <p>Provincia de Pastora (2.7-2.0 Ga): Rocas metamórficas de bajo grado y rocas ígneas félsicas. Metalimolitas volcánicas, metareniscas feldespáticas, tronjhemitas, granodioritas, cuarzodioritas (Supamo); Anfibolitas, esquistos anfibólicos-biotíticos-epidóticos-albiticos (Cahirapo); Batolito cuarzo-monzonítico-biotítico (Batolito vuelvan caras)</p> <p>Provincia de Cuchivero (1.9-1.4 Ga): Rocas plutónicas. Granitos alcalinos, granitos y cuarzomonzonitas, granodioritas, tonalitas, dioritas, rocas volcánicas, tobas riolita alcalina, riolita, dacita, y latita cuarcifera</p> <p>Provincia de Roraima (1.8-1.5 Ga): Rocas sedimentarias clásticas y Rocas piroclásticas. Areniscas cuarcíticas de grano grueso, localmente hematíticas, con lentes conglomeráticos, areniscas cuarzo-feldespáticas, limolitas y arcillolitas rojas y grises, tobas vítreas y rojizas, jaspe.</p>	<p>Mendoza (2000) reporta los siguientes eventos para el escudo de Guayana:</p> <p>Guriense y Aroensis (3.41 y 2.78 Ga): formaron el supercontinente Guayanensis. Presencia de cinturones verdes e intrusivos gabroideos. Aca se forma la provincia de Imataca</p> <p>Transamazónica (2.3 y 1.95 Ga): Secuencia de Komatititas hacia la base y rocas félsicas hacia el tope. Formación de CRV. En este supercontinente Atlántico se sutura la provincia de Pastora</p> <p>Post-Transamazónica (1.98 a 1.88 Ga): Se sutura la provincia de Cuchivero, abundantes intrusiones calcoalcalinas.</p> <p>Evento Parguaza (1.55 Ga): se fractura el cratón produciendo el Granito Rapakivi de Parguaza</p> <p>Greenville (1.2-1.0 Ga): Conocido también como Nickeriense. Formación del supercontinente Rodinia. Colisión del Escudo de Guayana con el cinturón Garzón-Santa Marta. Formación de Intrusivos de 800-900 Ma aproximadamente (priem et al, 1989)</p>	<p>1.45-1.56 Ga para el complejo Migmatítico de Mitú (datación Rb/Sr; Huguett et al, 1979 en: Priem et al, 1982)</p> <p>3.1 Ga en el Complejo Imataca (Tassinari et al, 1999)</p> <p>2.7-3.0 en rocas de la parte del Amazonas Central (ej. Tonalita de Arco Verde y Granitoide de río Maria, entre otros. Tassinari et al, 1999)</p> <p>2.1-2.3 Ga en circones detríticos de Roraima y Paragneis de Río Iriri (Tassinari et al, 1999)</p> <p>1.8-2.0 Ga en rocas de la parte del Amazonas Central (ej. Granito de Cigamo y volcánicas de Surumu; Tassinari et al, 1999)</p> <p>1.6 Ga para el Granito de Parguaza (Tassinari et al, 1999). Diferentes edades para los granitos asociados al evento Greenville 1.8-1.55 Ga, 1.3-1.4 Ga, 0.9-1.2 Ga (Cinturón de Río Negro-Juruena, Tassinari et al, 1999)</p>
2- ARCO DE MÉRIDA		
TIEMPO DE EXPOSICIÓN SUBAÉREA: Barremiano-Campaniano. Eoceno-reciente, durante las fases orogénicas (Lugo & Mann, 1995) MINERALES DIAGNÓSTICO: Granate, Micas, Estaurolita, fragmentos de rocas sedimentarias (lutitas y calizas) CARACTERÍSTICAS A RESALTAR: La presencia de rocas metasedimentarias de muy bajo grado, neises de edad neoproterozoico y un extenso registro plutónico de edad Cámbrico-Carbonífero		
LITOLOGÍA	PERIODOS OROGENICOS Y POSIBLES EVENTOS DE CRISTALIZACION DE CIRCONES	EDADES U/Pb DE CIRCONES
<p>Litologías tomadas de PDVSA (2008):</p> <p>Complejo Iglesias (Precámbrico Tardío): Ortogneises biotíticos, gneises migmatíticos, gneises con granate y biotita, esquistos micáceos granatíferos.</p> <p>Asociación Bellavista (Precámbrico Tardío): Esquistos Sericiticos y Cloríticos, Pizarras y filitas negras, con intrusiones locales de granitos rosados y pegmatitas</p> <p>Formación Caparo (Ordovícico tardío): Limolitas arenáceas y micáceas color gris oscuro, lutitas con graptolites</p> <p>Asociación El Águila (Carbonífero): Cuarcitas, filitas, metalimolitas, mármol silíceo con estaurolita y andalucita.</p> <p>Formación Mucuchachi (Pensilvaniano): Pizarras carbonosas y filíticas, Filitas, con abundante pirita. Metareniscas. Localmente intrusiones ácidas</p> <p>Formación Palmarito (Carbonífero-Pérmico): Lutitas, limos, arenas con delgados mantos de carbón, que gradan a margas y calizas con abundantes braquiópodos, briozoos, crinoides, corales, braquiópodos, etc.</p>	<p>Shagam (1975) en: González de Juana (1980) reconoce tres eventos orogénicos principales:</p> <p>El evento neoproterozoico, que afecta las rocas del complejo Iglesias y Asociación Bellavista</p> <p>Este evento pudo ser causado por la Separación de Laurentia y Gondwana, que ocurrió en 580 Ma. (Cordani et al, 2005)</p> <p>Devónico-Missisipiense, que crea un Hiatus en la secuencia, y emplaza el granito de Cerro Azul. Asociado a la Orogenia Caledónica</p> <p>Pérmico Superior-Triásico Inferior. Asociado a la Orogenia Hercínica.</p>	<p>Burkley (1976) en: González de Juana (1980), reporta varias dataciones U/Pb en la zona de Mérida,</p> <p>Entre ellas 720 Ma (Neoproterozoico, San Isidro y San José), 585-610 Ma (Valera, Pedraza y Caparo Superior),</p> <p>463-500 Ma (Cambro-Ordovícico, Las Islitas, San Sebastián, Augen Gneis, La Soledad, Batatuy),</p> <p>425-440 (Silúrico, Dacita, Timotes y Estanques), 350-390 Ma (Devónico-Carbonífero, Curito, Pedraza, Gneis de Tapo),</p> <p>y 225-229 Ma (Triásico tardío, El Valle, El Carmen, La Grita)</p>

Tabla 3.5. Posibles fuentes de aporte para la Cuenca del Cesar-Ranchería (Norte de Colombia)

3 - SERRANÍA DE PERIJÁ		
<p>TIEMPO DE EXPOSICIÓN SUBAÉREA: Eoceno-Reciente (Ecopetrol, 1998). Gallango et al (2002) proponen que en el Paleoceno tardío ya existen eventos de deformación para el Perijá. Para el Albiano-Cenomaniano se marcan eventos compresivos, sin embargo, no separó las cuencas pues existe Paleoceno con ambiente similar a ambos lados</p> <p>MINERALES DIAGNÓSTICO: Circón</p> <p>CARACTERÍSTICAS A RESALTAR: Predominio de rocas con bajo metamorfismo en el paleozoico, y sedimentos rojos del Jurásico, además debe mostrar fragmentos volcánicos</p>		
LITOLOGÍA	PERIODOS OROGENICOS Y POSIBLES EVENTOS DE CRISTALIZACION DE CIRCONES	EDADES U/Pb DE CIRCONES
<p>Litologías tomadas de Ecopetrol (1998):</p> <p>Serie de Perijá (Pre-Devónico): Cuarzitas duras cortadas por diques y vetas de cuarzo, esquistos micáceos, tremolíticos, cuarzo-feldespáticos cortados por diques aplíticos</p> <p>Grupo Rio Cachirí (Devónico): Lutitas negras, gris y rojo, areniscas micáceas, cuarcíticas, calizas rojas y grises, abundantes braquiópodos, bivalvos, briozoos, gasterópodos, crinoideos y trilobites</p> <p>Rocas del Carbonífero: Arenas rojizas, suprayacidas por margas y calizas, arcillolitas rojas con braquiópodos y bivalvos. Equivalente a Mucuchachi</p> <p>Formación La Quinta (Jurásico Tardío): Toba vítrea de color violáceo, areniscas gruesas y conglomeráticas rojizas, limolitas, calizas verdes, y limolitas intercaladas con tobas rojizas a chocolate.</p>	<p>Precámbrico Superior-Cámbrico: Eventos de metamorfismo regional (Shagam, 1975 en: Gonzalez de Juana, 1980). Podrían ser correlativos con los de los Andes Venezolanos</p> <p>Ordovícico y Silúrico: Eventos de metamorfismo regional (Shagam, 1975 en: Gonzalez de Juana, 1980)</p> <p>Permo-Tríasico: Reportado por edades K/Ar en los granitos de El Palmar y Las Lajas, posible evento tectónico. (Gonzalez de Juana, 1980)</p> <p>Magmatismo del Jurásico medio a tardío: vulcanismo asociado a Rift continental (Fm La Quinta).</p>	<p>1050 Ma en el Granito de las Lajas (Dasch et al., 1981), posible reciclaje de material (se menciona como circón heredado en Maya, 2001)</p> <p>167 Ma en granitos y 163 Ma para una andesita de la Fm La Quinta (Dasch et al., 1981)</p> <p>140-160 Ma para la Fm La Quinta (Maze, 1984)</p> <p>Dasch (1981) También reporta interceptos para gneises de edad Paleozoico inferior, correlativo con la Serie de Perijá</p>
4 - CORDILLERA CENTRAL		
<p>TIEMPO DE EXPOSICIÓN SUBAÉREA: Campaniano-Reciente (Villamil, 1999)</p> <p>MINERALES DIAGNÓSTICO: Monacita, Circón, Rutilo, Magnetita e Ilmenita (Gneises). Andalucita, Silimanita, granate y Cordierita (paragneises). Turmalina, Apatito, Circón, esfena (esquistos y neises graníticos)</p> <p>CARACTERÍSTICAS A RESALTAR: Abundantes intrusiones graníticas peraluminicas en el Permo-Tríasico. Rocas metamórficas desde facies esquistos verde (Complejo Cajamarca) hasta anfíbolita (asociaciones de orto y paragneises). La presencia de Silimanita y Estaurolita, asociadas a los paragneises del Permo-Tríasico. Ausencia de magmatismo Jurásico</p>		
LITOLOGÍA	PERIODOS OROGENICOS Y POSIBLES EVENTOS DE CRISTALIZACION DE CIRCONES	EDADES U/Pb DE CIRCONES
<p>Litologías tomadas de Maya (2001), Vinasco (2006), Ibañez et al (2007):</p> <p>Gneises y Anfíbolitas del Greenvilliano (900-800 Ma): Gneises cuarzo feldespáticos, biotíticos y anfíbolicos. Recibieron nombres según su ubicación: Gneis de San Lucas, Gneis de Puerto Berrio, Milonitas del Vapor, Anfíbolitas de Tierradentro, etc.</p> <p>Complejo Cajamarca (Pre-Devónico): Esquistos sericiticos, actinolíticos, grafitosos, filitas, cuarcitas y mármoles. Metamorfismo bajo a medio grado</p> <p>Esquistos Verdes (Paleozoico Inferior): Lutitas Pizarrosas, metalimolitas silíceas, mármoles, metareniscas feldespáticas y metaconglomerados. Se denominan unidades como La Cristalina, Santa Teresa, Amoyá y El Hígado. Contienen fauna del Ordovícico, posible metamorfismo durante la orogénesis Caledoniana</p> <p>Gneises Graníticos (Permo-Tríasico): Gneises graníticos con Plagioclasa, Feldespato K, biotita y moscovita. Entre estos está el de Abejorral, Horizontes, Río Verde y Palmitas</p> <p>Paragneises (Permo-Tríasico): Gneises feldespáticos, hornbléndicos, aluminicos, cuarcitas y anfíbolitas. Ej., paragneises del Grupo Valdivia y Anfíbolita de Padua</p> <p>Batolito Antioqueño (Cretácico tardío): Cuerpo intrusivo de gran extensión, granodiorítico a tonalítico, que intruye rocas del Complejo Cajamarca. Según Ibañez et al. (2007), el batolito es el resultado de varios plutones de menor tamaño emplazados en el mismo lugar durante el K sup</p>	<p>Devónico-Carbonífero, que emplaza plutones como el Granito de la Miel (380 y 410 Ma U/Pb). Este evento fue descrito por Restrepo et al (1991) en: Vinasco et al (2006)</p> <p>Permo-Tríasico: Orogenia Colisional (Hercínica) debido a la aglutinación de Pangea, y genera abundantes intrusiones en la Cordillera Central,</p> <p>circones metamórficos de 280 Ma y magmáticos de 250-228 Ma. Se asume el principal evento metamórfico de la parte este de la Cordillera Central está por el orden de 290-302 Ma (Gneis Granítico de Río Verde, Vinasco et al., 2006), y 270 para la parte central (gneis de Abejorral)</p> <p>Cretácico superior: Emplazamiento de plutones como el Batolito Antioqueño, relacionados a la subducción de la placa del Caribe (Cardona et al, 2006)</p>	<p>Se reportan edades del Greenvilliano dentro de los granitos, pero Vinasco et al. (2006) lo asumen como reciclaje de material antiguo de la corteza en xenolitos</p> <p>380-410 Ma para el Granito de La Miel (Vinasco et al., 2006)</p> <p>270-300 Ma para los gneises graníticos de Abejorral y Río Verde, indicando el evento metamórfico principal (Vinasco et al., 2006)</p> <p>211-250 Ma en gneises graníticos, por magmatismo sintectónico (Vinasco et al., 2006; Ibañez et al., 2008).</p> <p>83-88 Ma para el Batolito Antioqueño (Ibañez et al., 2007)</p>

Tabla 3.5 (Continuación). Posibles fuentes de aporte para la Cuenca del Cesar-Ranchería (Norte de Colombia)

5 - MACIZO DE SANTANDER		
TIEMPO DE EXPOSICIÓN SUBAÉREA: Finales del Cretáceo-Paleoceno (Shagam et al, 1984) MINERALES DIAGNÓSTICO: Silimanita, cianita, cordierita, apatito, óxidos de Fe y Circón CARACTERÍSTICAS A RESALTAR: Predominio de rocas metamórficas, presencia de minerales metamórficos característicos como Cianita, cordierita y silimanita, de presión baja y altas temperaturas. Presencia de rocas antiguas, Greenvilliano a Ordovícico, con algunos granitos del Jurásico		
LITOLOGÍA	PERIODOS OROGENICOS Y POSIBLES EVENTOS DE CRISTALIZACION DE CIRCONES	EDADES U/Pb DE CIRCONES
Litologías tomadas de Maya (2001): Rocas Metasedimentarias del Greenvilliano (945 Ma): Paragneis pelítico y arenáceo, esquistos cuarzo-micáceos, migmatitas. Hacia la parte central del Macizo gneises con silimanita y cordierita Jurásico: Abundantes cuerpos Graníticos del Jurásico Ortogneises graníticos a granodioríticos, cuarcitas y esquistos micáceos Floresta Metamorfoseado (Cambro-Ordovícico, cerca de 500 Ma): Pizarras y filitas grafitosas, mármoles, cuarcitas, metareniscas	Eventos según resultados de Cordani et al (2005) y Restrepo et al (1997): Greenville (1.3-0.9 Ga): Afectó todo el Cinturón Garzón-Santa Marta. El gneis de Jojoncito muestra un sobrecrecimiento de circones por metamorfismo entre 1.1 y 0.9 Ga Ordovícico a Devónico (477 a 392 Ma): Durante el evento Caparoensis (algo similar a la orogénia Caledónica). Emplazamiento de plutones en esquistos Magmatismo Triásico-Jurásico: Según Dörr et al (1995) debido a una zona de subducción en el pacífico (presencia de un arco volcánico), y produjo el emplazamiento de Plutones.	Cordani et al. (2005) reportan edades U/Pb en circones para los gneises de Bucaramanga y Jojoncito, entre 0.9 y 1.2 Ga, y entre 1.3 y 1.5 Ga (Greenville), correlativas con las edades Rb/Sr de Ordoñez et al. (2006) para el gneis de Bucaramanga Restrepo et al (1997) reportan por dataciones Ar/Ar edades de 574 y 668 Ma y K/Ar de 945 Ma para gneises anfibólicos (Neoproterozoico). Correlativos con edades U/Pb aunque no aplican para procedencia Maya (2001) reporta edades U/Pb de 477 Ma (Restrepo, 1995 Tesis PhD), 417 y 392 Ma (Banks et al, 1985) para el ortoneis de Pamplona Dörr et al (1995) reportan una edad 205-210 Ma (Triásico tardío) para la Granodiorita de Páramo Rico
6 - SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA		
TIEMPO DE EXPOSICIÓN SUBAÉREA: Campaniano-Reciente (Villamil, 1999). Desde el Maastrichtiano registra pulsos de levantamiento (Bayona et al, 2007) MINERALES DIAGNÓSTICO: Circón, epidota, granates, apatito, esfena, magnetita, ilmenita (granulitas). Granate, estaurolita y Silimanita, micas y fragmentos metamórficos (esquistos) CARACTERÍSTICAS A RESALTAR: Rocas metamórficas de alto grado, mezclados con líticos volcánicos de composición intermedia-ácida. La secuencia es muy similar a la Cordillera Central		
LITOLOGÍA	PERIODOS OROGENICOS Y POSIBLES EVENTOS DE CRISTALIZACION DE CIRCONES	EDADES U/Pb DE CIRCONES
Litologías tomadas de Maya (2001), Bayona et al (2007): Cinturón de la Sierra Nevada o Granulita de los Mangos (Evento Greenvilliano, 1.7-1.3 Ga): Granulitas cuarzo perfiticas, granulitas máficas y ultramáficas, granulitas calcáreas, granulitas granatíferas, anfíbolitas piroxénicas, mármoles Cinturón de Sevilla (Pérmico): Gneises de plagioclasa y hornblenda, gneises de biotita y hornblenda, mármoles diopsídicos, anfíbolitas y migmatitas. Ej., Gneis de Buitaca y Muchachitos Secuencia Vulcano-Sedimentaria (Triásico-Jurásico): Limolitas volcánicas, grawacas, tobas, brechas, basaltos, cuarcitas y mármoles Secuencia La Mula-Chimichagua (Jurásico Inferior): Cuerpos Intrusivos e Hipoabisales. Granitos, granodioritas, riolitas. Diferentes batolitos: Patillal, Caracoli, Ataques, Ignimbritas de los Claros Cinturón de Santa Marta (Cretácico Tardío-Eoceno): Esquistos anfibólicos, biotíticos y sericiticos. Se distinguen los esquistos de Gaira y Punta Betín. Esquistos grafiticos, mármoles y rocas ultramáficas. Filitas cloríticas y esquistos actinolíticos	Cardona et al. (2006) relaciona tres eventos principales: Proterozoico (Greenvilliano - 1.0-1.2 Ga): Metamorfismo en facies Anfíbolita-Granulita, cinturón metamórfico asociado a la formación de Rodinia Neoproterozoico-Cámbrico (600-530 Ma): Paraneises de afinidad Gondwánica (Cardona et al, 2006), encontradas en el complejo de Sevilla Magmatismo Jurásico (175-192 Ma): Correlacionable con varios terrenos de México y Norteamérica, asociado con la acreción de unidades en el Caribe Magmatismo Cretácico tardío-Eoceno (50-65 Ma): Asociado a la migración de la placa el Caribe	Diversas dataciones U/Pb en circones se han obtenido para la granulita de los Mangos y el Gneis de Dibulla. es constante la edad aprox. 1.5 Ga para los eventos de cristalización de granulitas, y edades entre 0.9 y 1.3 Ga en las facies tardías del evento Greenvilliano (Cardona et al, 2006; Cordani et al, 2005; Ordoñez et al, 2006; Restrepo et al, 1997). Cardona et al (2006) también reportan edades entre 614-429 Ma (Neoproterozoico) en el área del Cinturón de Sevilla 250-280 Ma en el Cinturón de Sevilla. En el Alto de Cicuco también fue encontrado magmatismo permotriásico (Agustín Cardona, comunicación personal, según análisis realizados en convenio con el Ingeominas, ICP) 175-192 Ma para el evento Jurásico, y 50-65 Ma para el evento Cretácico tardío-Eoceno (Agustín Cardona, comunicación personal, y trabajos en preparación)

Tabla 3.5 (Continuación). Posibles fuentes de aporte para la Cuenca del Cesar-Ranchería (Norte de Colombia)

3.3. RESULTADOS DE PETROGRAFIA

Para una mejor comprensión de los resultados se separará el análisis de las rocas calcáreas que corresponden al Cretácico, y las rocas siliciclásticas. Las tablas con los porcentajes y fotos de las muestras se encuentran en los anexos 1 Y 2.

3.3.1. Resultados-Rocas Calcáreas

Las rocas calcáreas analizadas se encuentran en el rango de micritas y micritas carbonosas, en el cual el armazón principal se encuentra constituido por foraminíferos planctónicos, y en las facies más someras se ven bivalvos. Se observan contenidos importantes de Bitumen en las formaciones La Luna y Socuy, donde alcanza a tener 5% del total de la muestra (Los contenidos más importantes de materia orgánica se encuentran en las formaciones La Luna y Molino (Miembro Socuy). En la Fig. 3.2 se observan algunas fotos de las características anteriormente mencionadas de manera general, y las fotos de las secciones detalladas se encuentran en los anexos 2.5 y 2.6. La tabla de datos de los resultados petrográficos se puede consultar en el anexo 1-tabla A2.

Existe silicificación de las micritas de foraminíferos, como se observa en la muestra LN3E-4 (ver anexo 2.6). La silicificación se produce durante la diagénesis, y parece ser el motivo por el cual se encuentran capas delgadas de "chert" intercaladas con micritas típicas de la Formación Luna. El relleno de bitumen es posterior a la silicificación, y algunas zonas impregnadas se encuentran conectadas por fracturas.

También es de anotar la presencia de cristales alargados de calcita orientados con la estratificación en la muestra LN3E-3 (ver anexo 2.5 y Fig. 3.2), que parecen corresponder a pequeños fragmentos de bioclastos. Esta muestra es también la más rica en materia orgánica, y con el mínimo aporte terrígeno. Este tipo de cristales son comunes en las micritas de la Formación La Luna.

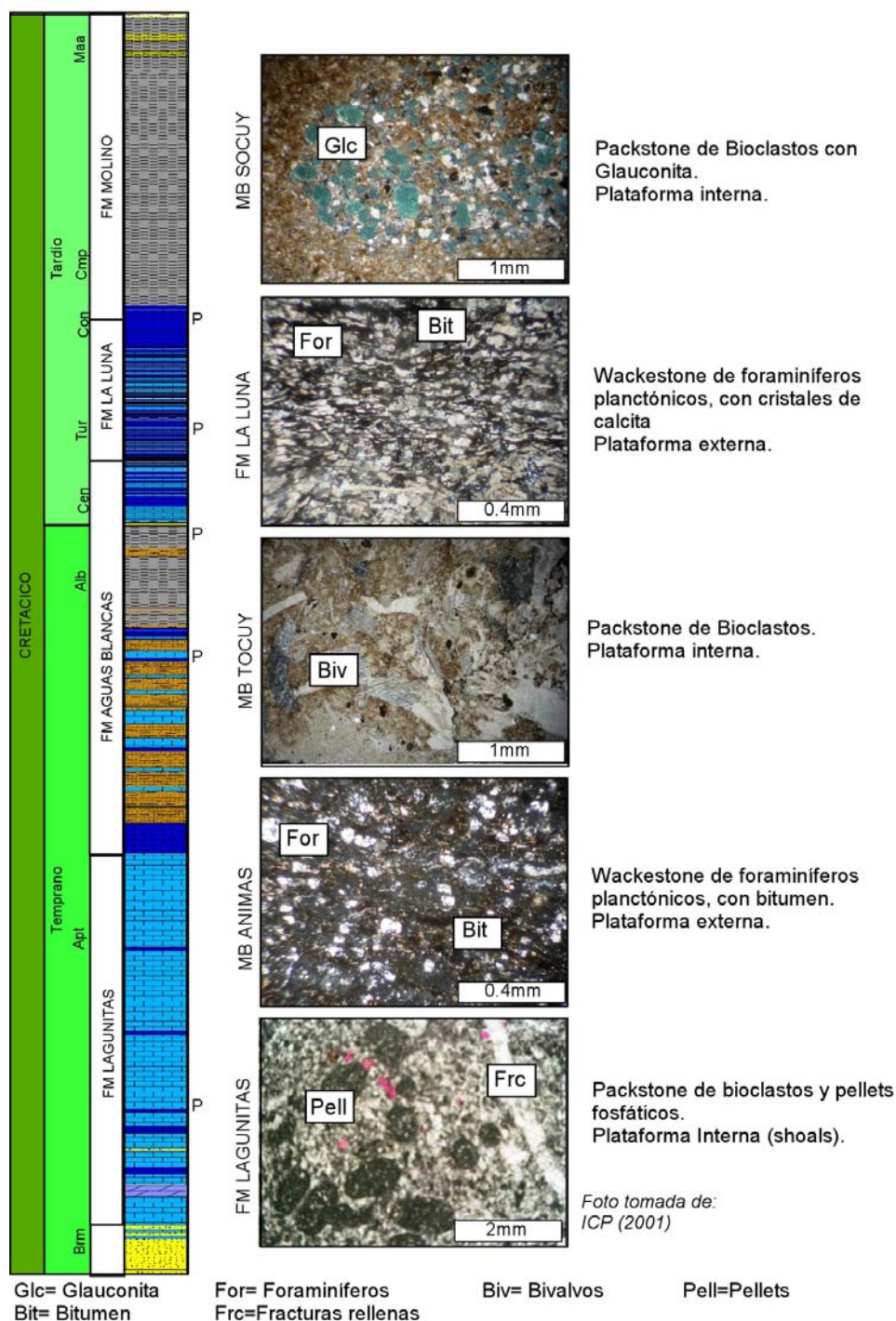


Figura 3.2. Variaciones en las calizas del Cretácico en la subcuenca de Cesar. Al parecer estas somerizaciones y profundizaciones de la cuenca observadas en un mismo pozo en diferentes intervalos de tiempo, corresponden a eventos globales y no a levantamientos tectónicos. Para finales del Cretácico (Campaniano) se observa una deformación tectónica que marca el inicio de las facies con predominio siliciclástico en la cuenca (Ver capítulo 4). La ubicación aproximada de las secciones en la columna estratigráfica se encuentra representada por "P".

Las muestras más esparitizadas y de ambientes más someros, corresponden al tope del Miembro Tocuy de la Formación Aguas Blancas (muestra LN3E-4) y el Miembro Socuy de la Formación Molino (LN3E-1 y LN3E-2, ver anexo 2.5). En estas muestras son comunes los pellets glauconíticos y bivalvos. En la muestra LN3E-4, los minerales accesorios opacos son muy comunes. Es la única muestra de carbonato con tal contenido de minerales accesorios (ver anexo 2.6).

3.3.2. Resultados-Rocas Siliciclásticas

Las tablas de resultados petrográficos y fotos de las muestras nuevas analizadas se pueden observar en los anexos 1 y 2. Las otras muestras, que fueron tomadas de los conteos de puntos realizados por Llinás (2006), se graficaron en los diagramas QtFL y QmFLt pero no se adjuntó la tabla de datos pues corresponden a informes internos de Drummond Ltd.

Las muestras varían en un rango de litoarenitas a sublitoarenitas, sólo algunas de la parte inferior y media de la Formación Cuervos se consideran litoarenitas. Es de notar la reducción de la fracción feldespática (que a excepción de 2 muestras no supera el 10%) con respecto a las muestras de la Subcuenca Ranchería presentadas por Bayona et al. (2007) – Ver Fig. 3.5. Sólo en la parte inferior y en los primeros mantos de carbón de la Formación Cuervos se encuentran litoarenitas feldespáticas. Es importante resaltar que la existencia de feldespatos sin alterar, además de líticos inestables (como los volcánicos) en la Formación Cuervos pueden sugerir un rápido enterramiento de las unidades que impiden la meteorización de estos detritos tan susceptibles, en un ambiente predominantemente deltáicos con poca profundidad de agua y Temperaturas medias de 23.8°C (Herrera et al, 2005).

Los líticos predominantes en la secuencia son metamórficos de bajo grado (esquistos micáceos, grafitosos y esquistos verdes, filitas y cuarcitas con poca foliación), y en menor proporción fragmentos volcánicos y sedimentarios (estos últimos son abundantes en la Formación Molino y a partir del miembro superior de la Formación Cuervos, Eoceno y Formación Cuesta). Los líticos en general son más abundantes en los mantos medios-superiores de la Formación Cuervos.

El cuarzo policristalino es muy común en estas rocas, con contactos suturados por lo que se asume un origen metamórfico aunque de bajo grado, en muy raras ocasiones el cuarzo policristalino encontrado está foliado. El cuarzo monocristalino en algunas muestras se encuentra con sobrecrecimientos de sílice debido a efectos durante la diagénesis.

El chert sólo se encuentra comúnmente en el área del Perijá para la Formación Cuervos y en las rocas de la Miembro superior de la Formación Cuervos – Eoceno para el área de La Loma. El origen de este chert es posiblemente rocas del cretácico. En las muestras tomadas anteriormente a este estudio también se observa chert en la Formación Barco y Molino.

Composicionalmente es característico el comportamiento de cada Unidad litoestratigráfica: La Formación Molino, de la cual no se tomaron nuevas muestras en este estudio, tiene un predominio de sublitoarenitas a litoarenitas feldespáticas (se resalta en contenido de feldespato con respecto a las cuarzoarenitas del Cretácico medio-Formación Aguas Blancas). La Formación Barco tiene dos comportamientos: uno más lítico por debajo del límite de secuencia (Miembro Inferior, ver Figura 2.14-correlaciones) y otro con predominio de sublitoarenitas en el Miembro arenoso superior. En general se observa que para la Formación Cuervos ocurre una tendencia a tener mayor contenido de líticos hacia las partes más jóvenes de la secuencia. Estos líticos son en su mayoría metamórficos, pero hacia el Cuervos superior empiezan a cobrar importancia los líticos sedimentarios. A partir del miembro superior de la Formación Cuervos, la tendencia se invierte teniendo cada vez depósitos con menor contenido de líticos, hasta que en el Oligo-Mioceno? (Formación Cuesta) se vuelven a tener sublitoarenitas. Nótese la tendencia casi linear del Eoceno al Cuesta y el decrecimiento súbito de la fracción feldespática entre el Cuervos Superior y el Eoceno (Fig. 3.3).

La figura 3.3 resume los resultados de las muestras analizadas más la información petrográfica existente en el área de estudio. En total se tuvo en cuenta la información de 83 muestras de arenisca de las formaciones Molino, Barco, Cuervos, Eoceno y Cuesta. Se observan claramente 5 dominios composicionales (Ver Figura 3.3 para diagramas QtFL y 3.6 para las fotos respectivas):

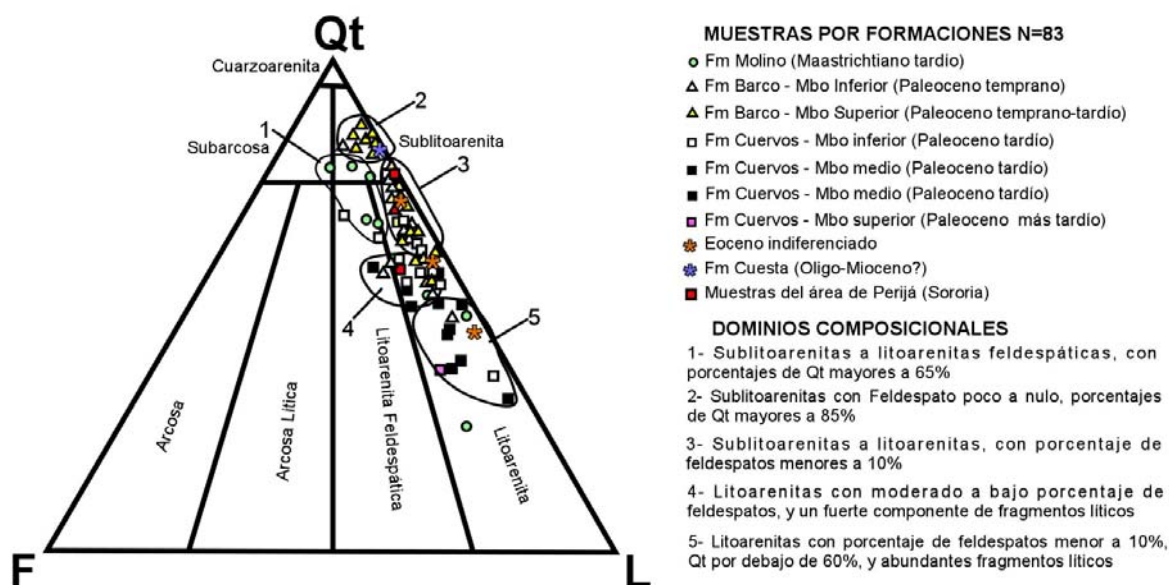


Figura 3.3. Diagrama QtFL de clasificación (Dickinson, 1985) para las muestras de arena de la subcuenca del Cesar

El dominio 1, corresponde a sublitoarenitas a Litoarenitas feldespáticas, con porcentajes de Cuarzo total (Qt) mayores al 65%. En este dominio se encuentran ubicadas las muestras de la parte superior de la Formación Molino, y algunas del miembro inferior de la Formación Cuervos.

El dominio 2, presenta la mayor madurez composicional, y corresponde a sublitoarenitas con Qt superior al 85%, y muy poca a nula presencia de feldespatos. En este dominio se encuentran las muestras correspondientes al Barco Superior justo por encima del límite de secuencia y a la Formación Cuesta. Esta madurez composicional se encuentra directamente relacionada con la fuente de depósito, que en la Formación Cuesta cambia nuevamente, como se ve en los resultados de Geocronología.

El dominio 3, que corresponde a sublitoarenitas-litoarenitas con porcentajes de feldespatos menor al 10%, agrupa la mayoría de las muestras de la Formación Barco y del miembro inferior de la Formación Cuervos. Ya en este nivel estratigráfico se empieza a observar el cambio composicional paulatino.

El dominio 4, en el que la mayoría de las muestras son de los mantos inferiores del miembro medio de la Formación Cuervos y del miembro inferior de la Formación Cuervos, la fracción lítica cobra importancia, y predominan los líticos metamórficos de bajo grado. Los contenidos de Feldespato alcanzan a tener hasta 16%. Este dominio presenta normalmente matriz de la misma composición de los líticos, y un grado alto de inmadurez.

El dominio 5, corresponde a la fracción más lítica, con Qt debajo del 60%. A este dominio corresponden los mantos superiores del miembro medio de la Formación Cuervos, la muestra del miembro superior de la Formación Cuervos y la muestra más baja del Eoceno.

Es de resaltar cómo la petrografía muestra por sí sola etapas de rejuvenecimiento composicional en la cuenca. Inicia con un ciclo de inmadurez de Molino a Barco Inferior; luego del límite de secuencia que ocurre entre Barco Inferior y Superior ocurre un salto repentino en la madurez composicional, y comienza un nuevo ciclo cada vez más inmaduro desde Barco Superior hasta Cuervos Superior. En este punto no ocurre un cambio brusco como en la Formación Barco, sino que paulatinamente se ve un aumento de la madurez composicional de las tres muestras del Eoceno hasta la Formación Cuesta. En la secuencia estratigráfica también se puede ver un máximo de inmadurez composicional en la Formación Cuervos (Figs. 3.3 y 3.6).

Se realizó también un diagrama QFLt para mostrar el posible origen de estas rocas (Fig. 3.4). Todas se pueden agrupar dentro de la categoría de Orógeno reciclado, es decir, provienen del levantamiento de unidades más antiguas ubicadas en Macizos cercanos (más adelante se definirá a qué tipo de Macizo corresponde según datos U/Pb en circones). Nuevamente, a diferencia de los resultados obtenidos en la Subcuenca Ranchería (Bayona et al., 2007), aquí no se observa la influencia del arco magmático asociado a la zona de subducción de la placa del Caribe (Ver Fig. 3.4). Sin embargo, los resultados de geocronología muestran circones sin-orogénicos para el Paleoceno Tardío y Eoceno Medio, indicando una fuente magmática próxima a los sitios de depósito. A esto se suma que la muestra del Paleoceno más superior y

una muestra del Eoceno se encuentran dentro del diagrama QmFLt en la zona de Complejos de Subducción, el cual asume un arco magmático cercano relacionado a zonas de subducción.

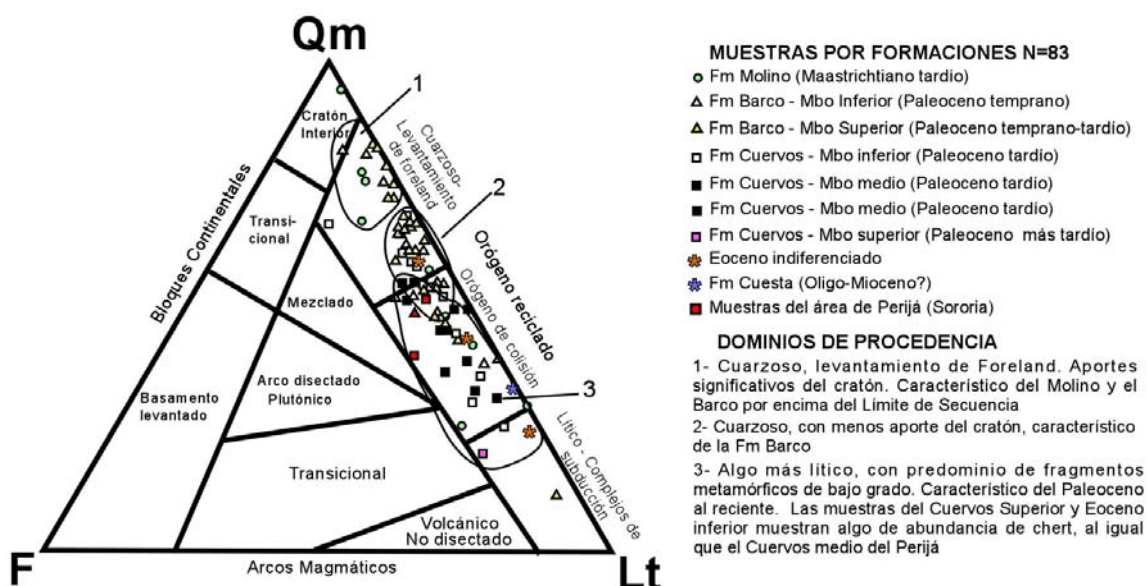


Figura 3.4. Diagrama de procedencia QmFLt (Dickinson & Suczek, 1979) para las muestras de la subcuenca del Cesar. Todas las muestras caen en la categoría de Orogéno Reciclado.

También se recolectaron algunos clastos de los conglomerados de la Formación Cuesta (Oligo-Mioceno) y del Cuaternario aluvial. Se observó que los clasto predominantes en la Formación Cuesta son Cuarzitas (Qp) y Chert (Qc), con tamaños que varían entre 5 mm y 3 cm de diámetro. También se observan clastos sedimentarios (limolitas y areniscas de grano muy fino). Se resalta la presencia de abundantes clastos feldespáticos subangulares a subredondeados no mayores a 5 mm (algunos parecen ser relictos de rocas plutónicas). Los óxidos de hierro son muy comunes, rodeando el espacio entre los granos y la matriz, incluso hay intraclastos de costras de hierro muy angulares.

El Cuaternario Aluvial se recolectó en el centro de la Cuenca (Base 39, sinclinal de la Loma) y en el Perijá, en donde se observa un basculamiento hacia el NW, indicando actividad tectónica muy reciente. Los clastos recolectados corresponden en el centro de la cuenca a cuarzoarenitas muy limpias (textura sacarosa, posiblemente del Paleozoico del Perijá), litoarenitas feldespáticas y cuarzitas. Las litoarenitas feldespáticas son comunes en las

formaciones Río Negro y La Quinta, las cuarcitas son características de los terrenos metamórficos adyacentes. Las cuarzoarenitas limpias no se habían visto en las formaciones estudiadas en la cuenca, sólo algunas similares de la Formación Barco pero aun así no alcanza a ser tan limpia. Este tipo de rocas se ven más en el Paleozoico de los Macizos de Floresta y Santander. El cuaternario del Perijá presenta un fuerte predominio de clastos de la Formación La Quinta.

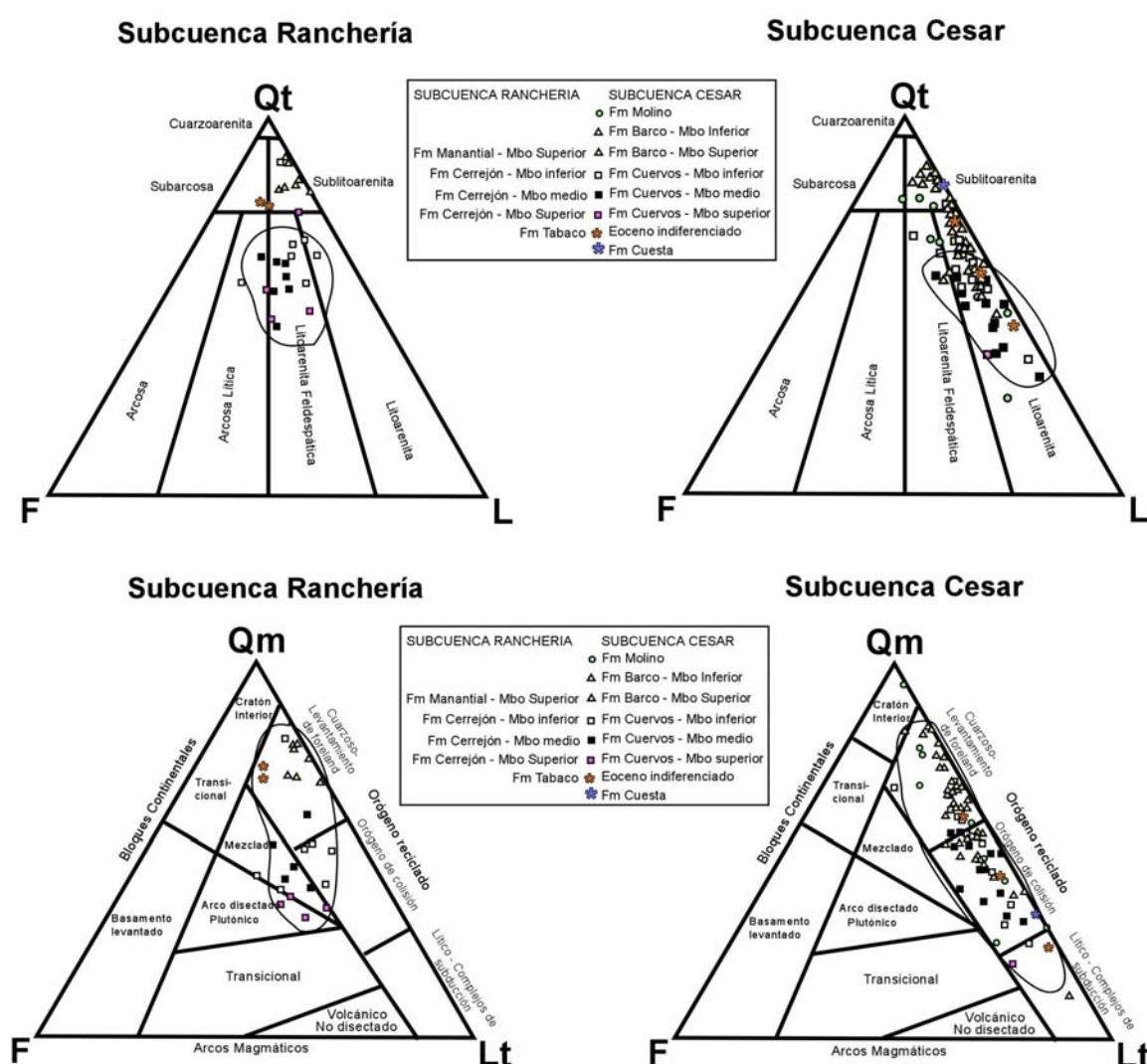


Figura 3.5. Comparación de los Diagramas QtFL y QmFLt para las subcuencas de Cesar y Ranchería (Datos de Ranchería tomados de Bayona et al., 2007). Nótese la variación composicional para el Paleoceno Tardío (Formación Cerrejón en la Subcuenca Ranchería y Formación Cuervos para la Subcuenca Cesar), y la tendencia de la Subcuenca Ranchería a ir hacia los dominios de arco volcánico, mientras que en el Cesar la tendencia es más lítica pero dentro del Orógeno Reciclado.

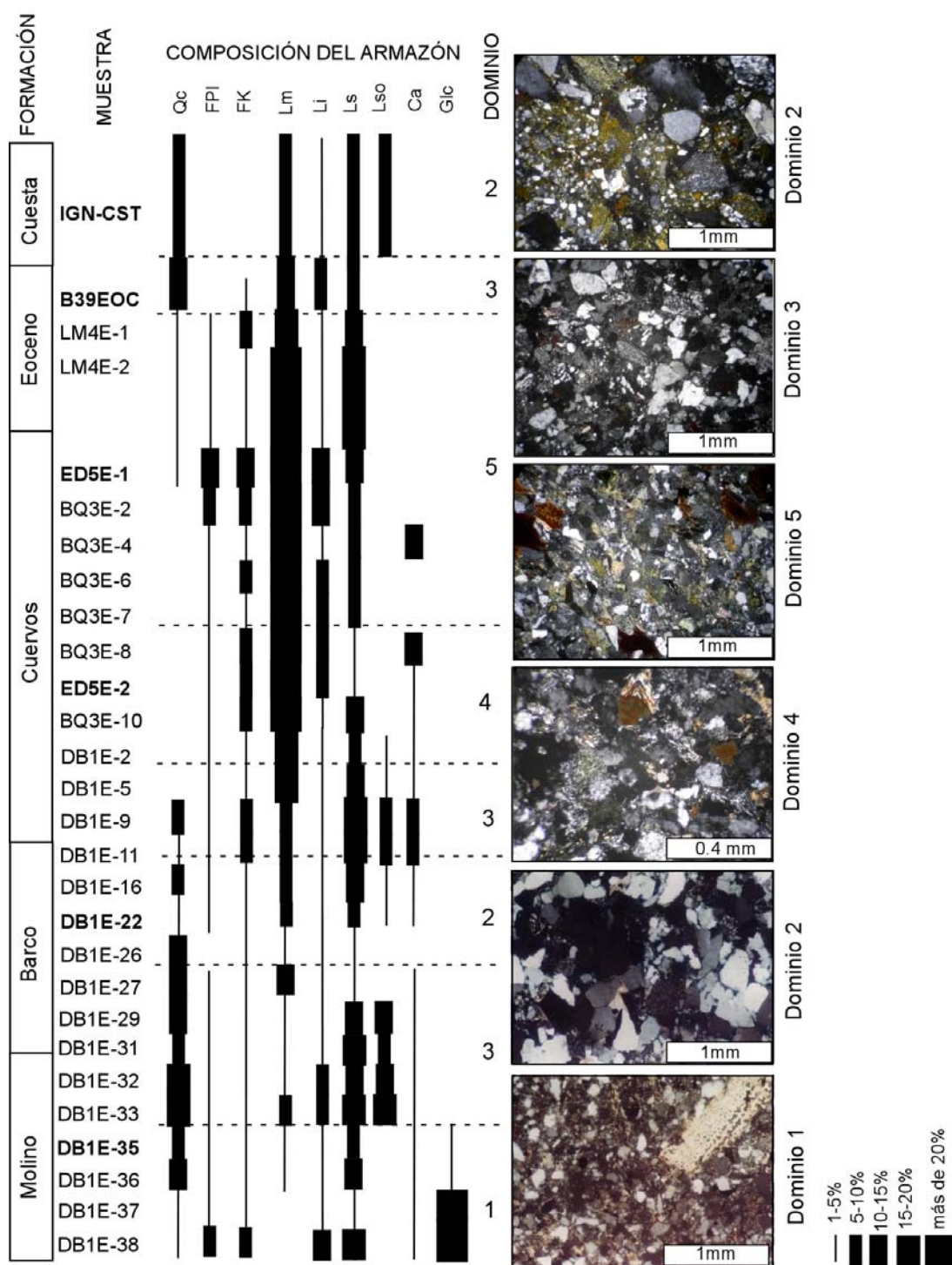


Figura 3.6. Esquema de porcentaje composicional – fotos de los dominios composicionales. Qc=chert; FPl=Plagioclasa; FK=Feldespato potásico; Lm=Lítico metamórfico; Lv=Lítico volcánico; Ls=Lítico sedimentario; Lso=Lítico sedimentario oxidado; Ca=Fragmentos de carbonatos; Gic=Glaucionita. Las muestras resaltadas en negrita son las correspondientes a las fotos. En este gráfico se excluye Qm porque es más de 20% en todas las muestras.

3.4. RESULTADOS DE GEOCROLOGIA

Las muestras fueron seleccionadas para observar las variaciones en las fuente de aporte a nivel estratigráfico (7 muestras, ver Figs. 2.13 y 2.14), y se tomaron 3 muestras paralelas para las formaciones Barco y Cuervos en el área de Perijá. En los anexos 1 (Tabla A1), 4 y 5 se encuentran los datos y gráficos detallados para cada muestra.

Las muestras del Cretácico muestran un predominio de circones del Paleo y Mesoproterozoico (edades entre 954 y 1810 Ma), y un pico menor del Neoproterozoico (493 Ma). Estas edades son correlativas con los eventos de cristalización de circones debido a la Formación de terrenos en el Escudo Guayanés (Eventos post-Transamazónico, 1.8 Ga y Parguaza, 1.5 Ga-Mendoza, 2000) y la Formación de Gondwana (Neoproterozoico-Cordani et al., 2005). Este tipo de edades son características del Escudo Guayanés, y las edades del Neoproterozoico pueden pertenecer al Arco de Mérida, quien estuvo emergido durante el Barremiano-Campaniano (Lugo & Mann, 1995), por eso el pico en Aguas Blancas (Aptiano) que no se ve bien en Molino (Maastrichtiano). Cabe anotar que los circones son muy retrabajados y redondeados, aunque según las relaciones Th/U su origen es magmático, indicando mucho transporte o por mucho tiempo (ver tabla 3.6).

Para el Paleoceno temprano a tardío (Formación Barco) decrece un poco el aporte de circones con edades del Paleoproterozoico, y empiezan a aparecer edades del Cretácico, típicas del magmatismo de la Cordillera Central relacionado a la Formación de la zona de subducción del Pacífico (Cardona et al., 2006).

Para la Formación Cuervos las edades predominantes de circones cambian significativamente. La fracción Proterozoica ya forma los picos menores (a excepción del Manto 45 en el área del Perijá, quien parece tener un comportamiento más afín a la Formación Barco). Los picos mayores corresponden al Permo-Triásico (275-238 Ma), Cretácico (83, 95-96 Ma) y en menor proporción al Jurásico inferior a medio (160-183 Ma). Hay picos menores de edad Neoproterozoico-Cámbrico (450-582 Ma). En el Manto 45 en el Perijá ocurren también circones sinorogénicos, con una edad de 58 Ma. Estas características correlacionan muy bien

con el cinturón Cordillera Central-Sierra Nevada de Santa Marta. Pues en esta zona se han reportado abundantes plutones del Cretácico (e.j. Batolito Antioqueño, Cardona et al., 2006, Ibáñez et al., 2007), existe un registro de Metamorfismo Permo-Triásico (Vinasco et al., 2006), y hacia la parte sureste de la Sierra Nevada existe abundante Jurásico temprano a medio, y un pequeño cinturón de edad Cretácico hacia el noroeste (Agustín Cardona, comunicación personal). Otra evidencia de la posible influencia de la Sierra Nevada es el magmatismo Paleoceno reportado en el Manto 45 del área del Perijá. Sin embargo, la Serranía de Perijá también tiene abundante Jurásico, y parece ser una fuente menor de aporte durante el Paleoceno superior, como lo demuestran las paleocorrientes y la presencia de detritos de carbonatos (Fig. 3.11, y reportes petrográficos anteriores realizados por Llinás, 2006).

MUESTRA	EDAD (Ma)	± (Ma)	Th/U
IGUANAS-FORMACIÓN CUESTA	1044.6	75.5	0.060632
IGUANAS-FORMACIÓN CUESTA	995.8	26.0	0.093994
IGUANAS-FORMACIÓN CUESTA	592.2	23.4	0.09935
IGUANAS-FORMACIÓN CUESTA	1127.4	34.7	0.087955
IGUANAS-FORMACIÓN CUESTA	869.9	18.7	0.088581
MANTO AG-FORMACIÓN CUERVOS	940.7	12.2	0.082961
MANTO AG-FORMACIÓN CUERVOS	1811.0	16.7	0.067601
MANTO AG-FORMACIÓN CUERVOS	238.4	4.4	0.086868
MANTO AG-FORMACIÓN CUERVOS	1363.4	122.2	0.064886
MANTO AG-FORMACIÓN CUERVOS	467.6	11.9	0.072235
MANTO AG-FORMACIÓN CUERVOS	1264.8	25.6	0.069983
CANO HONDO-FORMACIÓN AGBL	955.3	12.4	0.095484
BARCO1E-FORMACIÓN BARCO	515.0	7.3	0.05442
BARCO1E-FORMACIÓN BARCO	996.7	40.6	0.032552
SORORIA M1-FORMACIÓN CUERVOS	678.9	26.8	0.07342
SORORIA M1-FORMACIÓN CUERVOS	1171.9	27.9	0.045342
SORORIA M1-FORMACIÓN CUERVOS	1093.7	36.8	0.027544
SORORIA-FORMACIÓN BARCO	540.2	15.5	0.032534
SORORIA-FORMACIÓN BARCO	535.2	12.9	0.07293
SORORIA-FORMACIÓN BARCO	908.9	40.6	0.093653
BASE 39-EOCENO	1064.9	54.1	0.099861
BASE 39-EOCENO	1891.2	59.4	0.035052
BASE 39-EOCENO	1164.2	29.3	0.074115
SORORIA M45	1051.7	24.4	0.048995
MANTO RO-FORMACIÓN CUERVOS	939.7	13.0	0.051863
MANTO RO-FORMACIÓN CUERVOS	982.0	68.5	0.074975
MANTO RO-FORMACIÓN CUERVOS	96.2	2.2	0.097322

Tabla 3.6. Circones de origen metamórfico en las muestras analizadas. Según Rubbato et al. (2002), los circones magmáticos típicamente tienen una relación Th/U entre 0.1 y 0.7, y los de origen metamórfico tienen relaciones muy bajas, normalmente entre 0.02 y 0.07.

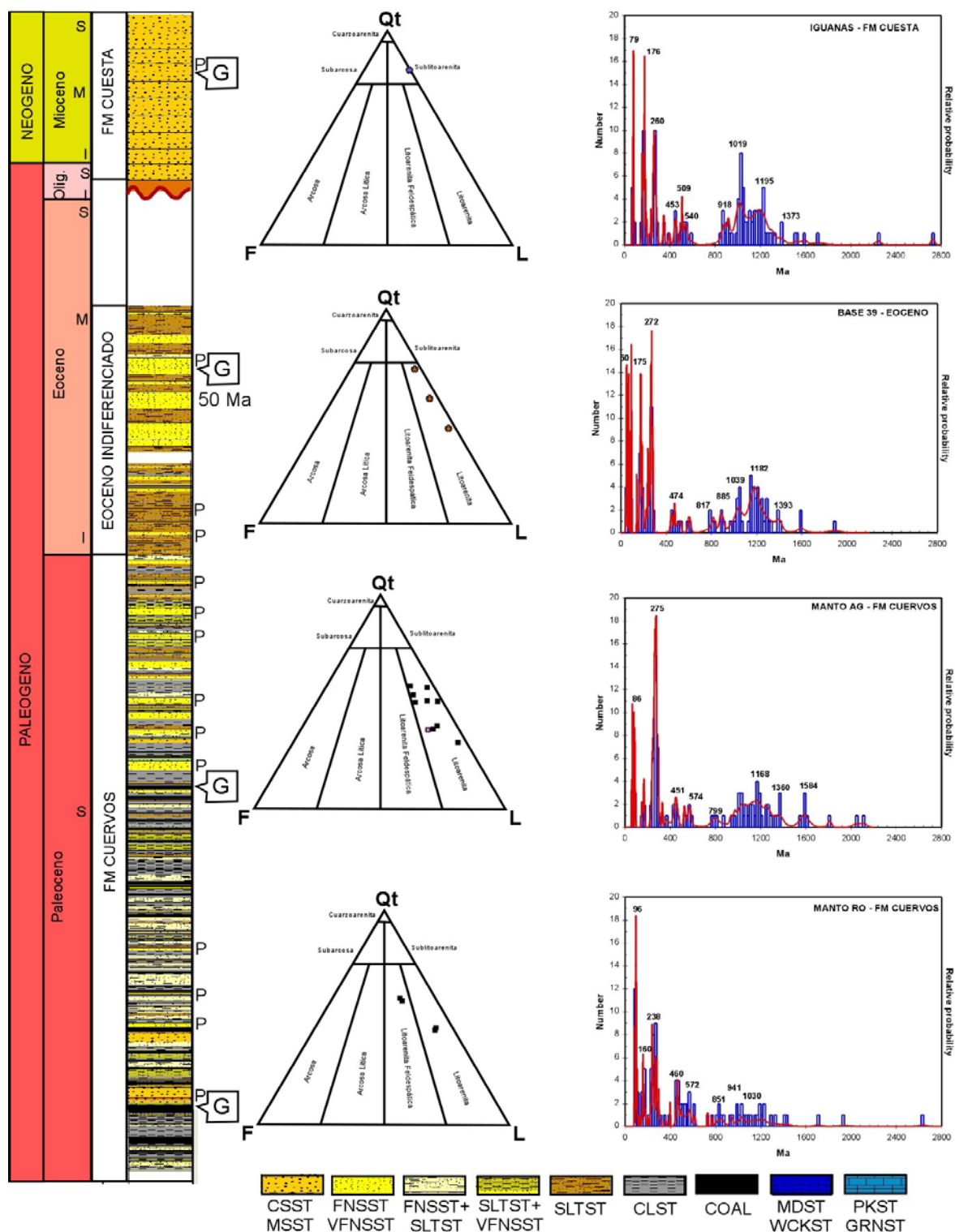


Figura 3.7a. Resultados de Geocronología en el intervalo Paleoceno Superior-Oligoceno, y relación con los resultados petrográficos. La ubicación aproximada de las muestras de geocronología en la columna estratigráfica está representada por la letra G, y de las de petrografía por la letra P. La edad reportada para el Eoceno es la edad mínima de circones.

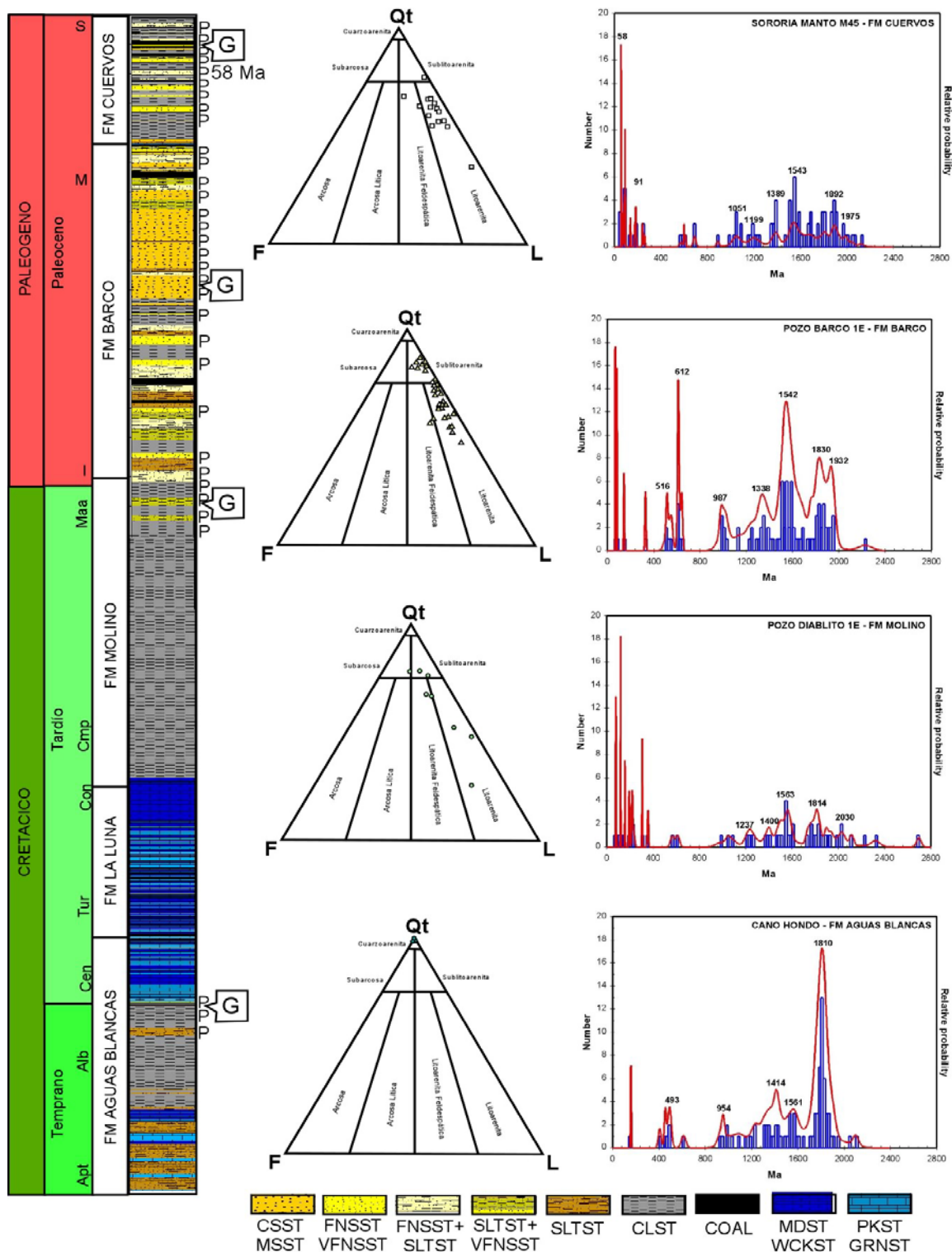


Figura 3.7b. Resultados de Geocronología en el intervalo Cretácico Medio-Paleoceno Inferior, y relación con los resultados petrográficos. La ubicación aproximada en la columna estratigráfica está representada por la letra G, y de las de petrografía por la letra P. La edad reportada para el Cuervos es la edad mínima obtenida por circones sinorogénicos.

Para el Eoceno el aporte es muy similar, a excepción del magmatismo Cretácico, que ya pierde un poco de importancia aunque sigue presente. Se resalta la presencia de Circones sinorogénicos con una edad de 50 Ma, que permiten datar la unidad en el Eoceno Medio como edad mínima de depósito. Los picos del Greenvilliano vuelven a ser notorios, indicando un probable reciclaje proveniente de unidades del Cretácico.

Las curvas de probabilidad acumulada permiten evaluar la cantidad de circones que aportan una edad específica, y permiten comparar muestras entre sí. En la Fig. 3.8 se observan las curvas de probabilidad acumulada a lo largo de la columna estratigráfica y entre las muestras de la misma Formación (en este caso Barco y Cuervos). Se observa que la tendencia a tener edades más jóvenes aumenta estratigráficamente hasta un máximo en los mantos inferiores del miembro medio de la Formación Cuervos, Los mantos más superiores y el Eoceno muestran las mismas características, lo que indica fuentes de aporte similares en un ciclo continuo, y la Formación Cuesta que muestra una mezcla entre edades muy antiguas y las edades Permo-triásicas a recientes. Según estos datos, el Eoceno estudiado no presenta un evento tectónico característico en la parte central de la cuenca, pues el aporte no cambia.

En la curva correspondiente a las muestras de la misma formación, se puede observar un comportamiento muy similar para las dos muestras de la Formación Barco y la muestra M45 (los mantos inferiores de carbón en el Cuervos Medio del área del Perijá), pero para el manto Rouzod en el centro de la cuenca y M1 en el área de Perijá la respuesta es muy diferente. Esto implica que para el tiempo de depósito de ellos la fuente de aporte es similar en toda la cuenca y que es significativamente diferente al Paleoceno Inferior (ver interpretación al final del capítulo-3.7). En los mantos superiores del centro de la cuenca (manto Aguila) la respuesta es un poco diferente en el sentido que vuelven a aparecer con mayor importancia los circones muy antiguos, que pueden corresponder al retrabajamiento de los sedimentos de margen pasivo (Paleozoico-Cretácico) durante los eventos de levantamiento del Perijá.

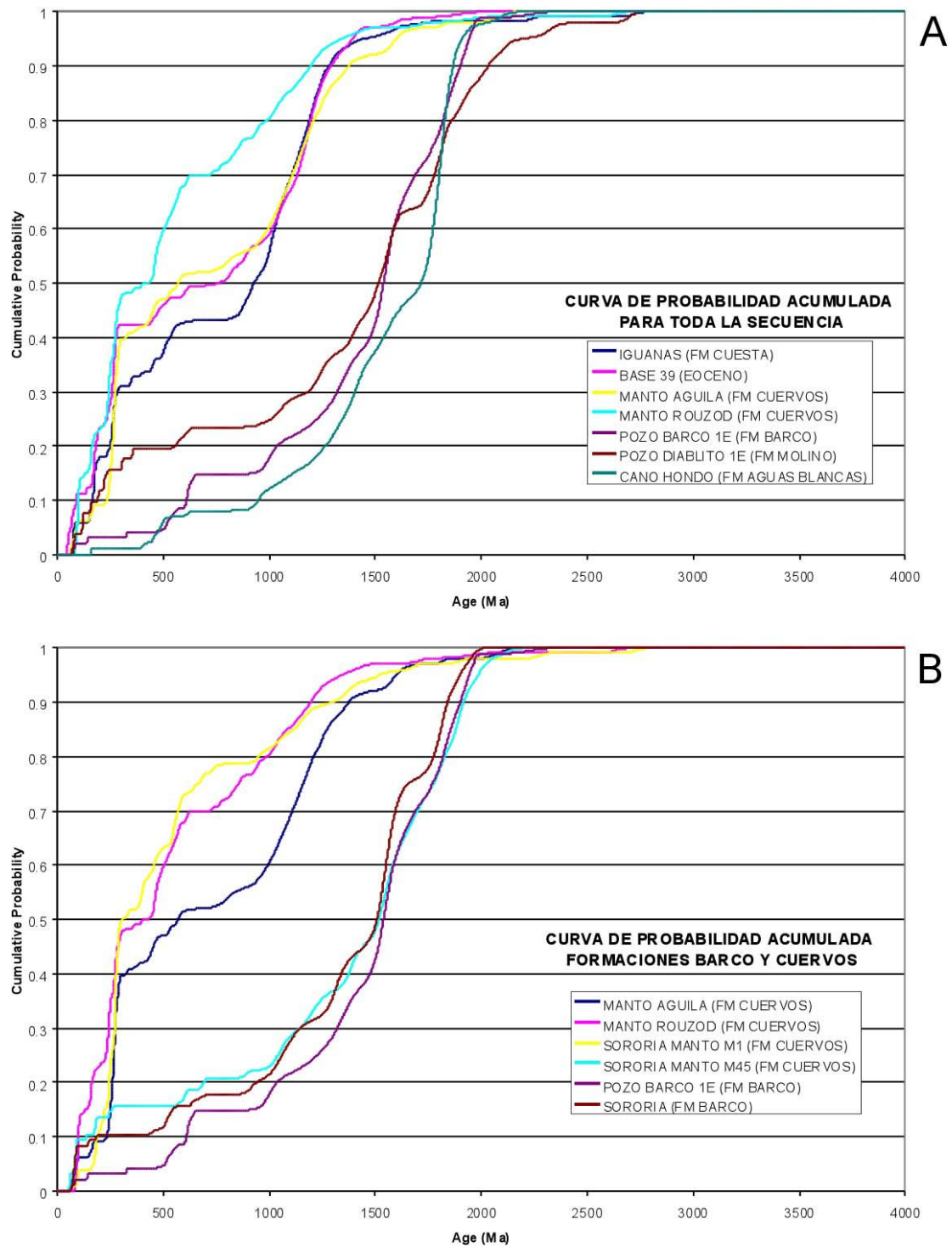


Figura 3.8. Curvas de Probabilidad acumulada para las poblaciones de circón, A) en orden estratigráfico; B) distribuidas arealmente para las formaciones Barco y Cuervos

3.5. ANALISIS DE MINERALES PESADOS

Se analizaron 9 muestras de minerales pesados, que corresponden a las mismas 9 muestras analizadas para geocronología, menos la muestra del pozo Diablito 1E (Formación Molino) que por su bajo recobro de minerales pesados no permitió hacer este estudio. Los porcentajes de los minerales se encuentran en el anexo 1- Tabla A5.

El mineral pesado predominante es el circón (Fig. 3.9). Se resalta el aumento de circones rosados redondeados con edades muy antiguas hacia el tope de la secuencia, y en la Formación Barco, justo por encima del límite de secuencia. Circones similares se han encontrado en las rocas metamórficas de facies granulita en el Greenvilliano (Agustín Cardona, comunicación personal). Los circones euhedrales más abundantes se encuentran en la Formación Cuervos en la parte de carbones (Manto RO), donde superan más del 40% de total de minerales pesados, indicando una fuente cercana de origen plutónico. Los circones volcánicos (se reconocen porque además de ser euhedrales su relación largo:ancho es superior a 3:1, ver anexo 3.1), son más abundantes en la parte de los carbones (Manto RO en el centro de la cuenca y su equivalente M1 en el Perijá) y en el Eoceno. Esto es correlativo con las fases de magmatismo ocurridas en el intervalo Cretácico Superior-Eoceno, en el cual ocurrió vulcanismo efusivo debido al arco de islas del Caribe. Es muy común encontrar circones manchados o incluidos con óxidos de hierro, especialmente en la Formación Cuesta y Cuervos en Perijá (Manto 45). Con esto hay que tener cuidado pues ambas muestras son de afloramiento y en el área del Cesar el clima es muy oxidante y cálido, y no necesariamente tiene implicaciones en el ambiente original de depósito de las formaciones.

Los minerales ultraestables más abundantes se encuentran en las formaciones Aguas Blancas, Barco y Cuervos (Manto 45), donde también la mayoría de los minerales son redondeados y retrabajados, aunque en la Formación Cuervos existen abundantes rutilos euhedrales, indicando poco transporte. Se resalta la presencia de granate únicamente en los mantos medios a inferiores de la Formación Cuervos (ver Anexo 3). En la muestra Pit Central-RO también se obtuvieron escasos minerales inestables como biotita.

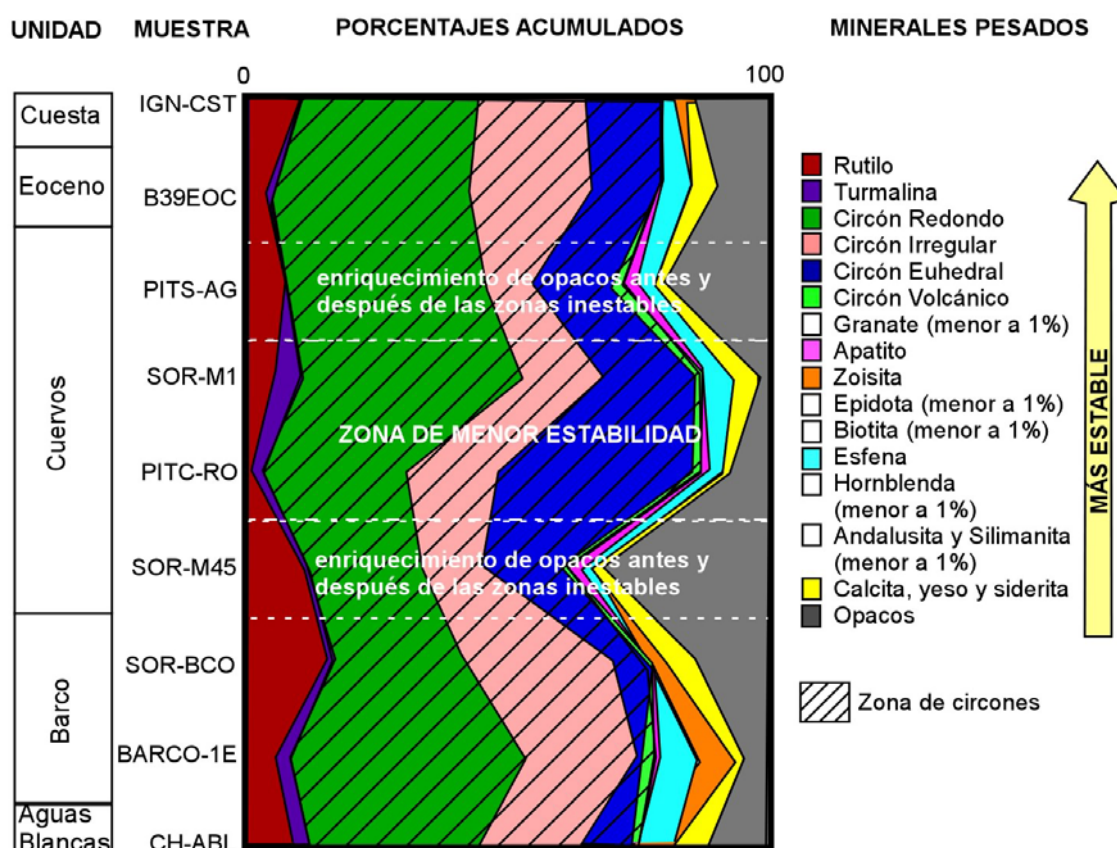


Figura 3.9. Distribución de los minerales pesados en las muestras analizadas.

Existe un registro importante de minerales de bajo relieve con colores de interferencia de primero y tercer orden. Por sus características se interpretaron como fragmentos de yeso, calcita y siderita. En la muestra Barco 1E estos minerales son muy abundantes y de gran tamaño, se interpretaron como posibles zoisitas.

Se resalta el predominio de minerales accesorios estables a ultraestables en todas las muestras. Los minerales más inestables como hornblendas, biotitas, andalusitas y silimanitas están en proporciones inferiores a 1% en las muestras donde se encontraron, y en general sólo se encontró un detrito de este tipo en los 300 analizados en cada muestra, lo que no los hace estadísticamente importantes. Sin embargo, se mencionan por sus implicaciones en la fuente de aporte.

Es de notar que dos muestras que son correlativas en tiempo tengan una respuesta de minerales pesados tan diferente, como es el caso de las muestras Pit Central RO en el centro de la cuenca y Sororia M1 en el Perijá. En la primera los circones euhedrales corresponden a más del 40% de la muestra, mientras que en el Perijá predominan los redondeados. También los contenidos de Esfena, Rutilo y Turmalina son un poco mayores en el Perijá. La geocronología dio los mismos picos de edades para estas formaciones, pero el cambio en los minerales pesados puede atribuirse a que cada uno está más cerca de las dos fuentes de aporte propuestas en este trabajo: el cinturón Sierra Nevada-Cordillera Central y la Serranía de Perijá. Es importante resaltar que en estas dos muestras el contenido de circones translúcidos es muy superior al contenido de circones de colores.

3.6. ANALISIS DE PALEOCORRIENTES

Para analizar paleocorrientes se tomaron planos de estratificación inclinada planar, inclinada bidireccional y en la estratificación en artesa se tomaron dos caras con el fin de sacar el eje de la artesa; posteriormente todos los datos fueron corregidos por buzamiento.

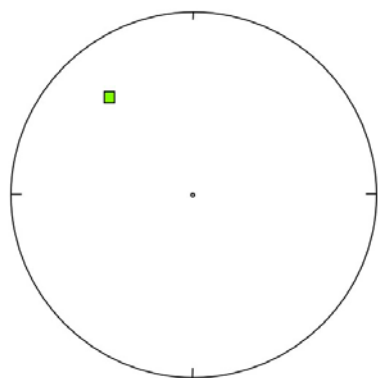
Una limitante en este estudio es la escasez de datos, pues los únicos datos de paleocorrientes reportados para el área de estudio son los tomados en el presente trabajo, y con un sólo dato no se puede determinar una dirección confiable. Sin embargo, las direcciones de flujo obtenidas son coherentes con los resultados de petrografía y geocronología.

La dirección de aporte sureste reportada en la Formación Barco (Fig. 3.10) puede venir del Macizo de Santander, pues según los resultados de geocronología las edades predominantes son Proterozoico en esta Formación, y los circones euhedrales o angulares (de fuente cercana) son predominantemente Greenvillianos. Esta paleocorriente se tomó sobre un cuerpo arenoso potente, interpretado como el apilamiento de barras frontales en un sistema de río trenzado.

Para la Formación Cuervos se observan varias direcciones (Fig. 3.11). Esta variabilidad puede asociarse al ambiente de depósito, debido a que se trata de ambientes transicionales (planicies deltáicas, planicies mareales) que pueden tener muchos canales de corta duración y meandros

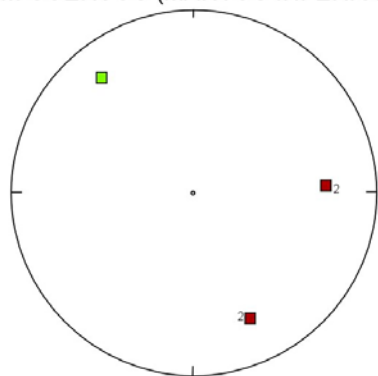
que cambien las direcciones. Las paleocorrientes fueron tomadas en cuerpos de arena intercalados con los mantos de carbón, algunos con influencia mareal. Sin embargo, se observa una concentración en las direcciones de flujo NE y SW, sugiriendo fuentes de aporte hacia el suroeste y noreste, respectivamente. Estas direcciones se pueden asociar con la Serranía de Perijá, que limita la subcuenca de Cesar en la parte este-noreste, y el cinturón Cordillera Central-Sierra Nevada de Santa Marta, que la limita en todo el oeste (suroeste y noroeste, respectivamente).

FM BARCO:Perijá



Medida: Estratificación inclinada planar unidireccional

FM CUERVOS (MANTOS INFERIORES):Perijá

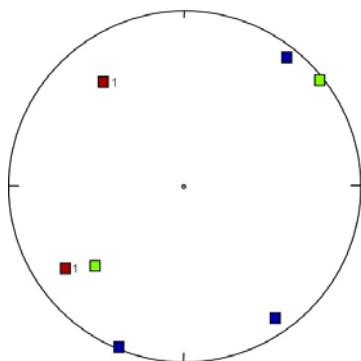


Medida: Estratificación inclinada planar unidireccional e inclinada planar bidireccional



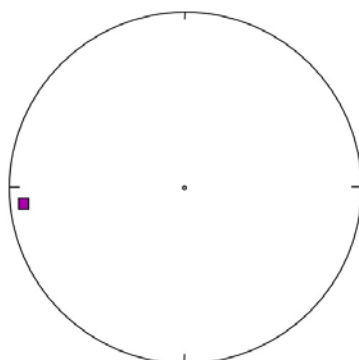
Figura 3.10. Paleocorrientes para las formaciones Barco y Cuervos (Mantos inferiores). Las coordenadas de localización de las paleocorrientes se encuentran en el anexo 1 – tabla A5.

FM CUERVOS (MANTOS SUPERIORES): Centro de la Cuenca



Medidas: Estratificación en artesa, inclinada planar e inclinada planar bidireccional

EOCENO INDIFERENCIADO: Centro de la Cuenca



Medida: Clastos imbricados

■ Eje de artesa (calculado)	■ Inclinada planar unidireccional
■ Clastos Imbricados	■ Inclinada planar bidireccional

Figura 3.11. Paleocorrientes para las formaciones Cuervos (Mantos superiores) y Eoceno. Las coordenadas de localización de las paleocorrientes se encuentran en el anexo 1 – tabla A5.

3.7. PROCEDENCIA DE LOS SEDIMENTOS EN LA SUBCUENCA DEL CESAR

La combinación de las técnicas anteriormente estudiadas permiten determinar las siguientes áreas fuente en las rocas estudiadas (la localización y características de las posibles áreas fuente fueron consignadas en la Fig. 3.1 y en la Tabla 3.5):

Las muestras del Cretácico medio (Formación Aguas Blancas) provienen del Escudo de Guayana, debido a que predomina el cuarzo monocristalino y presenta minerales accesorios ultraestables redondeados (turmalinas y rutilos). El mayor contenido de circones es translúcido. Las edades predominantes son del paleoproterozoico (pico mayor en 1.8 Ga, edad no reportada en ningún otro Macizo).

El Cretácico en la subcuenca del Cesar muestra variaciones en el nivel relativo del mar. Para un mismo pozo (La Luna-3E), se observan ambientes de plataforma externa en el Miembro Animas, luego ambientes de plataforma media a interna en el miembro Tocuy de la Formación Aguas Blancas, y luego nuevamente plataforma externa en el Miembro Maracas y La Formación La Luna, para finalizar con plataforma interna en el Miembro Socuy de la Formación Molino. Estos cambios relativos parecen ser de tipo global y no asociados a eventos de levantamiento de Macizos que afecten la cuenca (en el capítulo 5 se explica la correlación de las facies orgánicas con eventos globales de anoxicidad-OAE). Desde el Cretácico Superior en adelante se ve la influencia de la tectónica en las facies y espesores de los depósitos.

Para el tope del Cretácico (Formación Molino) las cosas cambian un poco a pesar de que la procedencia sigue siendo predominantemente de edad paleoproterozoico. La petrografía muestra unas sublitoarenitas con predominio de líticos sedimentarios (lodolitas, micritas, chert) y ocasionales volcánicos. Aunque el pico mayor sigue siendo de edad paleoproterozoico (1.5 Ga) y aparecen edades muy antiguas típicas del Escudo, el cambio litológico y la aparición de alguno circones más jóvenes pero no representativos estadísticamente muestra una fuente de aporte diferente. De esta manera se asume que el evento de levantamiento de edad Campaniano-Maastrichtiano del Macizo de Santander y la Serranía de Perijá reportado por Shagam (1984), Gallango et al (2002) y Bayona et al (2007) puede estar aportando sedimentos a la Formación Molino. Escalona & Mann (2006) también reporta un cambio litológico en la composición de las arenitas de Colón sugiriendo la acreción de un terreno. Se concluye en este estudio que existió un pulso tectónico de la terminación norte de la Cordillera Oriental que involucra el Macizo de Santander y la Serranía de Perijá, como respuesta a los eventos de acreción de terrenos en el occidente Colombiano durante el Maastrichtiano. Este

evento también parece haber levantado un poco el arco de Verdesia, que permitió un engrosamiento de la Formación Molino y de la Formación Barco hacia el sureste de la cuenca (ver Figs. 4.5 y 4.7 en el siguiente capítulo). Sin embargo, esta no era un área levantada aun, por lo cual no se considera fuente de aporte.

La Formación Barco tiene un comportamiento similar a la Formación Molino, pero empieza a reportar en la Geocronología circones de 80 Ma de edad, presentes en las zonas donde existió magmatismo de edad Cretácico, como la Cordillera Central, Occidental, y Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM). En este punto ya se empieza a observar un cambio importante en la fuente de aporte. Además, los líticos metamórficos de bajo grado empiezan a aparecer junto con chert y líticos sedimentarios y volcánicos (especialmente tobas vítreas). Esto sugiere levantamiento de los bordes de la cuenca que permite aportar sedimentos jurásicos y cretácicos (que aporta no sólo los líticos observados sino que hace que los picos en edades de geocronología sean muy similares al cretácico), además de un claro aporte del occidente aunque en muy baja proporción (que aporta los circones de 80 Ma).

En la Formación Cuervos (Paleoceno más superior), cuya edad mínima de depósito se calculó en 58 Ma por circones sinorogénicos, se observa un cambio evidente en todas las técnicas estudiadas. La petrografía muestra areniscas muy líticas con predominio de clastos metamórficos de bajo grado, la geocronología muestra respuestas totalmente diferentes de las formaciones subyacentes, con picos en el Permotriásico, Jurásico y Cretácico. Las paleocorrientes podrían indicar aportes de fuentes situadas al suroeste y noreste. Se resalta que Bayona et al (2007) reportaron que la Formación Cerrejón, equivalente temporal de la Formación Cuervos, es producto de un basculamiento de la SNSM debido al movimiento relativo de la placa del Caribe sobre el noreste Colombiano. En este estudio se propone no sólo el basculamiento de la SNSM como mecanismo de subsidencia, sino un levantamiento de la parte norte de la Cordillera Central (de ahí que se hable de un cinturón Cordillera Central-Sierra Nevada de Santa Marta), con base en los siguientes argumentos:

1. Los análisis de madurez termal (ver capítulo 5) muestran que existen dos zonas de levantamiento, y los cuales se interpretó ocurren en el Paleoceno Tardío-Eoceno: la parte

noroccidental de la cuenca (SNSM) con un sistema de basculamiento que permite depósitos más espesos hacia el sureste (área de la cocina de hidrocarburos); y el Suroeste de la cuenca, con reactivación de Fallas de Basamento (que son la posible zona de transferencia entre las Fallas de Santa Marta y Bucaramanga), que levantan la secuencia hasta el Cuervos. Este último evento se dataría de edad Eoceno Tardío, pero parece haber tenido pulsos desde el Paleoceno Tardío pues se baja un poco la subsidencia hacia el suroeste, rasgo que se observaba en las formaciones Molino y Barco.

2. En la subcuenca de Cesar no existe tanto feldespato y hay muy pocos granates a pesar de que las facies son prácticamente iguales para ese intervalo de tiempo en ambas subcuencas, por lo tanto la influencia de SNSM no es tan directa y las distancias son mayores con respecto a lo observado entre SNSM-Ranchería.

Cooper et al. (1995) reportan un aumento de la carga proveniente del occidente para el área central de la Cordillera Oriental durante el Paleoceno, que permitieron la migración de facies costeras hacia los Llanos Orientales (formaciones Barco y Cuervos), lo que indica que la Cordillera Central también tuvo un pulso de levantamiento.

El Eoceno de la subcuenca de Cesar (correlativo con Misoa en Maracaibo), a pesar de mostrar un cambio tan notorio en la coloración de las lodolitas, no parece mostrar un evento tectónico marcado como lo han sugerido estudios anteriores, sino que muestra una continuación gradual de dicho evento que inició en el Paleoceno Superior. La petrografía muestra un rejuvenecimiento gradual y no un salto como pasa en el límite de secuencia de la Formación Barco Superior, y la geocronología muestra una respuesta prácticamente igual a los mantos superiores de la Formación Cuervos. Se sugiere que la fuente sea la misma que ocasionó los depósitos del Paleoceno, con la salvedad que el evento de levantamiento fue continuo, y causó cambios ambientales en la cuenca, de facies transicionales con abundantes mantos de carbón, a facies continentales con predominio de sedimentos rojizos finogranulares.

También es de anotar la diferencia de este Eoceno con los sedimentos gruesos de la Formación Tabaco indicando una fuente más cercana en el área de Ranchería (estas dos unidades son

correlativas). Esto podría ser un argumento que indique que la SNSM también depositó en la subcuenca del Cesar, y se tengan facies más lejanas de dicho ambiente continental generado por el retroceso de las facies costeras durante el levantamiento. Otra opción es que al apretar la cuenca en la parte norte por la rotación continua de la SNSM durante la migración de la placa del caribe aquí si se desarrollen pulsos más fuertes de levantamiento por acción de la Falla de Santa Marta, generando así una pequeña discordancia entre Cerrejón y Tabaco, característica no observada entre el Paleoceno Superior y Eoceno inferior a medio de la subcuenca de Cesar. La rotación total de la SNSM se sitúa por el orden de 20°, según datos paleomagnéticos realizados por ARES (Germán Bayona, comunicación personal).

El principal argumento para proponer un modelo de basculamiento del Paleoceno tardío en Ranchería ha sido la ausencia de depósitos sinorogénicos y los cambios de espesor en la Formación Cerrejón (Bayona et al., 2008. Conferencia técnica de la ACGGP). En el caso de la subcuenca de Cesar el argumento más fuerte para el modelo de combinación de basculamiento de la SNSM y reactivación de fallas de basamento en el suroeste es la madurez termal de los sedimentos, que dan indicios de la configuración de la cuenca, apoyados en que la procedencia muestra indudablemente un cambio en el aporte que proviene del oeste. No se descarta si llegaron a existir o no depósitos sintectónicos gruesos porque la Formación Cuervos se encuentra erosionada justo en los puntos donde podrían existir dichos depósitos, y en donde aun se conservan no se ha perforado nada (ej., extremo Suroeste de la cuenca, contra las fallas que pueden ser la continuación o transición de la Falla de Bucaramanga).

La Formación Cuesta muestra en la geocronología edades típicas de la SNSM y se interpreta que también hubo reciclaje de formaciones del Cretácico y Paleoceno al levantar los bordes de la cuenca, pues muestra un pico importante en el Greenvilliano (1 Ga), y otros picos en el Permotriásico, Jurásico Temprano y Cretácico, muy coherente con el material observado en los clastos, que corresponden en su mayoría a cuarcitas y chert.

CAPITULO 4 – MODELO DE EVOLUCIÓN TECTÓNICA Y SU INFLUENCIA EN LOS DEPÓSITOS

4.1. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL MODELO

Para desarrollar el modelo de evolución tectónica se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en los capítulos anteriores de la siguiente manera:

Se evaluaron cambios de espesores en las formaciones para ver algo de la geometría de la cuenca, y las litologías conformantes para determinar la dirección de las fuentes de aporte.

En el capítulo de procedencia se evaluó la variación de las fuentes de aporte en el tiempo, que implícitamente asume zonas de levantamiento o denudación activa. De este capítulo se pudo obtener el tiempo de levantamientos del occidente de la cuenca.

También se revisó la bibliografía del área de estudio y las cuencas adyacentes en donde se identificaran pulsos tectónicos para asociar los pulsos más regionales o identificar ausencia de tectonismo en la subcuenca de Cesar en comparación con las otras cuencas.

Se revisaron seis líneas sísmicas suministradas por Drummond Ltd. (Fig. 4.2), y correspondientes al área del contrato de exploración La Loma, ubicado en la subcuenca de Cesar. Estas líneas corresponden a campañas sísmicas realizadas en los años 1979 y 1981, y fueron reprocesadas en el año 2004 con el fin de mejorar la resolución.

La Fig. 4.1 indica los colores indicadores para los horizontes mostrados en las líneas sísmicas presentadas en este capítulo.

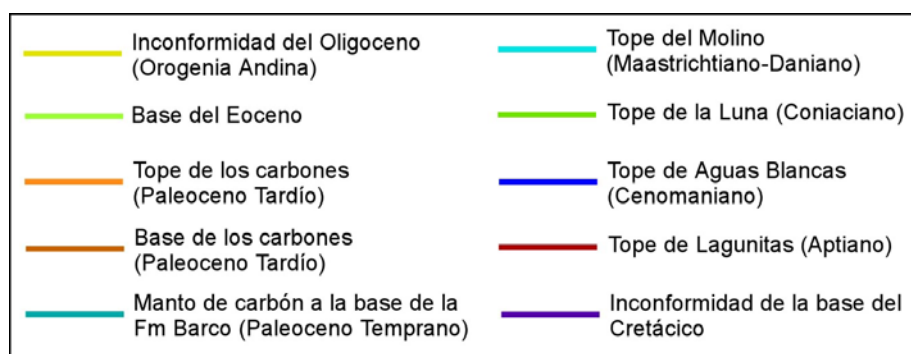


Figura 4.1. Colores usados en los horizontes interpretados.

4.2. ESTILO TECTÓNICO ACTUAL

La subcuenca de Cesar se caracteriza por la presencia de fallas inversas de alto ángulo. La resolución por debajo de la Formación Lagunitas es muy baja, lo que no permite observar estratos de crecimiento asociados a las fallas de rift del Jurásico. Sin embargo, los espesores que han sido reportados mediante pozos y afloramientos en las formaciones La Quinta y Río Negro muestran variaciones fuertes de espesor indicando actividad de fallas normales. Estas antiguas fallas generan zonas de debilidad que al tener eventos compresivos fácilmente se invierten y generan dichas fallas de alto ángulo.

Algunos autores consideran que en el basamento estas fallas de alto ángulo se horizontalizan, generando un sistema de corrimientos (Ecopetrol, 1998) en dirección al Perijá. Otros optan por un sistema de inversión de fallas de basamento sin necesidad de conectarlas en profundidad (Intera-Bioss, 1995). Drummond (2005) interpreta dos estilos de deformación asociados al basamento: Fallas lítricas con despegue en basamento (posiblemente en el Paleozoico) y vergencia NW (Fallas de Arenas Blancas, Cesar y La Aurora, ver Figs. 4.2-4.5), y Fallas de alto ángulo con movimientos verticales de bloques (Falla de Becerril). También interpretan algunos sistemas de fallas generados por encima de las fallas de basamento y con despegue en la Formación Molino.

Con todo esto, el estilo tectónico es predominantemente de piel gruesa (thick-skinned), a excepción de las fallas someras asociados a la deformación del Oligoceno y Mioceno. En la

subcuenca de Ranchería se observa un despegue de muy bajo ángulo (Falla de Cerrejón) que decapita fallas antiguas de basamento, característica no observada en la subcuenca de Cesar. Es muy posible que la barrera que implica el Macizo de Santander no haya permitido la Formación de despegues de bajo ángulo en esta subcuenca.

Es de anotar que la actividad de las Fallas de dirección NE-SW involucra la discordancia del Oligoceno, es decir, pulsos de deformación en sentido NW-SE se generan posiblemente en el Mio-Plioceno, con la Orogenia Andina.

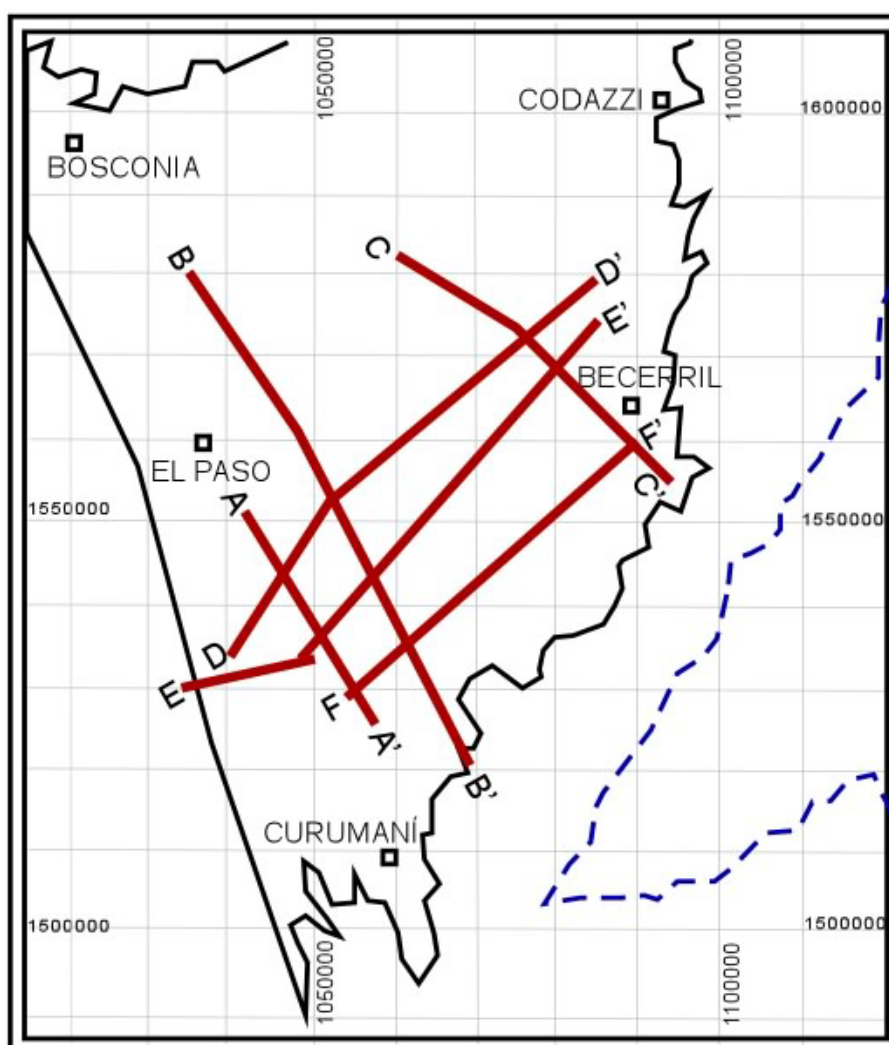


Figura 4.2. Localización de las líneas sísmicas analizadas.

Figura 4.3. Líneas sísmicas A-A' y B-B'. Localización de las líneas en la Fig. 4.2.

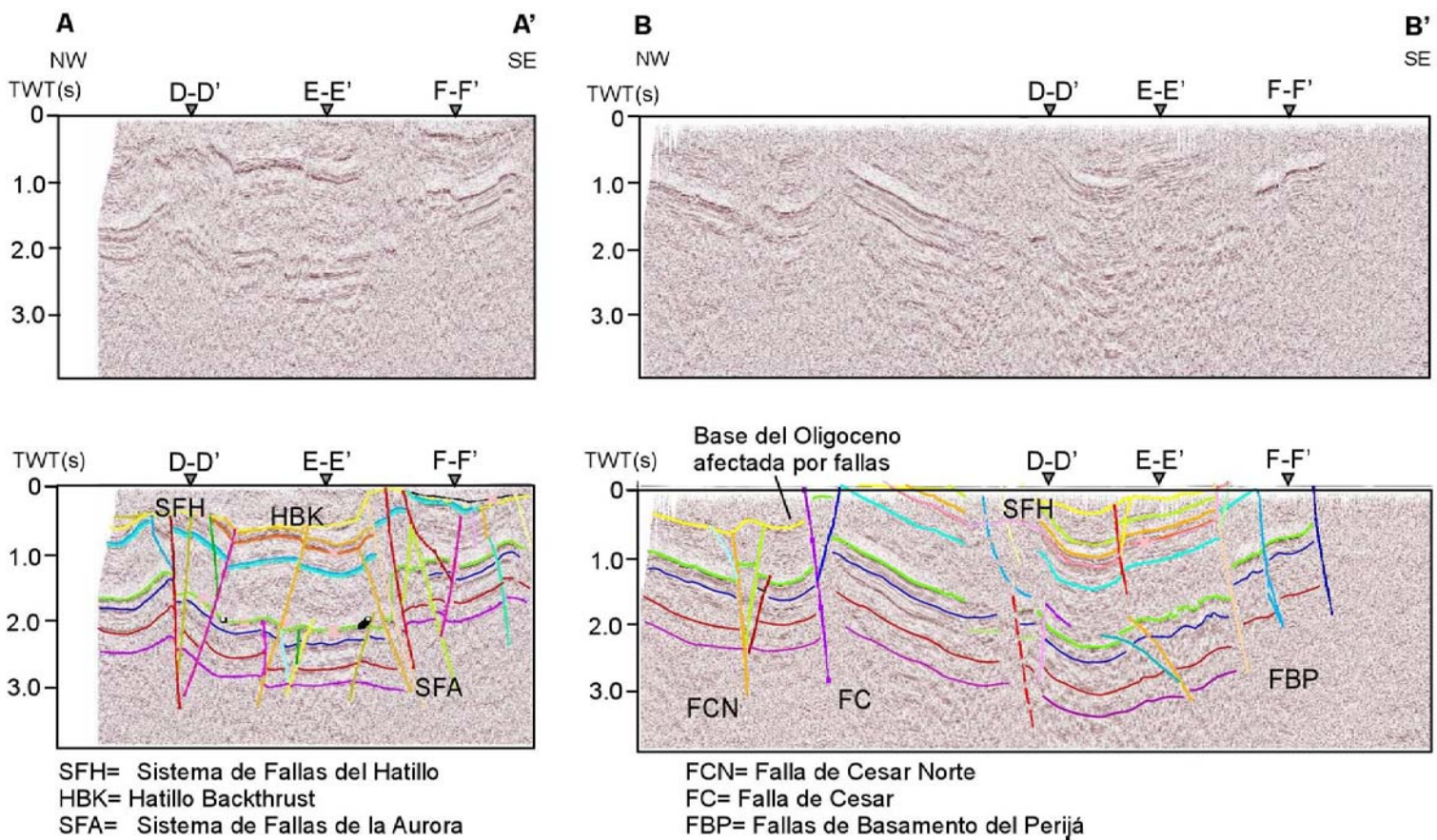


Figura 4.4. Líneas sísmicas C-C' y D-D'. Localización de las líneas en la Fig. 4.2.

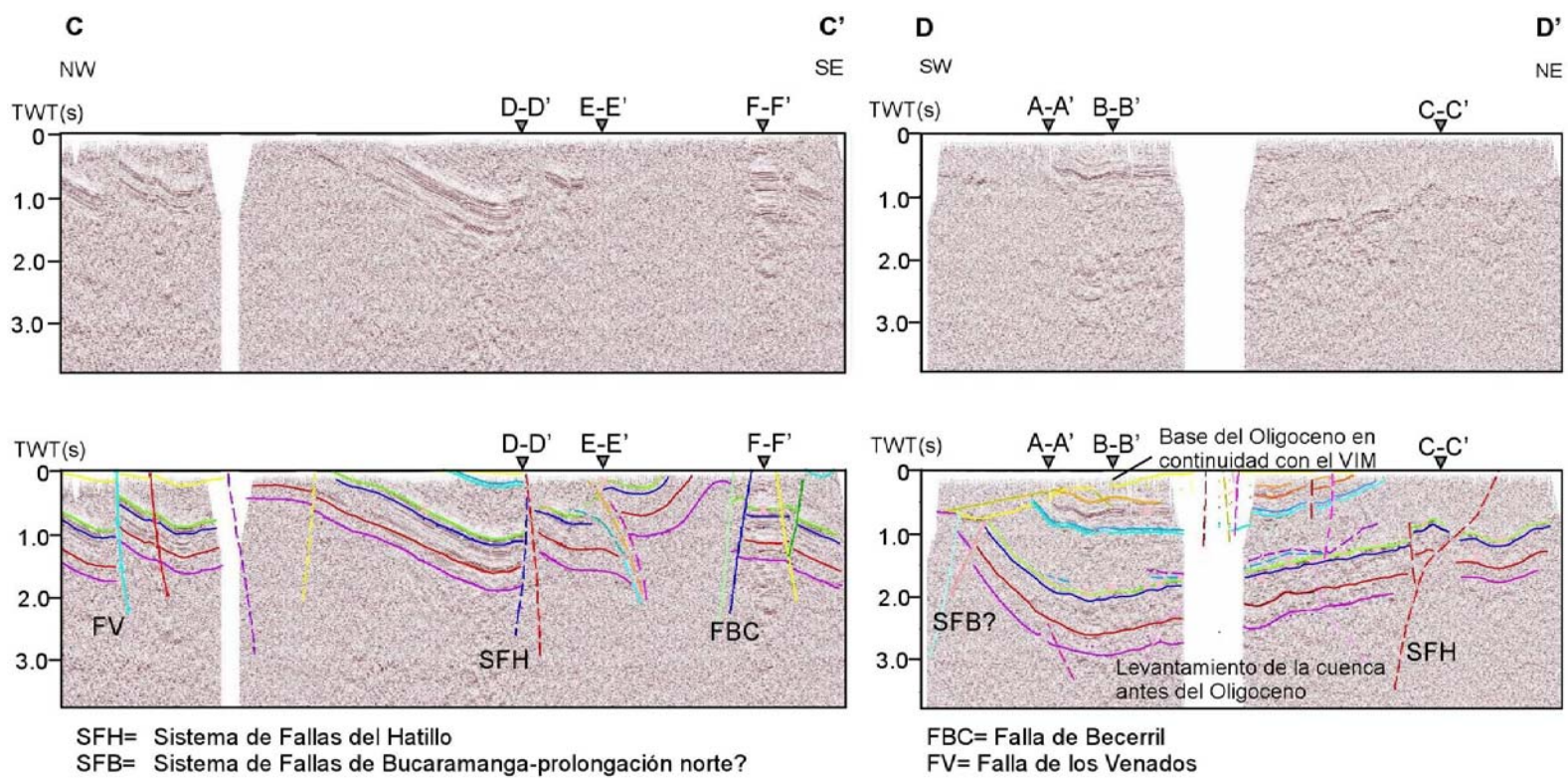
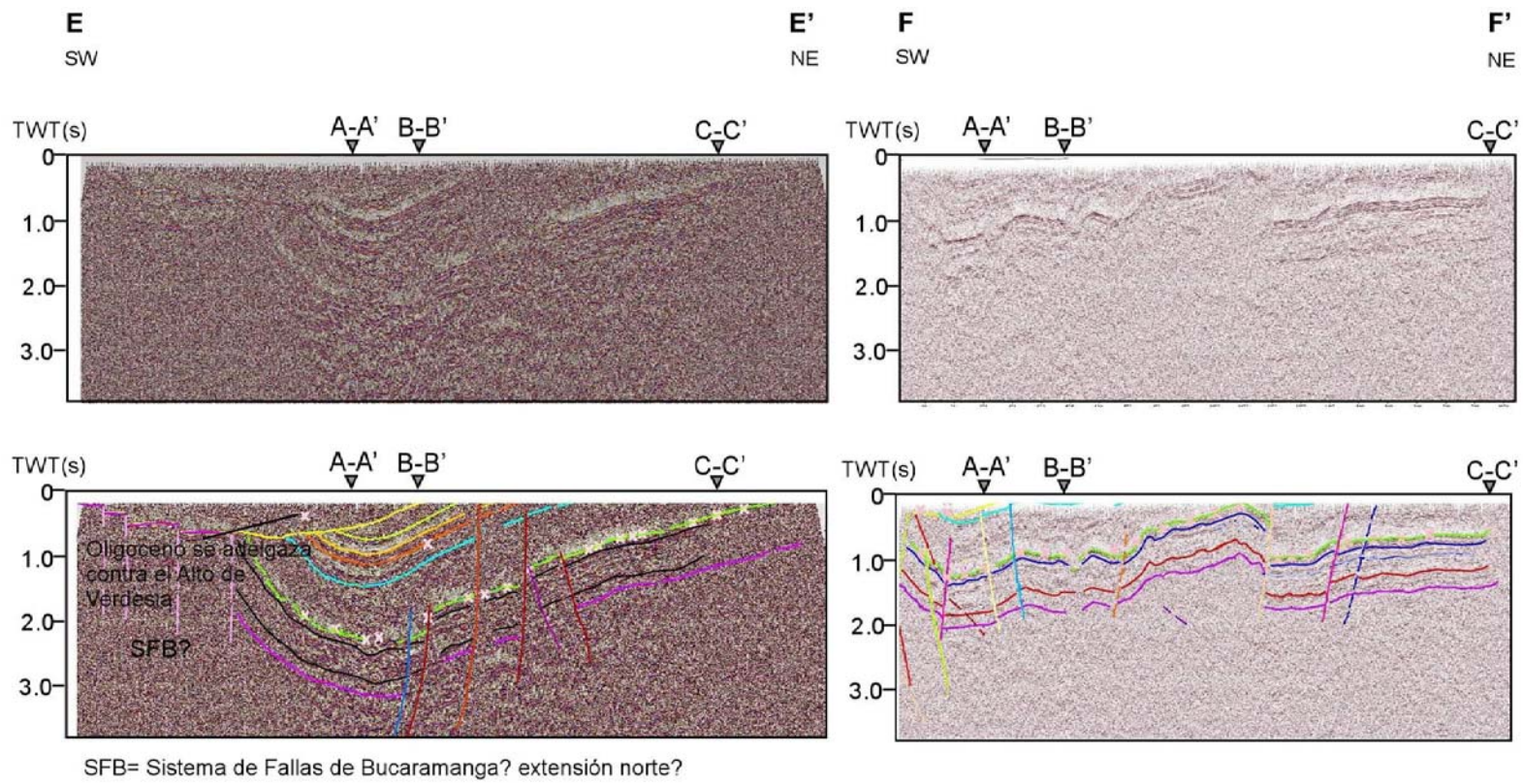


Figura 4.5. Líneas sísmicas E-E' y F-F'. Localización de las líneas en la Fig. 4.2.



4.3. EVENTOS TECTÓNICOS

Este es el resumen de los eventos tectónicos que afectaron la cuenca a partir del Jurásico y sus características:

4.3.1. Rift Jurásico Inferior y fase erosiva pre-Cretácica.

Diversos autores identifican fases de rift en el Jurásico que causan los cambios de espesor en la Formación La Quinta (Intera-Bioss, 1995; González de Juana et al., 1980; entre otros). La línea C-C' (Fig. 4.6) muestra relaciones angulares para el Jurásico, indicando fases erosivas previas al Cretácico. Esto es coherente con los datos petrográficos reportados por ICP (2001) donde se asume una fuente de aporte Jurásica para las rocas de la Formación Río Negro.

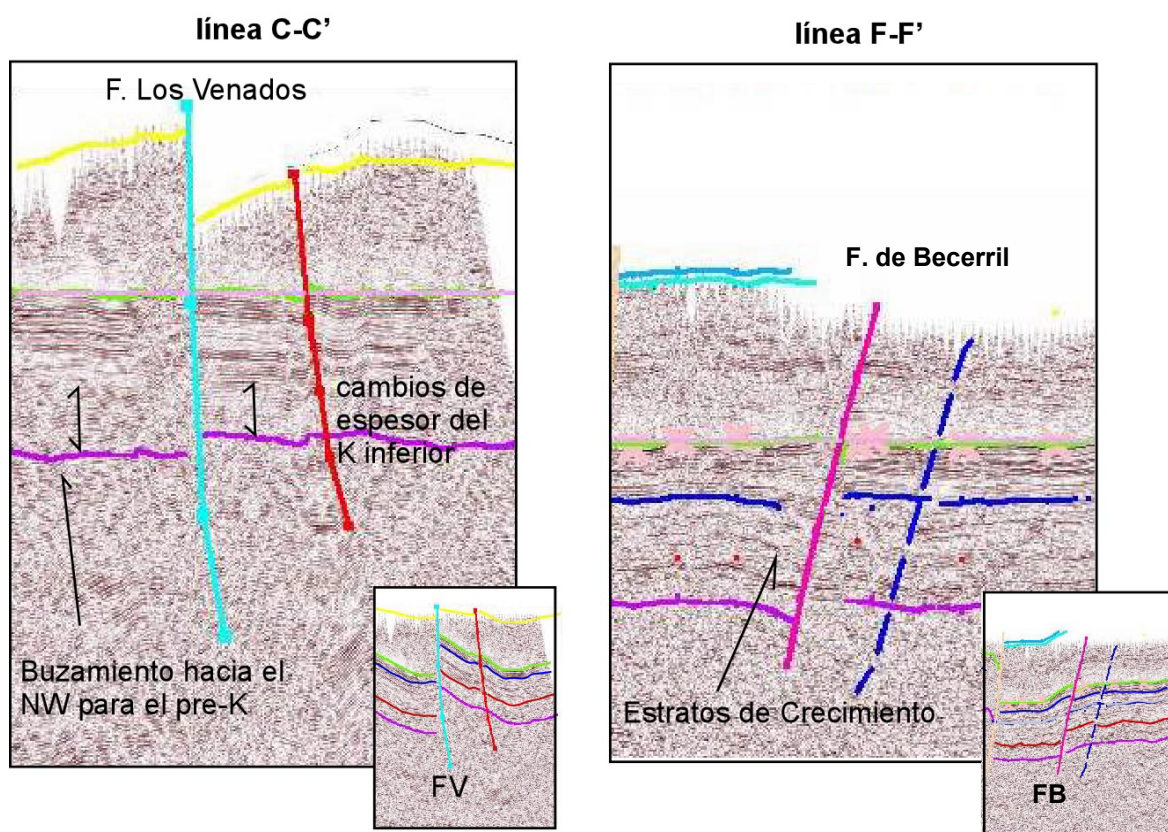


Figura 4.6. Detalle de las líneas sísmicas C-C' y F-F', horizontalizadas al tope de la Formación La Luna para observar mejor la actividad del Cretácico inferior a medio. Nótese las evidencias de rellenos post-rift en el Gupo Cogollo. En e recuadro pequeño muestra la estructura en la actualidad.

En la subcuenca de Cesar aun se conservan evidencias de antiguas fallas de rift. Este es el caso de las Fallas de los Venados, Cesar y Becerril, en las cuales se desarrollan cambios de espesor del Grupo Cogollo. De esta manera se asume que el Cretácico inferior a medio corresponde a un relleno post-rift, tal como lo sugirió Intera-Bioss (1995). Estas fallas actuarían como superficies de debilidad en eventos posteriores, que permiten la inversión tectónica.

4.3.2. Evento Campaniano-Paleoceno medio.

Durante el Cretácico Tardío se generó un evento tectónico con fallamiento en dirección hacia el W-SW, que genera cambios de espesor y depósitos sintectónicos en la Formación Molino. Este evento había sido reportado previamente en el flanco Este del Perijá (Shagam, 1984; Gallango & Novoa, 1992), y Maracaibo (Elrich et al., 2000), causando cambios de espesor en las formaciones Colón y Mito Juan, correlativas con la Formación Molino. Sin embargo, siempre se reporta como un evento compresivo asociado al *foreland* causado por el levantamiento de la Cordillera Central. Lo que se pudo observar en la subcuenca de Cesar al horizontalizar los reflectores es actividad de fallas normales, con una mayor subsidencia hacia el SW de la cuenca, causada por escalonamiento de fallas (Línea E-E', ver Fig. 4.7). En las líneas paralelas al tren estructural actual es más evidente esta deformación de edad Campaniano, pero también se puede observar en algunas líneas perpendiculares al tren estructural actual (Línea A-A', Fig. 4.7). Entre estas fallas extensivas activas a finales del Cretácico que controlan los espesores de las formaciones Molino y Barco se resalta el *backthrust* del Hatillo, y las Fallas transversales del Suroeste de la Cuenca.

Es claro que la Formación Molino se desarrolla con cambios de espesor y al parecer sobre un sustrato deformado, y como se pudo observar en la Fig. 4.7, se encuentra controlado por fallas. Análisis de fracturamiento en las formaciones Cretácicas previas a Molino realizados por Kammer et al. (2005), indican que las fracturas encontradas (N-S y E-W) no corresponden al estilo de deformación Andina que genera los pliegues actuales (ej., anticlinal de Becerril y Sinclinal de la Jagua, con una orientación NE-SW). Este argumento se encuentra a favor de un evento de deformación previo al Eoceno Tardío, donde el esfuerzo principal es en dirección NW-SE. Sin embargo, se plantea el interrogante si es un evento compresivo o extensivo en la

subcuenca de Cesar. En este trabajo se propone que la compresión causada por levantamientos de la Cordillera Central y acreción de terrenos oceánicos en el occidente colombiano levante el Arco de Verdesia en una tectónica de bloques controlada por fallas de basamento y por ende las unidades se engrosen más hacia el SW, lejos del arco. Este levantamiento se reactiva durante el Eoceno Tardío, generando la estructura actual que permite aflorar rocas del Jurásico y Cretácico.

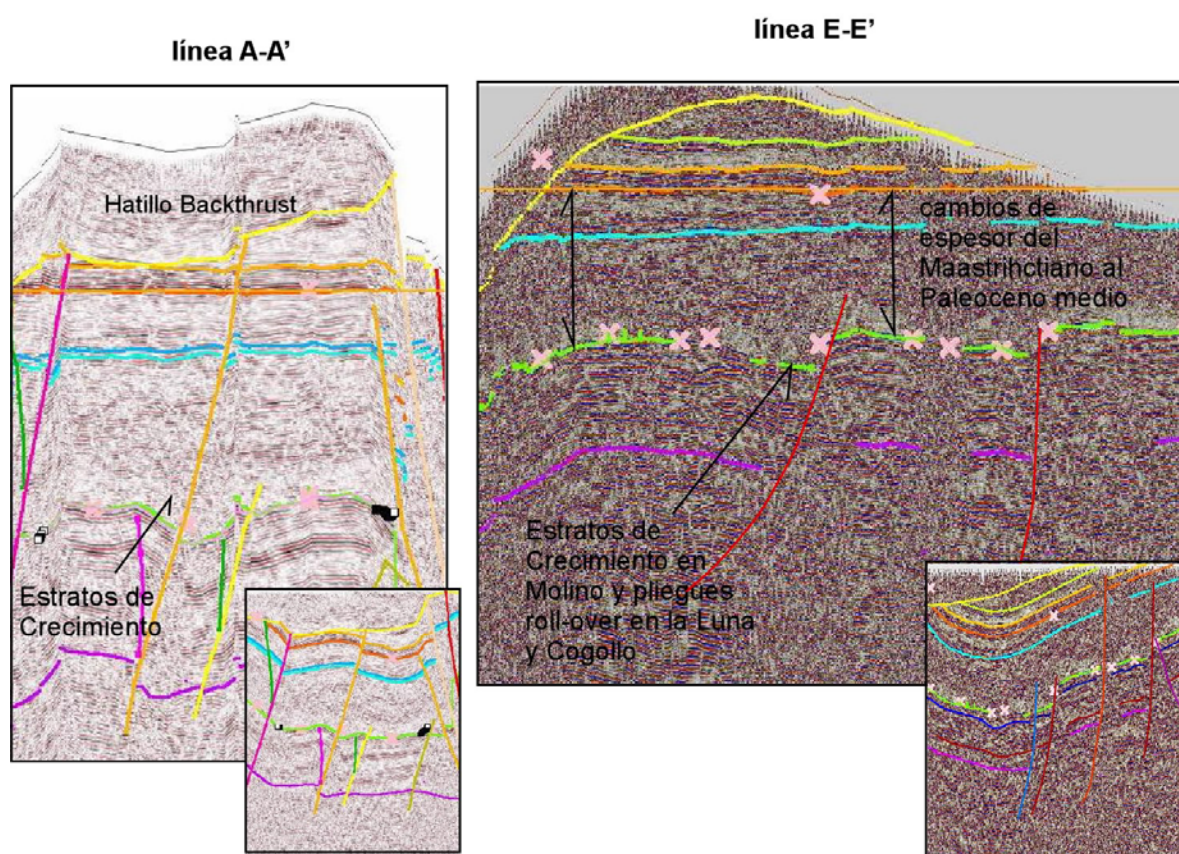


Figura 4.7. Detalle de las líneas sísmicas A-A' y E-E', horizontalizadas a la base del Paleoceno Tardío. Nótese los cambios de espesor de la Formación Molino asociada a la actividad de Fallas, y de la Formación Barco principalmente por mayor subsidencia hacia el SW. En el recuadro pequeño se observa la línea actual (sin horizontalizar).

4.3.3. Evento Paleoceno Tardío-Eoceno Medio.

Aunque en la subcuenca de Cesar el Paleoceno tardío es muy uniforme, se asume un evento tectónico proveniente del Oeste y Suroeste de la cuenca con base en las siguientes evidencias:

1. La madurez termal de los sedimentos del Cretácico muestra una geometría de cuenca en forma de cuña si se hace un corte NW-SE de la cuenca, con límite oriental contra la Falla de Perijá; y también indica que el suroeste a pesar de ser ahora la zona más profunda, fue durante un periodo importante de tiempo un área de levantamiento (ver más detalles de este análisis en el capítulo 5). Los únicos depósitos con el suficiente espesor para generar carga y estas condiciones de madurez son los del Maastrichtiano-Eoceno.
2. La procedencia de los sedimentos muestra un cambio evidente en el aporte, proveniente de la Cordillera Central-Sierra Nevada de Santa Marta (ver más detalles en el capítulo 2).
3. Se reporta el inicio de la subducción en la placa del Caribe como Paleoceno Tardío (Taboada et al., 2000; Cortés et al., 2005). Este cambio en la configuración tectónica de la esquina noroeste de Suramérica debe manifestarse en las cuencas sedimentarias.
4. Diversos autores reportan eventos tectónicos para la Cordillera Central (Cooper et al, 1995; Villamil, 1999; Hatton & Espejo, 1997; entre otros), que dan como resultado la erosión del Paleoceno Tardío en la parte norte del Valle Medio del Magdalena. Además, los levantamientos previos a la Orogenia del Mioceno de la parte norte del VMM se evidencian en la falta de madurez termal de las rocas debido a la no depositación del Neógeno (García & Parra, 2003).
5. En el límite entre la subcuenca de Cesar y la Cuenca del VIM (ver línea E-E', Figs. 4.5 y 4.7, se observan fallas inversas de alto ángulo que involucran basamento y donde prácticamente no hay depósitos diferentes al basamento.

4.3.4. Evento Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano.

Este evento también se conoce como Orogenia Caribe (Kellog, 1984), y crea una cuenca *foreland* en el Lago de Maracaibo (Elrich et al., 2000).

En la subcuenca de Cesar se manifiesta en el levantamiento del Arco de Verdesia y del Perijá, evidenciado por la discordancia bajo la cual se encuentran estructuras sinclinales y fallas de basamento con inversión tectónica (Figs. 4.3 y 4.5). Este evento también causó un levantamiento abrupto de las Fallas que hacen parte de la terminación norte de la Falla de Bucaramanga (Fig. 4.5), y la generación de un alto que separa las cuencas de VIM y Cesar. Sin embargo, los depósitos del Oligoceno, grueso granulares y de origen fluvial, son continuos entre ambas cuencas, descartando así que estas fallas de basamento tengan movimientos de rumbo de varios cientos de Kilómetros durante el Mioceno, como se sugiere para el Sistema Santa Marta-Bucaramanga (Mora & García, 2006).

A partir del Oligoceno temprano ocurre un periodo de relajación que permite la depositación de la Formación Cuesta, en continuidad con Ciénaga de Oro en el VIM. En otras zonas del país, como en los Llanos Orientales, se manifiesta en una transgresión marina de corta duración (Villamil, 1999).

El movimiento de la Placa del Caribe sobre esta zona genera levantamientos y deformación, generando una cuenca intramontana, en contraste con el área de Maracaibo donde genera alta subsidencia debido al desarrollo de un Foreland.

4.3.4. Evento Mioceno Tardío-Pleistoceno Tardío.

El evento Mio-Plioceno, conocido también como Orogenia Andina, causa los mayores levantamientos en la Cordillera Oriental, Perijá y Andes de Mérida. La orientación de deformación predominante es NW-SE, y genera la mayoría de las estructuras actuales en la subcuenca de Cesar. La discordancia del Oligoceno se encuentra afectada en dirección NW-SE por las Fallas principales de la subcuenca Cesar: La Falla del Cesar, el Sistema de Fallas del Hatillo, y el Sistema de Fallas de La Aurora. Estas fallas también se caracterizan por cambiar su comportamiento de sur a norte, variando el salto de falla y generando backthrust localmente. Este estilo cambiante en la deformación se puede asumir como una influencia de tectónica de rumbo. En dirección SW-NE no le sucede nada a las Fallas post-discordancia del Oligoceno.

Durante este periodo de deformación se generan también despegues en la Formación Molino, separando así dos niveles de deformación: el superior, con una tectónica de piel delgada y pliegues asimétricos asociados a fallas con ángulos bajos de despegue que involucra principalmente el Terciario; y el inferior, con fallas de alto ángulo que involucran el basamento y con pliegues más suaves (ver Falla del Hatillo, línea B-B', Fig. 4.3).

El mayor levantamiento de la SNSM, el Perijá y los Andes de Mérida ocurre durante el Plioceno (5Ma, según Higgs, 2008) por una reorganización en el movimiento de la placa del Caribe. Hace 2.5 Ma (Pleistoceno) el movimiento de esta placa cambia hacia el este, causando amplios levantamientos en la Cordillera Oriental, y es muy posible que este evento sea el origen del basculamiento de depósitos considerados del Cuaternario en el área de Perijá. También es posible que este último pulso del Pleistoceno genere movimientos de rumbo en las fallas existentes, como en la Falla del Perijá y en las fallas NE-SW de la cuenca. Aun no se ha estudiado la influencia de las fallas perpendiculares que atraviesan la cuenca, estas pueden tener algo de continuidad y afectar las fallas principales.

Los levantamientos del Plioceno-Pleistoceno, que generan depósitos molásicos en el oeste de la Sierra Nevada de Santa Marta (Ujueta, 2005), causan el mayor acortamiento de la Cuenca Cesar-Ranchería. En el área de Ranchería se ha estimado un acortamiento de 20 Km (Intera-Bioss, 1995) asociado al desarrollo del Corrimiento del Cerrejón, y en el área de Cesar se ha estimado un acortamiento de 11 Km, con el desarrollo de la deformación en dirección NW-SE y el levantamiento del Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta hasta su posición actual.

4.4. MODELO DE EVOLUCIÓN DE LA CUENCA

A partir de la integración de los datos tectonosedimentarios se evidencia que la geometría y subsidencia de la cuenca del Cesar -Ranchería varía en función de los diferentes pulsos tectónicos. En tal sentido se desarrolló un modelo evolutivo que explique esquemáticamente el sustrato bajo el cual se depositaron las unidades sedimentarias antes descritas (Fig. 4.8):

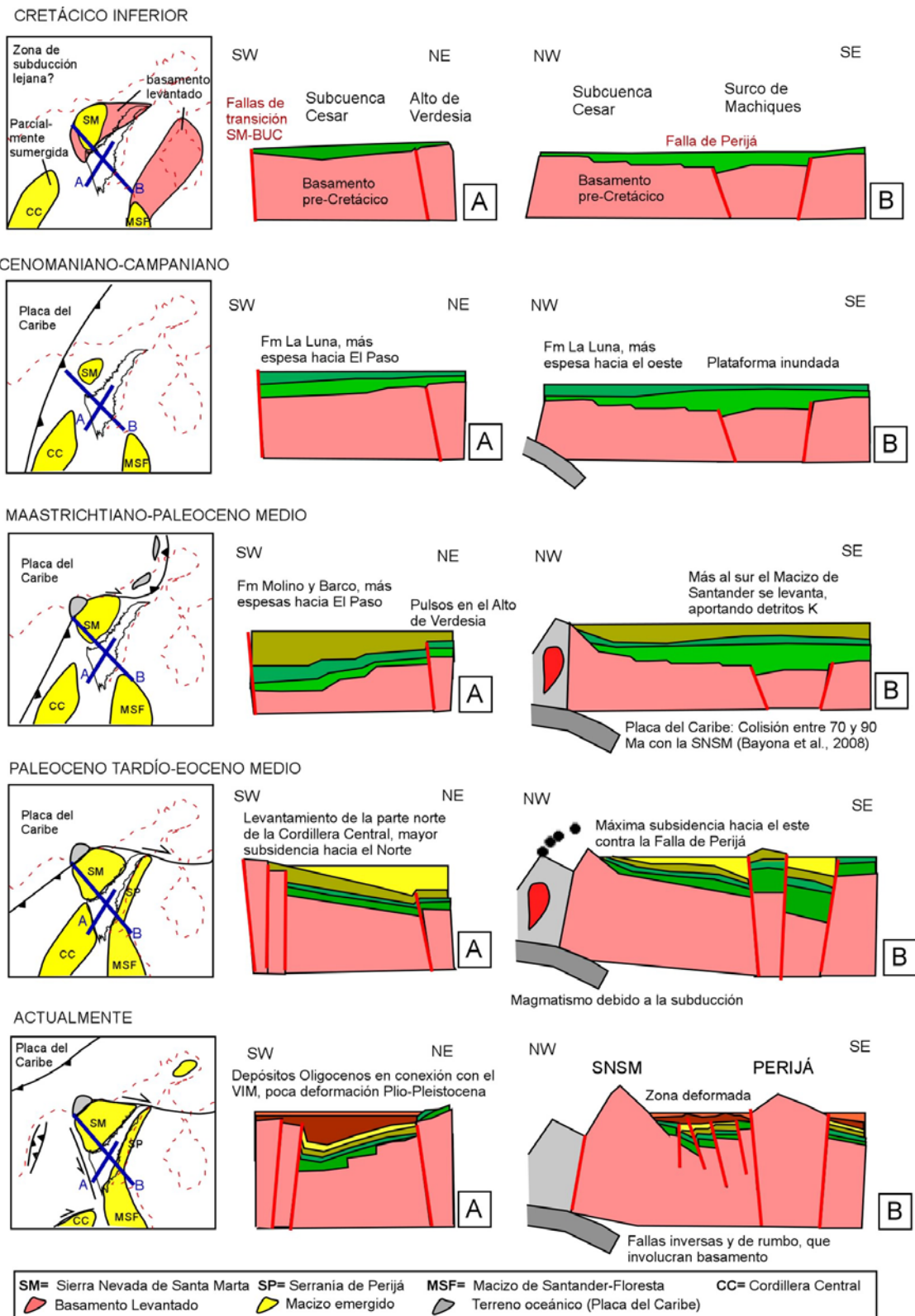


Figura 4.8. Esquema de evolución tectónica. Algunos gráficos modificados de Bayona et al (2008, conferencia técnica de la ACGGP).

CAPÍTULO 5 - ANALISIS GEOQUIMICO, DESARROLLO Y EVOLUCION DE COCINAS DE HIDROCARBUROS EN LA SUBCUENCA DEL CESAR

5.1. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS GEOQUÍMICO

Para la subcuenca de Cesar se habían realizado análisis geoquímicos previos (ICP, 1990; Intera-Bioss, 1995; Ecopetrol, 1998; Mora & Rangel, 2004). Sin embargo, la mayoría de estos estudios no referencian datos e incluso manifiestan como dudosa la procedencia de la información, en cuanto a correlaciones regionales se refiere. Sólo Mora & Rangel (2004) utilizan datos completos del pozo Compae-1, y modelan el sinclinal de La Loma, aunque no explican los parámetros usados, muy seguramente por confidencialidad de la información.

Tratando de establecer las relaciones regionales de las rocas generadoras a estudiar, se recolectó una base de datos de la información existente y se complementaron los análisis con 35 muestras tomadas en campo y afloramiento (Fig. 5.1), a las cuales se le realizaron análisis de reflectancia de vitrinita (R_o), carbono orgánico total (COT), y pirólisis (Rock-Eval), en el Laboratorio de Geoquímica del Instituto Colombiano del Petróleo en Piedecuesta (Santander). En la Fig. 5.1 se observa la localización de las muestras tomadas en diferentes localidades y pozos de la subcuenca de Cesar.

Desafortunadamente, y aunque las muestras fueron enviadas al laboratorio desde octubre, en el momento de la entrega de esta tesis algunas muestras de R_o no fueron finalizadas, y los resultados estarían llegando uno o dos meses más tarde. Por este motivo, se calculó un R_o eq (reflectancia de vitrinita equivalente) a partir del T_{max} obtenido en la pirólisis (Fig. 5.2).

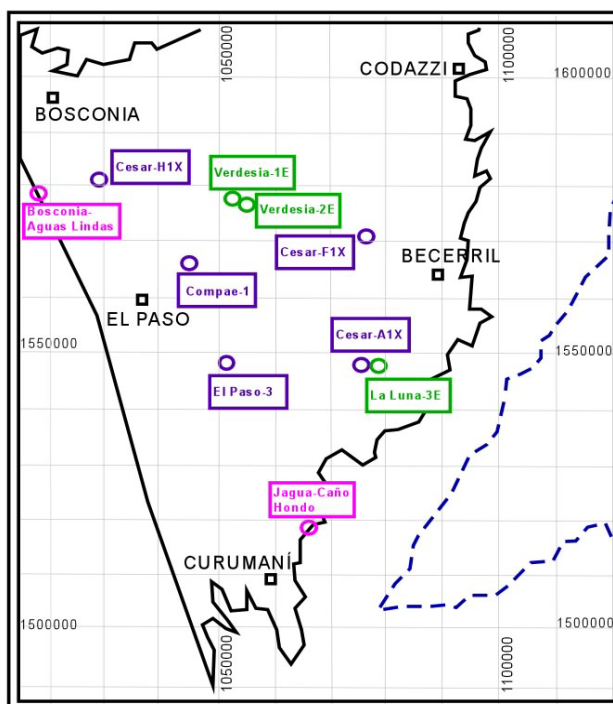


Figura 5.1. Mapa de localización de los pozos y afloramientos de donde se obtuvieron los datos de geoquímica analizados en este estudio. En morado se representan los pozos exploratorios, en verde los estratigráficos (núcleos) y en rosado los afloramientos. Se escogieron estos lugares a fin de tener una distribución equidistante de los datos y así poder generar mapas de propiedades geoquímicas.

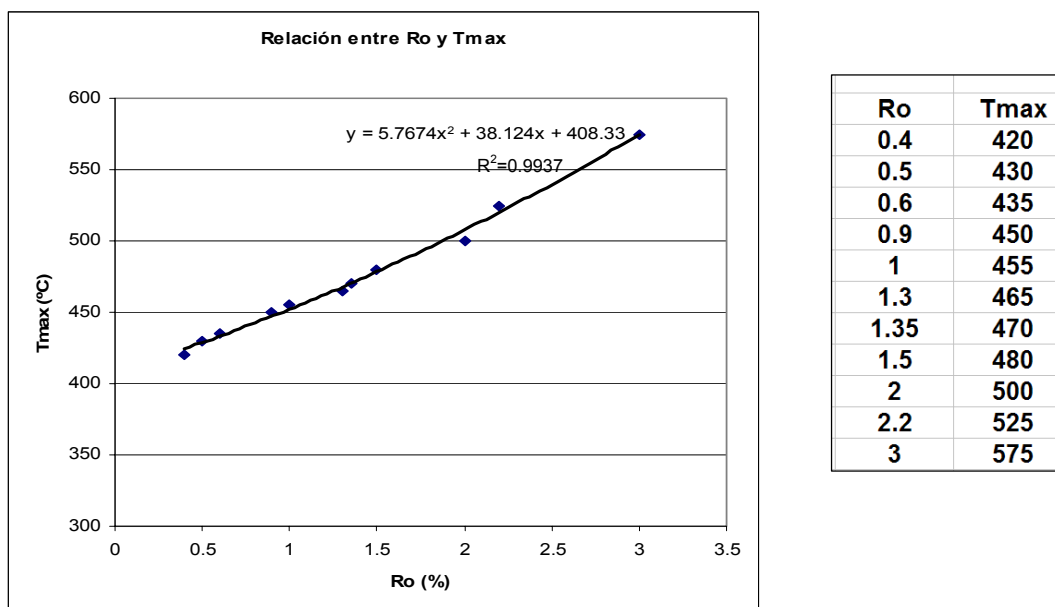


Figura 5.2. Relación entre Tmax (°C) y Ro (%), obtenida a partir de datos bibliográficos de las relaciones Ro y Tmax por Waples (1979) y Peter & Cassa (1994).

Para realizar este procedimiento se graficaron datos obtenidos bibliográficamente de los trabajos de Waples (1979) y Peter & Cassa (1994), y se obtuvo así una ecuación polinomial de grado 2 que permitiera relacionar Ro (en fracción) y Tmax (°C):

$$T_{\max} = 5.7674 * R_o^2 + 38.124 * R_o + 408.33$$

Aun conscientes de que es un valor de Ro equivalente, se evaluó la calidad del resultado comparando los datos conocidos de Ro en la cuenca y calculados mediante la fórmula descrita, obteniendo en todos los casos correlaciones superiores al 92%, por lo tanto se considera confiable para realizar comparaciones entre datos de Ro real y Ro equivalente.

La base de datos de los resultados obtenidos y de los estudios anteriores no pudo ser publicada debido a confidencialidad de la información por parte de la empresa patrocinadora de este trabajo de grado. Así mismo, sólo se pudieron publicar mapas generalizados de parámetros geoquímicos, de manera que permiten al lector observar tan sólo los aspectos más relevantes de las rocas generadoras estudiadas.

Una vez organizada la información geoquímica y estratigráfica de las posibles rocas generadoras (formaciones Molino, La Luna y Aguas Blancas), se evaluaron los siguientes parámetros para las rocas generadoras, siguiendo la metodología de Waples (1979):

- **Cantidad y Calidad de Roca Generadora.** Esto se obtuvo realizando un análisis de facies para determinar cuánto del espesor de Formación era apto para generar hidrocarburos y su calidad. Las facies se compararon con los datos de COT y Rock-Eval, y según el porcentaje de ocurrencia en cada una de las formaciones analizadas (Molino, La Luna y Aguas Blancas), se obtuvo un espesor efectivo estimado, y su valor de COT ponderado. Se evaluaron las posibles rocas generadoras en términos de espesor efectivo, calidad de roca generadora, y tipo de kerógeno (para determinar tendencias a generar hidrocarburos líquidos o gaseosos).

- **Madurez Termal.** Se analizaron los datos de Reflectancia de Vitrinita (Ro) arealmente y se determinaron las zonas de ventana de generación de hidrocarburos y gas. Para saber el tiempo de generación de hidrocarburos en la cocina interpretada se realizó un modelamiento 1D, obteniendo así el tiempo de generación de las ventanas de aceite y gas, y el tiempo en el cual éstas dejaron de ser activas.

- **Eficiencia de expulsión.** Se obtuvo una eficiencia de la roca generadora, según Waples (1979). La eficiencia es el porcentaje de hidrocarburos liberados por la roca generadora, y puede dar indicios de cuánto no se expulsó. En sí se considera que un cálculo de balance de masa puede no ser muy útil para esta área, ya que sólo hay un campo pequeño cuyas reservas insitu no son conocidas siquiera por la autora en el momento de presentar esta tesis. Hay dos grandes utilidades de hacer un cálculo de volumen de hidrocarburo generado: cuando hay un área desarrollada y se quiere saber si pueden haber más campos por explorar, o para comprobar si existe un balance entre los hidrocarburos generados y atrapados, pudiendo hallar más de una roca generadora.

En total se contó con 198 datos de COT, 107 de Ro, 198 de Rock-eval y 25 de caracterización de Kerógeno. La mayor densidad de datos se concentra en las áreas de Compae-1, Cesar A1X, Cesar F1X, y algunas muestras de El Paso-3. Datos nuevos se tomaron en Cesar H1X, La Luna-3E, Verdesia-1 y 2, y La Jagua. Adicional a esto se solicitó una correlación roca-crudo mediante la caracterización de biomarcadores en un núcleo impregnado de la Formación Cuervos, comparado con dos muestras de roca fuente en las formaciones La Luna y Aguas Blancas, respectivamente. Esto se hizo con el fin de identificar si las impregnaciones ubicadas cerca de la zona de falla del Hatillo corresponden a migración de rocas generadoras del Cretácico.

Las muestras a realizar se escogieron teniendo en cuenta las zonas sin información para cubrir la cuenca regionalmente y así observar las variaciones en gradiente de Ro, calidad de roca generadora y madurez termal. También se observaron tendencias para ubicar las cocinas de hidrocarburos.

Los parámetros de calidad de roca reservorio y de madurez termal se tomaron siguiendo el criterio de Peters & Cassa (1994). Estos parámetros se encuentran consignados en las tablas 5.1 y 5.2.

CALIDAD	COT (%)	S1 (mg HC/g)	S2 (mg HC/g)
Pobre	0-0.5	0-0.5	0-2.5
Regular	0.5-1.0	0.5-1.0	2.5-5.0
Buena	1.0-2.0	1.0-2.0	5.0-10.0
Muy buena	2.0-4.0	2.0-4.0	10.0-20.0
Excelente	mayor a 4	mayor a 4	mayor a 20

Tabla 5.1. Parámetros de calidad de Roca Generadora, para rocas inmaduras (con menos de 0.6% de Ro). Tomado de: Peters & Cassa (1994).

ETAPA	Ro (%)	Tmax (°C)
Inmaduro	menor a 0.6	menor a 435
Tempranamente maduro	0.6	435
Pico de generación de petróleo	1.0	455
Tardíamente maduro -inicio de ventana de gas húmedo y condensado	1.3	465
Pico de generación de gas y límite superior para gas húmedo	2.2	525
Tardíamente maduro de generación de gas, límite superior de gas seco	3.0	575
Sobremaduro - inicio de facies esquisto verde	mayor a 3.0	mayor a 575

Tabla 5.2. Definición de intervalos de madurez de roca generadora, basados en la reflectancia de vitrinita (Ro) y su temperatura máxima. Tomado de: Peters & Cassa (1994).

5.2. DEFINICIÓN DE LITOFACIES EN LAS ROCAS GENERADORAS

Se definieron diez litofacies para los intervalos orgánicos, con el fin de observar las variaciones litológicas en detalle, que pueden afectar la productividad orgánica, y que permiten definir qué tan homogénea es la roca generadora en el área de estudio. Es importante resaltar que esta es una definición preliminar realizada con base en la descripción de núcleos de roca. No existen hasta el momento estudios de mineralogía de arcillas que permitan poner porcentajes composicionales.

5.2.1. Facies de lodolitas laminares silíceas (LSL)

En esta facies se incluyen las arcillolitas y limolitas silíceas. Se componen de rocas color gris medio a gris oscuro, suaves, con esporádicas impresiones de fósiles. Un ejemplo de esta facies se observa en los shales de la Formación Molino y en los shales del tope del Miembro Tocuy de la Formación Aguas Blancas, los cuales son muy monótonos y prácticamente sin estructuras aparte de la laminación y algunos restos de posibles algas. Muy esporádicas impresiones de bivalvos de concha delgada. No se observó pirita en estas rocas. Con respecto a su calidad de roca generadora, esta facies se puede considerar regular (ver Tabla 5.3).

5.2.2. Facies de lodolitas silíceas con pirita y nódulos calcáreos (LSN)

En esta facies se acumulan arcillolitas y limolitas con nódulos sideríticos o calcáreos, presencia común de macrofósiles (amonitas, equinodermos y otros), y la pirita es muy común en cristales euhedrales visibles con lupa de mano. Son muy suaves, leve a moderadamente bioturbadas, localmente presentan plasticidad, y predomina el color gris medio. Según Loucks & Ruppel (2007), en condiciones muy anóxicas la pirita no crece por agotamiento de Hierro en solución. Si en estas zonas la pirita crece hasta ser visible en nódulos indica un ambiente disódico, además la presencia de nódulos de siderita y algo de bioturbación sugieren menos anoxicidad que en la facies anterior. Este tipo de facies son típicas del Miembro Tocuy de la Formación Aguas Blancas. En esta facies la calidad de roca generadora es pobre a regular, con valores mínimos hacia el suroeste de la cuenca (COT de 0.3 en promedio). En el sureste de la

cuenca, especialmente en el pozo Cesar F-1X la calidad aumenta llegando a valores superiores a 1 (calidad buena). Los valores promedio de calidad de roca generadora se encuentran consignados en la Tabla 5.3.

5.2.3. Facies de lodolitas calcáreas con agregados de pirita (LCP)

Las lodolitas calcáreas o margas, reaccionan débilmente al HCl 10%, son de color gris gris oscuro a negro grisáceo, relativamente suaves. Presentan pirita en nódulos de algunos milímetros, o rodeando nódulos calcáreos (*coated*). Presentan microfósiles ya sea en impresiones o reemplazados por pirita. Son comunes también los nódulos de siderita. Estas facies aumentan su calidad de roca generadora cuando están más cerca de los contactos con rocas calcáreas orgánicas, como las facies WFK o WLC. Por este motivo, los valores de COT y son muy variables (entre 0.7 y 5.2% COT).

5.2.4. Facies de wackestones de foraminíferos (WKF)

En la formaciones del Cenomaniano a Coniaciano (Miembro Maracas de la Formación Aguas Blancas, y Formación La Luna), existe un predominio de biomicritas oscuras cuyo componente principal son los foraminíferos planctónicos, que varían de wackestones a mudstones. Localmente llegan a packstones por la cantidad de foraminíferos. Generalmente son muy orgánicos, y tienen remanentes de bitumen en las secciones delgadas analizadas. La calidad de roca generadora en estas facies es la mejor de toda la cuenca, ubicando las rocas en un rango muy bueno a excelente (ver Tabla 5.3).

5.2.5. Facies de wackestones con láminas y lentes de calcita (WLC)

Corresponden a rocas con las mismas características de la facies anterior, pero con abundantes láminas y lentes calcáreos de 1-2 mm de espesor, comunes especialmente en la base de la Formación La Luna, y cerca del tope. En la petrografía se observan estos "lentes" como zonas con intensa recristalización de calcita y ocasionalmente se observan relictos de foraminíferos y materia orgánica. El motivo por el cual se recristalizan unas zonas más que otras no es claro, pero al considerar que son paralelas a los planos de estratificación puede tratarse de un evento

diagenético producto de la precipitación de fluidos a lo largo de zonas de debilidad, que inducen la recristalización de la matriz. Se descarta que sean venas horizontales rellenas pues no hay cristales de calcita "equant" y además existen relictos de fósiles y materia orgánica. También existen cristales alargados orientados con la estratificación que pueden corresponder a fragmentos de bivalvos orientados o a una respuesta diagenética. Igualmente los valores obtenidos en los análisis geoquímicos muestran rocas de calidades buenas a muy buenas (ver Tabla 5.3).

5.2.6. Facies de Packstones recristalizados/Grainstones (PKR)

Corresponden a lentes de varios centímetros de espesor, de packstones de foraminíferos y bivalvos. Macroscópicamente se observan capas lenticulares color gris claro, muy duras. En sección delgada se observa una matriz color pardo, recristalizada, con fragmentos fósiles reemplazados por calcita "equant". Usualmente conservan los relictos de la laminación original, a excepción de las zonas con fragmentos grandes de bivalvos, que puede corresponder a montículos de carbonatos y por tanto no tienen laminación. En las facies de este tipo presentes en las formaciones La Luna y Aguas Blancas no se tomaron datos geoquímicos puesto que están compuestas por un porcentaje muy alto de calcita recristalizada, y aunque pueden conservar remanentes de bitumen, su calidad como roca generadora parece ser muy baja. Sin embargo, un tipo de roca similar se observa en las calizas recristalizadas de la Formación Lagunitas, las cuales según datos tomados en el pozo Compae-1 muestran valores muy bajos (ver Tabla 5.3).

5.2.7. Facies de Packstones bioturbados (PKB)

Los packstones bioturbados se caracterizan por la presencia de madrigueras subverticales y horizontales alargadas, rellenas de material más fino. En general se encuentran hacia la base de ciclos granodecrecientes, que pueden estar en el orden de 50 cm a 2 m cada uno. Pocos datos de geoquímica se pueden confirmar que correspondan a packstones bioturbados, pues hay muy pocos datos de núcleo/afloramiento y se encuentran muy asociados a la facies WKF (ver ítem 5.2.4). En donde se pudo confirmar presenta una calidad buena a excelente (ver Tabla 5.3).

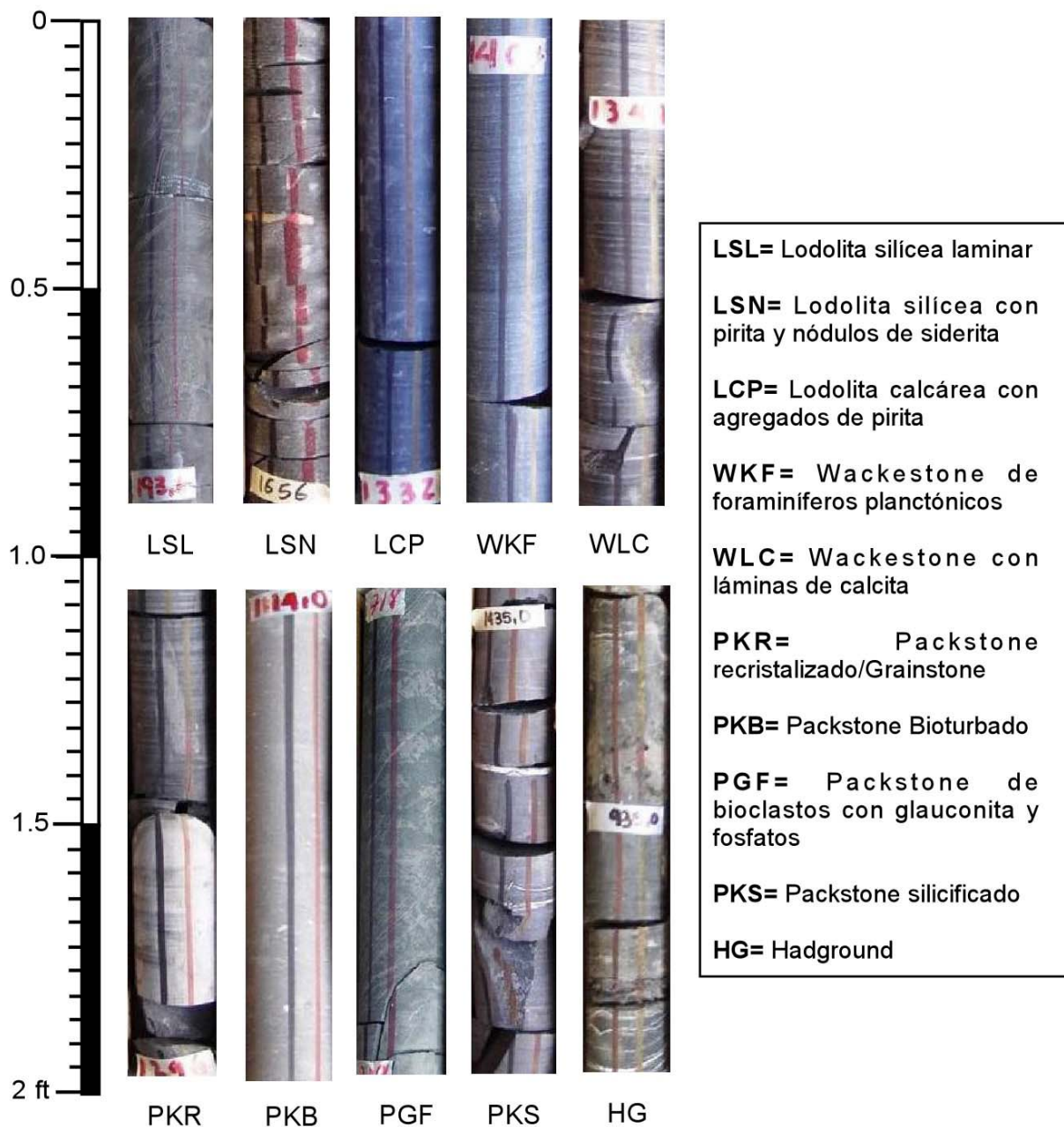
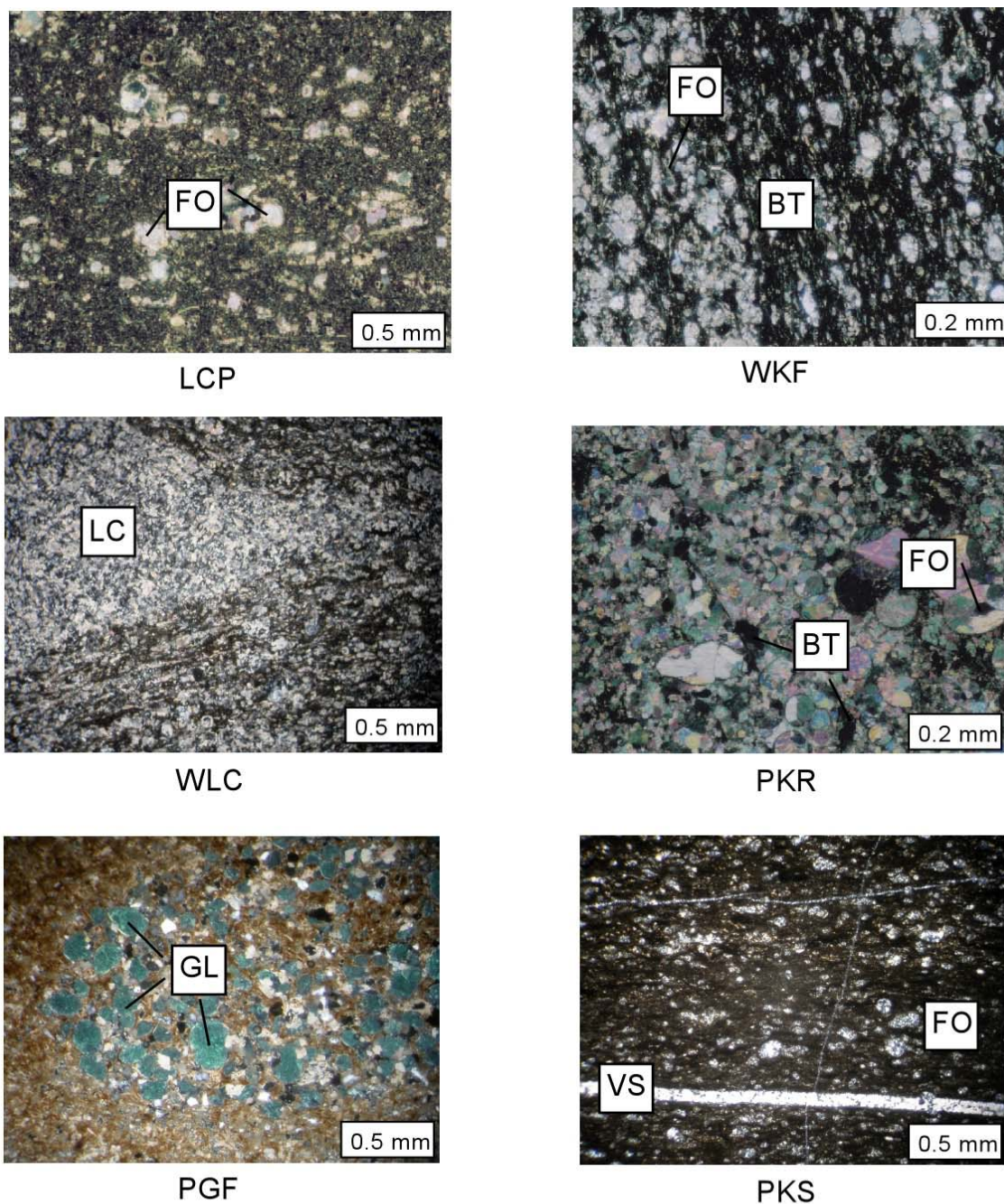


Figura 5.3. Núcleos de roca de las facies LSL, LSN, LCP, WKF, WLC, PKR, PKB, PGF, PKS y HG. Algunas de estas facies son muy distintivas a simple vista por su color (ejemplo, las facies PKR, PGF); competencia (PKR, PKB, PKS), bioturbación (HG, PKB, LSN) y presencia de láminas de calcita (WLC, PKS). Fotos del pozo La Luna 3E.



LCP= Lodolita calcárea con agregados de pirita; WKF= Wackestone de foraminíferos planctónicos; WLC= Wackestone con láminas de calcita; PKR= Packstone recristalizado/Grainstone; PGF= Packstone de bioclastos con glauconita y fosfatos; PKS= Packstone silicificado.

Elementos: LC= Lentes de calcita; BT= Bitumen; VS= Venas silíceas; FO= Foraminíferos; GL= Glauconita.

Figura 5.4. Secciones delgadas de algunas de las facies anteriormente descritas, pertenecientes a los pozos La Luna 3E, Verdesia 1E y Verdesia 2E.

5.2.8. Packstones/Grainstones de Bioclastos con Glauconita y Fosfatos (PGF)

Estas zonas corresponden en general a delgadas capas con poca ocurrencia, pero se resaltan aquí por su importancia como horizontes marcadores. Estas zonas se caracterizan por la abundancia de pellets glauconíticos, agrupados en formas subredondeadas de unos pocos cm de diámetro. También son comunes los fosfatos, y pirita en el núcleo de oolitos y en agregados de 2 cm en promedio. El armazón está compuesto por bioclastos de bivalvos y equinodermos, y presentan algunos granos de cuarzo tamaño limo. Los horizontes más importantes de este tipo se encuentran en la base de la Formación Molino (Miembro Socuy), el cual se puede seguir hasta Maracaibo donde se le denomina Miembro Tres Esquinas; y en el contacto entre los miembros Maracas y Tocuy de la Formación Aguas Blancas. Estas facies se acumulan en ambientes subóxicos que permiten la asociación Glauconita-Fosfatos (Carson & Crowley, 1993), y no se descarta la posibilidad que esta asociación característica corresponda a un hardground, ya que no se observa compactación en los pellets. Aunque su calidad es buena como roca generadora (ver Tabla 5.3), es un intervalo muy restringido que se presenta en unas decenas de metros, asociadas al contacto La Luna-Molino.

5.2.9. Facies de Packstones silicificados (PKS)

Corresponden a biomicritas silicificadas de foraminíferos planctónicos y fragmentos de bivalvos. No se descarta la presencia de radiolarios en las muestras, pues algunos organismos pequeños y redondos encontrados en las secciones petrográficas pueden ser foraminíferos de una sola cámara o radiolarios. Se caracterizan por la abundancia de microfósiles y materia orgánica en la matriz, rellenos de bitumen dentro de los organismos posterior a la recristalización. Se asume que la silicificación es de carácter diagenético pues implica la disolución de carbonato y recristalización en sílice que en algunos casos no es total, sobre todo en los bivalvos, los cuales conservan un borde calcáreo. Localmente presentan fosfatos. Si predominan los bivalvos sobre los foraminíferos tienen más pirita. En afloramiento se observan como delgadas intercalaciones de chert color negro grisáceo. Una muestra de lodolita intercalada entre estas calizas silicificadas fue enviada a análisis geoquímicos,

arrojando valores muy bajos para lo que se observa normalmente en la Formación La Luna (ver Tabla 5.3). El efecto que tiene la silicificación de calizas en la reducción de calidad de roca generadora no se ha estudiado aun en esta cuenca.

5.2.10. Hardgrounds (HG)

Las Hardgrounds son carbonatos litificados durante el proceso sedimentario (Wilson & Palmer, 1992), y se forman por precipitación de carbonatos en el espacio poral primario debido a la diagénesis temprana. En el registro sedimentario se reconocen por la presencia de perforaciones, fosfatos, crecimiento de organismos insitu, granos rodeados por fosfatos de calcio o pirita, etc, y representan un hiatus en el registro sedimentario (Wilson & Palmer, 1992; Loucks & Ruppel, 2007). No se han realizado secciones delgadas de los posibles hardgrounds identificados en la secuencia, pero se identifican zonas de pocos cm de espesor, con abundantes perforaciones y concentraciones de fosfatos. En otros sitios no se observan las perforaciones pero hay intraclastos de lodolita muy carbonosa en medio de calcita en capas de 3 cm aproximadamente. Sólo se comprobó que una de las muestras fue tomada sobre un hardground, obteniendo parámetros de muy buena roca generadora (ver Tabla 5.3).

PARAMETRO	LSL	LSN	LCP	WKF	WLC	PKR	PKB	PGF	PKS	HG
COT (%)	0.6-0.8	0.7	0.7-5.2 ^a	3.8-6.0	3.5-5.0	0.3-0.5	5.2*	2.0-3.5	0.28*	5.2*
S1 (mg HG/g COT)	0.2	0.2-0.5	0.6-0.8	0.9-1.2	0.7-1.0	menor a 1	1.9*	0.7-1.0	0.02*	0.84*
S2 (mg HG/g COT)	0.7	0.3-2.0	3.0-4.0	10.0-12.0	3.5-10.0	menor a 1	9.7*	1.2-10.0	0.32*	3.23*

* Sólo un dato confirmado que corresponde a esta Facies

^a El rango es amplio porque el valor es alto cerca de las Facies calcáreas (WLC,WKF)

Tabla 5.3. Parámetros Geoquímicos por cada Facies.

5.2.11. Litofacies en cada Formación

La Formación Molino, se divide en dos dominios: Un dominio de lodolitas silíceas (facies LSL), y un dominio de ciclos calcáreos granodecrecientes bioturbados y packstones con glauconita y fosfatos, que corresponde al Miembro Socuy.

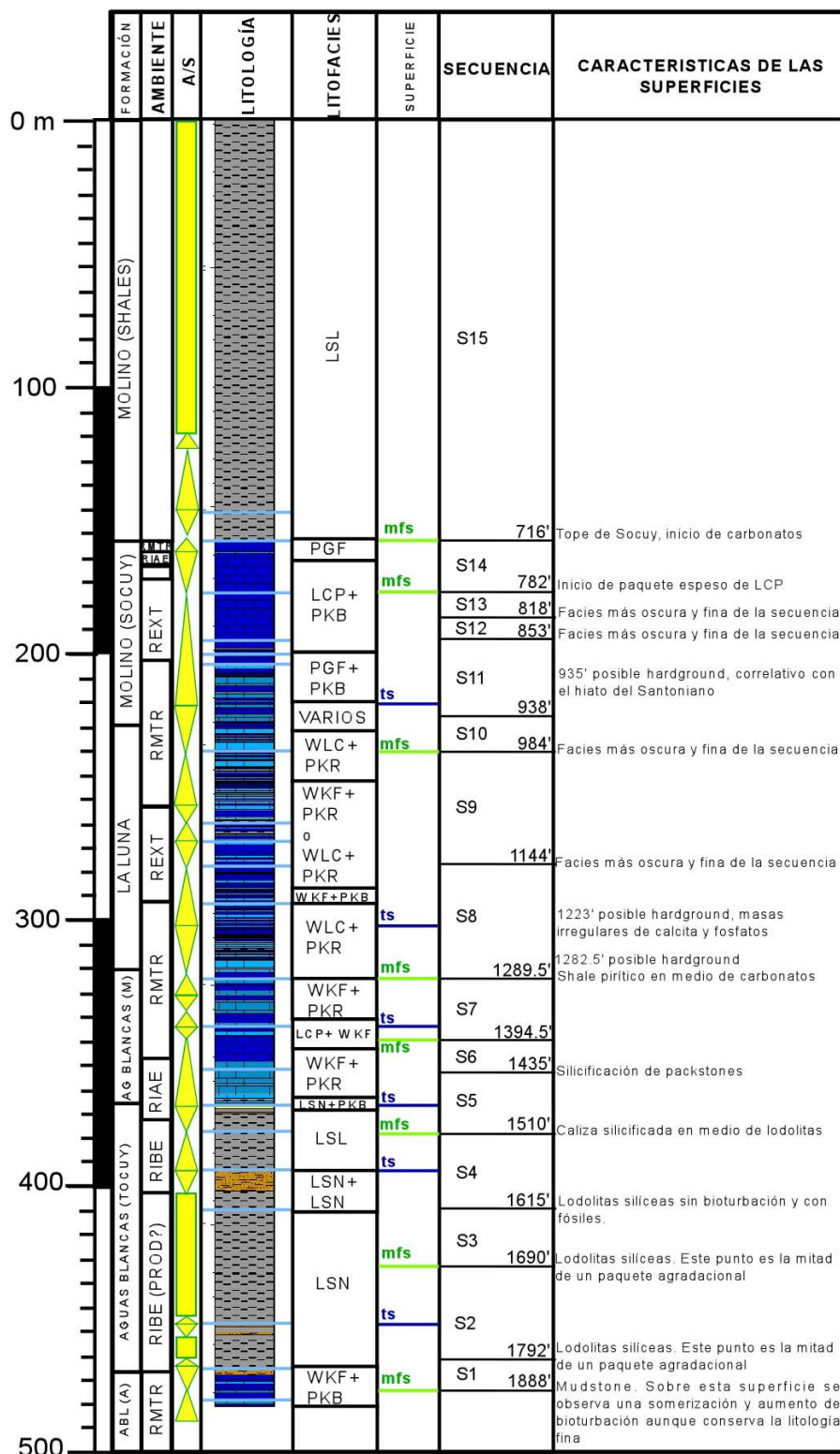


Figura 5.5. Caracterización de facies para el pozo La Luna 3E.

La Formación La Luna presenta un predominio de wackestones y packstones con lentes de calcita cristalina (facies WLC y PKR). Hacia la parte media de la Formación, donde se encuentran los ambientes más profundos, los lentes calcáreos son más pequeños (de unos pocos cm) y predominan los wackestones (facies WKF). En la base son muy comunes los ciclos granodecrecientes con láminas intercaladas de calcita cristalina.

El Miembro Maracas de la Formación Aguas Blancas presenta ciclos granodecrecientes de unos m de espesor cada uno con predominio de wackestones (facies WKF y PKR). Hacia la parte media la secuencia es más fina con un predominio de lodolitas calcáreas de la facies LCP.

El Miembro Tocuy presenta un predominio de lodolitas silíceas, con mayor contenido de facies LSL hacia el tope y LSN en el resto de la unidad.

Sólo el tope del Miembro Animas de la Formación Aguas Blancas fue perforado, y en lo que se observó predominan los wackestones (facies WKF) con esporádicos episodios de packstones bioturbados (facies PKB) de unos 10 cm de espesor en promedio.

Este es el resumen del porcentaje de litofacies presentes por cada formación:

FORMACION	LSL	LSN	LCP	WKF	WLC	PKR	PKB	PGF	PKS	HG
Molino	72.04	0.10	10.42	0.78	1.06	0.16	7.69	7.28	0.00	0.48
La Luna	0.00	0.00	0.67	9.76	74.30	7.71	7.23	0.00	0.00	0.34
Aguas Blancas	18.59	42.20	4.96	17.42	8.20	6.47	0.87	0.00	0.90	0.38

Tabla 5.4. Porcentajes de Facies por Formación en el pozo La Luna 3E.

5.3. CALIDAD DE ROCA GENERADORA

5.3.1. COT y madurez a lo largo de la cuenca.

De acuerdo al análisis de litofacies descrito anteriormente y a la información geoquímica analizada, se puede observar que en la subcuenca de Cesar existe un gran espesor de rocas

aptas para generar hidrocarburos, y que de hecho han sido probadas en las cuencas de Valle Medio de Magdalena y Maracaibo, donde también están presentes.

La siguiente tabla resume los parámetros de calidad de cada una de las formaciones analizadas:

UNIDAD	ESPESOR (M)	ESPESOR NETO (M)	COT (%)	Ro (%)	PERMEABILIDAD (mD)
Molino (shales)	600-1200 (sin erosión)	540-1140	0.55-1.68	0.2-1-0	menor a 0.01
Molino (Socuy)	33-88	33-88	0.7-3.6	0.6-1.2	-
La Luna	100-240	91-218	0.7-5.9	0.61-1.42	1-100
Aguas Blancas (completo)	350-421	330-390	0.28-4.77	0.71-2.08	1-10, escasos 100-500 en afloramiento
Aguas Blancas (Maracas)	57-124	57-124	0.52-4.36	0.71-1.03	0.1-1
Aguas Blancas (Tocuy)	115-207, en la Jagua 50	30-170	0.28-2.02	0.77-1.4	1-10 y en arenas superiores superior
Aguas Blancas (Animas)	70-190, en la Jagua alcanza unos 215 m	70-215	1.08-4.77	0.84-2.08	0.1-10

Tabla 5.5. Parámetros de las posibles rocas generadoras en la Subcuenca de Cesar.

En las Figuras 5.6 a 5.9 se observan los mapas de propiedades de roca generadora creados a partir de los datos geoquímicos. Los datos se extrapolaron teniendo en cuenta mapas de Malavé (1994) y Stoufer (1993) para el Lago de Maracaibo y Catatumbo. Las rocas con mejor potencial de generación de hidrocarburos se encuentran en el intervalo Aguas Blancas superior-La Luna-Miembro Socuy. Presentan calidades de roca muy buenas a excelentes, especialmente hacia el sureste de la cuenca. Esto es una gran ventaja pues las áreas con mejores calidades de roca generadora coinciden con la zona de mayor madurez en la cuenca y lo que se considera la zona de cocina de petróleo y gas que ocurrió entre el Paleoceno y el Plioceno (ver modelaje de madurez en este capítulo).

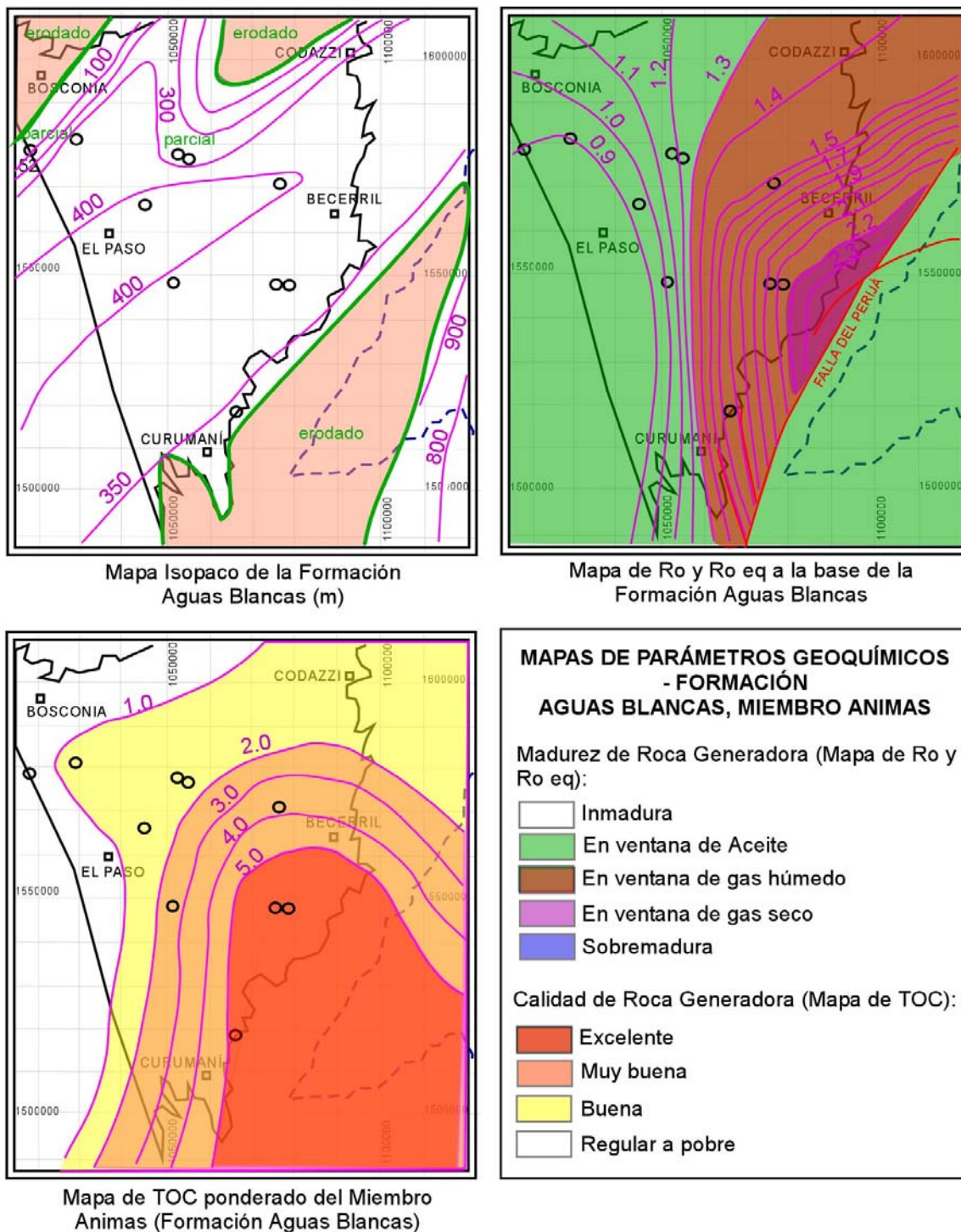


Figura 5.6. Mapa de Parámetros Geoquímicos para la Formación Aguas Blancas (Miembro Animas) en la Subcuenca de Cesar. Nota: Se tuvieron en cuenta datos de la subcuenca de Ranchería y del Oeste del Lago de Maracaibo para ver las tendencias.

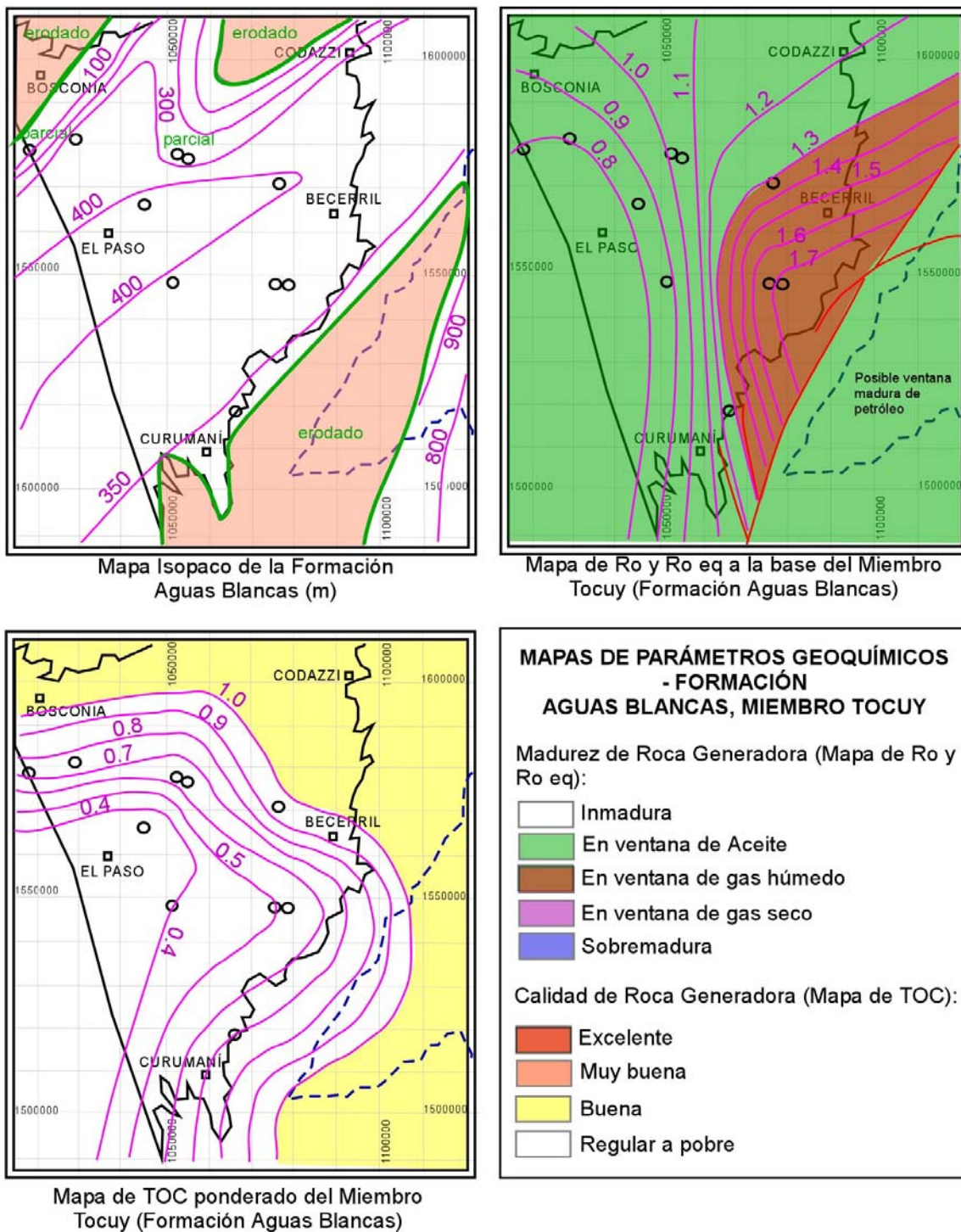


Figura 5.7. Mapa de Parámetros Geoquímicos para la Formación Aguas Blancas (Miembro Tocuy) en la Subcuenca de Cesar. Nota: Se tuvieron en cuenta datos de la subcuenca de Ranchería y del Oeste del Lago de Maracaibo para ver las tendencias.

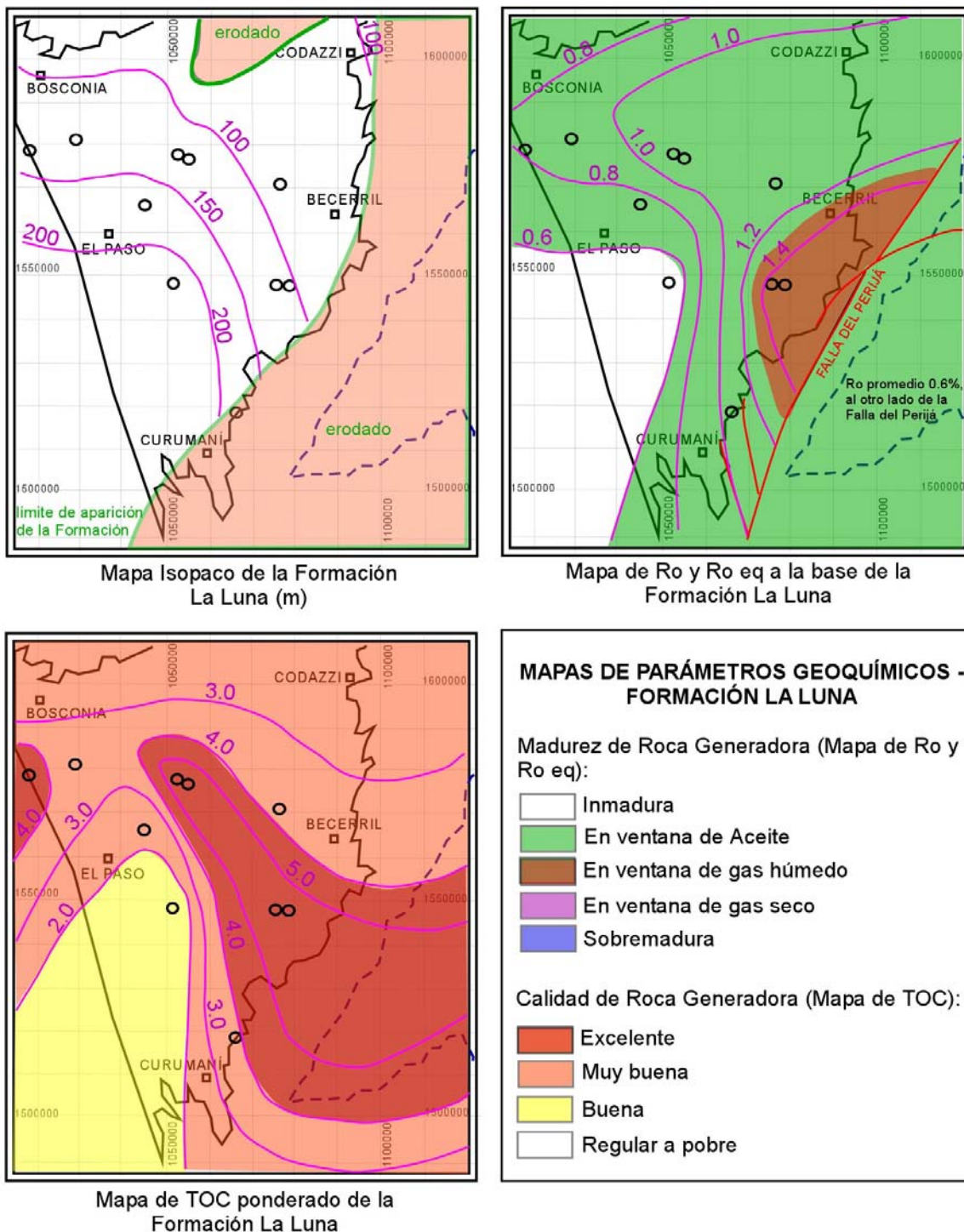
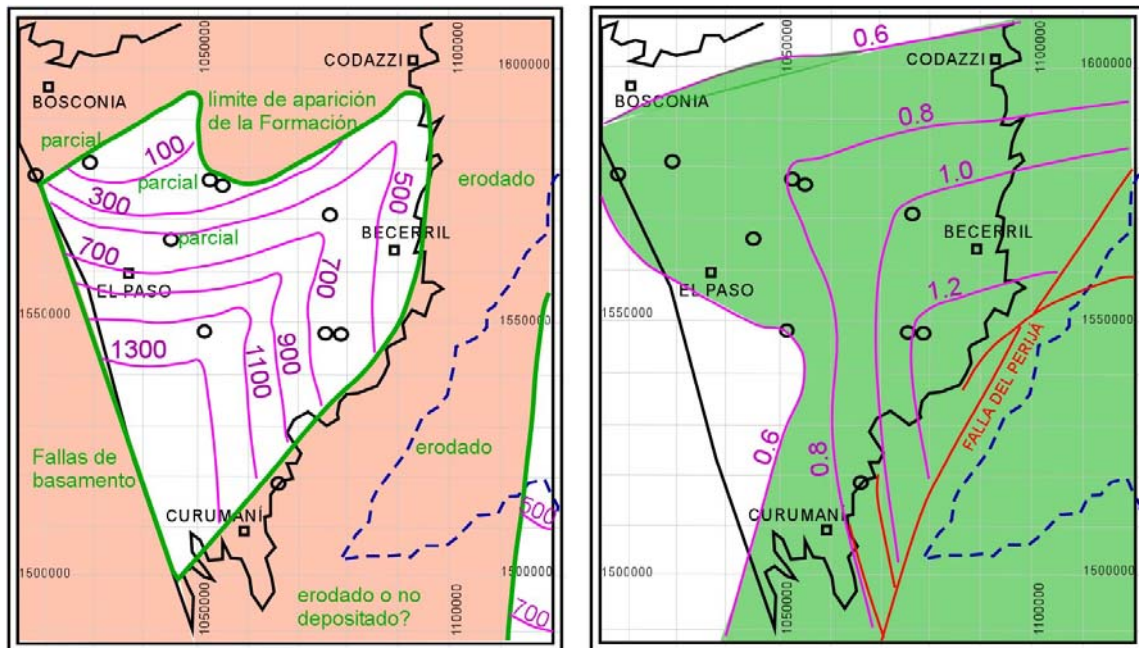
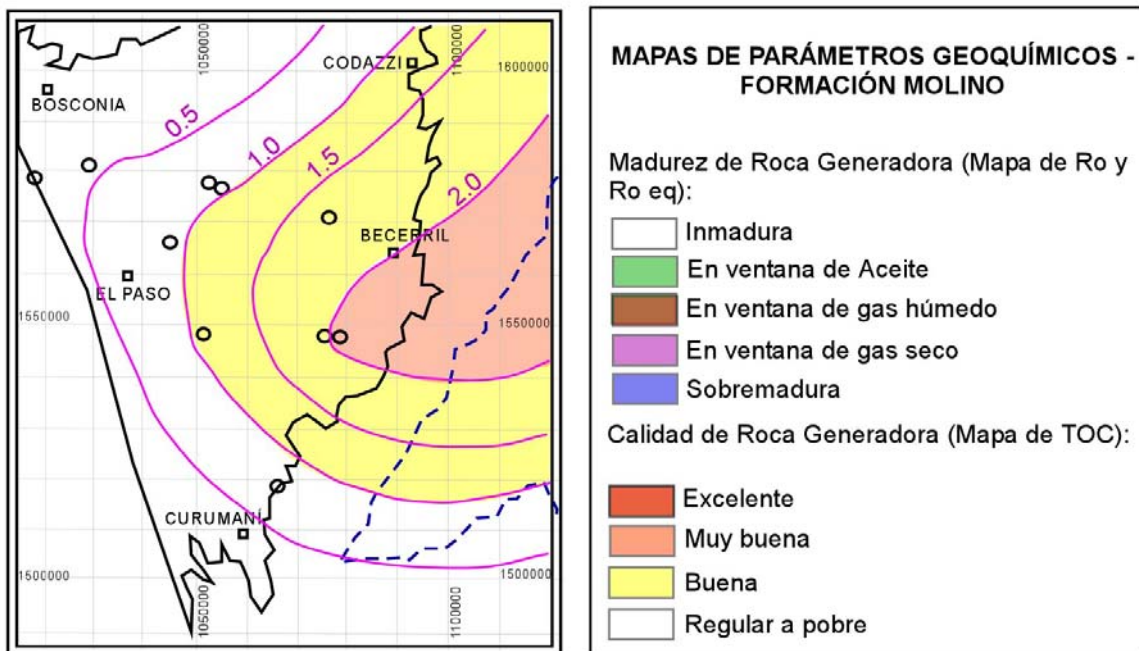


Figura 5.8. Mapa de Parámetros Geoquímicos para la Formación La Luna en la Subcuenca de Cesar. Nota: Se tuvieron en cuenta datos de la subcuenca de Ranchería y del Oeste del Lago de Maracaibo para ver las tendencias.



Mapa Isopaco de la Formación Molino (m)

Mapa de Ro y Ro eq a la base de la Formación Molino



Mapa de TOC ponderado. Nota: las lodolitas tienen en promedio 0.8% de TOC, el Mbo Socuy varía de 2.8 a 4.0%. Estos valores se promediaron de acuerdo a su espesor.

Figura 5.9. Mapa de Parámetros Geoquímicos para la Formación Molino en la Subcuenca de Cesar. Nota: Se tuvieron en cuenta datos de la subcuenca de Ranchería y del Oeste del Lago de Maracaibo para ver las tendencias.

En el caso de la Formación Aguas Blancas, aunque se cuenta con muy pocos datos se observa que el Miembro Animas tiene buen potencial, y es muy normal que el enriquecimiento de COT se presente en dirección sureste, pues como se vió anteriormente en el capítulo 2 las facies más calcáreas tienden a ocurrir en esta dirección y las facies siliciclásticas más hacia el noroeste. El análisis de litofacies permitió identificar que los intervalos más ricos en materia orgánica son calcáreos y los que tienen menor calidad de roca generadora son las lodolitas silíceas. En la Formación La Luna el enriquecimiento en esta dirección parece estar determinado por la cercanía de paleoaltos batimétricos (ej. Proto-Mérida, Macizo de Santander), que impedían el intercambio de aguas con el océano Atlántico (Elrich et al., 2000), y permitían una mejor conservación de la materia orgánica.

Es importante resaltar que estos dos intervalos escogidos corresponden con dos grandes eventos anóxicos globales: Cenomaniano-Turoniano (OAE2) y Aptiano-Albiano (OAE1). La identificación de estos eventos globales es descrita por Schlanger & Jenkins (1976, en: Takashima, 2005).

5.3.2. Tipo de Kerógeno.

Análisis visuales de kerógeno efectuados en el pozo Compae (Ecopetrol, 1998) y en los puntos de disparo de sísmica (ICP, 1990) mostraron una mezcla de Kerógenos tipo I y II en las formaciones Molino y La Luna. Para las formaciones Lagunitas y Aguas Blancas se observó una mezcla de kerógenos tipo II y III. La Tabla 5.5. es un promedio de los tipos de kerógeno encontrados por análisis visual en los dos estudios mencionados.

Mediante los diagramas de Van Krevelen (obtenidos de Peters & Cassa, 1994) se puede hacer una aproximación de los tipos de Kerógeno a través de los datos de Rock-Eval. Este diagrama se aplicó a las muestras analizadas (Fig. 5.10), obteniendo una predominancia de Kerógenos tipo II, especialmente en las formaciones La Luna y Aguas Blancas, y un alto contenido de Kerógenos tipo I en la Formación Molino.

FUENTE	FORMACIÓN	I	II	III	IV
ICP (1990)	Cuervos	75.0	5.0	14.0	6.0
COMPAE-1	Molino	29.4	38.6	22.6	9.3
ICP (1990)	Molino	40.0	40.0	16.0	4.0
COMPAE-1	La Luna	18.3	57.6	12.9	11.1
ICP (1990)	La Luna	50.0	30.0	25.0	10.0
COMPAE-1	Aguas Blancas	15.0	38.3	19.8	26.8
ICP (1990)	Aguas Blancas	45.0	20.0	75.0	20.0
COMPAE-1	Lagunitas	8.0	33.0	36.0	23.0
ICP (1990)	Lagunitas	2.5	2.5	20.0	0.0

Tabla 5.6. Porcentajes de Tipo de Kerógeno por Formación mediante petrografía orgánica.

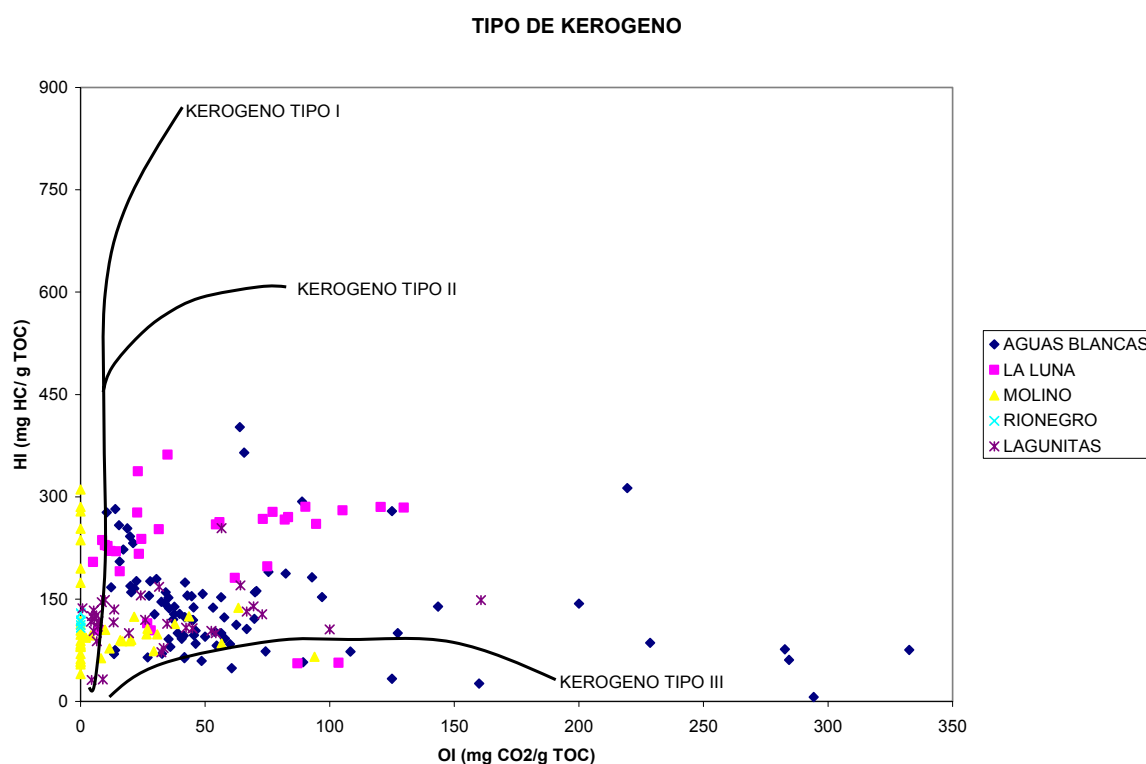


Figura 5.10. Diagrama Van Krevelen para el intervalo Aptiano-Maastrichtiano en la Subcuenca de Cesar. Nótese la mezcla de Kerógenos, especialmente de tipo II. La Formación Molino muestra predominancia de Kerógenos tipo I por su bajo contenido en CO₂.

5.4. MADUREZ TERMAL DE LOS SEDIMENTOS Y COCINAS DE HIDROCARBUROS

5.4.1. Análisis de Reflectancia de Vitrinita (Ro) en la cuenca

Debido a la deformación que presentó la cuenca es difícil manejar un sólo dato de Ro y tratar de proyectarlo a lo largo de toda la cuenca. Por este motivo, se graficaron los datos de Ro vs profundidad de varios pozos de la Subcuenca de Cesar. Se observaron tres características especiales:

1. Aunque los datos sean tan variables y en muchas ocasiones dispersos (como sucede en el pozo El Paso-3), todos muestran una tendencia similar. En las zonas donde se presentan fallas los datos se desvían hacia la izquierda indicando repeticiones de la secuencia. En caso de querer buscar un valor de madurez para una estructura específica se optaría entonces por buscar el valor de Ro más cercano y que corresponda al mismo sistema (que no tenga una falla de por medio) y se aplicaría la relación obtenida.
2. Si todos tienen las mismas tendencias indica que la maduración de las rocas ocurrió previamente a los episodios de deformación, algo no tan favorable desde el punto de vista de reservorios convencionales, porque indica que las rocas maduraron antes de formarse las estructuras que se ven en la actualidad.
3. Se observa que para una misma profundidad actual, hay mayor maduración hacia el sureste de la subcuenca de Cesar (hacia el Perijá), y la zona con menor maduración se encuentra hacia el oeste, en cercanías del Paso (ver Figuras 5.4 a 5.7). Esta diferencia en la maduración puede estar relacionada a los levantamientos procedentes del occidente que se mencionaron en los capítulos 2 y 4 de este trabajo, y son coherentes con lo que se observó en la parte norte del Valle Medio del Magdalena (García & Parra, 2003), donde la Formación La Luna se encuentra aun inmadura. También implican que en el área del

Perijá (en cercanías a los pozos Cesar-A1X y La Luna-3E) existió un espesor del Terciario más grande y que posteriormente fue erosionado por levantamientos.

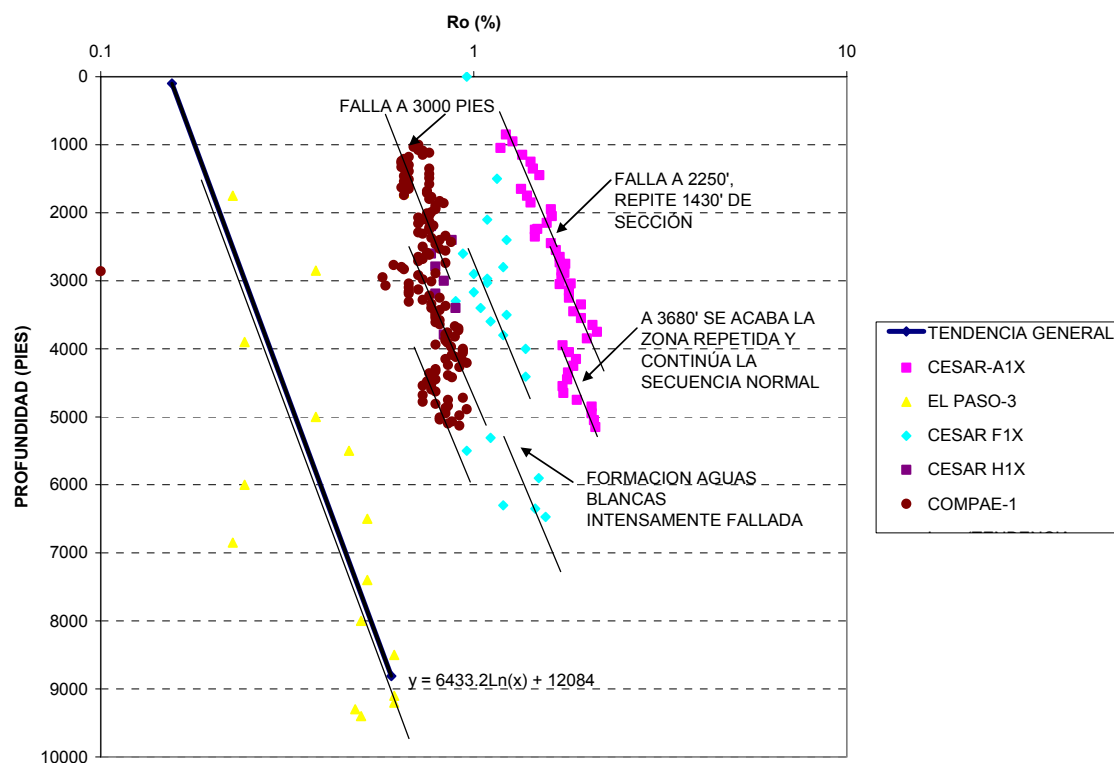


Figura 5.11. Profundidad vs Ro para varios pozos de la subcuenca de Cesar. Nótese que a pesar de la diferencia de valores las tendencias son las mismas.

De estos datos se puede definir que la cocina principal se encontraba hacia el sureste, en el área de Perijá (más exactamente, los mayores datos se concentran cerca del pozo Cesar A1X- ver localización en la Fig. 5.1). La ubicación de la cocina podría estar alineada en dirección NE-SW y limitada por fallas, aunque no existen suficientes datos que permitan corroborar esta orientación. Se cree que es así por dos evidencias:

1. En la zona de Maracaibo baja drásticamente la madurez de las rocas con respecto a las tendencias observadas en el Cesar. Los mapas presentados por Scherer (1995) indican que hacia el borde del Perijá las rocas tienen cada vez menos madurez. Esto sólo se puede lograr si se considera el modelo presentado en el capítulo 3, donde se asume un levantamiento procedente del oeste-suroeste, y una posible fuente de aporte secundaria por

reactivación de fallas de Basamento (ej. Falla del Perijá, que subexpone la plataforma de carbonatos del Paleoceno inferior de Maracaibo.

2. Las manifestaciones de hidrocarburos en superficie en el área de Perijá presentan una orientación NE-SW, coherente con la estructuración actual, y prácticamente se encuentran asociadas al Paleoceno Tardío-Eoceno. El hecho de que existan manifestaciones de hidrocarburos asociadas a una posible cocina del Perijá de edad Paleoceno Tardío - Plioceno (Gallango & Novoa, 2002) Implica que la mayoría de los hidrocarburos generados en esta fase pueden haberse perdido por los eventos posteriores de deformación. La Figura 5.12 muestra los principales campos y rezumaderos en las cuencas de Cesar-Ranchería y parte oeste del Lago de Maracaibo.

5.4.2. Modelaje de Madurez Termal (Diagrama de Soterramiento) de la Cocina Interpretada.

Con el fin de conocer el tiempo en el cual ocurrió la generación de hidrocarburos en la cocina identificada (que ahora está en una zona más elevada) se decidió hacer un modelaje de madurez, usando el programa Petromod-1D (Ver Fig. 5.14). Un análisis similar fue realizado por Mora & Rangel (2004) para la parte más profunda de la cuenca (Sinclinal de La Loma). Del modelamiento del sinclinal de La Loma se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El tiempo crítico de carga de hidrocarburos estuvo entre 72 y 60 Ma (Maastrichtiano-Paleoceno), lo que deja por fuera cualquier roca reservorio del Terciario.
2. Como los eventos de deformación son posteriores a la carga principal, se asume que muchos hidrocarburos pudieron perderse.

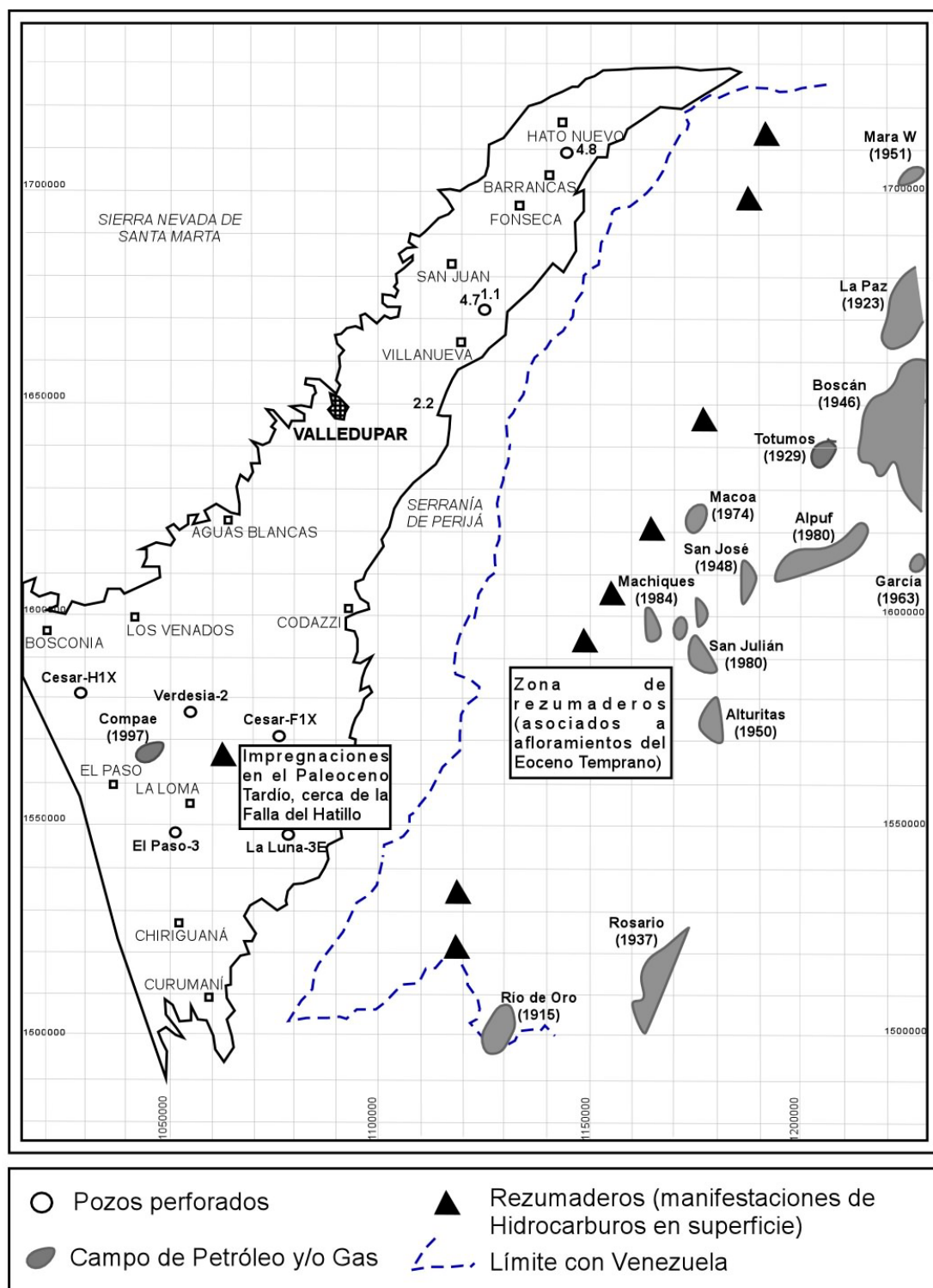


Figura 5.12. Principales campos y rezumaderos de petróleo y gas en la Cuenca Cesar-Ranchería y parte Oeste del Lago de Maracaibo. Información de los campos y rezumaderos tomada de: Owen (1975), y Martínez (1976).

3. La única posibilidad que establecen de tener trampas estructurales cargadas es remigración de hidrocarburos que se hubiesen acumulado en yacimientos fracturados del Cretácico.

Los parámetros básicos para el modelamiento son: edad y espesor de las formaciones, espesores erosionados, flujo de calor, temperaturas superficiales, paleoprofundidad del agua. A continuación se explicará cómo se obtuvo cada uno de los parámetros para modelar, consignados en la Tabla 5.7.

FORMACION	EDAD	EDAD DE DEPÓSITO (Ma)		ESPESOR ACTUAL (m)	ESPESOR EROD. (m)	EDAD DE EROSIÓN (Ma)		LITOLOGÍA
		DE	HASTA			DE	HASTA	
Cuesta	Olig-Plioc	28.4	5	0	800	5	2.5	SANDcongl
Eoceno	Eoc Temp	56	40	0	800	40	28.4	SHALE&SAND
Cuervos	Pal Tard	58	56	0	750	40	2.5	SHALEcoal
Barco	Pal Temp	65.5	58	0	350	5	2.5	SAND&SILT
Molino	Cmp-Maa	85.8	65.5	292.6	300	5	2.5	SHALE
La Luna	Tur-Con	93.5	85.8	100.6				LIMESTONE
Aguas Blancas	Apt-Cen	115	93.5	432.8				LIMESHaly
Lagunitas	Apt	125	115	344.4				LIMESTONE

TEMP. DE SUPERFICIE		PROFUNDIDAD DE AGUA		FLUJO DE CALOR	
EDAD	TEMP °C	EDAD	PROF (m)	EDAD	mW/m2
112	20	125	20	125	117
93.5	37	112	15	58	66
58	23.8	93.5	150	3	38
0	35	58	1		

Calidad de Roca Generadora

TOC 3.5-6%
HI 190-360 mg HC/g TOC)

Calibración de Ro

Ro (%)	PROF (m)
0.6	222.89
1	1168.28
1.08	1310.71
1.3	1653.84
2	2451.09
2.2	2627.49
2.35	2749.55
3	3201.49

Tabla 5.7. Parámetros usados en el modelamiento termal de la paleococina. Las Litologías se presentan tal y como se cargan en el programa: SANDcong: Arenisca conglomerática, SHALE & SAND: Intercalaciones de lutitas y areniscas, SHALEcoal: Lutitas con mantos de carbón, SAND & SILT: Intercalaciones de areniscas y limolitas, SHALE: Lutitas, LIMESTONE: Calizas, LIMESHaly: Calizas y arcillas/calizas arcillosas.

Espesores y edades.

Los espesores actuales y edades de cada Formación están indicados en los capítulos 1 y 2 de este trabajo. Básicamente se obtuvieron de datos de pozos y afloramientos, correlaciones estratigráficas y análisis bioestratigráficos. Para el área de la paleococina que se quiere modelar los pozos más cercanos son Cesar-A1X y La Luna-3E, que empiezan en la Formación Molino, la cual no está completa. Aunque el espesor reportado de la Formación Aguas Blancas en el pozo Cesar A1X es de 735 m, acá se asume un espesor de 433 m teniendo en cuenta que hay repetición de la secuencia por los cabalgamientos del Plioceno, y sería incorrecto entonces asumir un espesor inicial tan alto.

Espesores erosionados.

Con base en el gradiente de Ro, y teniendo como base que la deformación principal ocurre en sentido NW-SE, se tomaron los datos de Ro del pozo Compae-1 y se proyectaron hasta el pozo Cesar A1X. Como los datos de Ro de Cesar A1X y La Luna 3E se conocen, se proyectó a qué profundidad según el pozo Compae-1 alcanzarían los datos de maduración obtenidos en los pozos Cesar A1X y La Luna 3E. De esta manera, se obtuvo un delta de profundidad de 3327 pies. Cabe anotar que debido a que las muestras no siempre se toman en el contacto exacto de la Formación, las proyecciones se hicieron basadas en los gradientes de Ro, que para los pozos estudiados tienen la misma pendiente.

Ya conociendo que por lo menos Cesar A1X debió tener 3327 pies más que Compae-1 para alcanzar ese estado de madurez, queda hallar cuánto se erosionó en Compae-1 y sumarle ese espesor. Con esto hay un inconveniente especial en la Formación Cuesta, pues al ser una unidad depositada sobre una superficie deformada no va a seguir un patrón de espesor tan sencillo como el observado en el cretácico.

Según el modelaje de madurez de Mora & Rangel (2004) en el pozo Compae se debieron erosionar cerca de 2800 pies del intervalo Paleoceno-Eoceno inferior, y reportan por lo menos 6000 pies de erosión total incluyendo la Formación Cuesta (los gráficos de enterramiento muestran 6400 pies), basados en la interpretación sísmica.

Chajín & Martínez (2008) en su tesis de pregrado realizaron un modelaje de madurez del pozo Cesar-A1X, pero tiene el problema que no tuvieron en cuenta las repeticiones por fallas, exagerando los espesores demasiado, y así creando un error en el modelo. Por ejemplo, reportan para la Formación La Luna 618 m depositados, con 300 más de erosión, arrojando un espesor total de 918 m para la Formación La Luna. Los mismos autores calculan unos 11000 pies totales de erosión. Además, no se especifica la fuente de los datos que usaron para los modelos, sólo el de la temperatura actual, que se tomó en 35°C.

En conclusión, para este modelo se consideró un espesor total erosionado de 9842 pies (3000 m) en el área de la paleococina interpretada. El cálculo se obtuvo teniendo en cuenta el delta de profundidad para alcanzar la madurez necesaria entre Compae-1 y Cesar-A1X, y los espesores posibles de las formaciones siguiendo la tendencia de las correlaciones estratigráficas:

La Formación Cuesta debió ser más delgada que la actual formación depositada en el sinclinal de La Loma, pues ésta se depositó sobre una superficie irregular debido al evento de levantamiento Eoceno Tardío-Oligoceno, que levantó también el arco de Verdesia. Se espera un adelgazamiento general de la unidad hacia el arco de Verdesia y hacia los bordes de la cuenca, pues ya había pulsos de levantamiento del Perijá, la Sierra Nevada de Santa Marta y del arco de Verdesia (la base de la Formación Cuesta se encuentra progradando en dirección suroeste, conectándose con la cuenca del VIM). Para la Formación La Luna Verdesia-2 muestra mayor madurez que Compae-1, lo que indica que el espesor de la Formación Cuesta no contribuyó significativamente a aumentar el Ro, sino que el evento de mayor enterramiento (registrado en el Ro, que es un proceso irreversible) fue previo al Eoceno Medio. El mayor espesor de esta Formación (en el sinclinal de La Loma) es de 3926 pies (1196 m). Sobre la línea Sísmica CV-7911 es de 3246 ft (989 m). En el pozo Compae-1 se asumieron cerca de 740 m. El estimado de esta Formación se puso en 800 m.

Para el Eoceno inferior se asumieron 800 m, pues ya la Serranía de Perijá se estaba levantando desde el Paleoceno Tardío y es posible que en este punto esté el máximo de espesor contra la

falla que está levantando el Perijá. En el centro de la cuenca el máximo espesor encontrado actualmente es de 300 m, con el tope erosionado por la discordancia del Eoceno Superior-Oligoceno. Un argumento a favor de que existió este Eoceno inferior más espeso que en el resto de la cuenca y posteriormente fue erosionado es que los carbones hacia el área de Perijá presentan mayor diagénesis que los carbones del área de Boquerón, y éstos a su vez son mejores que los del Descanso (es decir, los carbones son más maduros en el SE y menos maduros en el NW). También es posible que este engrosamiento haya iniciado desde el Paleoceno Tardío. Una zonación palinológica detallada en diferentes puntos de la cuenca puede mostrar variaciones leves de espesor, y mostrar la verdadera geometría de la cuenca durante el Paleoceno Tardío.

La Formación Cuervos es muy homogénea en espesor, sin embargo no se descarta que el evento de basculamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta engrose un poco la secuencia hacia el este, por lo tanto se suma un poco más de espesor al promedio obtenido (690 m), y se toman 750 m. Se pusieron dos periodos erosivos para esta Formación, el del Eoceno Tardío-Oligoceno y el del Plioceno. Esto con el fin de no generar un estado mayor de maduración de la materia orgánica post-Eoceno medio, pero al mismo tiempo no se erosionó toda la Formación Cuervos durante el Eoceno Tardío porque esto alejaría mucho la secuencia de la Temperatura de cierre de las huellas de fisión en Apatitos, que ronda los 100°C. Según Higgs (2008), los análisis de huellas de fisión muestran eventos de levantamiento en 5 y 2.5 Ma, entonces deben ser los tiempos donde la mayor parte de espesor se erode. Higgs (2008) no especifica en qué Formación fueron hechos los análisis de Apatitos, lo que hace subjetivo el cálculo de espesor erosionado en cada fase.

La Formación Barco se asumió en 350 m, el espesor promedio observado en todos los pozos (a excepción de El Paso-3, que siempre muestra mayores espesores en todas las formaciones). A este no se le hizo ninguna modificación porque prácticamente no se tienen eventos tectónicos importantes que cambien la configuración de la cuenca.

A la Formación Molino se le sumaron 300 m más de Formación que fueron erosionados, para llegar a su promedio de espesores de 600 m (actualmente presenta 292 m).

Es muy difícil modelar varios pulsos de levantamiento que erosionan en cada uno parte de las formaciones, por lo cual se asumió que en el evento del Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano se erosionó el Eoceno y parte del Paleoceno Tardío, y el resto (parte de Cuervos, Barco y Molino) se erosionó durante los levantamientos ocurridos en el Plioceno-Pleistoceno. Esto se asume partiendo del hecho que en el Plioceno ocurren los mayores levantamientos y el emplazamiento de los cinturones de cabalgamiento del Perijá, Cordillera Oriental y Andes de Mérida (Higgs, 2008).

Flujo de calor.

El Flujo de calor se obtiene a partir del gradiente geotérmico y la conductividad de la matriz (Waples et al., 1992):

$$\text{Flujo de calor} = \text{Gradiente} * \text{Conductividad}$$

Desafortunadamente no hay datos de conductividad térmica en toda la subcuenca. Mora & Rangel obtuvieron mediante modelos a partir de litologías, gradiente y subsidencia un flujo de calor estimado de 117 mW/m² en el Cretáceo inferior, 66 mW/m² en el Paleoceno Tardío, y 38 mW/m² para los últimos 3 Ma. Estos datos se usaron para el modelamiento de la paleococina.

Aunque se usó el mismo flujo de calor, igualmente se decidió tomar la medida de los gradientes de temperatura, ya que los nuevos pozos posteriores al 2004 permiten refinar más el gradiente geotérmico, y en futuros estudios donde se calcule la conductividad térmica en pozo se puede establecer un flujo de calor real. Se graficó la temperatura de fondo para varios pozos en la cuenca, obteniendo un gradiente promedio de 0.936°F/100 pies (ver Fig. 5.13). Los pozos que rompen con esa relación son los pozos a los que les fue medidas las temperaturas dentro del casing (ej. Pozos Caporo y pozo Chimila A-1), pero una vez terminan el casing, se ajustan bien. Mora & Rangel obtuvieron 1.03°F/100 pies, lo que nos da una diferencia de 0.094°F.

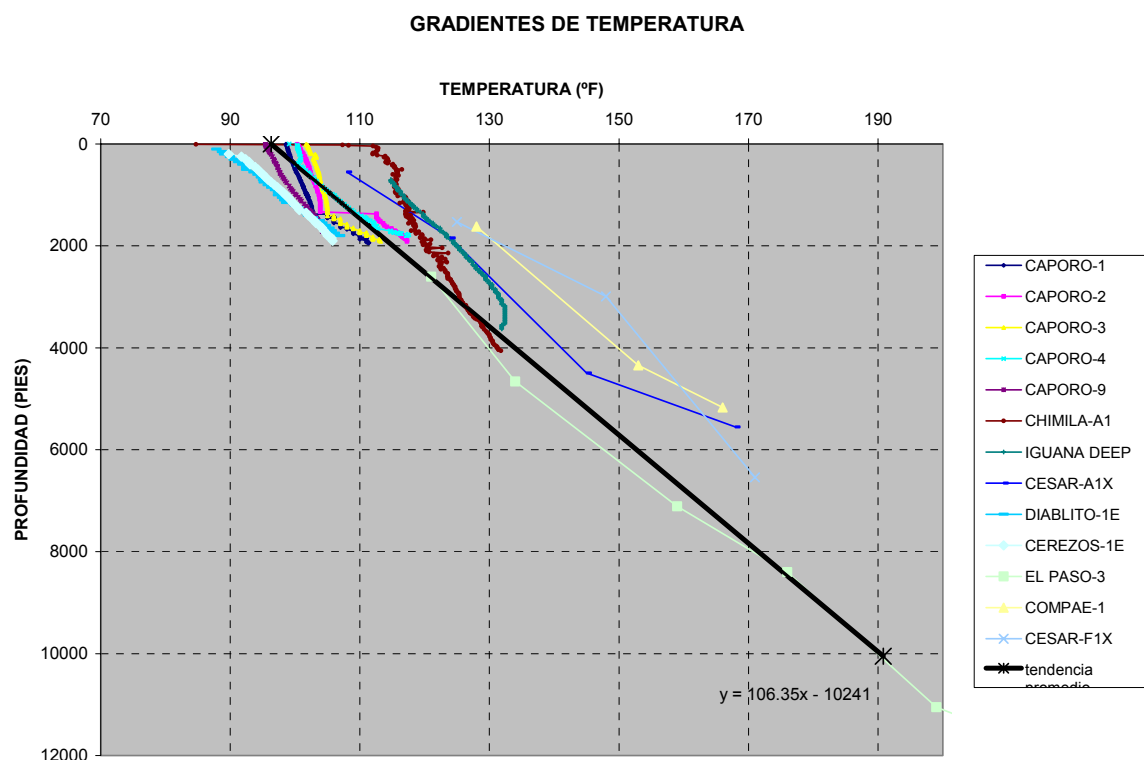


Figura 5.13. Gradientes Geotérmicos para diferentes pozos de la subcuenca de Cesar. Nótese el efecto inicial de la temperatura superficial.

Temperaturas de Superficie y Paleopropundidades de agua.

La temperatura de superficie y paleopropundidad para el aptiano se obtuvieron de Pöppelreiter et al. (2005), que aunque es un estudio enfocado al análisis de fracturas y porosidades en el Grupo Cogollo provee estos datos en los que se basó el modelamiento de madurez termal.

Para el Turoniano se tienen diferentes interpretaciones de profundidad de agua. En lo que coinciden todos los autores es que está entre 100 y 200 m, incluso algunos amplían el rango a 300 m. Nuevamente se usó la paleopropundidad de Pöppelreiter et al. (2005), estimada en 150 m. Bornemann & Norris (2005) reportan las temperaturas promedio para el Ecuador durante el Turoniano, y se tomaron entonces 37°.

Para el Paleoceno se tomaron los datos de Temperatura de Herrera et al. (2005), quienes calcularon la temperatura promedio del Paleoceno basados en el análisis de la flora del

Cerrejón. Dado que se trata del mismo ambiente y prácticamente Cerrejón y Cuervos son iguales, se toma la temperatura de 23.8°. La profundidad del agua se tomó en 1 m dado que se trata de ambientes deltáicos de muy baja profundidad (el delta del Ebro tiene unos 80 cm de profundidad de agua y el de Okavango unos 50 cm).

Para la temperatura actual de superficie se usó 35°C al igual que Chajín & Martínez (2008), debido a que en los pozos analizados las temperaturas están entre 29 y 38°C (la mayoría sobre los 35°C). Esta variación se debe a la hora del día y fecha en la cual se registran los pozos, pues aunque la Temperatura media anual del aire en la región es de 29°C, en ocasiones se han llegado a registrar 41°C a mediodía, y obviamente en la superficie terrestre será más elevada que en el aire.

5.4.3. Tiempos de Generación de Hidrocarburos.

Según el diagrama de soterramiento creado para el área de la Paleococina (ver Fig. 5.14), la Formación La Luna inicia su generación en el Paleoceno temprano, entre 65.5 Ma (base) y 62 Ma (tope). El pico de generación se sitúa en 56 Ma (Paleoceno más tardío). Alcanza la ventana de gas húmedo en el Eoceno Medio (45 Ma) y finaliza en el Eoceno Tardío, con el levantamiento que ocurre entre el Eoceno Tardío y el Oligoceno (38 Ma). Se mantiene en ventana de generación hasta el levantamiento Plioceno a 5 Ma.

La base de la Formación Aguas Blancas (Miembro Animas) inicia su generación en el Campaniano, entre 77 (base) y 72 Ma (tope). Alcanza el pico de generación en el Paleoceno Tardío (58 Ma), e inicia su ventana de gas húmedo en 56 Ma, finalizando esta ventana a los 5 Ma con el levantamiento del Plioceno.

En conclusión se puede decir que el tiempo más importante de generación de hidrocarburos sucedió en el Paleoceno Tardío, debido a la alta carga sedimentaria procedente de los depósitos de la Formación Cuervos.

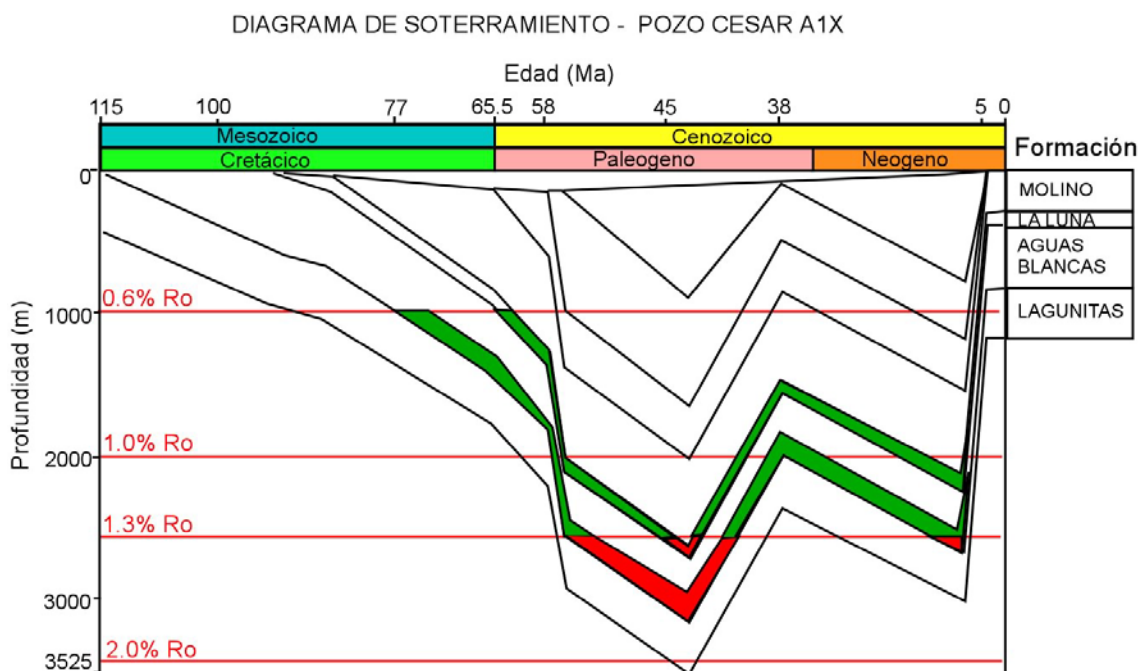


Figura 5.14. Diagrama de Soterramiento para el área de la paleococina interpretada. En verde se marcan las ventanas de Petróleo (0.6-1.3% Ro) y en Rojo las de Gas (mayor a 1.3% Ro). Nótese la rápida maduración de las Formaciones en el Intervalo Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano, debido a los altos espesores acumulados en ese pequeño intervalo de tiempo. Esta característica permitió que entre 58 y 56 Ma se alcanzaran los picos de generación en las formaciones La Luna y Aguas Blancas (1.0% de Ro). Todas las cocinas se inactivaron por los levantamientos de edad Plio-Pleistoceno. Ninguna alcanzó metamorfismo orgánico, siendo esto una buena característica en exploración de gas shales.

5.5. EFICIENCIA DE EXPULSIÓN Y RUTAS DE MIGRACIÓN

5.5.1. Eficiencia de Expulsión

Se estimó la eficiencia de expulsión según Waples (1979), por la relación entre cantidad de materia orgánica transformada y el Ro (Fig. 5.15). Para la Formación La Luna-Miembro Maracas se observa que en el área de la cocina principal (área de Perijá) la eficiencia de expulsión logró alcanzar más del 90%. En el Miembro Maracas se generó todo el hidrocarburo líquido posible. Sin embargo, ninguno de los dos intervalos presentan metamorfismo orgánico, lo que indica que puede existir un potencial de gas acumulado en estas formaciones, que entraron en ventana de gas húmedo pero constituyen una cocina inactiva.

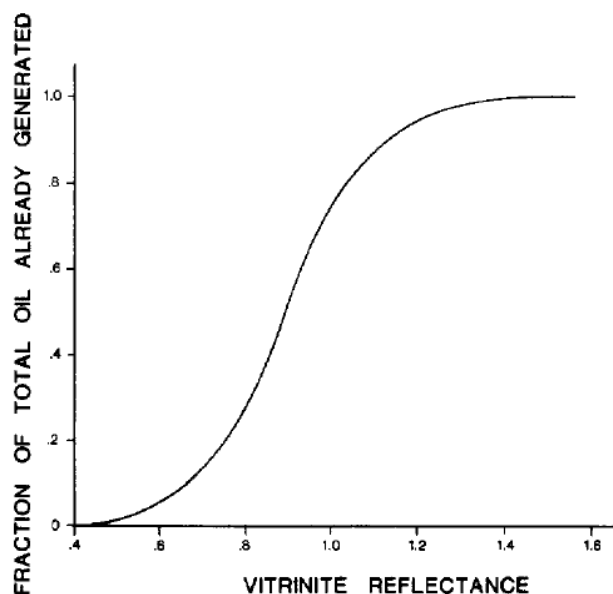


Figura 5.15. Relación entre el porcentaje de Hidrocarburos generados vs madurez termal. Tomado de: Waples (1979).

5.4.2. Correlaciones Roca-Crudo

Se realizó un análisis de *whole-oil* y biomarcadores con el fin de correlacionar el origen del petróleo encontrado en los rezumaderos del área del Descanso en rocas del Paleoceno Tardío. Los biomarcadores son compuestos fósiles moleculares que conservan su estructura casi idéntica al componente orgánico original (previo a la diagénesis y transformación de la materia orgánica), por lo tanto permiten identificar de qué roca proviene el hidrocarburo al definir los biomarcadores y compuestos de cada una (Peters et al., 1993).

Los resultados de las impregnaciones encontradas en el Descanso muestran un crudo severamente biodegradado (Grado 10 de biodegradación-según Mogollón, 2009), con enriquecimientos en resinas y asfaltenos. Por este motivo, la respuesta del *whole-oil* es muy diferente de los extractos obtenidos de la materia orgánica original (las dos muestras de roca de Formación La Luna y Aguas Blancas-Fig. 5.16), encontrándose un alto porcentaje (mayor al 35%) de hidrocarburos muy pesados, de C30 en adelante.

Para los biomarcadores la respuesta tampoco fue muy positiva, puesto que la fuerte biodegradación acabó con casi todos los biomarcadores. Los únicos que se conservan son los Triterpanos y algunos Hopanos. Los Esteranos están totalmente destruidos. Esto permite que la respuesta m/z 191 (que corresponde a los terpanos y hopanos) sea la más aproximada a las rocas originales (ver Fig. 5.17). Sin embargo, con esta respuesta se puede observar la diferencia entre el espectro obtenido para las formaciones La Luna y Aguas Blancas, y la buena correlación del crudo encontrado en El Descanso con la Formación La Luna.

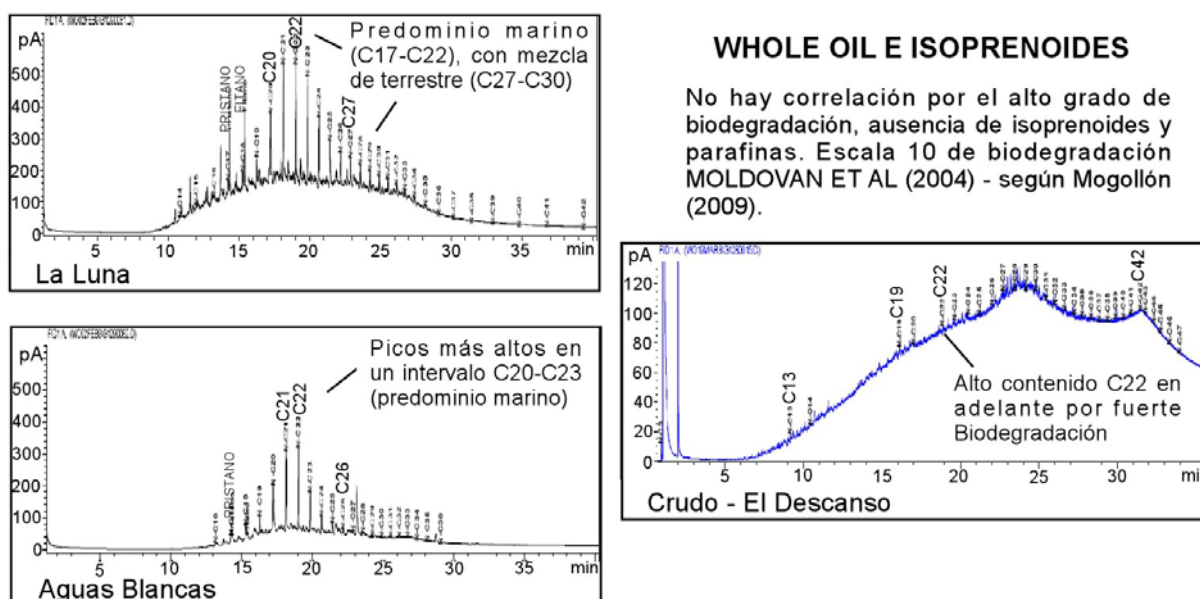


Figura 5.16. Análisis *whole-oil* para extractos de las formaciones La Luna y Aguas Blancas. Comparación con crudo de las manifestaciones superficiales encontradas en el área del Descanso (Subcuenca de Cesar).

Los análisis de crudo y extractos de roca en los rezumaderos y pozos impregnados de la parte central del Perijá Venezolano muestran una excelente correlación para la fracción m/z 191 y m/z 218 con la Formación La Luna, aunque los crudos de rezumaderos muestran biodegradación, que hace que el contenido de asfaltenos sea mayor (Gallango y Novoa, 2002).

Esta diferencia puede darse por dos cosas: el petróleo de la subcuenca de Cesar es más viejo y por lo tanto ha sido sometido a mayor biodegradación, o los eventos erosivos que pusieron el hidrocarburo en superficie son más viejos sometiendo a mayor tiempo el crudo a

biodegradación. La hipótesis que se plantea aquí es que los crudos tanto del Descanso como del Perijá provienen del mismo evento de generación Paleoceno (ver más adelante en el modelaje de madurez), pero a diferencia del Descanso, en el Perijá hubo un pulso posterior en el Mioceno que aportó petróleo proveniente del este, y además la deformación de esta zona pudo haber expuesto las rocas Terciarias sólo hasta el Plioceno.

BIOMARCADORES EN FRACCIÓN SATURADA

Por el alto grado de biodegradación, se pierden muchos biomarcadores, en especial los esteranos regulares y diesteranos. Se conservan algunos Terpanos y Hopanos. (Mogollón, 2009).

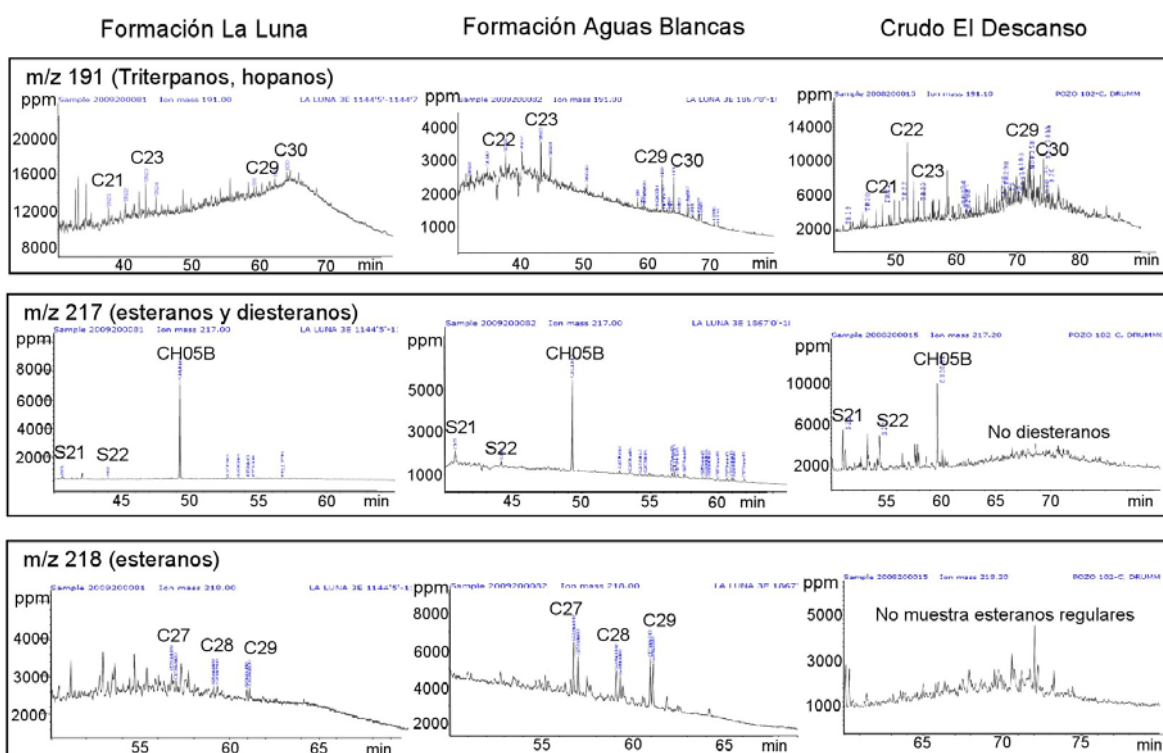


Figura 5.17. Biomarcadores para las formaciones La Luna y Aguas Blancas, y correlación con el crudo encontrado en El Descanso. Nótese la buena correlación entre la Formación La Luna y el crudo sólo para el análisis m/z 191.

5.4.3. Posibles Rutas de Migración

Las rutas de migración serían las zonas más altas que la cocina de hidrocarburos para el periodo de expulsión de éstos. Si se buscan hidrocarburos líquidos las áreas deben ser estructuras previas al Paleoceno Tardío-Eoceno. Se observa estructuración con el evento

tectónico del Paleoceno relacionada a fallas de dirección NW-SE, y hacia la zona de El Paso. La ventaja de estas fallas es que no están tan afectadas como las fallas de dirección NE-SW por el evento del Plioceno, y pudieran conservar la estructura sin romper el sello. El problema estaría dado en el evento del Eoceno Tardío-Oligoceno, pues las estructuras altas se invierten a estructuras más profundas, al levantarse el arco de Verdesia. Puede ocurrir remigración de acumulaciones previas en dirección noreste. Las fallas de dirección NE-SW tienen el problema de ser afectadas por los eventos más recientes de levantamiento.

Trampas estratigráficas pueden buscarse en dirección NW de la cuenca, donde la secuencia se vuelve más lodosa y se adelgazan los intervalos de carbonatos y areniscas tanto en rocas del Cretácico como del Paleoceno inferior.

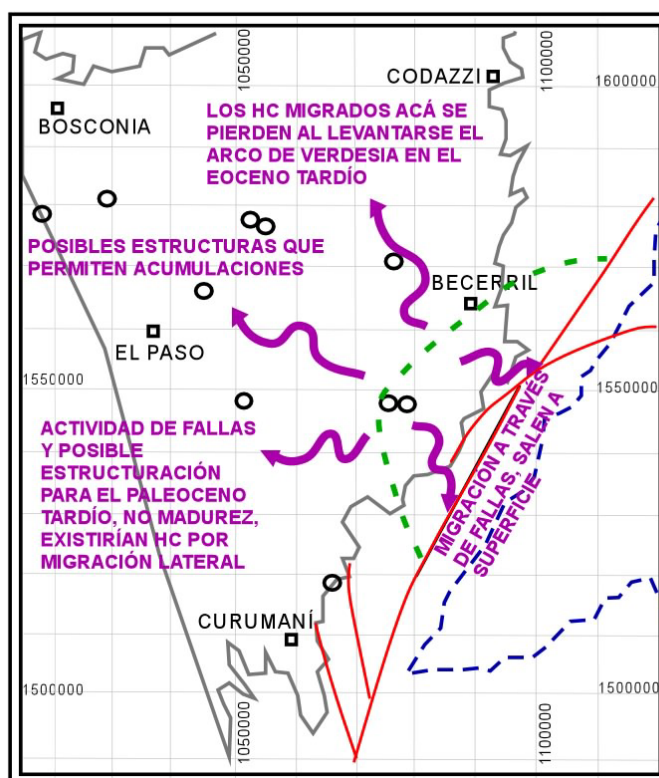


Figura 5.18. Posibles rutas de migración. La mayoría de estas rutas dejarían perder los hidrocarburos en fases posteriores de levantamiento (ej., las rutas hacia el Alto de Verdesia y la Falla del Perijá, donde ocurre no sólo actividad de fallas sino una fuerte erosión).

CAPITULO 6 – SISTEMAS PETROLEROS

6.1. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE SISTEMAS PETROLEROS

Un sistema petrolero dentro del concepto de Magoon & Down (1994), es un sistema natural que comprende una roca generadora y el hidrocarburo existente, el cual incluye todos los procesos y elementos geológicos esenciales para obtener una acumulación de hidrocarburos. Esto implica que para entender el sistema o sistemas petroleros en la subcuenca de Cesar es necesario entender todos los procesos estratigráficos, tectónicos y de madurez termal de la cuenca, y en qué tiempo se formaron. Este es el motivo por el cual se dejó este capítulo para el final, después de haber hecho los análisis estratigráficos, tectónicos y geoquímicos correspondientes.

Se recolectó la información disponible: estudios geoquímicos y de exploración, datos petrofísicos, análisis post-mortem de los pozos exploratorios perforados, etc.

Dentro de los parámetros de calidad de reservorio no se obtuvo información nueva fuera de los datos de porosidad aportados por la petrografía. De calidad de roca generadora sí se obtuvo información nueva que permitió conocer las variaciones areales (ver capítulo anterior).

6.2. HISTORIA EXPLORATORIA EN LA CUENCA: ACIERTOS Y DESACIERTOS

La subcuenca de Cesar ha tenido periodos de intensa actividad exploratoria seguidos de varios años sin ninguna clase de estudio, manteniendo esta región aún subexplorada. Las tablas 6.1 a 6.3 ilustran los datos básicos de estos pozos y el motivo del fracaso de los pozos secos.

La exploración en la subcuenca de Cesar inicia en 1938, cuando la Tropical Oil Company realiza estudios regionales de reconocimiento geológico, perforando en la década de los 40's los primeros pozos exploratorios (El Paso-1 y El Paso-2). En la década de los 50's Intercol perfora 4 pozos exploratorios (El Paso-3, El Paso-4, Río Maracas-1 y Los Venados-1). Ningún pozo resultó productor, aunque sí manifestaron hidrocarburos. El Paso-2 mostró trazas de aceite de 24.5°API en las areniscas de la sucesión Barco-Cuervos, el pozo El Paso-3 produjo 201 BDP de aceite de 41.1°API del miembro Socuy de la Formación Molino y 796.5 BPD de aceite de 40.6°API para una segunda prueba en el mismo intervalo. Además produjo 24 BPD de aceite con 37°API en las calizas de la Formación Aguas Blancas.

En 1979 se adelantaron programas sísmicos (CV-79, 1618 Km de sísmica realizados por la empresa Phillips; y CR-79, 344 Km de sísmica realizados por Ecopetrol). En 1980 la Phillips perforó tres pozos exploratorios, y luego abandonó el área. El pozo Cesar A1-X mostró evidencias de hidrocarburos ("oil shows") en la Formación Lagunitas. El pozo Cesar H1-X mostró evidencias de asfalto en las areniscas basales de la Formación Río Negro. El pozo Cesar F1-X tuvo pequeñas concentraciones de gas no comercial (833 MCF). Ecopetrol perforó dos pozos en la Subcuenca de Ranchería (El Molino-1 y El Molino-1X), también con manifestaciones de hidrocarburos.

En 1981 y 1982 la Gulf Oil Company realizó el programa sísmico GM-81-82, obteniendo así 268 Km de sísmica, pero abandonó el área sin perforar ningún pozo. En 1988 Ecopetrol nuevamente realiza sísmica con los programas CR-88 (289 Km), CV-88 Sur (110 Km), y CV-88 Norte (74 Km).

Incentivando nuevamente el interés en esta cuenca en la década de los 90's, se realizan informes técnicos regionales para reconocimiento regional de la cuenca (ICP, 1990; Intera-Bioss, 1995). En enero de 1995, Colpex adquiere el Bloque Maracas, perforando así en 1997 el pozo Compae-1, descubridor del único campo comercial encontrado en la cuenca. Texican adquiere un año después los derechos de este bloque y perfora los pozos Compae-2, Compae-3 y Compae-4. Las características de estos pozos no se conocen pues constituyen información

confidencial, pero se sabe que el reservorio principal corresponde a calizas fracturadas de la Formación La Luna.

Sólo hasta el año 2001 se inicia de nuevo la exploración en el área. ICP-Geopetrocol realizan reconocimientos del Cretácico en la cuenca, levantan columnas estratigráficas y realizan la caracterización de estas rocas como reservorio. QRC Colombia perfora en el 2003 el pozo Iraca-B1X, cuyos resultados no son conocidos por la autora puesto que es información confidencial. La empresa Drummond Ltd. firma en el año 2004 el contrato de Asociación La Loma. Bajo este contrato perfora en el año 2004 dos pozos estratigráficos para conocer las características como reservorio de la Formación Barco, en los años 2005 y 2006 perfora 14 pozos para evaluar el potencial de CBM y otros 5 estratigráficos para estudiar el Cretácico y el Paleoceno en el centro de la Cuenca. En los años 2007 y 2008 inicia campos piloto para pruebas de CBM (Caporo e Iguana). Actualmente se encuentra en pruebas de CBM, y explorando el potencial de reservorios convencionales y no convencionales (gas shale) en el Bloque La Loma.

Hasta la fecha en la subcuenca de Cesar se han perforado 17 pozos exploratorios para hidrocarburos convencionales, 23 pozos para gas metano asociado a carbón, y 7 pozos estratigráficos. Hasta Enero de 2009 sólo existen dos bloques activos en la subcuenca de Cesar, y los otros se encuentran pendientes a licitación en la próxima Ronda Colombia. En toda la cuenca Cesar-Ranchería sólo hay un bloque en producción, tres en exploración y uno reservado para exploración por parte de la ANH (Fig. 6.1).

En resumen, la mayoría de los pozos secos perforados corresponden a pozos fuera de estructura o con estructuras sin cierre (Pozo Río Maracas-1, El Paso-4, Los Venados-1, Chimila-A1). El sello es un problema cuando las rocas del Cretácico se encuentran muy cerca a la superficie, pues la discordancia del Eoceno Tardío-Oligoceno erosiona las rocas de la Formación Molino. Los pozos exitosos han mostrado cantidades marginales de hidrocarburos, indicando que posiblemente las cocinas activas para el tiempo de la estructuración no expulsaron cantidades suficientes de hidrocarburos.

POZO	X (ESTE)	Y (NORTE)	COMPAÑÍA	AÑO	T.D. (ft)	FORMACION FINAL	INF. DISP.	RESULTADO	OBSERVACIONES
El Paso-1	1041971	1538400	Intercol	1947	2828	La Quinta	SI	Seco	Formación Cuesta discordante sobre basamento
El Paso-2	1048583	1548910	Intercol	1948	8783	Molino	SI	Oil shows - Paleoceno	Abandonado por problemas mecánicos, no se llegó a Cretácico
Río Maracas-1	1074432	1571548	Inter/Troco	1951	10218	Aguas Blancas	SI	Seco	Fuera de estructura (perforó el footwall)
El Paso-3	1050333	1548618	Intercol	1953	11609	Aguas Blancas	SI	Producción de aceite no comercial	Estructura compleja, posiblemente el H-C generado no fue suficiente para cargar la estructura
El Paso-4	1044438	1549356	Intercol	1954	4252	Molino	SI	Seco	Fuera de estructura (perforó un bajo)
Los Venados-1	1047893	1590478	Intercol	1954	4110	Cogollo	NO	Seco	Estructura sin cierre
Cesar-A1X	1074879	1548028	Phillips	1980	5600	La Quinta	SI	Oil Shows - Cretácico	No había sello
Cesar-H1X	1029729	1580676	Phillips	1980	4220	La Quinta	SI	Oil shows - Cretácico	No había sello
Cesar-F1X	1075276	1570287	Phillips	1980	6543	Lagunitas	SI	Producción de gas no comercial	Posible destrucción de trampa en el Mio-Plioceno
Mata de Indios-1	1044390	1566020	INE	1988	-	-	NO	Seco	-
Compae-1	1044344	1566044	Texican	1997	5173	Río Negro	NO	Productor de gas	Reservorio fracturado en anticlinal fallado
Compae-2	1043043	1564720	Texican	1998	2912	Aguas Blancas	NO	Productor de gas	Reservorio fracturado en anticlinal fallado
Compae-3	1045003	1566603	Texican	1998	2501	-	NO	Productor de gas	Reservorio fracturado en anticlinal fallado
Compae-4	1043652	1565272	Texican	2003	2335	-	NO	Productor de gas	Reservorio fracturado en anticlinal fallado
Iraca-B1X	1090450	1559450	QRC Colombia	2003	3468	-	NO	-	-
Chimila-A1	1050165	1553025	Drummond	2007	4069	Barco	SI	Seco	Fuera de estructura (perforó un bajo)
Iguana Deep-1	1061947	1552307	Drummond	2008	3670	Barco	SI	Seco	Al parecer no hubo carga de hidrocarburos en ese sector

Tabla 6.1. Pozos exploratorios perforados para hidrocarburos convencionales. Modificado de: Chajín & Ortiz (2008).

POZO	X (ESTE)	Y (NORTE)	COMPAÑÍA	AÑO	T.D. (ft)	FORMACION FINAL	INF. DISPON	OBSERVACIONES
El Descanso-1E	1059993	1565246	Drummond	2005	962	Cuervos	SI	Exploratorio
El Descanso-2E	1061053	1565494	Drummond	2005	800	Cuervos	SI	Exploratorio
El Descanso-3E	1069840	1570742	Drummond	2005	1459	Cuervos	SI	Exploratorio
El Descanso-4E	1071407	1571672	Drummond	2005	1190	Cuervos	SI	Exploratorio
El Descanso-5E	1060388	1564385	Drummond	2005	1332	Cuervos	SI	Exploratorio
Boquerón-1E	1061351	1548712	Drummond	2006	1390	Cuervos	SI	Exploratorio
Boquerón-2E	1063617	1547816	Drummond	2006	1130	Cuervos	SI	Exploratorio
Boquerón-3E	1061288	1547903	Drummond	2006	1654	Cuervos	SI	Exploratorio
Boquerón-4E	1061097	1545250	Drummond	2006	1680	Cuervos	SI	Exploratorio
Boquerón-5E	1061615	1546262	Drummond	2006	1710	Cuervos	SI	Exploratorio
Boquerón-6E	1062522	1543646	Drummond	2006	1680	Cuervos	SI	Exploratorio
Boquerón-8E	1061368	1550180	Drummond	2006	900	Cuervos	SI	Exploratorio
La Loma-4E	1062531	1553433	Drummond	2006	1750	Cuervos	SI	Exploratorio
Caporo-1	1061239	1547924	Drummond	2007	1875	Cuervos	SI	En pruebas de gas
Caporo-2	1061024	1548103	Drummond	2007	2028	Cuervos	SI	En pruebas de gas
Caporo-3	1061328	1548058	Drummond	2007	2037	Cuervos	SI	En pruebas de gas
Caporo-4	1061303	1547650	Drummond	2007	1976	Cuervos	SI	En pruebas de gas
Caporo-9	1061072	1547272	Drummond	2007	1913	Cuervos	SI	En pruebas de gas
Caporo-13	1061027	1546925	Drummond	2007	1980	Cuervos	SI	En pruebas de gas
Iguana-1	1062175	1552939	Drummond	2008	2360	Cuervos	SI	En pruebas de gas
Iguana-2	1062031	1552741	Drummond	2008	2417	Cuervos	SI	En pruebas de gas
Iguana-3	1061584	1553266	Drummond	2008	3000	Cuervos	SI	En pruebas de gas
Iguana-4	1061644	1552907	Drummond	2008	2805	Cuervos	SI	En pruebas de gas

Tabla 6.2. Pozos exploratorios perforados para CBM. Fuente: ANH, Drummond Ltd.

POZO	X (ESTE)	Y (NORTE)	COMPAÑÍA	AÑO	T.D. (ft)	FORMACION FINAL	INFORMACION DISPONIBLE
Diablito-1E	1065647	1547602	Drummond	2004	2302	Molino	SI
Los Cerezos-1E	1055220	1536686	Drummond	2004	2131	Molino	SI
El Descanso-6E	1059102	1567315	Drummond	2006	1248	Barco	SI
Barco-1E	1067742	1553157	Drummond	2006	1250	Barco	SI
La Luna-3E	1078721	1548115	Drummond	2006	1890	Aguas Blancas	SI
Verdesia-1E	1053758	1577232	Drummond	2006	930	Aguas Blancas	SI
Verdesia-2E	1053870	1576719	Drummond	2006	1080	La Luna	SI

Tabla 6.3. Pozos estratigráficos perforados en la subcuena de Cesar. Fuente: ANH, Drummond Ltd.

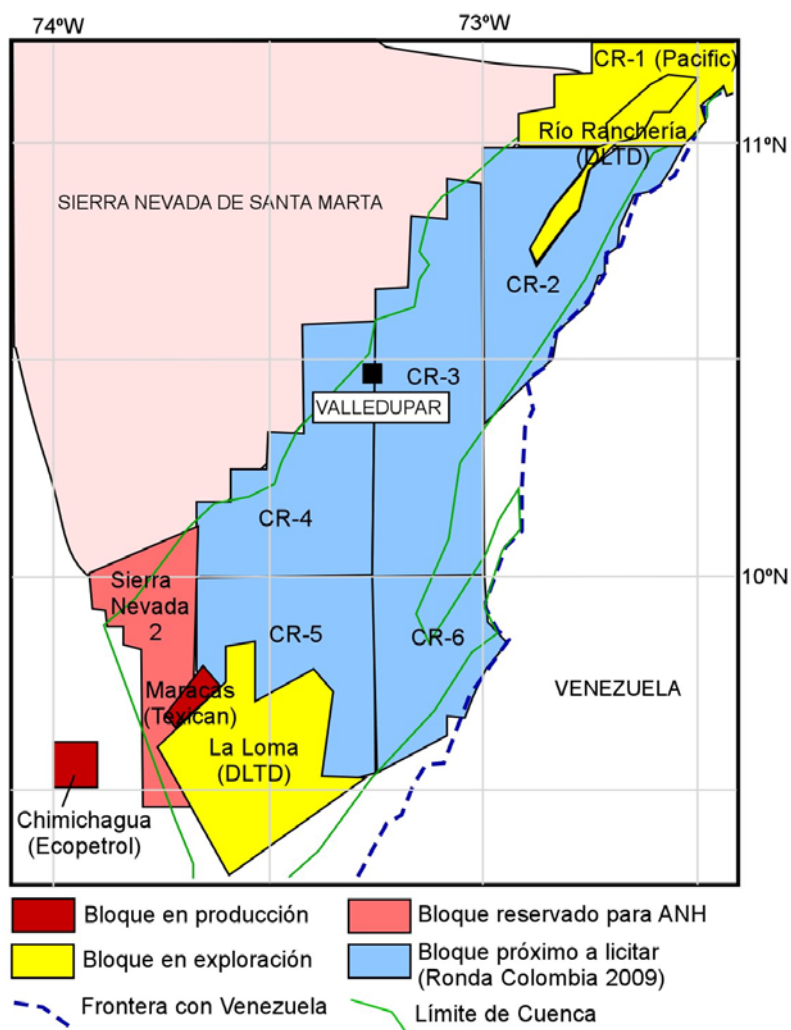


Figura 6.1. Ubicación de los contratos de Exploración y Explotación de Hidrocarburos en la Cuenca Cesar-Ranchería. Información tomada de: ANH-Mapa de Tierras. Actualizado a Enero 08 de 2009. www.anh.gov.co

6.3. ROCAS GENERADORAS

En el capítulo anterior se hizo un análisis de las rocas generadoras potenciales (ver resumen de éste en la Tabla 5.4), y se obtuvo que los principales intervalos generadores son:

1. Formación La Luna-Miembro Maracas: con un espesor neto promedio de 145 m hacia el este y sureste, y 250 m hacia el oeste y suroeste. Esta variación se debe a la diferencia de

espesores en la Formación La Luna. Calidades de Roca generadora Buena a excelente, con COT que en promedio se encuentran de 3.5 a 5.9%. Madurez termal variable, pero en general en toda la subcuenca de Cesar alcanzó la ventana de Petróleo. Hacia el área de la cocina inició ventana de gas húmedo.

2. Miembro Animas de la Formación Aguas Blancas: con un espesor promedio de 110 m hacia el sureste, y cambio facial a facies siliciclásticas hacia el noroeste, manifestándose en un decrecimiento de la calidad como roca generadora. Calidades de roca generadora Buena a excelente, con COT que varían entre 3 y 5.7% en las zonas más orgánicas (sureste), y su calidad baja hacia el Noroeste, con valores promedio de 1 a 2%. Madurez termal alta, encontrándose una gran área en ventana inactiva de gas húmedo y en la zona de la cocina ventana temprana de gas seco. Aun no se ha visto metamorfismo orgánico en esta unidad.

El potencial de tener roca generadora es muy alto. Rocas con características similares y pertenecientes prácticamente a los mismos sistemas deposicionales han sido comprobadas efectivamente en las cuencas adyacentes de Maracaibo, Valle Medio de Magdalena y Llanos. Las rocas han alcanzado la madurez necesaria para generar hidrocarburos líquidos y gas. El tiempo de inicio de generación es variable en toda la cuenca, pero hay una tendencia a alcanzar los picos de generación de petróleo en el Paleoceno-Eoceno Temprano, debido a la alta subsidencia experimentada en este periodo. Existió una importante cocina de hidrocarburos hacia el Sureste, que coincide con las zonas de mejor calidad de roca generadora.

Se observa una tendencia general a tener mejores calidades de roca en los intervalos calcáreos que en los shales silíceos (Formación Molino, Miembro Tocuy). Esto se interpreta como un aumento en la oxigenación para estos periodos donde hubo mayor aporte siliciclástico (ver capítulo 2, ambientes de depósito). Como se dijo en el capítulo anterior, las rocas generadoras en esta subcuenca coinciden en edad con eventos anóxicos globales (OAE1 y OAE2), que permitieron condiciones especiales de anoxia aun cuando se depositan carbonatos. La influencia de que sean carbonatos es que se esperan crudos con mayores contenidos de azufre.

6.4. RESERVORIOS

Como reservorio se define una roca capaz de almacenar hidrocarburos, y de permitir su movilidad e intercambio de fluidos entre la cocina de hidrocarburos y la trampa. Estas características se logran con una porosidad y permeabilidad adecuadas (Biddle & Wielchoswsky, 1994. En: Magoon & Down, eds.).

En la tabla 6.4 se resumen las características principales como reservorio de las unidades presentes en la subcuenca de Cesar.

UNIDAD	POROSIDADES CARACTERISTICAS (%)	PERMEABILIDAD (mD)
Río Negro	1-10	menor a 1 mD
Lagunitas	1-6, en fracturas y porosidad móldica. Sólo en los boundstones se observan porosidades de 11%, por vugs	0.1-1. Ocasionalmente tienen entre 10 y 100 mD, por fracturas abiertas en muestras de afloramiento.
Aguas Blancas (calizas)	menor a 3, principalmente en fracturas	1-10 mD. Hacia la Jagua aumenta la permeabilidad, hacia Bosconia es muy escasa
Mbo Tocuy (arenas)	5-28	1-10, rara vez mayor a 100 mD por extensiva disolución del cemento calcáreo en muestras de afloramiento.
La Luna	0.3-11	1-100, principalmente por fracturamiento (muestras de afloramiento)
Molino	3-9	menor a 0.01
Barco inferior	4-10	menor a 0.2
Barco Superior	13-18	12-90 para porosidades mayores a 13%. Menor a 0.1 para porosidades de 6-7%
Cuervos	6-7	0.03, abundante matriz que reduce la conectividad

Tabla 6.4. Calidad de reservorio de las unidades de la subcuenca de Cesar. Modificado de Drummond (2005).

Estudios anteriores prácticamente han descartado la posibilidad de tener reservorios convencionales en las arenas de las formaciones Barco y Cuervos. Esto puede no ser del todo cierto, pues no se han estudiado con cuidado las fallas reactivadas durante el evento Paleoceno Tardío. Existiría un problema de sello y de posible remigración de hidrocarburos durante los diferentes eventos tectónicos posteriores, pero su potencial es muy bueno, especialmente en la Formación Barco, donde se tienen porosidades superiores al 10%, y permeabilidades de hasta 90 mD. Esto se debe a que en el Barco hay un poco menos de matriz y los detritos son menos plásticos que la Formación Cuervos, permitiendo conservar un poco más de porosidad.

La Formación Cuesta y el Eoceno no se tuvieron en cuenta como posibles reservorios aunque presentan importantes paquetes arenosos, pues se consideran bajas sus probabilidades a falta de un sello efectivo.

Hay un gran potencial de reservorios no convencionales, tanto en la Formación Cuervos (Gas metano asociado a carbón) como en la Formación La Luna y el Miembro Animas (Gas shale). El potencial de gas metano asociado a carbón (CBM) es materia de estudio actual por parte de Drummond Ltd. con resultados confidenciales. De manera general, y con base en los resultados en este estudio, se resaltan dos importantes consideraciones:

1. Es importante ubicar las cocinas de generación de gas en el caso del Cretácico, para observar el potencial de Gas Shale, ya que a lo largo de la cuenca no todas las rocas llegaron a ventana de gas. Por lo estudiado aquí y lo obtenido en la Bibliografía, las cocinas estarían asociadas a dos grandes depocentros en la cuenca: El sureste de la subcuenca de Cesar y el cabalgamiento de Cerrejón en la Subcuenca de Ranchería.
2. Si bien los carbones tienen suficiente capacidad de sorción para acumular gas metano, la madurez de éstos en el área donde se encuentran en profundidades inferiores a 2000 pies no supera el 0.6% de Ro. Por eso es importante considerar la posibilidad de tener un significativo aporte de Gas Metano Biogénico en los carbones de la Subcuenca de Cesar (ver relaciones entre calidad de carbones, madurez y origen del gas en All Consulting &

Montana, 2003; Strapoc et al, 2007). La manera de estudiar gas termogénico a gas biogénico es diferente. Mientras el primero depende de la profundidad de los carbones (porque alcanza más madurez termal), el segundo depende de la acción microbiana, la circulación de aguas meteóricas y la porosidad de la matriz del carbón (Strapoc et al, 2008).

6.5. SELLO

El sello más visible en la cuenca es la espesa secuencia lutítica de la Formación Molino. La Formación Cuervos puede actuar como sello por su alto contenido de materiales finogranulares. Sin embargo, es muy heterogénea, presentando areniscas, limolitas y carbones. Puede no ser un sello tan efectivo.

Las fallas presentes en la cuenca pueden facilitar la migración de hidrocarburos o actuar como sellos. Por ejemplo, el Sistema de Fallas del Hatillo parece comportarse como un conducto de migración y no como un sello, evidenciado en la cantidad de impregnaciones de hidrocarburos procedentes de la Formación La Luna y concentrados en pequeñas capas de arenisca de la Formación Cuervos. Las impregnaciones son frecuentes cerca de las zonas de falla. Los Backthrust pueden generar estructuras efectivas, siempre y cuando dichas fallas no sean post-Eoceno Medio en el caso de la Formación La Luna o post-Plioceno en el caso de considerar generación de gas del Miembro Animas.

Para buscar estructuras más efectivas se podrían buscar fallas cuyo buzamiento sea en sentido contrario a la dirección de la cocina, y que sean activas desde el Paleoceno. Las fallas de dirección NE-SW (Hatillo, Cesar, etc.; Figs. 4.3 y 4.4) pueden presentar el problema de ser reinvertidas durante los últimos levantamientos del Plioceno, y las NW-SE pueden presentar movimientos posteriores de rumbo sinistral. Hay que estudiar con más detalle la evolución de cada falla, en especial el backthrust del Hatillo (Fig. 4.3) y las posibles fallas perpendiculares al tren de deformación actual (Fig. 4.5). En estos momentos se cuenta con una buena interpretación de las fallas NE-SW pero no se ha estudiado bien la conexión de las fallas perpendiculares y sus procesos de evolución. Intera-Bioss (1995) interpretan dos posibles

fallas de rumbo, de dirección NW-SE, ya existentes para el Oligoceno. El modelo estructural usado por Drummond Ltd. no contempla estas fallas. Queda pues, pendiente una re-evaluación del modelo regional involucrando una interpretación tridimensional y tratando de seguir en cada línea sísmica las fallas perpendiculares u oblicuas al sistema principal.

6.6. TIPOS DE TRAMPAS

Una trampa de hidrocarburos se define como cualquier arreglo geométrico que permite acumulaciones significativas de hidrocarburos en el subsuelo (Biddle & Wielchowsky, 1994).

En la subcuenca de Cesar se pueden presentar trampas estructurales, asociadas a los eventos de deformación. La mayoría de las fallas y anticlinales asociados con orientación NE-SW se generaron en los últimos episodios de deformación, por lo tanto tendrían problemas de sincronismo a menos que se trate de remigraciones de hidrocarburos.

Las trampas asociadas a fallas tendrían un alto riesgo al considerar si dichas fallas son o no sellos. Pareciera que las fallas que van en la misma dirección de la cocina no son buenos sellos. Las que van en dirección contraria podrían tener buenos sellos, pero es necesario estudiar en cada prospecto la evolución de las Fallas, si son previas a los eventos de mayor expulsión de hidrocarburos y si pudieron ser afectadas por movimientos posteriores de rumbo. Estos movimientos de rumbo pueden actuar a favor confinando estructuras o pueden ser desfavorables rompiendo sellos y dejando escapar el hidrocarburo.

Se propone estudiar bien el sistema de Fallas del Hatillo, que parece tener eventos previos de deformación (ver Capítulo 4), y el cambio de los saltos de falla a lo largo de la estructura sugieren actividad de rumbo posterior.

Para encontrar trampas estratigráficas en las formaciones Aguas Blancas (Miembros Animas y Tocuy) y en la Formación Barco, se deben buscar los cambios faciales en dirección oeste, pues las fuentes de aporte originales provienen del sureste, y la cuenca se profundiza hacia el oeste

en Aguas Blancas (Ver Fig. 2.17) y suroeste en Barco (el arco de Verdesia parece ser una pequeña barrera, especialmente en el tiempo de depósito de Barco, ver Fig. 4.7).

6.7. AREAS CON MAYOR PROSPECTIVIDAD

La parte media de la subcuenca de Cesar muestra propiedades favorables en varios sentidos: Como la subcuenca ha presentado levantamientos en todos los extremos (en el oeste y suroeste durante el Paleoceno Tardío, en el norte durante el Maastrichtiano y Eoceno Tardío, y en el este y sureste durante el Plioceno-Reciente), la parte media puede ser menos propensa a pérdidas por erosión.

Se propone hacer una evaluación tridimensional de las fallas para observar las relaciones entre las fallas inversas que van en el mismo tren de la deformación, con las fallas perpendiculares que agregan movimientos de rumbo. Es posible que la interacción entre estos dos sistemas genere algunos confinamientos. Debido a los basculamientos en diferentes direcciones es más difícil considerar estructuras asociadas a una sola falla, y hay más probabilidades de tener trampas en sistemas asociados de fallas, que confinen los reservorios.

Se recomienda un especial énfasis a las estructuras generadas entre el Sistema de Fallas del Hatillo (cerca de la población de La Loma) y de Arenas Blancas (Sureste de la cuenca, entre las poblaciones de Rincon Hondo y La Jagua), pues estas fallas muestran actividad previa a los eventos principales de deformación, y están cerca de la cocina principal de hidrocarburos.

CONCLUSIONES

Consideraciones Estratigráficas:

- Las variaciones de facies y espesores encontrados en las unidades de la subcuenca de Cesar son el resultado de los diferentes estados de evolución de la cuenca:
 - Etapa de rift: que genera los depósitos del Jurásico (secuencia volcanoclástica, La Ge, La Quinta). Las formaciones Río Negro y Lagunitas muestran características de relleno post-rift, agrandando su espesor de oeste a este. Río Negro presenta un predominio de areniscas líticas a arcósicas, y Lagunitas presenta un espeso paquete de packstones de bioclastos de plataforma somera y en la base desarrollo de estromatolitos de algas. El avance transgresivo del mar cretácico también influye en la disminución de espesor hacia el oeste. Fallas activas de basamento controlan espesores localmente.
 - Margen Pasivo: desarrollo de facies mixtas en la Formación Aguas Blancas que da lugar a dos miembros calcáreos (Maracas, Animas) y un miembro silíceo (Tocuy). Estos miembros varían lateralmente como respuesta a los cambios eustáticos del nivel del mar, y al equilibrio entre los dominios siliciclásticos provenientes del Escudo y los calcáreos hacia el norte. En la Luna se desarrollan facies similares en toda la cuenca, con una profundización hacia el oeste y noroeste. El espesor también es mayor en estas direcciones, pero se cree no supera los 240 m. En el este de la cuenca se considera una plataforma de carbonatos inundada que genera espesores promedio de 100 m.
 - Margen Activo: Inicia en el Campaniano-Maastrichtiano con pequeños levantamientos en el Perijá, Macizo de Santander y Arco de Verdesia. Molino se deposita sobre una superficie deformada generando cambios de espesor. La transgresión marina inicia su retroceso hasta tener facies fluviales en la Formación Barco. En el Paleoceno Tardío ocurre un importante levantamiento del occidente

(SNSM se bascula, y la parte norte de la Cordillera Central se levanta) que genera alta subsidencia en la cuenca y deposita 700 m de una unidad portadora de carbones. El Perijá también inicia la inversión de fallas antiguas de basamento. En el Eoceno continúa esta tendencia con una somerización gradual de la subcuenca de Cesar hasta que en el Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano hay un evento tectónico y erosivo considerable, generando una discordancia en la cuenca. En el Oligoceno-Mioceno ocurre una relajación tectónica que permite depositar unidades gruesas continentales (Formación Cuesta) con depocentro hacia el suroeste, y conecta la subcuenca de Cesar con la cuenca del VIM. Finalmente, en el Plioceno y Pleistoceno ocurren los mayores levantamientos, se reactivan fallas antiguas ahora con un carácter inverso, se generan nuevas fallas con despegues someros, y se erosiona gran parte de la secuencia.

- Las variaciones litofaciales en la subcuenca de Cesar condicionan las propiedades de roca generadora para el Cretácico, asociadas a periodos más oxigenados. Las lodolitas silíceas, abundantes en la Formación Molino y en el Miembro Tocuy de la Formación Aguas Blancas, son las que muestran el menor potencial de roca generadora. Los carbonatos micríticos y zonas con enriquecimiento de Fosfato muestran las mejores propiedades (COT entre 3 y 5%). Hacia el este de la subcuenca se presenta mejor potencial de tener estas facies orgánicas.
- Los análisis de procedencia permitieron definir las fuentes de aporte predominantes, que hasta el Paleoceno Medio provienen del sureste (en el Cretácico el Escudo de Guayana y a finales del Cretácico-Paleoceno un probable aporte del Macizo de Santander). A partir del Paleoceno Tardío se registran importantes aportes del oeste (SNSM, parte norte de la Cordillera Central) pero continúan los aportes del este (Perijá). Este análisis sirvió de base para plantear el modelo de evolución de cuenca consignado en la Fig. 4.8 (página 123).

Consideraciones Tectónicas:

- Los eventos tectónicos que afectaron la subcuenca de Cesar son:
 - Rift Jurásico y erosión: genera la discordancia basal del cretácico, con relaciones angulares.
 - Campaniano-Paleoceno Medio: que levanta el arco de Verdesia (aunque éste permanece sumergido) y causa un depocentro en dirección suroeste.
 - Paleoceno Tardío-Eoceno Medio: generado por el basculamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta y el levantamiento de la parte norte de la Cordillera Central. Este evento es muy importante para la maduración termal de las rocas generadoras del Cretácico, y aquí también ocurre la mayor generación-migración de hidrocarburos. En este evento el depocentro se ubica en el sureste, en cercanías al pozo Cesar A-1X. Aunque es un evento tectónico, en lugar de erosión se genera una alta subsidencia, especialmente hacia el sureste. El arco de Verdesia se hunde de nuevo permitiendo acumular más espesor de Paleoceno Superior y Eoceno.
 - Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano: Ocurre levantamiento del arco de Verdesia y del Perijá. Se levantan las fallas del Suroeste (Terminación norte o zona de transición de la Falla de Bucaramanga). Deformación y erosión. Entre este y el siguiente evento se genera una cuenca de nuevo con depocentro hacia el Suroeste, que conecta los depósitos del Oligoceno de Cesar con el VIM.
 - Mioceno Tardío-Pleistoceno Tardío: Evento con dirección NW-SE, que genera la configuración actual. En el Pleistoceno ocurre fallamiento de rumbo. La mayoría de las Fallas NE-SW se reactivan bajo un sistema de corrimientos y se generan despegues en la Formación Molino, causando deformaciones de piel delgada.

- Las Fallas de la subcuenca de Cesar han tenido diferentes pulsos de actividad, algunas controlaron los depósitos del Cretácico y Paleogeno. Esto es importante a la hora de evaluar estructuras previas a la generación de hidrocarburos.
 - Entre las fallas antiguas que muestran actividad en el Cretácico inferior controlando espesores del Cogollo se destacan: Falla de Perijá, los Venados, Cesar y Becerril. Estas son posiblemente generadas durante el rift Jurásico.

- Para el Campaniano-Paleoceno Medio hay actividad de las fallas que limitan el arco de Verdesia, y de las fallas transversales del suroeste de la subcuenca. El Hatillo Backthrust parece tener actividad desde el Maastrichtiano.
- La Falla de Perijá desempeña un papel importante en la generación de espacio de acomodación para el Paleoceno Tardío y en la maduración de las rocas generadoras de la cuenca. Se asume que adquiere su característica de rumbo en las últimas fases de deformación.
- Las Fallas del Hatillo, Aurora y Cesar muestran una importante actividad para el último evento (Mioceno Superior-Pleistoceno), deformando la discontinuidad del Eoceno-Oligoceno. También se caracterizan por su comportamiento variante sugiriendo movimientos de rumbo.

Consideraciones Económicas:

- La cocina principal de hidrocarburos (petróleo y gas) en la subcuenca de Cesar se ubica en el sureste, en la zona donde se perforaron los pozos Cesar A-1X y La Luna-3E. Esta cocina se encuentra limitada hacia el este por la Falla de Perijá que causa una menor madurez en el oeste del Lago de Maracaibo. Esta cocina coincide con las zonas de mejor calidad de roca generadora, maximizando su capacidad de generar hidrocarburos.
- Esta cocina se encuentra inactiva debido a los últimos eventos de deformación, pero en toda la subcuenca muestra una respuesta de maduración similar (mismas tendencias). Actualmente los valores de R_o para una misma profundidad varían en cada punto de la subcuenca debido a los corrimientos generados en el Plioceno-Pleistoceno.
- El tiempo más importante de generación de hidrocarburos se sitúa en el Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano, debido a la alta carga sedimentaria suministrada, que permitió la rápida madurez de las rocas.
- Las rutas de migración para el tiempo de generación de hidrocarburos en la subcuenca son preferencialmente en dirección noroeste y suroeste, así como las fallas activas que buzan

en la misma dirección de la profundización de la cocina. La ruta suroeste aunque es un alto para el tiempo de generación de hidrocarburos, se profundiza para el Oligoceno, facilitando remigración de hidrocarburos hacia el centro de la subcuenca.

- La subcuenca de Cesar cuenta con excelentes propiedades de roca generadora, reservorios y sellos. Los mayores riesgos se encuentran en el sincronismo de la estructuras y la preservación de las acumulaciones, pues la mayoría de las estructuras en dirección NE-SW son recientes y posteriores a la expulsión de hidrocarburos.
- La sobreimposición de eventos tectónicos sumado al cambio de la geometría de la cuenca en cada evento hace esperar en general cantidades marginales de hidrocarburos, con un gran riesgo en la preservación de éstas.
- No se encontró metamorfismo orgánico en las rocas generadoras estudiadas, por lo cual se puede pensar que existe un buen potencial de tener gas acumulado en ellas para ser explotado por métodos no convencionales.
- El intervalo de rocas con alto potencial generador es como mínimo 170 m para el sistema Maracas-La Luna-Socuy y 200 m para el Miembro Animas. Esto sin contar con las repeticiones estratigráficas que se generan por los sistemas de corrimientos provenientes del Perijá. Las propiedades como roca generadora son muy buenas a excelentes. El Kerógeno predominante es una mezcla de tipo I y II. Hacia la base del Cretácico con algunas mezclas de tipo III.
- Hasta ahora todas las manifestaciones de hidrocarburos en superficie correlacionan con la Formación La Luna. Es posible que sean relictos de la gran cantidad de hidrocarburos perdidos por falta de trampas efectivas durante el Paleoceno Tardío. La alta biodegradación puede estar asociada a la antigüedad de la migración a capas cercanas a la superficie.

Consideraciones acerca de la Metodología de Trabajo:

- Se resalta la importancia de combinar múltiples herramientas (Análisis estratigráficos, de procedencia, sísmica, bioestratigrafía, geoquímica) para obtener un modelo de evolución más completo y que permita explicar los datos obtenidos en cada análisis. En este caso se evaluó cada clase de resultado por aparte, y al final se comparó todo para obtener una historia completa, a fin de no predisponer el análisis de resultados a un modelo conceptual inicial y evitar la eliminación de datos que no encajaran en él.
- La mayor limitante en un estudio de evolución de cuenca es la escasez de datos, que pueden dar lugar a múltiples interpretaciones. En trabajos donde los presupuestos son limitados, se recomienda iniciar con un análisis de la información arealmente y a nivel estratigráfico que permita identificar las zonas donde los datos son escasos, inexistentes o no aportan información concluyente. En este trabajo el análisis previo permitió aprovechar al máximo los pocos datos nuevos que se podían obtener, y se pudieron cumplir los objetivos propuestos inicialmente.
- En este estudio se tuvieron en cuenta los trabajos anteriores como hipótesis iniciales de trabajo, y se obtuvo una propuesta nueva, en especial en lo que se refiere a la evolución del Campaniano-Eoceno Tardío. Puede ser la correcta o no, pero queda la reflexión de no tomar como verdad absoluta un modelo propuesto varios años atrás, sino de reevaluar constantemente la información a medida que se obtienen nuevos datos. Posiblemente en el futuro se tome más información que permita llegar a una nueva propuesta más completa y mejorada.
- Se trató de usar herramientas con pocos años de aplicación en la Industria para optimizar las interpretaciones. En el caso de la Geocronología U/Pb en detritos de circón y la horizontalización de reflectores sísmicos los resultados fueron muy positivos, y se pudieron ver cosas que con las técnicas convencionales usadas anteriormente no eran tan claras, en especial lo referente a eventos tectónicos. Los minerales pesados por su parte no aportaron resultados concluyentes.

RECOMENDACIONES

Con el análisis de esta subcuenca surgieron ciertas limitantes a falta de más estudios. A continuación se listan los principales estudios a hacer en el futuro:

- Completar análisis bioestratigráficos que permitan definir mejor las variaciones de espesor (especialmente en las formaciones Cuervos, La Luna y Aguas Blancas). También aprovechar esta información para mejorar el conocimiento acerca de las paleoprofundidades y paleotemperaturas en estos intervalos de tiempo para el noreste colombiano.
- Continuar con el estudio de los Macizos antiguos colombianos, que no sólo proveen información muy útil para análisis de procedencia sino que permiten estudiar la historia de acreción de terrenos en el basamento y su evolución. Se hace énfasis en los posibles plays asociados al sistema de Fallas del Hatillo y Arenas Blancas.
- Es muy importante evaluar la subcuenca de Cesar de manera tridimensional, para observar la interacción de las Fallas principales con las fallas transversales, que al parecer presentan movimientos de rumbo.
- Reducir los intervalos de muestreo geoquímico en las áreas estudiadas para completar la base de datos geoquímica de la subcuenca. De esta manera no sólo se tendrán proyecciones y mapas más reales, sino que se podrá caracterizar mejor las facies orgánicas (algunas de las estudiadas aquí no contaban con datos de geoquímica). Los análisis de mineralogía de arcillas permitirán también caracterizar mejor las facies orgánicas.
- Realizar análisis isotópicos al gas contenido en los carbones de la Formación Cuervos, para analizar su origen (biogénico o termogénico) y así encaminar mejor la exploración de éste.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- All Consulting & Montana (2003). Coal Bed Methane Primer. New Source of Natural gas-Environmental Implications. Report prepared for U.S. Department of Energy.
- ANH (2009). Mapa de Tierras. Escala 1:2000.000. www.anh.gov.co
- Arias, A., & Morales, C.J. (1999). Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Cesar. Memoria Explicativa. Ingeominas, Bogotá.
- Baldwin, J.A., Brown, M. & Schmitz, M.D. (2007). First application of titanium-in-zircon thermometry to ultrahigh-temperature metamorphism. *Geology*, Vol. 35, No. 4, pp. 295-298.
- Banks, P., Vargas, R., Rodríguez, G.I., & Shagam, R. (1985). Zircon U-Pb ages from orthogneiss, Pamplona, Colombia. VI Congreso Latinoamericano de Geología, Bogotá. Resúmenes.
- Bartok, P. Reijers, J., & Juhasz, I. (1981). Lower Cretaceous Cogollo Group, Maracaibo Basin, Venezuela: Sedimentology, Diagenesis and Petrophysics. *AAPG Bulletin* Vol. 65, No. 6, pp. 1110-1134.
- Bayona, G.; Lamus-Ochoa, F.; Cardona, A.; Jaramillo, C.; Montes, C.; & Tchegliavoka, N. (2007). Procesos Orogénicos del Paleoceno para la Cuenca de Ranchería (Guajira, Colombia) y áreas Adyacentes definidos por Análisis de Proveniencia. *Geología Colombiana* No. 32, pp. 21-46. Bogotá, Colombia.
- Bernal, L.A. (2008). Caracterización Estratigráfica y Petrográfica de la Formación La Luna en el Sector de El Tablazo, Valle Medio del Magdalena. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Biddle, K. & Wielchowsky, C. (1994). Hydrocarbon Traps. En: Magoon & Dow, eds. *The Petroleum System, from Source to Trap*. AAPG Memoir 62, pp. 219-235.
- Bornemann, A. & Norris, D. (2005). The Cretaceous Thermal Maximum: Ice-free, no Major pCO₂ Hiccups, and not far off 40°C. International Symposium on Recent Advances in Research on Terrestrial and Marine Sequences from the Mid-Cretaceous Anoxic Events (OAE's). Program and Abstracts. September 21-22. Hokkaido University. Japan.
- Bowen, J. M. (1972). Estratigrafía del Precretáceo en la parte norte de la Sierra de Perijá. IV Congreso Geológico Venezolano. Memorias. Vol. 2, pp. 729-760.
- Cardona, A., Cordani, U. & MacDonald, W. (2006). Tectonic correlations of pre-Mesozoic crust from the northern termination of the Colombian Andes, Caribbean region. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 21, pp 337-354. Elsevier.
- Cardona, A., Valencia, V. A., Bayona, G., Duque, J., Jaramillo, C., Montes, C., Ojeda, G., Ruiz, J. (2009). Late Cretaceous to Eocene accretion and subduction in the Sierra Nevada de Santa Marta and adjacent Rancheria Basin, northern Colombia: implications for Northern Andes orogeny and Caribbean-South American plate tectonic interactions. Trabajo aceptado para la revista *Geology*.
- Cediel, F.; Shaw, R. & Caceres, C. (2003). Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. En: C. Bartolini, R. T. Buffler, & J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*: AAPG Memoir 79, pp. 815– 848.

- Chajin, P. & Martinez, A. (2008). Interpretación Sísmica, Estructural y Modelamiento Geoquímico de dos Líneas Sísmicas en la Subcuenca de Cesar (Cuenca Cesar-Ranchería). Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- Cooper, M.A., Addison, F.T., Alvarez, R., Coral, M., Graham, R.H., Hayward, A.B., Howe, S., Martinez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A.J., & Tabor, A. (1995). Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. *AAPG Bulletin*, 79 (10). pp. 1421-1443.
- Consorcio GyG (2001). Levantamiento estratigráfico y estructural, cuencas Cesar-Ranchería y Guajira. Informe final. Centro de Información Técnica-Ecopetrol-ICP. 232 pp.
- Cordani, U., Cardona, A., Jimenez, D., Liu, D., Nutman, A. (2005). Geochronology of Proterozoic basement inliers in the Colombian Andes: tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. *Geological Society of London, Special Publications*, Vol. 246, pp 329-346.
- Cortés, M., Angelier, J., & Colleta, B. (2005). Paleostress evolution of the northern Andes (Eastern Cordillera of Colombia): Implications on plate kinematics of the South Caribbean region. *Tectonics* Vol. 24, No. 1. 37 pp.
- Dasch, L. E., and P. Banks, 1981, Zircon U-Pb ages from the Sierra de Perijá, Venezuela (abs.): *GSA Abstracts with Programs*, v. 13, p. 436.
- Dickinson, W.R. (1985). Interpreting provenance relations from detrital modes of Sandstones- Zuffa, G.G. Eds. *Provenance of Arenites*, p 333-361.
- Dörr, W., Grösser, J., Rodríguez, G. & Kramm, U. (1995). Zircon U-Pb age of the Paramo Rico tonalite-granodiorite, Santander Massif (Cordillera Oriental, Colombia) and its geotectonic significance. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol 8, No. 2, pp 187-194. Elsevier.
- Drummond (2005). Reporte Final de Exploración. Fase 1. Contrato de Asociación La Loma. 198 pp. Bogotá.
- Drummond (2008a). Reporte de Geología y Perforación. Pozo Estratigráfico Verdesia-1E. Forma 6CR. Bogotá.
- Drummond (2008b). Reporte de Geología y Perforación. Pozo Estratigráfico Verdesia-2E. Forma 6CR. Bogotá.
- Ecopetrol – Geopetrocol (1998). Potencial Petrolífero Cuenca Cesar-Ranchería. Informe Interno.
- Elrich, R.N., Macsotay, O., Nederbragt, A.J., & Lorente, M.A. (2000). Birth and Death of the Late Cretaceous "La Luna Sea" and Origin of the Tres Esquinas Phosphorites. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 13, pp. 21-45. Elsevier.
- Elrich, R., Villamil, T. & Keens-Dumas, J. (2003). Controls on the Deposition of Upper Cretaceous Organic Carbon-Rich rocks from Costa Rica to Suriname. in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir* 79, pp. 1-45.
- Escalona, A. & Mann, P. (2006). Sequence-stratigraphic analysis of Eocene clastic foreland basin deposits in central Lake Maracaibo using high-resolution well correlation and 3-D seismic data. *AAPG Bulletin*, Vol. 90, No. 4, pp. 581-623.
- Forero, A. (1970). Estratigrafía del Precretácico en el Flanco Occidental de la Serranía de Perijá. *Geología Colombiana* No. 7, pp. 7-78. Unal, Bogotá.
- Gallango, O., Novoa, E., & Bernal, A. (2002). The Petroleum System of the Central Perijá Fold Belt, Western Venezuela. *AAPG Bulletin*, Vol. 86 No. 7, pp 1263-1284.

- García, D.F. & Parra, P. (2003). Áreas con Mayor potencial de Carga de Petróleo: Cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM) y Occidente de la Cordillera Oriental, Colombia. VIII Simposio Bolivariano: Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas. Memorias. Cartagena, Colombia.
- Gómez Tapias, J., Nivia, A., Montes, N.E., Jiménez, D., Tejada, M.L., Sepulveda, J., Osorio, J., Gaona, T., Diederix, H., Uribe, H., Mora, M. (2007). Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:2.800.000. Ingeominas, Bogotá.
- González de Juana, C., Iturralde, J. & Picard, J. (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Ediciones Foninves. Caracas, Venezuela.
- Harrison, M., Watson, B. & Aikman, A. (2007). Temperature spectra of zircon crystallization in plutonic rocks. *Geology*, Vol. 35, No. 7, pp. 635-638.
- Hatton, L.; & Espejo, I (1997). Detrital Models of Tertiary Units in the Central Middle Magdalena Basin, Colombia. VI Simposio Bolivariano: Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas. Memorias. Cartagena, Colombia.
- Hernandez, M. (2003). Geología de la plancha 48 – La Jagua de Ibirico. Escala 1:100.000. Memoria Explicativa. Ingeominas, Bogotá.
- Herrera, F., Wing, S. & Jaramillo, C. (2005). Warm (Not Hot) Tropics During the Late Paleocene: First Continental Evidence. American Geophysical Union, Fall Meeting 2005, abstract #PP51C-0608.
- Higgs, R. (2008). Caribbean Plio-Quaternary (5-0 Ma) Plate Interaction and Basin Development, Colombia - Venezuela-Trinidad Oil Province. Search and Discovery Article #30058.
- Ibañez, M., Jaramillo, J. & Valencia, V. (2008). U-Th/Pb Zircon Geochronology By Multicollector La-Icp-MS Of The Samaná Gneiss: A Middle Triassic Syn-Tectonic Body In The Central Andes Of Colombia, Related To The Latter Stages Of Pangea Assembly. Extended Abstract. VI South American Symposium on Isotope Geology. San Carlos de Bariloche - Argentina - 2008
- Ibañez, M., Tassinari, C. & Jaramillo, J. (2007). U-Pb Zircon Ages Of The “Antioquian Batholith”: Geochronological Constraints Of Late Cretaceous Magmatism In The Central Andes Of Colombia.
- ICP-Ecopetrol (1990). Proyecto Cesar-Ranchería. Informe Geológico 2413. Piedecuesta, Santander.
- ICP-Ecopetrol (2001). Estudio Petrológico y Evaluación como Roca Reservorio de las formaciones Cretáceas de la Cuenca Cesar-Ranchería. Piedecuesta, Santander.
- Intercol (1954). El Paso-3. Palaeontological Well Report. Bogotá.
- Jaramillo, C. & De La Parra, F. (2005). Diablito 1E. Palynological Zonation. Piedecuesta, Santander.
- Liddle, R. A., G. D. Harris & J. W. Wells (1943). The Río Cachirí section in the Sierra de Perijá, Venezuela, *Bulletin of American Paleontologist*, Vol. 27 No. 108, pp. 273-375.
- Kammer, A., Moreno, G., García, O., Serrano, B., Buitrago, J., Beltrán, A., Támara, J., Rincón, A., Barrera, A. (2005). Estudio Geológico Estructural de campo en el Bloque "La Loma" de la Subcuenca de Cesar. Reporte interno, Drummond Ltd.
- Kellogg, J.N. (1984). Cenozoic tectonic history of the Sierra de Perijá, Venezuela-Colombia, and adjacent basins, en: W.E. Bonini, R.B. Hargraves, and R. Shagam, eds., *The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics: GSA Memoir 162*, p. 239-261.
- López Ramos, E. (2005). Evolución Tectónica de la Región Caribe de Colombia. Ingeominas, Bogotá.

- Loucks, R. & Ruppel, S. (2007). Mississippian Barnett Shale: Lithofacies and Depositional Setting of a Deep-Water Shale Gas Sucession in the Forth Worth Basin, Texas. AAPG Bulletin, Vol. 91 No. 4, pp. 579-601.
- Ludwig, K.R., 2003, Isoplot 3.00. Berkeley Geochronology Center, Special Publication No. 4, 70 p.
- Lugo, J., & P. Mann (1995). Jurassic–Eocene tectonic evolution of Maracaibo basin, Venezuela, in A. J. Tankard, R. Suárez S., and H. J. Welsink, Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62, p. 699–725.
- MacDonald, W.D. & Hurley, P.M. (1969). Precambrian gneisses from northern Colombia, South America. GSA Bulletin Vol. 80 No. 9, pp. 1867–1872.
- Malavé, C. (1994). Litofacies y distribución del carbono orgánico y fósforo en la Formación Colón, Cuenca de Maracaibo. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. 150 p.
- Mange, M. A. and Wright, D. T., 2007, (Eds) Heavy Minerals in Use. Developments in Sedimentology Series, Vol. 58, Elsevier 1328 pp.
- Mann, P., Escalona, A., & Castillo, M. V. (2006). Regional geologic and tectonic setting of the Maracaibo supergiant basin, western Venezuela. AAPG Bulletin, Vol. 90 No. 4, pp. 445-477. Tulsa, Oklahoma.
- Magoon, L. & Down, W. (1994). The Petroleum System – From Source to Trap. AAPG Memoir 60. Tulsa, Oklahoma.
- Martínez, A. (1976). Cronología del Petróleo Venezolano. Ediciones Foninves. Caracas, Venezuela. 349 p.
- Maya, M. (2001). Distribución, Facies y Edad de las Rocas Metamórficas en Colombia. Ingeominas.
- Maze, W. (1984). Jurassic La Quinta formation in the Sierra de Perijá, northwestern Venezuela: geology and tectonic environment of red beds and volcanic rocks.: GSA Memoir 162, p. 263-282.
- Mendoza, V. (2000). Evolución Geotectónica y recursos minerales del Escudo de Guayana en Venezuela (y su relación con el Escudo Suramericano). Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar, Venezuela.
- Mogollón, L. (2009). Caracterización Geoquímica Extracto Pozo 102C-Drummond. Reporte Interno preparado por el ICP para Drummond Ltd. Piedecuesta, Santander.
- Montes, C.; Hatcher, R.; Restrepo-Pace, P. (2005). Tectonic Reconstruction of the Northern Andean Blocks: Oblique Convergence and Rotations Derived from the Kinematic of the Piedras-Girardot Area, Colombia. Tectonophysics, Vol. 399 No. 1-4, pp. 221-250.
- Mora, C. & Rangel, A. (2004). Modelo de Generación de Hidrocarburos en el Sector Sureste de la Cuenca Cesar-Ranchería. Informe Interno, Ecopetrol.
- Mora, A. & García, A. (2006). Cenozoic Tectono-Stratigraphic Relationships between the Cesar Sub-Basin and the Southeastern Lower Magdalena Valley Basin of Northern Colombia. AAPG 2006 Annual Convention. Houston, Texas.
- Ojeda, C. (2009). Petrografía y Petrología de las Unidades Paleógenas de las Cuencas Cesar-Ranchería y Catatumbo y sus implicaciones en la Tectónica Regional. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Ostos, M., Yoris, F., & Avé Lallemand, H. (2005). Overview of the Southeast Caribbean-South American plate Boundary Zone. GSA Special Paper 394, pp 53-89
- Ordoñez, O., Restrepo, J., Martins, M. (2006). Geochronological and isotopic review of pre-Devonian crustal basement of the Colombian Andes. Journal of South American Earth Sciences. Vol 21, pp 372-382. Elsevier.

- Owen, E. W. (1975). *Trek of the Oil Finders: A History of the Exploration for Petroleum*. AAPG Memoir 6, Tulsa, 1647 p.
- PDVSA (2008). *Léxico Estratigráfico Venezolano* (PDVSA-INTEVEP 2008). www.pdvsa.com/lexico/lexicoh.htm.
- Peters, K., Walters, C. Moldowan, M. (1993). *The Biomarkers Guide, Vol. 2. Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History*. Ed. Cambridge.
- Peters, K. & Cassa, M. (1994). *Applied Source Rock Geochemistry*. En: Magoon & Down, eds. *The Petroleum System – from source to trap*. AAPG memoir 60. Tulsa, Oklahoma.
- Phillips Petroleum Company (1980). *Registro Gráfico Compuesto. Pozo Cesar A1X*.
- Priem, H., Kroonenberg, S, Boelrijk, N., Hebeda, E. (1982). Rb-Sr And K-Ar Evidence For The Presence of a 1.6 Ga Basement Underlying The 1.2 Ga Garzon-Santa Marta Granulite Belt In The Colombian Andes. *Precambrian Research*. No. 42, pp 315-324. Elsevier.
- Pöppelreiter, M., Balzaini, M., De Sousa, P., Engel, S., Galarraga, M., Birger, H., Marquez, X., MORrel, J., Nelson, R., Rodriguez, F. (2005). Structural control on sweet-spot distribution in a carbonate reservoir: Concepts and 3-D models (Cogollo Group, Lower Cretaceous, Venezuela). *AAPG Bulletin*. Vol. 80, No. 12, pp. 1651-1676. Tulsa, Oklahoma.
- Restrepo-Pace, P.A., Ruiz, J., Gehrels, G. & Cosca, M. (1997). Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes: new constraints for Late Proterozoic–Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. *Earth and Planetary Science Letters* 150, 427–441.
- Shagam, B., Kohn, B., Banks, P., Dasch, L., Vargas, R., Rodriguez, G., & Pimentel, N. (1984). Tectonic Implications of Cretaceous-Pliocene Fission-Track ages from Rocks of the Circum-Maracaibo Basin Region of Western Venezuela and Eastern Colombia. *GSA Memoir* 162.
- Scherer, W. (1995). Hydrocarbon Families in the Maracaibo Basin, Western Venezuela. *AAPG Annual Convention Abstracts*, pp. 85a.
- Stacey, J.S., and Kramers, J.D., 1975, Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 26, pp. 207-221.
- Stoufer, S. (1993). *Distribución Regional del Carbono Orgánico y Fosfato en la Formación La Luna, Cuenca de Maracaibo*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, 173 p.
- Stauffer, K. (1994). *Depositional Model of The Cogollo Group, Maracaibo Basin, Venezuela*. V Simposio Bolivariano: Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas. Memorias. Puerto La Cruz, Venezuela.
- Strapoc, D.; Mastalerz, M.; Eble, C.; & Schimmelmann, A. (2007). Characterization of the Origin of Coalbed Gases in Southern Illinois Basin by Compound-Specific Carbon and Hydrogen Stable Isotopic Ratios. *Organic Geochemistry*, Vol. 38, pp. 267-287.
- Strapoc, D.; Mastalerz, M.; Schimmelmann, A.; Drobniak, A.; & Hedges, S. (2008). Variability of geochemical properties in a microbially dominated coalbed gas system from the eastern margin of the Illinois Basin, USA. *International Journal of Coal Geology*. doi:10.1016/j.coal.2008.02.002
- Takashima, R. (2005). OAE 1b in the Vocontian Basin, Southeast France. *International Symposium on Recent Advances in Research on Terrestrial and Marine Sequences from the Mid-Cretaceous Anoxic Events (OAE's)*. Program and Abstracts. September 21-22. Hokkaido University. Japan.

- Tassinari, C.G., Macambira, M. (1999). Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, Vol. 22
- Tschanz, C.M., Jimeno, A. & Cruz, J. (1969). Geology of the Santa Marta area (Colombia). *Ingeominas, Informe 1829*. 288 p.
- Tschanz, C.M., Marvin, R.F. & Cruz, J. (1974). Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta area, Colombia. *GSA Bulletin* Vol. 85 No. 2, pp. 273–284.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M., Campion, K.M., & Rahmanian, V.D. (1990). *Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Outcrops*. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, 55p.
- Villamil, T. (1999). Campanian-Miocene Tectonostratigraphy, depocenter evolution and Basin Development of Colombia and Western Venezuela. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol 153, pp. 239-275. Elsevier.
- Vinasco, C., Cordani, U., González, H., Weber, M. & Peláez, C. (2006). Geochronological, isotopic, and geochemical data from Permo-Triassic granitic gneisses and granitoids of the Colombian Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol 21, pp 355-371. Elsevier.
- Waples, D. (1979). Simple Method for Oil Source Bed Evaluation. *AAPG Bulletin*, Vol. 63, No. 2, pp. 239-248. Tulsa, Oklahoma.
- Waples, D.; Kamata, H; Suizu, M (1992). The art of Maturity Modeling. *AAPG Bulletin*, Vol. 76 No. 1, pp 31-66. Tulsa, Oklahoma.
- Wilson, M.A., Palmer, T.J. (1992). *Hardgrounds and Hardground faunas*. University of Wales, Aberystwyth, Institute of Earth Studies Publications Vol 9, pp. 1–131.

ANEXOS

ANEXO 1: TABLAS DE DATOS

TABLA A1 – CUADRO RESUMEN DE MUESTRAS DE PETROGRAFIA – ROCAS TERRIGENAS

A1.1 - PORCENTAJES GENERALES

# Muestra	Ubicación		Unidad	Profundidad (ft)	Tamano grano (mm)	Clasificación	Total Almacón	Total matriz+c mt	POROS (%)	Qt	Qm	F	L	Lt
	X	Y												
LN3E-6	1078720.97	1548115.29	Tope Tocuy	1479.3-1479.5	0.05	Limolita calcárea con Glauconita	46.5	51.9	1.5	100.0	98.8	0.0	0.0	1.2
LN3E-7	1078720.97	1548115.29	Base Tocuy	1566.8-1567.1	0.03	Limolita calcárea con Glauconita	48.8	51.2	0.0	95.8	94.8	4.2	0.0	1.0
SOR-BCO	108523	1548423	Barco Sup	Afloramiento	0.20	Litoarenita de Grano fino	78.6	21.4	0.0	70.5	42.6	4.9	24.6	52.5
SOR-M45	1086951	1547582	Cuervos Med	Afloramiento	0.18	Sublitoarenita de grano fino	87.9	7.0	5.1	78.4	50.3	0.0	21.6	49.7
SOR-M1	1087563	1547258	Cuervos Med	Afloramiento	0.10	Litoarenita feldespática de grano fino	72.6	25.5	1.9	59.2	39.7	16.3	24.5	44.0
ED6E-4	1059101.97	1567314.54	Barco Inf	1103.6-1103.7	0.15	Litoarenita de Grano fino	87.9	9.7	2.4	67.3	39.3	2.4	30.3	58.3
ED6E-3	1059101.97	1567314.54	Barco Sup	880.3-880.4	0.42	Sublitoarenita de grano medio	79.9	10.8	9.3	85.3	68.7	3.1	11.7	28.2
ED6E-2	1059101.97	1567314.54	Barco Sup	630.5-630.7	0.13	Litoarenita de Grano fino	73.0	23.4	3.5	71.8	49.4	6.3	21.8	44.3
ED6E-1	1059101.97	1567314.54	Cuervos Inf	237.7-237.8	0.08 y 0.05	Grawaca sublítica de grano muy fino	51.3	40.4	8.2	79.4	61.8	3.9	16.7	34.3
ED1E-1	1059993.19	1565246.22	Cuervos Inf	754.3-754.4	0.19 y 0.06	Litoarenita de Grano fino	72.1	13.2	14.7	55.2	30.2	9.9	34.9	59.9
ED5E-2	1060388.45	1564384.65	Cuervos Med	1286.9-1287.0	0.21	Litoarenita de Grano fino	75.7	19.2	5.1	58.1	32.3	9.1	32.8	58.6
ED5E-1	1060388.45	1564384.65	Cuervos Sup	312.8-313.0	0.20	Litoarenita de Grano fino	75.1	24.9	0.0	39.2	20.3	13.4	47.5	66.4
BASE39	1056668	1555085	Eoceno	Afloramiento	0.30	Litoarenita de grano medio	68.4	22.8	8.8	72.5	24.9	2.6	24.9	72.5
IGUANAS	1062411	1553054	Cuesta	Afloramiento	0.53 y 0.07	Sublitoarenita de grano medio	54.0	42.1	3.9	82.6	33.8	0.0	17.4	66.2

A1.2 - DETALLE DEL ARMAZON

# Muestra	Cuarzo					Feldespatos		Líticos			Minerales Accesorios						Matriz		Cemento			
	Qm	Qpf	Qps	Qp	Qc	Pl	Fk	Ls	Lm	Lv	Micas y filosilicatos				Min. pesados	Intraclastos		Detritico	MO	Silic	Calc	Ferrug
											Biot	musc	Glauc	Clorita		Sil	Calc					
LN3E-6	32.7	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	2.3	0.0	7.7	0.0	0.0	40.0	0.8	2.3	8.8	0.0
LN3E-7	37.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	2.4	1.6	0.0	5.3	0.0	0.0	39.0	0.0	0.0	12.2	0.0
SOR-BCO	30.4	1.6	0.0	16.3	1.9	1.6	1.9	0.0	9.3	8.2	0.4	2.3	0.0	2.3	2.3	0.0	0.0	12.8	0.0	0.0	0.0	8.6
SOR-M45	43.5	0.9	0.0	11.2	12.1	0.0	0.0	2.8	9.8	6.1	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.5
SOR-M1	27.8	0.8	0.0	8.4	4.6	4.9	6.5	0.4	11.4	5.3	0.4	1.9	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	14.1	5.7	0.0	0.0	5.7
ED6E-4	33.6	1.2	0.0	14.6	8.1	0.4	1.6	0.4	19.8	5.7	0.0	2.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	1.2
ED6E-3	54.9	0.0	0.0	10.8	2.5	0.5	2.0	3.4	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	1.0	6.9	0.0
ED6E-2	33.6	1.2	0.0	11.3	2.7	0.4	3.9	0.4	9.0	5.5	0.4	3.5	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	19.1	0.0	0.8	0.8	2.7
ED6E-1	23.6	0.7	0.0	5.2	0.7	0.7	0.7	0.4	4.5	1.5	1.5	5.2	0.0	5.2	1.1	0.0	0.0	29.2	0.0	0.0	11.2	0.0
ED1E-1	20.2	0.0	0.0	14.3	2.3	2.3	4.3	0.0	15.1	8.1	0.4	2.3	0.0	1.2	1.6	0.0	0.0	11.6	0.0	0.0	0.0	1.6
ED5E-2	23.2	1.4	0.0	15.2	1.8	0.4	6.2	1.4	14.9	7.2	0.0	1.4	0.0	0.7	0.0	0.0	1.8	13.8	0.0	0.0	2.5	2.9
ED5E-1	14.4	0.0	0.0	10.8	2.6	3.3	6.2	8.5	16.1	9.2	0.7	1.3	0.0	1.6	0.3	0.0	0.0	18.4	1.6	0.0	0.0	4.9
BASE39	16.8	0.4	0.0	28.1	3.9	0.0	1.8	3.5	7.7	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	18.2	0.4	0.0	0.0	4.2
IGUANAS	18.2	1.3	2.6	19.5	2.9	0.0	0.0	4.9	3.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	37.4	0.0	0.0	0.0	4.7

TABLA A1 - CUADRO RESUMEN MUESTRAS DE PETROGRAFÍA - ROCAS TERRÍGENAS
A1.3 - PORCENTAJES NORMALIZADOS: ARMAZON - (MATRIZ+CEMENTO+POROS+MIN.ACESORIOS)

# Muestra	Ubicación		Unidad	Profundidad (ft)	Tamaño grano (mm)	Clasificación	ARMAZON NORMALIZADO												
	X	Y					CUARZO					FELDESPATO		LITICOS			INTRACLAST		
							Qm	Qpf	Qps	Qp	Qc	PI	Fk	Ls	Lm	Lv	Sil	Calc	
LN3E-6	1078720.97	1548115.29	Tope Tocuy	1479.3-1479.5	0.05	Limolita calcárea con Glauconita	98.8	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
LN3E-7	1078720.97	1548115.29	Base Tocuy	1566.8-1567.1	0.03	Limolita calcárea con Glauconita	94.8	0.0	0.0	1.0	0.0	2.1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SOR-BCO	108523	1548423	Barco Sup	Afloramiento	0.20	Litoarenita de Grano fino	42.6	2.2	0.0	23.0	2.7	2.2	2.7	0.0	13.1	11.5	0.0	0.0	0.0
SOR-M45	1086951	1547582	Cuervos Med	Afloramiento	0.18	Sublitoarenita de grano fino	50.3	1.1	0.0	13.0	14.1	0.0	0.0	3.2	11.4	7.0	0.0	0.0	0.0
SOR-M1	1087563	1547258	Cuervos Med	Afloramiento	0.10	Litoarenita feldespática de grano fino	39.7	1.1	0.0	12.0	6.5	7.1	9.2	0.5	16.3	7.6	0.0	0.0	0.0
ED6E-4	1059101.97	1567314.54	Barco Inf	1103.6-1103.7	0.15	Litoarenita de Grano fino	39.3	1.4	0.0	17.1	9.5	0.5	1.9	0.5	23.2	6.6	0.0	0.0	0.0
ED6E-3	1059101.97	1567314.54	Barco Sup	880.3-880.4	0.42	Sublitoarenita de grano medio	68.7	0.0	0.0	13.5	3.1	0.6	2.5	4.3	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0
ED6E-2	1059101.97	1567314.54	Barco Sup	630.5-630.7	0.13	Litoarenita de Grano fino	49.4	1.7	0.0	16.7	4.0	0.6	5.7	0.6	13.2	8.0	0.0	0.0	0.0
ED6E-1	1059101.97	1567314.54	Cuervos Inf	237.7-237.8	0.08 y 0.05	Grawaca subfítica de grano muy fino	61.8	2.0	0.0	13.7	2.0	2.0	2.0	1.0	11.8	3.9	0.0	0.0	0.0
ED1E-1	1059993.19	1565246.22	Cuervos Inf	754.3-754.4	0.19 y 0.06	Litoarenita de Grano fino	30.2	0.0	0.0	21.5	3.5	3.5	6.4	0.0	22.7	12.2	0.0	0.0	0.0
ED5E-2	1060388.45	1564384.65	Cuervos Med	1286.9-1287.0	0.21	Litoarenita de Grano fino	31.5	2.0	0.0	20.7	2.5	0.5	8.4	2.0	20.2	9.9	0.0	2.5	0.0
ED5E-1	1060388.45	1564384.65	Cuervos Sup	312.8-313.0	0.20	Litoarenita de Grano fino	20.3	0.0	0.0	15.2	3.7	4.6	8.8	12.0	22.6	12.9	0.0	0.0	0.0
BASE39	1056668	1555085	Eoceno	Afloramiento	0.30	Litoarenita de grano medio	24.6	0.5	0.0	41.0	5.6	0.0	2.6	5.1	11.3	8.2	1.0	0.0	0.0
IGUANAS	1062411	1553054	Cuesta	Afloramiento	0.53 y 0.07	Sublitoarenita de grano medio	33.8	2.4	4.8	36.2	5.3	0.0	0.0	9.2	6.3	1.9	0.0	0.0	0.0

TABLA A2 – CUADRO RESUMEN DE MUESTRAS DE PETROGRAFIA – ROCAS CALCÁREAS

A2.1 - DATOS GENERALES

# Muestra	Ubicación		Unidad	Profundidad (ft)	Clasificación		Facies Ambiente de Depósito	Total Almacén (%)	Total Matriz y Espar	Total Poros (%)
	X	Y			Dunham R. 1962	Folk R.1962				
LN3E-1	1078721	1548115.3	Mbo Socuy	719.3-719.6	Packstone de foraminíferos planctónicos con glauconita	Biomicrota empaquetada de foraminíferos planctónicos	Plataforma media a interna con buena circulación (lower shoreface)	49.86	44.47	5.83
LN3E-2	1078721	1548115.3	Mbo Socuy	954.6-954.9	Packstone de foraminíferos planctónicos con mat. org. y trazas de glauconita	Biomicrota carbonosa dispersa de foraminíferos planctónicos	Plataforma media (lower shoreface)	46.54	54.57	0.33
LN3E-3	1078721	1548115.3	La Luna	1210.7-1211.1	Wackestone de foraminíferos planctónicos	Biomicrota carbonosa dispersa de foraminíferos planctónicos	Plataforma externa (offshore)	31	64.33	5
LN3E-4	1078721	1548115.3	Tope Maracas	1435.0-1435.2	Packstone silicificado de foraminíferos planctónicos y bivalvos	Biomicrota silicificada empaquetada de foraminíferos planctónicos y bivalvos	Plataforma media a externa con episodios de mayor energía (lower shoreface-upper offshore)	50.8	46.7	2.5
LN3E-5	1078721	1548115.3	Base Maracas	1477.8-1478.0	Packstone recristalizado de bivalvos	Biomicrota recristalizada de bivalvos y ooides	Plataforma interna con buena circulación (shoreface)	58.5	39.23	2.2
LN3E-8	1078721	1548115.3	Tope Animas	1859.7-1859.9	Wackestone de foraminíferos planctónicos	Biomicrota carbonosa dispersa de foraminíferos planctónicos	Plataforma externa (offshore)	37.7	46.97	15.8

A2.2 - DETALLES DEL ALMACÉN

# Muestra	Aloquímicos (%)					Ortoquímicos (%)			Terrígenos (%)		Otros (%)		Porosidad (%)		Eventos Diagenéticos
	Fósiles	Pell	Ooid	Intra clastos	F-P-O Fosf	Micr	Spar	Qc	Qm	Micas	Oxidos de Fe	Bitumen	Fract	Otra	
LN3E-1	40.83	5.16				40.3	0.67		3.7	0.17	0.17	3.33		5.83	Dolomitización parcial en foraminíferos y pellets, disolución parcial de calcita
LN3E-2	44.2					40.7	8.2		1.17	1.17	0.5	5.17		0.33	Recristalización de calcita. Disolución parcial de calcita y precipitación de dolomita
LN3E-3	31					38	24.2	0.33				1.8	5		Disolución parcial y precipitación de calcita. Dolomitización de fósiles. Relleno de fracturas con calcita
LN3E-4	50.8					39.2	1.7	4				1.8	2.5		Silicificación. Disolución parcial en bivalvos. Relleno de fracturas con calcita
LN3E-5	55		1.3			5.8	30.1		2.2		3	0.33	2.2		Disolución parcial y precipitación de calcita equant. Recristalización de la matriz. Relleno de fracturas con calcita
LN3E-8	37.7					45.5					1.3	0.17	15.8		Disolución parcial y relleno de calcita en fracturas y foraminíferos

TABLA A3-1. Resultados de Geocronología - Muestra Caño Hondo (Fm Aguas Blancas)

No.	RELACIONES ISOTÓPICAS										EIDADES APARENTES (Ma)							
	U (ppm)	206Pb/204Pb	U/Th	206Pb*/207Pb* ± (%)	207Pb*/235U* ± (%)	206Pb*/238U ± (%)	error corr.	206Pb*/238U* ± (Ma)	207Pb*/235U ± (Ma)	206Pb*/207Pb* ± (Ma)	Mejor edac ± (Ma)							
1	88	25245	1.2	9.1332	4.7	4.4304	4.8	0.2935	0.9	0.19	1658.8	13.5	1718.0	39.8	1790.9	85.9	1790.9	85.9
3	182	39790	0.9	9.4105	3.2	3.9675	4.7	0.2708	3.5	0.75	1544.8	48.5	1627.6	38.4	1736.3	57.8	1736.3	57.8
4	136	64890	2.0	9.8422	2.3	3.9072	2.7	0.2789	1.5	0.54	1585.9	20.5	1615.2	21.8	1653.6	41.9	1653.6	41.9
5	303	49020	3.2	13.8297	2.6	1.5829	2.7	0.1588	0.8	0.30	949.9	7.1	963.5	16.8	994.6	52.3	994.6	52.3
6	142	56300	1.9	9.1607	2.1	4.5477	2.9	0.3021	2.1	0.71	1701.9	30.7	1739.7	24.1	1785.5	37.4	1785.5	37.4
7	256	124035	1.2	11.1739	0.9	2.9989	2.1	0.2430	1.9	0.91	1402.4	24.3	1407.3	16.2	1414.7	17.0	1414.7	17.0
8	255	52075	1.4	9.3217	2.5	3.4599	5.9	0.2339	5.4	0.91	1355.0	65.6	1518.1	46.6	1753.6	45.4	1753.6	45.4
9	102	4655	1.5	8.3516	4.1	4.5478	4.5	0.2755	1.9	0.42	1568.5	25.9	1739.8	37.2	1952.3	72.6	1952.3	72.6
10	51	16225	3.6	13.5727	4.5	1.6915	4.7	0.1665	1.6	0.33	992.9	14.4	1005.3	30.1	1032.6	90.0	1032.6	90.0
11	140	21595	0.8	15.7889	3.4	0.8722	4.7	0.0999	3.3	0.70	613.7	19.3	636.8	22.4	719.5	71.8	613.7	19.3
13	38	20890	0.5	10.6470	3.2	3.3479	4.5	0.2585	3.1	0.70	1482.3	41.4	1492.3	34.9	1506.6	59.9	1506.6	59.9
14	119	12420	1.1	8.7645	1.5	4.2780	1.9	0.2719	1.1	0.59	1550.6	15.6	1689.1	15.7	1865.6	27.8	1865.6	27.8
15	89	19835	2.2	10.5693	7.5	3.2190	7.6	0.2468	1.2	0.16	1421.7	15.7	1461.7	59.3	1520.4	142.4	1520.4	142.4
16	127	46240	1.6	11.2335	1.9	2.8596	3.6	0.2330	3.1	0.85	1350.1	37.4	1371.3	27.1	1404.6	36.2	1404.6	36.2
17	146	67045	1.7	10.5530	1.7	3.5097	2.2	0.2686	1.4	0.64	1533.8	19.2	1529.4	17.5	1523.3	32.1	1523.3	32.1
18	90	55485	1.3	8.9822	1.3	4.4431	2.1	0.2894	1.6	0.77	1638.7	23.6	1720.4	17.4	1821.2	24.2	1821.2	24.2
19	193	32650	2.0	9.0361	2.5	4.5224	2.6	0.2964	0.9	0.33	1673.3	13.0	1735.1	21.9	1810.4	45.1	1810.4	45.1
20	211	67650	1.7	9.1791	2.0	3.9278	3.0	0.2615	2.2	0.74	1497.4	29.1	1619.4	23.9	1781.8	36.5	1781.8	36.5
21	253	110010	2.5	11.4652	2.2	2.8930	3.6	0.2406	2.9	0.80	1389.6	36.4	1380.1	27.4	1365.4	41.6	1365.4	41.6
22	277	38190	0.9	17.7750	2.9	0.5057	4.2	0.0652	3.1	0.73	407.1	12.2	415.6	14.4	462.6	63.9	407.1	12.2
23	73	37580	1.6	11.0500	1.7	3.1613	3.4	0.2534	2.9	0.86	1455.7	38.2	1447.8	26.2	1436.0	32.8	1436.0	32.8
24	182	63470	1.8	8.9872	1.6	4.3061	2.9	0.2807	2.4	0.83	1594.8	34.2	1694.5	24.0	1820.2	29.6	1820.2	29.6
26	179	13175	1.1	9.1560	2.3	4.6166	4.2	0.3066	3.5	0.83	1723.8	52.2	1752.3	34.8	1786.4	42.7	1786.4	42.7
27	222	19030	1.5	9.0602	2.5	4.3601	4.3	0.2865	3.5	0.81	1624.0	49.5	1704.8	35.2	1805.6	45.3	1805.6	45.3
28	181	44270	1.1	8.9990	2.0	4.5957	2.7	0.2999	1.8	0.67	1691.0	27.2	1748.5	22.8	1817.9	36.9	1817.9	36.9
30	186	13235	2.5	12.2785	2.4	1.9639	3.7	0.1749	2.8	0.76	1039.0	27.0	1103.2	25.0	1232.1	47.8	1232.1	47.8
31	81	46080	1.1	8.9702	2.0	4.8886	4.0	0.3180	3.4	0.87	1780.2	53.5	1800.3	33.5	1823.7	35.9	1823.7	35.9
32	164	33690	3.7	13.7984	2.9	1.6030	3.3	0.1604	1.6	0.48	959.1	14.2	971.4	20.7	999.2	59.1	999.2	59.1
33	56	21485	3.2	12.5039	5.1	2.3212	5.9	0.2105	2.9	0.50	1231.5	32.7	1218.8	41.8	1196.3	100.9	1196.3	100.9
35	281	36280	4.0	11.8362	3.3	1.8421	8.7	0.1581	8.0	0.92	946.4	70.4	1060.6	57.0	1303.8	63.9	1303.8	63.9
34	240	26815	0.7	17.0935	4.6	0.6484	5.6	0.0804	3.2	0.57	498.4	15.3	507.5	22.4	548.6	100.6	498.4	15.3
36	295	127235	2.1	9.0792	1.8	4.3108	3.1	0.2839	2.5	0.82	1610.8	36.1	1695.4	25.4	1801.7	32.0	1801.7	32.0
38	947	7070	1.9	10.0379	4.1	1.1514	6.1	0.0838	4.5	0.74	518.9	22.2	777.9	33.0	1617.0	76.5	1617.0	76.5
39	156	63975	1.6	8.9072	1.8	5.1020	2.7	0.3296	2.0	0.74	1836.4	32.6	1836.4	23.3	1836.4	33.3	1836.4	33.3
40	128	60500	1.9	11.3368	2.0	2.9655	3.1	0.2438	2.4	0.76	1406.6	29.7	1398.8	23.3	1387.0	38.0	1387.0	38.0
43	307	100250	4.0	11.6553	2.0	2.6885	2.2	0.2273	0.9	0.39	1320.2	10.3	1325.3	16.2	1333.6	38.9	1333.6	38.9
44	158	75645	1.2	9.0990	2.2	4.6060	3.2	0.3040	2.2	0.71	1710.9	33.7	1750.4	26.4	1797.8	40.8	1797.8	40.8
45	202	69675	2.2	8.7780	4.2	4.7611	4.3	0.3031	0.6	0.15	1706.7	9.3	1778.1	35.8	1862.9	76.2	1862.9	76.2
46	80	6010	1.7	15.5085	10.0	0.6493	10.2	0.0730	1.8	0.17	454.4	7.7	508.1	40.7	757.4	211.8	454.4	7.7
47	261	119355	6.6	9.0253	3.0	4.6694	3.9	0.3056	2.5	0.65	1719.2	37.9	1761.8	32.4	1812.6	53.6	1812.6	53.6
48	71	10765	0.9	10.1686	2.0	2.8322	5.9	0.2089	5.6	0.94	1222.8	61.9	1364.1	44.3	1592.9	37.2	1592.9	37.2
50	99	55485	1.7	9.5735	1.8	4.0764	3.4	0.2830	2.9	0.85	1606.7	41.2	1649.6	27.8	1704.7	32.8	1704.7	32.8
51	143	78455	1.5	9.1925	2.0	4.1322	4.2	0.2755	3.7	0.88	1568.6	51.5	1660.7	34.5	1779.1	36.9	1779.1	36.9
52	212	26290	1.6	17.4626	2.1	0.6298	3.2	0.0798	2.4	0.76	494.7	11.5	495.9	12.5	501.7	45.8	494.7	11.5
53	76	32125	1.0	10.7359	2.1	3.2369	3.1	0.2520	2.3	0.74	1449.0	29.5	1466.0	23.9	1490.8	39.6	1490.8	39.6
54	188	55405	1.2	9.0038	1.7	4.4155	3.3	0.2883	2.8	0.86	1633.2	40.3	1715.3	27.0	1816.9	30.7	1816.9	30.7
55	315	141590	2.9	12.3033	1.3	2.2402	2.6	0.1999	2.3	0.87	1174.8	24.7	1193.7	18.5	1228.2	25.5	1228.2	25.5
56	231	46850	2.0	9.0806	1.3	4.0289	1.7	0.2653	1.1	0.64	1517.1	14.7	1640.0	13.8	1801.4	23.7	1801.4	23.7
57	146	62060	0.8	8.5628	1.4	5.1999	3.5	0.3229	3.2	0.92	1804.0	50.8	1852.6	30.0	1907.6	25.0	1907.6	25.0
58	141	67110	1.3	9.0643	1.7	4.6542	2.5	0.3060	1.9	0.76	1720.9	29.0	1759.0	21.2	1804.7	30.2	1804.7	30.2
59	230	52815	3.3	13.1838	1.9	1.8696	3.4	0.1788	2.8	0.84	1060.3	27.8	1070.4	22.5	1091.1	37.5	1091.1	37.5
61	126	87435	1.4	8.8073	2.2	5.1897	2.6	0.3315	1.3	0.52	1845.6	21.5	1850.9	22.0	1856.9	39.9	1856.9	39.9
62	299	58775	1.1	8.8811	1.9	4.4634	2.0	0.2875	0.6	0.30	1629.0	8.5	1724.2	16.2	1841.8	33.7	1841.8	33.7
63	104	42965	2.1	11.8461	2.4	2.3635	3.1	0.2031	1.9	0.61	1191.8	20.5	1231.6	21.8	1302.1	46.9	1302.1	46.9
64	213	137855	1.5	8.8322	2.5	4.8504	4.7	0.3107	3.1	0.66	1744.2	47.2	1793.7	39.4	1851.7	63.5	1851.7	63.5
65	963	21570	3.6	16.0584	6.7	0.6511	7.6	0.0758	3.6	0.47	471.2	16.1	509.2	30.3	683.5	142.6	471.2	16.1
66	275	63410	3.6	12.7684	2.7	1.5982	10.6	0.1480	10.2	0.97	889.8	84.9	969.5	66.1	1154.9	53.6	1154.9	53.6
67	191	39355	1.1	8.9253	2.1	4.2139	5.0	0.2728	4.5	0.91	1554.9	62.2	1676.7	40.8	1832.8	38.1	1832.8	38.1
68	106	63495	1.1	9.2484	2.1	4.5222	2.7	0.3033	1.8	0.64	1707.8	26.3	1735.1	22.9	1768.1	38.7	1768.1	38.7
69	287	70730	1.3	9.0577	1.8	3.6529	2.9	0.2400	2.3	0.79	1386.5	28.2	1561.1	22.8	1806.0	31.8	1806.0	31.8
70	199	67035	1.4	9.3193	1.6	4.0594	2.6	0.2744	2.1	0.79	1563.0	28.7	1646.2	21.2	1754.1	28.9	1754.1	28.9
71	143	16975	2.1	9.2690	1.8	4.4512	3.1	0.2992	2.6	0.82	1687.5	38.5	1721.9	26.1	1764.0	32.6	1764.0	32.6
73	142	52570	1.9	9.0856	1.9	4.2921	5.9	0.2828	5.6	0.95	1605.6	80.0	1691.8	48.9	1800.5	34.4	1800.5	34.4
74	70	47800	2.0	8.9120	2.1	4.7487	3.8	0.3069	3.2	0.84	1725.6	48.7	1775.9	32.2	1835.5	37.9	1835.5	37.9
75	150	56675	1.8	9.0013	1.7	4.6506	3.1	0.3036	2.6	0.84	1709.2	38.6	1758.4	25.7	1817.4	30.7	1817.4	30.7

76	202	43705	2.3	11.5885	2.5	2.4488	4.5	0.2058	3.7	0.83	1206.5	40.9	1257.1	32.2	1344.7	47.5	1344.7	47.5
77	201	6310	1.3	21.7640	10.0	0.1585	10.2	0.0250	1.8	0.18	159.3	2.9	149.4	14.1	-5.1	241.9	159.3	2.9
78	101	76935	1.8	8.9905	1.1	4.7973	1.9	0.3128	1.6	0.81	1754.5	24.3	1784.4	16.4	1819.6	20.7	1819.6	20.7
79	114	33830	1.7	10.5496	4.1	3.3430	4.5	0.2558	2.0	0.43	1468.2	25.9	1491.2	35.4	1523.9	76.9	1523.9	76.9
80	157	66730	2.3	10.3141	2.4	3.5929	3.7	0.2688	2.8	0.76	1534.6	38.2	1548.0	29.1	1566.3	44.2	1566.3	44.2
81	89	52650	1.3	8.7911	3.1	4.9328	3.4	0.3145	1.5	0.44	1762.9	23.1	1807.9	29.1	1860.2	56.0	1860.2	56.0
84	103	66630	2.0	7.6820	1.4	6.7764	2.1	0.3775	1.6	0.77	2064.8	28.8	2082.6	18.7	2100.3	23.7	2100.3	23.7
85	313	96580	10.5	13.9333	1.1	1.5808	1.8	0.1597	1.4	0.79	955.3	12.4	962.7	11.1	979.4	22.4	955.3	12.4
86	69	34910	0.5	10.3483	2.4	3.5653	2.5	0.2676	0.8	0.31	1528.6	10.8	1541.9	19.9	1560.1	44.7	1560.1	44.7
87	211	24400	1.7	7.9196	4.7	4.6803	5.7	0.2688	3.2	0.56	1534.8	43.8	1763.7	47.9	2046.6	83.7	2046.6	83.7
88	128	64125	1.3	9.1794	2.5	4.6990	2.6	0.3128	0.7	0.26	1754.6	10.4	1767.1	21.5	1781.7	45.2	1781.7	45.2
89	165	27095	3.0	9.0199	1.4	3.7847	1.5	0.2476	0.7	0.43	1426.0	8.4	1589.5	12.4	1813.6	25.3	1813.6	25.3
90	110	29265	1.6	11.7268	2.7	2.5464	3.6	0.2166	2.3	0.65	1263.8	26.6	1285.4	26.1	1321.8	52.9	1321.8	52.9
91	316	55520	2.9	10.2992	1.4	3.2135	2.8	0.2400	2.4	0.86	1386.9	29.4	1460.4	21.3	1569.0	26.6	1569.0	26.6
92	75	37905	2.5	11.1100	1.4	2.9055	2.2	0.2341	1.7	0.76	1356.0	20.2	1383.3	16.3	1425.7	26.6	1425.7	26.6
96	294	126310	2.1	9.2966	1.3	4.3362	2.6	0.2924	2.3	0.87	1653.4	32.8	1700.3	21.4	1758.6	23.6	1758.6	23.6
97	86	22685	1.7	14.1604	2.9	1.5127	3.9	0.1554	2.7	0.68	930.9	23.0	935.5	23.9	946.4	58.8	930.9	23.0
94	189	82375	0.9	9.1640	2.3	4.7350	2.9	0.3147	1.8	0.63	1763.8	28.1	1773.5	24.3	1784.8	41.2	1784.8	41.2
98	140	71065	0.7	8.6049	1.5	4.8840	2.7	0.3048	2.2	0.82	1715.1	33.1	1799.5	22.6	1898.8	27.7	1898.8	27.7
99	79	41285	1.5	11.0154	2.5	3.1654	3.7	0.2529	2.7	0.73	1453.3	35.4	1448.8	28.6	1442.0	47.9	1442.0	47.9
100	91	27035	2.1	11.5155	3.3	2.4930	4.4	0.2082	2.9	0.67	1219.3	32.6	1270.0	31.9	1356.9	63.3	1356.9	63.3

TABLA A3-2. Resultados de Geocronología - Muestra DB1E (Fm Molino)

No.	RELACIONES ISOTÓPICAS										EIDADES APARENTES (Ma)							
	U (ppm)	206Pb/204Pb	U/Th	206Pb* ± 207Pb* (%)	207Pb* ± 235U* (%)	206Pb* ± 238U (%)	error corr.	206Pb* ± 238U* (Ma)	207Pb* ± 235U (Ma)	206Pb* ± 207Pb* (Ma)	Mejor edac (Ma)	± (Ma)						
2	198	10775	4.8	20.5866	8.0	0.2445	9.0	0.0365	4.1	0.46	231.1	9.4	222.1	18.0	127.4	188.5	231.1	9.4
3	116	11110	1.4	7.9755	2.8	5.9395	3.5	0.3436	2.1	0.59	1903.8	34.6	1967.0	30.7	2034.2	50.4	2034.2	50.4
4	226	29585	1.2	8.1816	2.8	5.2025	3.1	0.3087	1.4	0.45	1734.4	21.0	1853.0	26.3	1988.9	49.2	1988.9	49.2
6	84	28795	1.6	11.3816	2.4	2.8873	2.4	0.2383	0.5	0.22	1378.1	6.5	1378.6	18.2	1379.4	45.2	1379.4	45.2
7	227	60615	1.3	8.9328	1.0	4.7175	1.4	0.3056	1.0	0.73	1719.2	15.4	1770.4	11.7	1831.2	17.4	1831.2	17.4
8	734	162505	1.3	11.3154	1.5	2.8941	2.9	0.2375	2.5	0.86	1373.7	30.9	1380.4	22.0	1390.6	28.8	1390.6	28.8
9	98	25080	1.9	12.0187	2.1	2.5347	3.2	0.2209	2.5	0.77	1286.9	28.7	1282.0	23.4	1274.0	40.2	1274.0	40.2
10	71	2200	1.7	23.9869	16.7	0.1090	16.8	0.0190	1.1	0.07	121.1	1.4	105.0	16.7	-245.2	425.5	121.1	1.4
11	381	6905	1.2	22.6874	12.7	0.0730	12.8	0.0120	1.6	0.12	76.9	1.2	71.5	8.9	-106.4	314.7	76.9	1.2
12	233	88485	1.4	9.0272	0.8	4.9604	1.1	0.3248	0.7	0.64	1813.0	10.7	1812.6	8.9	1812.2	14.7	1812.2	14.7
15	242	44290	1.2	9.4168	0.9	3.8045	3.2	0.2598	3.0	0.96	1489.0	40.3	1593.7	25.4	1735.0	16.3	1735.0	16.3
16	197	77025	1.6	6.7582	2.0	6.3841	4.5	0.3129	4.0	0.89	1755.0	61.3	2030.1	39.3	2322.6	34.6	2322.6	34.6
17	205	63625	2.0	11.2313	1.1	2.9842	2.0	0.2431	1.7	0.84	1402.7	20.8	1403.6	14.9	1404.9	20.1	1404.9	20.1
19	159	34325	1.1	12.1809	2.5	2.3143	2.6	0.2045	0.5	0.19	1199.2	5.5	1216.7	18.2	1247.8	49.4	1247.8	49.4
18	330	10575	1.1	19.5363	4.7	0.1748	4.9	0.0248	1.3	0.27	157.7	2.0	163.6	7.3	249.2	107.8	157.7	2.0
20	147	83715	1.4	7.9774	1.3	6.4852	2.2	0.3752	1.8	0.80	2053.9	31.5	2043.9	19.6	2033.8	23.5	2033.8	23.5
21	98	38415	1.3	10.3574	1.4	3.6239	1.6	0.2722	0.8	0.49	1552.1	10.8	1554.8	12.7	1558.5	26.1	1558.5	26.1
23	464	22810	4.2	16.9728	2.8	0.4609	3.2	0.0567	1.4	0.45	355.8	4.9	384.9	10.1	564.0	61.5	355.8	4.9
24	353	6815	1.1	16.5001	1.4	0.4080	1.5	0.0488	0.5	0.34	307.3	1.5	347.4	4.4	625.3	30.3	307.3	1.5
25	182	40555	1.8	10.6421	1.0	3.0711	1.1	0.2370	0.5	0.45	1371.3	6.2	1425.5	8.6	1507.4	18.9	1507.4	18.9
26	433	149700	3.7	8.6101	0.8	5.4214	1.2	0.3386	0.9	0.74	1879.7	14.2	1888.2	10.0	1897.7	14.0	1897.7	14.0
28	569	138155	3.0	10.2163	1.1	3.6410	2.6	0.2698	2.4	0.91	1539.7	32.7	1558.5	20.8	1584.2	19.8	1584.2	19.8
29	193	2575	1.2	7.1712	7.7	6.3432	8.2	0.3299	2.6	0.32	1838.0	41.3	2024.5	71.7	2220.3	134.3	2220.3	134.3
31	269	33085	0.8	9.2217	1.0	4.2546	1.2	0.2846	0.8	0.61	1614.3	10.9	1684.6	10.3	1773.3	18.1	1773.3	18.1
32	119	54985	0.8	9.2886	1.1	4.6662	1.4	0.3144	0.9	0.61	1762.1	13.3	1761.2	11.9	1760.1	20.7	1760.1	20.7
34	138	27220	1.2	13.9154	2.1	1.6391	2.9	0.1654	2.0	0.69	986.8	18.3	985.4	18.3	982.0	43.0	982.0	43.0
35	286	11305	5.6	19.5457	6.4	0.2456	6.7	0.0348	1.8	0.27	220.6	3.9	223.0	13.4	248.1	148.1	220.6	3.9
36	168	4735	0.2	13.4203	10.1	1.0268	10.5	0.0999	2.7	0.26	614.1	16.0	717.3	53.9	1055.4	203.8	614.1	16.0
37	309	74320	1.3	12.2367	1.3	2.1670	2.0	0.1923	1.5	0.74	1133.9	15.5	1170.5	13.9	1238.8	26.3	1238.8	26.3
38	295	23865	1.7	8.4316	1.0	4.0695	1.1	0.2489	0.5	0.44	1432.6	6.4	1648.2	9.3	1935.2	18.3	1935.2	18.3
39	148	65835	1.3	9.0948	1.1	4.9251	1.3	0.3249	0.8	0.58	1813.5	12.3	1806.6	11.3	1798.6	19.8	1798.6	19.8
40	300	49485	1.1	12.3990	1.6	2.1777	3.4	0.1958	3.0	0.88	1152.9	31.5	1173.9	23.6	1212.9	32.1	1212.9	32.1
42	459	18075	1.2	8.5258	3.8	3.9986	4.0	0.2473	1.1	0.28	1424.3	14.6	1633.9	32.6	1915.3	69.0	1915.3	69.0
41	340	51065	1.7	10.7232	1.2	3.0949	1.4	0.2407	0.6	0.45	1390.3	7.8	1431.4	10.6	1493.1	23.5	1493.1	23.5
44	220	20480	1.0	10.0638	3.7	3.0840	4.2	0.2251	2.0	0.48	1308.8	23.9	1428.7	32.3	1612.2	68.8	1612.2	68.8
43	191	44460	2.1	10.8584	1.3	3.1300	1.5	0.2465	0.8	0.55	1420.4	10.5	1440.1	11.6	1469.3	23.9	1469.3	23.9
45	304	98860	0.5	7.6082	1.0	6.9182	1.1	0.3817	0.6	0.49	2084.4	10.0	2101.0	10.2	2117.2	17.5	2117.2	17.5
47	96	41650	0.6	5.4093	1.2	12.5493	3.4	0.4923	3.2	0.93	2580.8	67.8	2646.4	32.1	2697.0	20.2	2697.0	20.2
48	130	28530	0.8	10.0440	7.6	3.4582	7.9	0.2519	2.4	0.30	1448.3	30.5	1517.7	62.7	1615.9	141.6	1615.9	141.6
49	310	89780	2.0	10.2900	1.3	3.6193	2.5	0.2701	2.1	0.85	1541.3	29.2	1553.8	20.0	1570.7	24.9	1570.7	24.9
50	152	2905	1.1	19.6193	13.9	0.1317	14.0	0.0187	1.5	0.11	119.7	1.8	125.6	16.5	239.5	321.1	119.7	1.8
52	195	80950	1.8	8.8644	2.1	5.0617	2.6	0.3254	1.5	0.59	1816.1	24.4	1829.7	22.1	1845.2	38.0	1845.2	38.0
51	227	2730	1.6	16.0043	23.9	0.1094	24.0	0.0127	1.7	0.07	81.3	1.4	105.4	24.0	690.7	516.7	81.3	1.4
54	282	51265	4.3	13.4668	1.1	1.7469	1.7	0.1706	1.3	0.77	1015.5	12.6	1026.0	11.2	1048.4	22.4	1048.4	22.4
53	443	86925	1.5	10.3870	1.0	3.6037	1.2	0.2715	0.7	0.53	1548.3	8.9	1550.4	9.7	1553.1	19.3	1553.1	19.3
55	163	38070	1.0	8.9598	1.4	4.8363	1.9	0.3143	1.3	0.66	1761.7	19.4	1791.2	16.0	1825.8	25.8	1825.8	25.8
56	485	7260	0.7	14.2097	4.9	0.8935	5.8	0.0921	3.1	0.53	567.8	16.8	648.2	27.8	939.3	100.6	567.8	16.8
57	632	30890	2.7	10.4547	5.5	2.4062	8.0	0.1825	5.9	0.73	1080.4	58.3	1244.5	57.6	1540.9	103.0	1540.9	103.0
58	173	77680	2.9	10.4547	1.7	3.6437	2.2	0.2763	1.4	0.63	1572.6	19.3	1559.1	17.5	1540.9	32.2	1540.9	32.2
59	717	21115	1.0	19.8587	1.6	0.2124	2.3	0.0306	1.7	0.72	194.3	3.2	195.6	4.1	211.4	36.9	194.3	3.2
60	306	40200	3.0	13.1466	1.6	1.7722	1.8	0.1690	0.9	0.52	1006.5	8.8	1035.3	11.8	1096.8	31.0	1096.8	31.0

TABLA A3-3. Resultados de Geocronología - Muestra BARCO-1E (Fm Barco)

No.	RELACIONES ISOTÓPICAS									EIDADES APARENTES (Ma)								
	U (ppm)	206Pb/204Pb	U/Th	206Pb* ± 207Pb* (%)	207Pb* ± 235U* (%)	206Pb* ± 238U (%)	error corr.	206Pb* ± 238U* (Ma)	207Pb* ± 235U (Ma)	206Pb* ± 207Pb* (Ma)	Mejor edac (Ma)	± (Ma)						
2	210	189430000	3.0	10.6258	1.8	3.3406	2.2	0.2574	1.3	0.58	1476.8	16.5	1490.6	16.8	1510.3	33.0	1510.3	33.0
3	285	25040000	2.1	8.7273	8.6	4.6426	9.0	0.2939	2.6	0.29	1660.8	37.6	1757.0	75.0	1873.3	155.2	1873.3	155.2
4	307	122710000	2.5	8.4426	1.1	5.3859	3.1	0.3298	2.9	0.94	1837.4	46.8	1882.6	26.7	1932.9	19.3	1932.9	19.3
5	245	181700000	1.2	10.4166	1.6	3.5191	2.3	0.2659	1.7	0.73	1519.8	22.6	1531.5	18.0	1547.8	29.1	1547.8	29.1
6	170	200030000	1.0	8.6963	3.6	5.0922	5.3	0.3212	4.0	0.75	1795.4	62.4	1834.8	45.3	1879.7	64.0	1879.7	64.0
7	422	304800000	2.4	10.2358	1.9	3.4983	2.7	0.2597	2.0	0.74	1488.3	26.8	1526.8	21.6	1580.6	34.6	1580.6	34.6
8	79	36770000	1.2	10.2806	2.4	3.6676	2.5	0.2735	0.7	0.27	1558.4	9.3	1564.3	19.8	1572.4	44.8	1572.4	44.8
9	62	22630000	2.6	17.8706	7.2	0.6943	7.5	0.0900	2.2	0.29	555.5	11.6	535.4	31.2	450.7	159.2	555.5	11.6
10	1333	49010000	2.0	21.2530	1.7	0.0687	2.5	0.0106	1.9	0.75	67.9	1.3	67.4	1.6	51.9	39.9	67.9	1.3
11	190	160130000	6.1	12.2954	2.0	2.4022	2.5	0.2142	1.6	0.63	1251.2	18.2	1243.3	18.1	1229.4	38.3	1229.4	38.3
12	438	248450000	2.7	10.4996	1.2	3.4125	1.6	0.2599	1.1	0.70	1489.2	15.0	1507.3	12.7	1532.9	21.8	1532.9	21.8
13	81	119210000	1.4	8.6228	2.0	5.4508	2.3	0.3409	1.0	0.43	1890.9	16.1	1892.9	19.3	1895.0	36.5	1895.0	36.5
15	296	398660000	4.7	9.0070	1.2	5.0268	1.7	0.3284	1.1	0.67	1830.5	17.7	1823.8	14.0	1816.2	22.3	1816.2	22.3
14	293	225710000	1.3	10.1928	1.8	3.7718	2.3	0.2788	1.5	0.65	1585.5	20.9	1586.8	18.4	1588.5	32.7	1588.5	32.7
16	461	152780000	4.1	16.7095	1.7	0.8256	1.9	0.1001	0.8	0.41	614.7	4.5	611.2	8.5	598.0	36.6	614.7	4.5
19	104	71850000	3.0	12.1342	2.6	2.4666	2.8	0.2171	1.2	0.41	1266.4	13.2	1262.3	20.4	1255.3	50.5	1255.3	50.5
20	110	109910000	3.4	11.7096	1.4	2.6556	1.9	0.2255	1.4	0.71	1311.0	16.1	1316.2	14.2	1324.6	26.3	1324.6	26.3
18	155	109950000	3.5	10.5798	2.9	3.2921	3.2	0.2526	1.2	0.39	1451.9	16.0	1479.2	24.8	1518.5	55.3	1518.5	55.3
21	136	189410000	1.3	8.9450	2.1	5.1346	2.7	0.3331	1.6	0.59	1853.4	25.3	1841.8	22.6	1828.8	38.8	1828.8	38.8
22	237	56600000	2.8	8.5048	1.8	4.3232	2.9	0.2667	2.2	0.78	1523.9	30.4	1697.8	23.7	1919.8	32.3	1919.8	32.3
23	194	238780000	1.5	9.0099	1.6	4.8124	2.1	0.3145	1.3	0.65	1762.7	20.7	1787.1	17.4	1815.7	28.5	1815.7	28.5
25	111	56850000	1.4	12.2232	2.3	2.4148	2.8	0.2141	1.5	0.54	1250.5	16.8	1247.0	19.8	1241.0	45.7	1241.0	45.7
4A	203	23110000	6.1	9.1490	2.8	4.2338	5.2	0.2809	4.4	0.84	1596.1	61.6	1680.6	42.6	1787.8	51.0	1787.8	51.0
26	123	129190000	1.9	9.6305	1.4	4.3344	1.5	0.3027	0.6	0.42	1704.9	9.4	1699.9	12.3	1693.8	24.9	1693.8	24.9
27	372	289440000	1.9	10.5338	0.9	3.4778	1.9	0.2657	1.7	0.88	1518.9	22.6	1522.2	14.9	1526.7	16.8	1526.7	16.8
28	213	116640000	4.6	11.5371	2.2	2.6174	3.3	0.2190	2.5	0.75	1276.7	28.6	1305.5	24.1	1353.3	41.5	1353.3	41.5
29	185	215340000	2.3	10.3806	1.2	3.4855	2.9	0.2624	2.7	0.92	1502.2	35.5	1523.9	22.8	1554.3	21.8	1554.3	21.8
30	248	186710000	3.0	8.7721	1.3	4.9525	2.4	0.3151	2.0	0.84	1765.7	30.6	1811.2	20.0	1864.1	23.5	1864.1	23.5
31	125	10130000	1.2	18.1139	8.2	0.1713	8.6	0.0225	2.5	0.29	143.5	3.6	160.6	12.7	420.6	183.1	143.5	3.6
32	306	279830000	5.5	10.4068	1.4	3.4086	1.7	0.2573	1.0	0.56	1475.9	12.7	1506.4	13.5	1549.5	26.7	1549.5	26.7
33	107	103470000	1.8	10.3010	1.8	3.5558	4.4	0.2657	4.1	0.91	1518.7	54.9	1539.7	35.2	1568.7	33.7	1568.7	33.7
34	162	200810000	2.2	9.4777	2.0	4.4268	3.1	0.3043	2.4	0.76	1712.6	35.5	1717.4	25.8	1723.2	37.5	1723.2	37.5
35	187	227530000	1.8	8.9855	1.5	4.9468	5.4	0.3224	1.9	0.78	1801.3	29.4	1810.3	20.4	1820.6	27.6	1820.6	27.6
36	214	75270000	1.3	8.7050	4.5	4.6408	2.4	0.2930	2.9	0.54	1656.5	42.1	1756.6	44.7	1877.9	81.3	1877.9	81.3
37	107	94810000	1.9	11.3129	2.6	2.9021	3.0	0.2381	1.4	0.48	1376.9	17.7	1382.4	22.5	1391.1	50.3	1391.1	50.3
38	730	279560000	3.6	16.3526	1.5	0.8354	2.3	0.0991	1.7	0.76	609.0	10.0	616.6	10.5	644.6	31.8	609.0	10.0
39	171	116870000	2.1	11.6381	1.7	2.5878	2.8	0.2184	2.2	0.79	1273.6	25.8	1297.2	20.7	1336.5	33.6	1336.5	33.6
40	84	73560000	1.2	10.6426	2.4	3.4423	3.4	0.2657	2.4	0.71	1518.9	32.3	1514.1	26.7	1507.3	45.3	1507.3	45.3
41	125	61850000	1.7	10.0613	2.1	3.6560	3.8	0.2668	3.2	0.84	1524.4	43.7	1561.8	30.7	1612.7	39.1	1612.7	39.1
42	874	653240000	6.8	9.6319	3.5	4.0609	4.0	0.2837	2.0	0.49	1609.9	28.2	1646.5	32.8	1693.5	64.5	1693.5	64.5
43	84	30500000	1.4	16.9513	4.3	0.8169	4.7	0.1004	1.8	0.37	616.9	10.3	606.3	21.4	566.8	94.5	616.9	10.3
44	162	44210000	1.5	17.8481	4.5	0.6335	6.3	0.0820	4.3	0.69	508.0	21.1	498.3	24.7	453.5	100.8	508.0	21.1
45	133	139300000	1.0	10.1755	1.9	3.8366	2.2	0.2831	1.1	0.50	1607.1	15.5	1600.5	17.6	1591.6	35.3	1591.6	35.3
46	119	8100000	0.5	15.0213	11.3	0.4799	11.4	0.0523	1.5	0.13	328.6	4.7	398.0	37.6	824.4	237.0	328.6	4.7
47	156	53540000	2.0	11.9156	2.8	2.2531	2.9	0.1947	0.9	0.32	1146.8	9.9	1197.7	20.4	1290.8	53.5	1290.8	53.5
49	940	20660000	7.4	11.6010	5.7	1.8620	5.8	0.1567	1.4	0.24	938.2	12.2	1067.7	38.7	1342.6	109.8	1342.6	109.8
48	244	235710000	1.8	8.4140	1.5	5.7238	2.2	0.3493	1.7	0.75	1931.2	28.0	1935.0	19.4	1939.0	26.5	1939.0	26.5
50	132	147450000	1.9	8.9210	3.0	5.1882	3.1	0.3357	0.7	0.23	1865.9	11.5	1850.7	26.6	1833.6	55.1	1833.6	55.1
52	155	146460000	1.6	8.8757	1.5	5.1423	1.7	0.3310	0.9	0.54	1843.3	15.1	1843.1	14.8	1842.9	26.6	1842.9	26.6
53	95	51880000	2.6	13.6364	2.2	1.7651	3.1	0.1746	2.2	0.70	1037.2	20.8	1032.7	20.2	1023.2	45.3	1023.2	45.3
55	241	298060000	3.3	7.1396	3.3	6.7537	3.7	0.3497	1.7	0.45	1933.2	27.9	2079.7	32.6	2228.0	56.8	2228.0	56.8
54	192	154750000	1.1	8.3703	1.3	5.8049	1.5	0.3524	0.7	0.49	1946.0	12.3	1947.1	12.9	1948.3	23.2	1948.3	23.2
56	1139	299760000	18.4	17.0580	1.9	0.6723	2.4	0.0832	1.5	0.61	515.0	7.3	522.1	9.9	553.1	42.1	515.0	7.3
58	130	37370000	3.0	9.0287	2.9	4.4363	3.1	0.2905	1.0	0.33	1644.0	14.9	1719.1	25.7	1811.9	53.1	1811.9	53.1
59	76	61740000	1.8	11.3653	2.0	2.9893	2.1	0.2464	0.5	0.24	1419.9	6.4	1404.9	16.0	1382.2	39.2	1382.2	39.2
60	530	222350000	3.0	16.7325	1.2	0.8183	1.4	0.0993	0.7	0.52	610.3	4.3	607.1	6.5	595.0	26.2	610.3	4.3
61	261	279240000	6.2	8.3833	1.4	5.8395	2.3	0.3551	1.8	0.78	1958.7	29.7	1952.3	19.6	1945.5	25.2	1945.5	25.2
62	327	310090000	2.7	10.4369	1.7	3.5737	3.0	0.2705	2.5	0.83	1543.4	33.6	1543.7	23.5	1544.1	31.2	1544.1	31.2
63	123	147990000	1.6	8.5571	2.1	5.6068	3.1	0.3480	2.4	0.75	1924.9	39.3	1917.1	27.1	1908.8	37.4	1908.8	37.4
64	127	143980000	1.4	8.3388	1.6	5.8874	3.0	0.3561	2.5	0.84	1963.5	42.7	1959.4	26.0	1955.0	28.8	1955.0	28.8
65	54	38130000	0.9	10.1594	3.4	3.9023	3.6	0.2875	1.1	0.32	1629.2	16.4	1614.2	28.9	1594.6	63.3	1594.6	63.3
66	474	226540000	3.2	13.6622	1.9	1.6471	3.2	0.1632	2.5	0.80	974.6	22.7	988.4	19.9	1019.3	38.7	1019.3	38.7
67	289	202410000	2.4	8.9150	1.3	5.1601	2.8	0.3336	2.4	0.88	1856.0	39.4	1846.1	23.6	1834.9	24.1	1834.9	24.1
68	78	91290000	2.2	10.6559	2.0	3.4885	2.2	0.2696	1.0	0.44	1538.8	13.0	1524.6	17.2	1505.0	37.0	1505.0	37.0
69	60	56740000	1.5	10.1930														

70	619	8220000	1.7	18.9879	3.1	0.0943	3.6	0.0130	1.8	0.50	83.2	1.5	91.5	3.2	314.4	71.4	83.2	1.5
72	117	141170000	1.4	9.8560	1.2	4.1019	1.7	0.2932	1.3	0.73	1657.6	18.3	1654.7	13.9	1651.0	21.5	1651.0	21.5
73	88	84220000	1.1	10.3807	1.8	3.6408	2.7	0.2741	2.0	0.75	1561.6	28.0	1558.5	21.4	1554.3	33.2	1554.3	33.2
75	112	55850000	3.0	13.6757	1.0	1.6540	1.8	0.1640	1.6	0.85	979.2	14.4	991.1	11.7	1017.3	19.4	1017.3	19.4
76	192	70990000	1.9	9.7230	1.4	3.8507	2.6	0.2715	2.1	0.83	1548.6	29.3	1603.4	20.6	1676.2	26.2	1676.2	26.2
77	63	52600000	1.8	10.8965	2.9	3.2003	3.9	0.2529	2.7	0.67	1453.5	34.5	1457.2	30.5	1462.7	55.5	1462.7	55.5
78	148	146680000	3.1	11.2516	1.8	2.9714	2.5	0.2425	1.7	0.68	1399.6	21.0	1400.3	18.7	1401.5	34.7	1401.5	34.7
79	72	50380000	1.5	11.8038	3.0	2.6406	3.8	0.2261	2.4	0.62	1313.8	28.3	1312.0	28.2	1309.1	58.2	1309.1	58.2
80	167	101120000	2.5	10.7604	1.2	3.2502	2.4	0.2537	2.1	0.87	1457.3	27.9	1469.2	19.0	1486.5	22.5	1486.5	22.5
82	200	153290000	2.4	12.9068	2.2	2.0794	2.5	0.1946	1.3	0.51	1146.5	13.3	1142.0	17.2	1133.5	43.0	1133.5	43.0
83	218	115420000	1.9	11.6018	1.6	2.6827	2.5	0.2257	2.0	0.78	1312.1	23.1	1323.7	18.5	1342.5	30.1	1342.5	30.1
84	265	67330000	1.0	9.3004	0.9	3.8996	2.4	0.2630	2.2	0.93	1505.4	29.5	1613.6	19.1	1757.8	15.7	1757.8	15.7
81	1003	189140000	3.0	10.4129	1.6	3.4721	2.0	0.2622	1.3	0.62	1501.2	17.1	1520.9	16.2	1548.4	30.1	1548.4	30.1
85	224	157330000	1.8	9.2363	1.8	4.7053	2.1	0.3152	1.1	0.54	1766.2	17.5	1768.2	17.4	1770.5	32.0	1770.5	32.0
86	87	18950000	1.1	11.0832	6.5	2.2133	7.0	0.1779	2.4	0.34	1055.6	23.3	1185.3	48.7	1430.3	125.0	1430.3	125.0
88	110	74040000	1.1	12.8885	2.2	1.9802	4.3	0.1851	3.7	0.86	1094.8	37.7	1108.8	29.2	1136.3	43.4	1136.3	43.4
87	321	138590000	5.2	16.2402	1.6	0.8727	2.7	0.1028	2.2	0.81	630.7	12.9	637.0	12.6	659.4	33.9	630.7	12.9
89	30	43800000	2.5	10.0561	2.7	3.9195	2.9	0.2859	1.0	0.35	1620.8	14.6	1617.7	23.5	1613.7	50.7	1613.7	50.7
90	165	48380000	2.0	9.9832	2.4	3.8469	2.9	0.2785	1.6	0.54	1584.0	21.8	1602.6	23.1	1627.2	44.8	1627.2	44.8
91	98	33880000	2.4	16.9507	2.7	0.7053	4.0	0.0867	2.9	0.73	536.1	15.0	542.0	16.7	566.9	58.8	536.1	15.0
93	291	262410000	1.4	10.5726	1.8	3.4853	2.5	0.2672	1.7	0.69	1526.8	23.0	1523.9	19.4	1519.8	33.6	1519.8	33.6
92	65	56810000	1.2	10.5827	2.6	3.4995	3.5	0.2686	2.3	0.66	1533.7	31.4	1527.1	27.5	1518.0	49.4	1518.0	49.4
94	69	48600000	2.4	13.8047	2.6	1.6493	2.9	0.1651	1.4	0.47	985.2	12.4	989.3	18.3	998.3	51.8	998.3	51.8
95	53	62360000	1.6	8.6032	1.3	5.5568	1.9	0.3467	1.4	0.73	1918.9	22.6	1909.4	16.1	1899.1	23.2	1899.1	23.2
96	157	160460000	2.3	10.1367	1.6	3.8418	3.1	0.2824	2.6	0.86	1603.6	37.3	1601.5	24.7	1598.8	29.3	1598.8	29.3
97	62	51000000	2.9	14.1694	3.7	1.6025	4.0	0.1647	1.5	0.37	982.7	13.3	971.2	25.0	945.1	76.2	982.7	13.3
98	288	97480000	1.9	16.3863	1.6	0.8843	1.9	0.1051	1.0	0.56	644.2	6.4	643.3	8.9	640.2	33.3	644.2	6.4
99	179	75490000	30.7	13.8153	2.0	1.6556	2.9	0.1659	2.1	0.72	989.4	18.8	991.7	18.1	996.7	40.6	996.7	40.6
100	156	181640000	2.5	8.8405	2.4	5.0507	3.4	0.3238	2.5	0.73	1808.4	39.7	1827.9	29.2	1850.1	42.5	1850.1	42.5

TABLA A3-4. Resultados de Geocronología - Muestra SOR-BCO (Fm Barco)

No.	RELACIONES ISOTÓPICAS										EIDADES APARENTES (Ma)							
	U (ppm)	206Pb/204Pb	U/Th	206Pb*/207Pb* ± (%)	207Pb*/235U* ± (%)	206Pb*/238U ± (%)	error corr.	206Pb*/238U* ± (Ma)	207Pb*/235U ± (Ma)	206Pb*/207Pb* ± (Ma)	Mejor edad ± (Ma)							
1	148	60950	1.8	10.4602	1.2	3.3623	2.6	0.2551	2.3	0.88	1464.6	29.7	1495.7	20.1	1539.9	22.8	1539.9	22.8
2	127	47275	1.3	10.9103	1.2	3.2038	1.5	0.2535	0.9	0.60	1456.6	11.6	1458.1	11.5	1460.3	22.6	1460.3	22.6
3	179	65985	2.1	11.8719	1.3	2.5946	3.3	0.2234	3.0	0.92	1299.8	35.2	1299.1	23.8	1297.9	24.9	1297.9	24.9
4	78	30155	1.4	10.3805	1.5	3.6232	2.3	0.2728	1.8	0.75	1554.9	24.5	1554.6	18.7	1554.3	28.9	1554.3	28.9
5	144	1830	2.8	18.7486	13.8	0.0923	14.0	0.0126	2.4	0.17	80.4	1.9	89.7	12.0	343.1	314.2	80.4	1.9
6	183	20935	2.1	9.8377	1.6	3.2956	2.3	0.2351	1.7	0.72	1361.4	20.5	1480.0	18.2	1654.4	30.2	1654.4	30.2
7	305	5535	1.9	23.1472	16.5	0.0620	16.9	0.0104	3.6	0.21	66.8	2.4	61.1	10.0	-155.9	412.0	66.8	2.4
7A	319	98155	3.1	10.2477	1.9	3.4480	3.1	0.2563	2.5	0.80	1470.7	32.3	1515.4	24.3	1578.4	35.0	1578.4	35.0
8	180	63600	3.6	10.0931	1.3	3.5381	1.9	0.2590	1.4	0.73	1484.7	18.2	1535.8	14.8	1606.8	23.7	1606.8	23.7
9	195	20855	2.4	9.3985	1.5	3.6094	2.1	0.2460	1.5	0.71	1418.0	19.0	1551.6	16.7	1738.6	27.0	1738.6	27.0
10	168	73750	2.7	10.2885	1.7	3.3099	2.9	0.2470	2.4	0.82	1422.9	30.8	1483.4	23.0	1571.0	31.9	1571.0	31.9
11	97	37390	1.2	8.5590	1.0	5.4762	2.1	0.3399	1.9	0.89	1886.4	30.3	1896.9	17.9	1908.4	17.4	1908.4	17.4
12	76	9715	1.1	10.3721	3.8	3.1953	4.6	0.2404	2.6	0.56	1388.6	31.9	1456.0	35.3	1555.8	71.0	1555.8	71.0
13	301	85890	2.5	11.8782	1.4	2.4969	4.2	0.2151	4.0	0.95	1256.0	45.3	1271.1	30.4	1296.9	26.4	1296.9	26.4
14	110	28135	1.5	12.2549	1.8	2.2458	2.5	0.1996	1.7	0.67	1173.2	17.8	1195.5	17.3	1235.9	35.7	1235.9	35.7
15	242	39105	9.2	16.7459	3.2	0.6769	4.5	0.0822	3.1	0.69	509.3	15.2	524.9	18.4	593.3	70.1	509.3	15.2
16	48	18710	3.0	11.5637	2.5	2.8771	3.7	0.2413	2.8	0.75	1393.4	34.8	1375.9	28.0	1348.9	47.7	1348.9	47.7
17	699	90515	30.7	17.0503	1.6	0.7068	3.4	0.0874	3.0	0.89	540.2	15.5	542.8	14.2	554.1	33.8	540.2	15.5
18	121	45390	2.0	8.2248	1.1	5.7168	1.9	0.3410	1.6	0.83	1891.5	26.4	1933.9	16.8	1979.6	19.2	1979.6	19.2
19	322	131015	3.1	10.3837	1.0	3.5887	1.8	0.2703	1.4	0.82	1542.2	19.8	1547.0	14.0	1553.7	19.0	1553.7	19.0
20	89	38605	1.3	10.5633	1.9	3.4754	2.4	0.2663	1.6	0.64	1521.8	21.1	1521.7	19.2	1521.5	35.3	1521.5	35.3
21	178	3165	1.7	19.7402	14.1	0.0914	14.3	0.0131	2.2	0.15	83.8	1.8	88.8	12.1	225.3	327.3	83.8	1.8
22	97	10695	3.2	13.2510	4.9	1.5525	5.1	0.1492	1.3	0.26	896.5	11.0	951.5	31.3	1080.9	98.2	1080.9	98.2
23	54	7615	1.4	16.6554	4.4	0.8571	4.6	0.1035	1.6	0.33	635.1	9.4	628.5	21.8	605.0	94.7	635.1	9.4
24	97	13415	2.5	13.3527	2.4	1.7668	2.5	0.1711	0.6	0.24	1018.2	5.6	1033.4	15.9	1065.6	47.9	1065.6	47.9
25	82	3110	2.2	23.7589	14.6	0.1341	14.8	0.0231	2.6	0.18	147.2	3.8	127.7	17.8	-221.2	368.9	147.2	3.8
26	343	131885	1.6	10.1410	0.9	3.7834	1.7	0.2783	1.4	0.83	1582.6	19.5	1589.2	13.4	1598.0	17.2	1598.0	17.2
27	48	7965	1.5	9.1735	1.5	3.9896	2.6	0.2654	2.2	0.82	1517.6	29.3	1632.1	21.4	1782.9	27.2	1782.9	27.2
28	149	74910	4.1	8.9063	1.5	4.7777	2.7	0.3086	2.2	0.83	1733.9	33.8	1781.0	22.4	1836.6	26.8	1836.6	26.8
29	222	41490	6.0	11.0586	2.1	1.5214	3.1	0.1220	2.3	0.73	742.2	15.8	939.1	18.9	1434.5	40.3	1434.5	40.3
30	85	24890	4.0	11.6862	1.7	2.6246	2.3	0.2225	1.6	0.67	1294.8	18.4	1307.5	17.2	1328.5	33.7	1328.5	33.7
31	55	22820	1.7	11.9467	3.3	2.5395	4.1	0.2200	2.4	0.58	1282.0	27.7	1283.4	29.9	1285.7	65.1	1285.7	65.1
32	121	42335	2.0	12.8196	2.0	2.0606	2.3	0.1916	1.2	0.52	1130.0	12.3	1135.8	15.7	1147.0	39.2	1147.0	39.2
33	47	12550	1.8	11.7719	1.4	2.5234	2.7	0.2154	2.4	0.86	1257.7	26.9	1278.8	19.9	1314.3	27.3	1314.3	27.3
34	136	47455	1.8	10.3400	1.3	3.4011	2.6	0.2551	2.2	0.86	1464.5	29.0	1504.7	20.1	1561.6	24.2	1561.6	24.2
35	254	25580	1.0	17.2849	1.9	0.6618	2.3	0.0830	1.3	0.57	513.8	6.5	515.7	9.3	524.2	41.5	513.8	6.5
36	86	30380	1.1	11.7768	1.9	2.6248	2.0	0.2242	0.7	0.33	1304.0	7.8	1307.6	14.5	1313.5	36.1	1313.5	36.1
37	104	21160	2.6	13.5364	1.3	1.6668	2.7	0.1636	2.4	0.88	977.0	21.4	996.0	17.0	1038.0	25.6	1038.0	25.6
38	192	80715	2.2	10.4914	1.1	3.3969	1.9	0.2585	1.5	0.81	1482.0	20.0	1503.7	14.7	1534.3	20.9	1534.3	20.9
39	366	130435	9.2	9.0284	1.2	4.6092	2.1	0.3018	1.7	0.82	1700.3	25.3	1750.9	17.2	1811.9	21.4	1811.9	21.4
40	71	20075	1.3	10.2584	1.3	3.6487	3.2	0.2715	2.9	0.92	1548.3	40.5	1560.2	25.6	1576.5	24.0	1576.5	24.0
41	1870	29710	13.7	14.6248	1.4	0.8162	2.9	0.0866	2.5	0.88	535.2	12.9	605.9	13.1	880.0	28.7	535.2	12.9
42	201	42835	2.8	13.8180	2.2	1.6528	3.3	0.1656	2.5	0.75	988.0	22.6	990.6	20.8	996.3	44.1	996.3	44.1
44	365	68610	2.0	8.9590	0.7	4.5518	2.2	0.2958	2.1	0.94	1670.3	30.2	1740.5	18.1	1825.9	13.2	1825.9	13.2
43	59	33465	1.7	8.7948	1.6	5.2201	2.6	0.3330	2.1	0.78	1852.8	33.2	1855.9	22.4	1859.4	29.5	1859.4	29.5
45	35	14940	0.3	10.6964	4.0	3.4679	4.2	0.2690	1.2	0.28	1535.9	16.1	1520.0	32.8	1497.8	75.5	1497.8	75.5
46	96	49170	1.3	9.0586	1.5	4.7741	2.2	0.3137	1.6	0.74	1758.7	24.8	1780.4	18.3	1805.9	26.7	1805.9	26.7
47	198	89780	1.2	9.0990	1.3	4.7565	1.4	0.3139	0.6	0.44	1759.8	9.7	1777.3	11.9	1797.8	23.1	1797.8	23.1
48	65	27635	0.7	10.4087	1.9	3.3369	4.0	0.2519	3.5	0.88	1448.3	45.4	1489.7	31.2	1549.2	36.1	1549.2	36.1
49	270	110885	1.3	9.1087	1.9	4.8011	2.8	0.3172	2.0	0.72	1775.9	31.2	1785.1	23.4	1795.8	35.1	1795.8	35.1
50	114	39525	1.7	9.1076	1.6	4.7647	2.0	0.3147	1.3	0.63	1763.9	19.9	1778.7	17.1	1796.1	28.6	1796.1	28.6
51	160	75385	1.4	8.6652	2.8	5.0388	3.1	0.3167	1.4	0.44	1773.4	21.4	1825.9	26.7	1886.2	51.0	1886.2	51.0
52	103	25540	4.3	13.5018	2.7	1.7153	3.2	0.1680	1.7	0.54	1000.9	15.9	1014.3	20.5	1043.2	54.4	1043.2	54.4
53	29	16040	0.5	10.5170	1.8	3.3269	2.5	0.2538	1.8	0.70	1457.9	23.1	1487.4	19.7	1529.7	33.8	1529.7	33.8
54	58	10830	1.4	11.8351	2.3	2.3020	2.6	0.1976	1.4	0.51	1162.4	14.4	1212.9	18.7	1304.0	44.0	1304.0	44.0
55	167	34220	2.1	9.2839	2.7	4.1614	4.0	0.2802	2.9	0.74	1592.4	41.3	1666.5	32.4	1761.1	48.5	1761.1	48.5
56	116	16120	2.0	8.8622	1.7	5.0461	3.8	0.3243	3.4	0.90	1810.9	54.2	1827.1	32.4	1845.6	30.7	1845.6	30.7
57	221	28470	1.8	8.9958	1.3	4.7076	1.7	0.3071	1.1	0.65	1726.6	16.4	1768.6	13.9	1818.5	22.9	1818.5	22.9
58	227	95925	1.4	10.5015	1.9	3.5411	2.6	0.2697	1.8	0.70	1539.3	24.8	1536.4	20.6	1532.5	35.0	1532.5	35.0
59	657	200260	3.6	10.3701	1.7	3.5839	2.7	0.2695	2.0	0.76	1538.5	27.6	1546.0	21.1	1556.2	32.3	1556.2	32.3
60	486	70100	1.9	11.6848	1.2	2.5713	1.3	0.2179	0.5	0.38	1270.8	5.8	1292.5	9.6	1328.7	23.4	1328.7	23.4
61	196	106155	3.3	9.0012	1.4	4.7431	1.6	0.3096	0.7	0.45	1739.0	11.1	1774.9	13.5	1817.4	26.1	1817.4	26.1
62	336	54340	5.2	15.4105	2.1	0.9865	3.8	0.1103	3.2	0.84	674.2	20.3	696.9	19.0	770.8	43.2	674.2	20.3
63	550	22185	3.9	13.1120	1.5	1.7005	2.1	0.1617	1.4	0.69	966.3	12.7	1008.7	13.2	1102.1	30.1	1102.1	30.1
64	151	62060	1.7	10.1901	1.7	3.6177	3.8	0.2674	3.4	0.89	1527.4	45.6	1553.4	30.0	1589.0	32.2	1589.0	32.2

65	326	5265	2.0	22.5668	12.9	0.0754	13.0	0.0123	1.9	0.14	79.1	1.5	73.8	9.3	-93.2	317.7	79.1	1.5
66	203	78250	1.5	9.2638	1.8	4.6802	2.3	0.3144	1.6	0.66	1762.6	23.9	1763.7	19.6	1765.0	32.0	1765.0	32.0
67	207	3825	2.3	21.5833	12.4	0.0883	12.4	0.0138	0.5	0.04	88.5	0.4	85.9	10.3	14.9	299.9	88.5	0.4
68	72	7960	0.7	10.1288	2.7	3.3298	2.9	0.2446	1.1	0.39	1410.6	14.4	1488.1	22.9	1600.2	50.4	1600.2	50.4
69	161	72665	1.1	8.5847	0.7	5.4521	2.5	0.3395	2.5	0.97	1884.1	40.2	1893.1	21.9	1903.0	11.9	1903.0	11.9
70	421	136270	2.4	10.3743	1.2	3.6463	4.2	0.2744	4.0	0.96	1562.9	55.4	1559.7	33.1	1555.4	22.0	1555.4	22.0
71	169	68695	2.0	11.3498	1.9	2.8533	2.4	0.2349	1.4	0.59	1360.0	16.9	1369.7	17.7	1384.8	36.7	1384.8	36.7
72	191	9905	1.9	11.5275	1.8	2.3932	2.5	0.2001	1.7	0.70	1175.8	18.7	1240.6	17.8	1354.9	34.3	1354.9	34.3
73	114	2315	2.4	27.2094	25.3	0.0646	25.4	0.0127	2.8	0.11	81.6	2.2	63.5	15.7	-574.7	692.3	81.6	2.2
74	43	11090	1.3	10.3470	2.7	3.5825	5.0	0.2688	4.2	0.84	1534.9	57.6	1545.7	39.8	1560.4	50.5	1560.4	50.5
75	154	63765	1.6	10.4440	1.4	3.5957	1.7	0.2724	1.1	0.63	1552.8	15.0	1548.6	13.8	1542.8	25.4	1542.8	25.4
76	97	37130	2.0	10.6210	1.4	3.2972	2.1	0.2540	1.6	0.75	1459.0	20.9	1480.4	16.6	1511.2	26.6	1511.2	26.6
79	165	7105	1.3	18.7261	10.0	0.2132	10.4	0.0290	2.8	0.27	184.0	5.1	196.2	18.5	345.9	226.5	184.0	5.1
78	234	130520	2.1	8.3869	0.8	5.7575	1.4	0.3502	1.2	0.81	1935.6	19.4	1940.0	12.3	1944.8	14.8	1944.8	14.8
80	99	35080	3.1	13.1040	2.1	2.0348	2.7	0.1934	1.8	0.66	1139.7	18.8	1127.2	18.6	1103.3	41.0	1103.3	41.0
81	65	11440	1.3	10.2843	3.3	3.4137	4.9	0.2546	3.7	0.74	1462.3	47.8	1507.5	38.6	1571.8	61.7	1571.8	61.7
82	609	31695	1.8	17.9858	3.1	0.5588	4.8	0.0729	3.6	0.76	453.6	15.9	450.8	17.3	436.4	68.4	453.6	15.9
83	275	92885	1.6	8.3526	1.5	5.8393	2.1	0.3537	1.5	0.70	1952.4	24.6	1952.3	18.2	1952.1	27.0	1952.1	27.0
84	67	13845	10.7	13.7516	3.5	1.5181	5.9	0.1514	4.8	0.81	908.9	40.6	937.7	36.3	1006.1	70.9	908.9	40.6
85	668	8745	2.1	20.9666	5.6	0.0778	5.8	0.0118	1.5	0.26	75.8	1.2	76.1	4.3	84.1	133.7	75.8	1.2
87	258	54945	7.0	13.0779	1.9	1.8231	2.1	0.1729	0.8	0.40	1028.2	7.8	1053.8	13.5	1107.2	37.6	1107.2	37.6
88	261	7795	4.3	22.2578	9.7	0.0874	9.7	0.0141	0.6	0.07	90.3	0.6	85.1	7.9	-59.6	237.1	90.3	0.6
89	56	19875	1.0	10.6028	1.6	3.5033	2.6	0.2694	2.1	0.80	1537.8	28.2	1528.0	20.4	1514.4	29.5	1514.4	29.5
90	134	41310	2.0	10.6427	0.8	3.3867	1.4	0.2614	1.1	0.81	1497.1	15.1	1501.3	10.9	1507.3	15.5	1507.3	15.5
92	281	48400	1.6	13.4498	1.2	1.7959	2.7	0.1752	2.5	0.90	1040.6	23.6	1044.0	17.9	1051.0	24.2	1051.0	24.2
91	208	94560	2.8	9.0554	2.1	4.9005	3.7	0.3218	3.1	0.83	1798.7	48.0	1802.3	31.2	1806.5	37.6	1806.5	37.6
93	122	17155	2.2	14.1697	2.2	1.4832	2.7	0.1524	1.6	0.59	914.5	13.6	923.5	16.4	945.1	44.5	914.5	13.6
95	94	4460	1.6	9.9549	3.6	3.2855	4.3	0.2372	2.4	0.56	1372.2	29.9	1477.6	33.8	1632.5	66.9	1632.5	66.9
96	50	18000	1.1	10.4480	1.2	3.5509	1.4	0.2691	0.6	0.45	1536.1	8.3	1538.6	10.8	1542.1	23.0	1542.1	23.0
99	147	43470	2.1	13.7721	4.0	1.6687	4.8	0.1667	2.6	0.54	993.8	23.8	996.7	30.3	1003.1	81.6	1003.1	81.6
100	256	125915	2.2	8.6794	1.1	5.3078	2.5	0.3341	2.3	0.89	1858.3	36.5	1870.1	21.6	1883.2	20.5	1883.2	20.5

TABLA A3-5 Resultados de Geocronología - Muestra Pit Central-RO (Fm Cuervos)

No.	RELACIONES ISOTÓPICAS										EIDADES APARENTES (Ma)							
	U (ppm)	206Pb/204Pb	U/Th	206Pb*/207Pb* ± (%)	207Pb*/235U* ± (%)	206Pb*/238U ± (%)	error corr.	206Pb*/238U* ± (Ma)	207Pb*/235U ± (Ma)	206Pb*/207Pb* ± (Ma)	Mejor edad ± (Ma)							
1	39	8085	3.2	14.7413	3.2	1.2839	3.5	0.1373	1.5	0.43	829.2	11.8	838.6	20.1	863.6	66.0	829.2	11.8
2	91	14365	1.7	12.5323	1.9	2.0309	2.3	0.1846	1.3	0.55	1092.0	12.9	1125.9	15.8	1191.9	38.4	1191.9	38.4
3	97	21935	1.1	12.5473	3.3	2.2509	7.4	0.2048	6.6	0.90	1201.3	72.4	1197.1	51.9	1189.5	64.8	1189.5	64.8
4	381	81560	2.1	13.0154	1.5	1.8962	2.2	0.1790	1.6	0.73	1061.5	15.6	1079.8	14.4	1116.8	29.5	1116.8	29.5
5	237	3540	1.3	15.9714	8.7	0.2180	8.7	0.0252	0.7	0.08	160.7	1.0	200.2	15.8	695.0	185.3	160.7	1.0
6	85	5345	1.8	16.1363	31.5	0.3591	31.5	0.0420	2.2	0.07	265.4	5.8	311.5	84.8	673.1	688.9	265.4	5.8
7	106	21410	2.3	14.0823	3.6	1.3386	8.2	0.1367	7.3	0.90	826.1	56.7	862.6	47.5	957.7	74.2	826.1	56.7
8	234	3590	3.3	15.9000	6.3	0.3380	6.7	0.0390	2.4	0.35	246.5	5.7	295.7	17.1	704.6	133.3	246.5	5.7
9	133	6170	0.7	21.0858	19.7	0.1846	19.9	0.0282	2.7	0.13	179.4	4.7	172.0	31.5	70.7	472.8	179.4	4.7
10	272	23420	2.6	13.4704	2.3	1.3718	3.2	0.1340	2.3	0.70	810.7	17.3	876.9	18.9	1047.9	46.2	810.7	17.3
11	177	17635	2.0	18.1031	2.7	0.5574	3.3	0.0732	2.0	0.59	455.3	8.7	449.8	12.1	421.9	59.9	455.3	8.7
12	256	6015	4.9	21.8879	9.3	0.0895	9.6	0.0142	2.3	0.24	90.9	2.1	87.0	8.0	-18.8	225.8	90.9	2.1
13	161	20465	1.8	16.5635	1.8	0.7750	2.1	0.0931	1.0	0.50	573.8	5.7	582.6	9.1	617.0	38.5	573.8	5.7
14	246	23010	4.7	13.9273	0.8	1.3984	1.5	0.1413	1.3	0.84	851.8	10.3	888.3	9.1	980.3	17.2	851.8	10.3
15	188	17830	1.2	17.0508	5.8	0.6866	6.9	0.0849	3.7	0.54	525.3	18.6	530.7	28.4	554.0	126.6	525.3	18.6
16	618	26825	1.5	18.8469	1.8	0.3093	3.4	0.0423	2.9	0.85	266.9	7.6	273.6	8.2	331.3	40.5	266.9	7.6
17	799	99530	19.3	13.8133	1.7	1.5665	2.3	0.1569	1.5	0.66	939.7	13.0	957.0	14.0	997.0	34.6	939.7	13.0
18	344	69965	2.5	13.9793	1.8	1.5517	2.3	0.1573	1.5	0.63	941.9	12.8	951.2	14.4	972.7	36.9	941.9	12.8
19	421	40385	2.3	17.5081	1.3	0.6199	1.9	0.0787	1.3	0.70	488.4	6.1	489.8	7.2	496.0	29.4	488.4	6.1
20	177	5065	5.0	23.6031	23.1	0.0899	23.3	0.0154	2.4	0.10	98.5	2.3	87.4	19.5	-204.7	587.0	98.5	2.3
21	408	26680	2.8	11.9511	3.0	2.3496	3.6	0.2037	2.0	0.54	1194.9	21.4	1227.4	25.7	1285.0	59.1	1285.0	21.4
22	307	25865	1.5	19.3613	4.9	0.3090	5.3	0.0434	1.9	0.35	273.8	5.0	273.4	12.6	269.9	112.7	273.8	5.0
23	113	4770	0.7	21.0161	10.3	0.2089	10.6	0.0318	2.5	0.24	202.0	5.0	192.6	18.6	78.5	244.5	202.0	5.0
24	107	4265	0.9	17.3762	8.3	0.3014	8.4	0.0380	1.5	0.18	240.3	3.6	267.5	19.9	512.7	182.8	240.3	3.6
25	1037	22095	2.3	16.4460	3.1	0.6053	4.8	0.0722	3.7	0.76	449.4	15.9	480.6	18.4	632.3	66.7	449.4	15.9
26	111	19065	2.8	14.8940	2.8	1.1099	2.8	0.1199	0.5	0.18	729.9	3.5	758.1	15.0	842.1	57.5	729.9	3.5
28	428	109820	4.2	13.5894	0.6	1.7182	1.4	0.1693	1.2	0.89	1008.5	11.6	1015.4	8.9	1030.1	12.5	1030.1	12.5
27	527	50125	5.4	17.7170	2.8	0.5760	2.8	0.0740	0.5	0.18	460.3	2.2	461.9	10.5	469.8	61.8	460.3	2.2
29	679	23730	1.4	16.8786	3.3	0.6032	3.9	0.0738	2.1	0.54	459.3	9.3	479.3	14.8	576.2	70.8	459.3	9.3
30	38	7640	0.6	18.0933	13.0	0.7551	13.0	0.0991	1.3	0.10	609.1	7.6	571.2	57.0	423.1	290.5	609.1	7.6
31	911	26580	2.1	20.3694	2.4	0.1659	2.4	0.0245	0.5	0.21	156.1	0.8	155.8	3.5	152.3	55.3	156.1	0.8
32	366	11655	2.9	17.8219	10.5	0.2784	10.8	0.0360	2.4	0.22	227.9	5.3	249.4	23.8	456.7	233.3	227.9	5.3
33	314	22495	1.8	18.9531	5.3	0.4139	5.6	0.0569	1.9	0.33	356.7	6.4	351.7	16.6	318.5	119.9	356.7	6.4
32A	349	20175	2.1	17.3246	2.1	0.5844	2.2	0.0734	0.9	0.38	456.8	3.7	467.3	8.3	519.2	45.0	456.8	3.7
34	201	18840	1.2	16.5199	6.2	0.6999	6.6	0.0839	2.3	0.35	519.1	11.5	538.7	27.7	622.7	133.9	519.1	11.5
35	251	22635	2.8	16.9221	2.1	0.6487	2.5	0.0796	1.3	0.53	493.8	6.3	507.7	10.0	570.6	46.0	493.8	6.3
36	215	27900	2.1	17.2810	2.3	0.6863	3.3	0.0860	2.3	0.70	531.9	11.8	530.6	13.6	524.7	51.4	531.9	11.8
37	50	17315	4.6	11.1276	2.1	3.0285	2.9	0.2444	2.0	0.68	1409.6	25.3	1414.8	22.4	1422.7	40.9	1422.7	40.9
38	417	11230	4.7	22.0914	6.2	0.0941	6.4	0.0151	1.3	0.20	96.5	1.2	91.3	5.6	-41.3	151.8	96.5	1.2
39	1339	58705	2.1	13.4426	2.4	1.6192	3.1	0.1579	1.9	0.62	944.9	16.7	977.7	19.4	1052.1	49.0	1052.1	19.4
40	298	11680	2.4	18.5378	4.2	0.3368	4.8	0.0453	2.4	0.50	285.5	6.8	294.8	12.3	368.7	94.1	285.5	6.8
41	276	27910	1.3	11.1798	3.0	2.6409	3.2	0.2141	0.9	0.28	1250.8	10.2	1312.1	23.4	1413.7	58.3	1413.7	10.2
42	190	15005	2.5	16.6145	5.2	0.7674	5.7	0.0925	2.3	0.41	570.1	12.7	578.3	25.0	610.3	112.0	570.1	12.7
43	119	3330	4.2	27.8297	26.7	0.0777	26.9	0.0157	2.6	0.10	100.3	2.6	76.0	19.7	-636.1	743.1	100.3	2.6
44	801	81300	1.4	17.8222	3.1	0.5838	3.5	0.0755	1.7	0.49	469.0	7.7	466.9	13.1	456.7	67.7	469.0	7.7
45	519	20860	1.7	20.6909	3.8	0.1558	4.5	0.0234	2.4	0.54	149.0	3.5	147.0	6.1	115.5	88.9	149.0	3.5
46	464	20455	1.0	19.2423	2.5	0.2768	3.0	0.0386	1.5	0.51	244.3	3.6	248.1	6.5	284.0	58.1	244.3	3.6
47	363	27915	1.7	18.9298	2.9	0.3315	3.4	0.0455	1.9	0.54	286.9	5.2	290.7	8.6	321.3	65.0	286.9	5.2
48	321	21515	1.4	17.4142	1.4	0.5945	1.6	0.0751	0.7	0.45	466.7	3.2	473.7	6.1	507.9	31.6	466.7	3.2
49	362	21140	2.6	13.5696	1.5	1.6553	3.0	0.1629	2.6	0.87	972.9	23.5	991.6	18.9	1033.1	29.7	1033.1	23.5
50	594	44685	1.9	19.3914	2.6	0.3031	2.8	0.0426	1.1	0.37	269.1	2.8	268.8	6.6	266.3	59.9	269.1	2.8
51	107	17365	1.6	17.2105	3.7	0.7269	3.9	0.0907	1.2	0.32	559.9	6.5	554.7	16.5	533.7	80.5	559.9	6.5
54	473	51120	2.9	8.4271	3.1	4.7824	5.1	0.2923	4.0	0.79	1653.0	58.8	1781.8	42.6	1936.2	55.1	1936.2	58.8
52	851	41150	1.9	19.2517	3.4	0.2873	3.7	0.0401	1.6	0.43	253.6	4.0	256.5	8.4	282.9	76.7	253.6	4.0
53	734	23460	3.5	20.6398	4.7	0.1132	5.2	0.0169	2.3	0.45	108.3	2.5	108.9	5.4	121.3	110.1	108.3	2.5
55	350	6110	3.2	20.5041	7.9	0.0982	7.9	0.0146	0.5	0.07	93.4	0.5	95.1	7.2	136.8	186.0	93.4	0.5
53A	69	21975	3.1	13.7293	2.5	1.7721	3.2	0.1765	2.0	0.63	1047.6	19.1	1035.3	20.5	1009.4	49.7	1009.4	19.1
57	250	16070	2.4	20.3094	5.1	0.2721	5.3	0.0401	1.2	0.22	253.3	2.9	244.4	11.5	159.2	120.4	253.3	2.9
56	250	7965	1.8	17.0571	6.6	0.3839	6.6	0.0475	0.5	0.08	299.1	1.5	329.9	18.7	553.2	144.4	299.1	1.5
58	362	17810	1.3	19.0580	3.4	0.3180	4.3	0.0439	2.6	0.61	277.3	7.1	280.3	10.5	306.0	77.4	277.3	7.1
59	341	7755	2.0	20.1109	5.6	0.0899	5.7	0.0131	0.6	0.11	84.0	0.5	87.4	4.8	182.1	131.5	84.0	0.5
60	614	20505	1.5	19.1051	2.9	0.3194	3.0	0.0443	0.5	0.18	279.2	1.4	281.5	7.3	300.4	66.6	279.2	1.4
58A	210	96555	3.2	12.3058	1.8	2.3792	2.5	0.2123	1.7	0.69	1241.3	19.5	1236.4	18.0	1227.8	35.9	1227.8	19.5
61	136	57140	4.6	11.7116	1.5	2.7231	1.7	0.2313	0.7	0.43	1341.3	8.7	1334.8	12.4	1324.3	29.1	1324.3	8.7
62	205	65960	4.0	13.8433	3.0	1.7178	4.1	0.1725	2.8	0.68	1025.7	26.6	1015.2	26.6	992.6	61.8	992.6	26.6

63	490	36740	1.6	18.1854	1.2	0.4820	1.3	0.0636	0.5	0.38	397.3	1.9	399.4	4.4	411.8	27.3	397.3	1.9
64	107	37940	1.7	12.6397	2.0	2.1861	3.3	0.2004	2.6	0.79	1177.5	27.8	1176.6	22.7	1175.0	39.6	1175.0	39.6
65	522	12520	3.6	18.5361	5.1	0.2804	5.1	0.0377	0.6	0.12	238.6	1.5	251.0	11.5	368.9	115.2	238.6	1.5
66	93	4085	3.5	23.7068	19.3	0.0969	19.3	0.0167	1.1	0.05	106.5	1.1	93.9	17.4	-215.7	489.3	106.5	1.1
67	642	37470	8.8	19.3327	2.0	0.2568	3.0	0.0360	2.3	0.75	228.0	5.1	232.1	6.3	273.3	46.4	228.0	5.1
67A	1051	6860	1.2	19.3233	2.0	0.3138	2.5	0.0440	1.5	0.61	277.4	4.2	277.1	6.1	274.4	46.1	277.4	4.2
68	293	50060	1.6	16.7725	2.8	0.7711	3.6	0.0938	2.3	0.63	578.0	12.4	580.4	15.9	589.8	60.8	578.0	12.4
69	241	8355	6.6	20.7301	11.7	0.0991	11.8	0.0149	1.7	0.14	95.3	1.6	95.9	10.8	111.0	275.9	95.3	1.6
70	362	65145	1.8	5.6191	2.1	9.9158	2.5	0.4041	1.4	0.56	2187.9	26.0	2427.0	23.1	2634.0	34.4	2634.0	34.4
71	226	36745	3.4	17.2235	3.0	0.7072	3.3	0.0883	1.5	0.45	545.7	7.8	543.1	14.0	532.0	64.8	545.7	7.8
72	514	14125	4.0	20.9664	5.4	0.0984	6.0	0.0150	2.6	0.43	95.7	2.4	95.3	5.4	84.2	128.5	95.7	2.4
73	1108	51510	13.3	13.9158	3.4	1.6025	3.8	0.1617	1.9	0.49	966.4	16.8	971.2	24.1	982.0	68.5	982.0	68.5
74	349	42210	2.0	16.5025	1.3	0.8377	1.9	0.1003	1.4	0.74	615.9	8.4	617.9	8.9	624.9	27.9	615.9	8.4
75	76	25075	1.7	13.1942	3.3	1.9431	3.5	0.1859	1.3	0.36	1099.4	12.8	1096.1	23.8	1089.5	66.3	1089.5	66.3
72A	286	24440	1.4	19.3214	3.0	0.3449	3.7	0.0483	2.2	0.60	304.3	6.5	300.9	9.6	274.6	67.6	304.3	6.5
76	272	7235	3.3	22.2067	7.7	0.0936	7.7	0.0151	0.9	0.12	96.5	0.9	90.8	6.7	-54.0	186.6	96.5	0.9
77	1460	98865	2.2	13.3613	4.4	1.5593	4.8	0.1511	1.8	0.37	907.2	14.9	954.2	29.6	1064.3	89.3	1064.3	89.3
79	149	7205	1.0	19.1565	4.5	0.3094	4.6	0.0430	1.1	0.24	271.4	2.9	273.8	11.1	294.2	102.9	271.4	2.9
80	259	16685	1.5	19.7743	7.1	0.3020	7.2	0.0433	1.1	0.15	273.3	2.9	268.0	16.9	221.3	164.2	273.3	2.9
78	501	26260	5.4	19.7631	2.8	0.2629	2.8	0.0377	0.5	0.18	238.5	1.2	237.0	6.0	222.6	64.2	238.5	1.2
81	565	32770	1.9	19.1907	2.6	0.2798	3.4	0.0389	2.3	0.67	246.3	5.6	250.5	7.7	290.2	58.5	246.3	5.6
82	419	22055	1.3	16.7959	2.8	0.6691	3.5	0.0815	2.1	0.61	505.1	10.3	520.2	14.1	586.8	59.9	505.1	10.3
83	122	26580	1.7	14.5724	2.0	1.3690	2.6	0.1447	1.6	0.64	871.1	13.4	875.8	15.1	887.4	41.1	871.1	13.4
84	179	8140	2.3	21.5713	11.5	0.1661	11.6	0.0260	0.8	0.07	165.4	1.3	156.1	16.7	16.3	277.8	165.4	1.3
85	164	113415	2.9	9.5590	1.7	4.1496	2.4	0.2877	1.7	0.71	1630.0	25.1	1664.1	20.0	1707.5	31.7	1707.5	31.7
85A	268	8425	3.9	20.9492	10.9	0.0979	11.1	0.0149	2.5	0.23	95.2	2.4	94.8	10.1	86.1	258.0	95.2	2.4
86	765	224345	1.9	12.3636	1.7	2.3676	1.9	0.2123	1.0	0.51	1241.1	11.2	1232.9	13.7	1218.6	32.4	1218.6	32.4
87	142	21470	2.1	15.2618	1.6	1.1453	1.7	0.1268	0.7	0.39	769.4	4.9	775.0	9.4	791.2	33.6	769.4	4.9
89	744	25685	10.3	20.5157	3.6	0.1010	4.3	0.0150	2.3	0.53	96.2	2.2	97.7	4.0	135.5	85.4	96.2	2.2
90	196	8275	2.3	20.5028	5.6	0.1652	5.8	0.0246	1.4	0.24	156.4	2.2	155.2	8.4	136.9	132.5	156.4	2.2
91	222	36145	1.8	17.8434	2.8	0.5919	2.9	0.0766	0.8	0.27	475.8	3.7	472.1	11.1	454.1	62.9	475.8	3.7
93	337	101730	4.0	12.8518	1.6	2.0401	1.9	0.1902	1.0	0.55	1122.2	10.7	1129.0	12.9	1142.0	31.4	1142.0	31.4
92	221	6565	4.2	23.1656	19.8	0.0901	20.0	0.0151	3.0	0.15	96.9	2.8	87.6	16.8	-158.0	495.2	96.9	2.8
94	180	4755	3.5	22.8586	17.3	0.0765	17.5	0.0127	2.2	0.13	81.2	1.8	74.8	12.6	-124.9	430.8	81.2	1.8
95	74	2770	2.0	17.9532	24.4	0.1518	24.6	0.0198	3.2	0.13	126.1	3.9	143.5	33.0	440.4	550.8	126.1	3.9
95A	221	10700	1.6	21.9098	8.8	0.1600	8.9	0.0254	1.1	0.12	161.8	1.7	150.7	12.5	-21.3	214.4	161.8	1.7
96	384	24340	3.9	19.8724	2.6	0.2714	2.8	0.0391	1.3	0.44	247.3	3.0	243.8	6.2	209.8	59.4	247.3	3.0
97	109	4930	1.0	23.0887	13.8	0.1622	14.0	0.0272	2.1	0.15	172.8	3.5	152.6	19.8	-149.7	344.9	172.8	3.5
98	432	134135	1.9	12.3305	2.0	2.3466	2.7	0.2099	1.8	0.66	1228.0	20.2	1226.5	19.4	1223.8	40.1	1223.8	40.1
99	805	48685	7.8	19.6658	1.5	0.2602	3.4	0.0371	3.1	0.90	235.0	7.0	234.9	7.1	234.0	34.0	235.0	7.0
100	330	20080	3.9	19.2014	4.0	0.2747	4.2	0.0383	1.2	0.28	242.0	2.8	246.4	9.2	288.9	91.7	242.0	2.8

TABLA A3-6. Resultados de Geocronología - Muestra Pit Sur-AG (Fm Cuervos)

No.	RELACIONES ISOTÓPICAS										EIDADES APARENTES (Ma)							
	U (ppm)	206Pb/204Pb	U/Th	206Pb* ± 207Pb* (%)	207Pb* ± 235U* (%)	206Pb* ± 238U (%)	error corr.	206Pb* ± 238U* (Ma)	207Pb* ± 235U (Ma)	206Pb* ± 207Pb* (Ma)	Mejor edad (Ma)	± (Ma)						
1	701	250400	8.0	12.4581	1.4	2.1762	2.2	0.1966	1.7	0.78	1157.2	18.4	1173.5	15.6	1203.6	27.8	1203.6	27.8
2	242	96630	12.1	14.2202	1.0	1.5233	1.7	0.1571	1.4	0.80	940.7	12.2	939.8	10.6	937.8	21.3	940.7	12.2
3	244	68395	3.5	13.6726	1.3	1.6604	2.5	0.1647	2.2	0.87	982.6	20.0	993.5	16.1	1017.8	25.7	1017.8	25.7
4	403	284395	3.6	11.6330	2.1	2.7759	3.9	0.2342	3.3	0.84	1356.5	40.1	1349.1	29.1	1337.3	40.8	1337.3	40.8
5	403	51145	1.8	19.6074	2.7	0.3016	4.1	0.0429	3.1	0.75	270.7	8.3	267.6	9.8	240.9	63.0	270.7	8.3
6	463	14195	1.6	18.0994	3.6	0.3507	3.8	0.0460	1.2	0.32	290.1	3.4	305.2	9.9	422.4	79.6	290.1	3.4
7	128	53155	1.7	12.7248	1.4	2.0862	4.3	0.1925	4.1	0.95	1135.1	42.6	1144.3	29.7	1161.7	28.0	1161.7	28.0
8	602	43145	2.3	18.8902	2.3	0.3195	2.5	0.0438	1.1	0.42	276.2	2.9	281.5	6.2	326.1	51.6	276.2	2.9
9	103	45805	2.1	14.7277	1.7	1.3575	4.7	0.1450	4.4	0.93	872.9	35.6	870.8	27.3	865.5	34.9	872.9	35.6
10	353	102170	4.2	13.0134	1.5	1.9972	2.7	0.1885	2.3	0.83	1113.2	23.1	1114.6	18.4	1117.1	30.3	1117.1	30.3
11	441	39160	1.9	19.6431	2.1	0.3031	2.8	0.0432	1.8	0.64	272.5	4.8	268.8	6.6	236.7	49.2	272.5	4.8
12	175	93940	2.3	13.7162	2.1	1.7151	2.5	0.1706	1.4	0.54	1015.5	13.0	1014.2	16.3	1011.3	43.2	1011.3	43.2
13	275	28690	7.1	19.6668	2.7	0.2562	4.1	0.0365	3.2	0.77	231.3	7.2	231.6	8.6	233.9	61.5	231.3	7.2
14	444	29080	2.4	19.4730	2.9	0.3255	4.6	0.0460	3.6	0.78	289.7	10.1	286.1	11.4	256.7	66.5	289.7	10.1
15	233	120075	3.6	12.1628	1.0	2.4248	3.0	0.2139	2.8	0.95	1249.6	31.9	1250.0	21.3	1250.7	18.6	1250.7	18.6
16	348	28790	3.1	19.5115	2.0	0.3077	2.6	0.0435	1.6	0.64	274.8	4.4	272.4	6.2	252.2	45.9	274.8	4.4
17	455	30420	1.8	18.8749	2.8	0.3269	4.3	0.0447	3.3	0.76	282.2	9.0	287.2	10.8	327.9	63.8	282.2	9.0
18	275	17880	1.8	18.6209	3.6	0.3128	3.8	0.0422	1.3	0.33	266.7	3.3	276.3	9.1	358.6	80.2	266.7	3.3
19	623	47075	1.4	19.6977	3.1	0.3060	4.4	0.0437	3.1	0.70	275.9	8.2	271.1	10.4	230.3	72.4	275.9	8.2
20	135	57280	1.9	10.2198	1.1	3.5564	2.5	0.2636	2.2	0.89	1508.3	29.5	1539.9	19.5	1583.5	21.0	1583.5	21.0
21	136	50855	2.7	13.1711	2.9	1.7431	4.8	0.1665	3.8	0.80	992.9	35.2	1024.6	30.9	1093.0	57.9	1093.0	57.9
22	99	36915	1.6	13.7788	3.5	1.6257	3.9	0.1625	1.8	0.46	970.4	16.2	980.2	24.6	1002.1	70.5	1002.1	70.5
23	392	40380	1.7	18.3493	7.9	0.2925	8.6	0.0389	3.3	0.39	246.2	8.0	260.6	19.7	391.7	177.8	246.2	8.0
24	275	90045	2.8	13.5401	1.3	1.7717	2.1	0.1740	1.6	0.79	1034.0	15.5	1035.1	13.4	1037.5	25.6	1037.5	25.6
25	54	7560	2.6	12.8432	3.9	1.7802	4.3	0.1658	2.0	0.46	989.0	18.2	1038.2	28.2	1143.3	76.8	1143.3	76.8
26	232	3115	2.3	14.6125	7.5	0.2501	7.7	0.0265	1.8	0.24	168.6	3.0	226.6	15.7	881.7	155.8	168.6	3.0
27	73	27715	2.2	12.7341	4.2	2.2022	4.6	0.2034	1.7	0.36	1193.5	18.1	1181.7	31.8	1160.3	84.1	1160.3	84.1
28	179	55330	2.7	11.9517	1.6	2.5123	2.5	0.2178	2.0	0.77	1270.1	22.6	1275.6	18.4	1284.9	31.2	1284.9	31.2
29	142	42770	4.5	13.8193	6.5	0.9552	11.4	0.0957	9.3	0.82	589.4	52.6	680.8	56.5	996.1	132.0	589.4	52.6
30	115	3185	2.9	15.3638	37.2	0.0846	37.3	0.0094	3.6	0.10	60.5	2.1	82.5	29.6	777.2	808.4	60.5	2.1
31	230	5985	4.4	20.5568	10.5	0.0956	11.2	0.0143	3.9	0.35	91.3	3.5	92.7	9.9	130.8	247.4	91.3	3.5
32	350	14840	0.3	19.6542	3.1	0.2934	3.9	0.0418	2.4	0.62	264.1	6.3	261.2	9.0	235.4	71.2	264.1	6.3
34	1156	127050	1.4	15.0096	0.9	1.2162	3.2	0.1324	3.1	0.96	801.5	23.2	808.1	17.9	826.0	19.2	801.5	23.2
35	381	30910	1.2	19.3392	1.4	0.3043	2.2	0.0427	1.7	0.78	269.4	4.4	269.7	5.1	272.5	31.3	269.4	4.4
36	462	307050	4.0	7.6357	1.6	6.3256	3.2	0.3503	2.8	0.87	1936.1	46.0	2022.0	27.7	2110.9	27.4	2110.9	27.4
37	354	65895	0.6	10.1426	2.6	3.4035	3.0	0.2504	1.5	0.49	1440.4	18.7	1505.2	23.2	1597.7	48.2	1597.7	48.2
38	246	23615	2.7	19.0923	4.5	0.3255	8.0	0.0451	6.7	0.83	284.2	18.5	286.2	20.0	301.9	102.5	284.2	18.5
39	149	70920	2.0	11.3858	1.5	2.7723	4.4	0.2289	4.1	0.94	1328.9	49.0	1348.1	32.5	1378.7	29.0	1378.7	29.0
40	240	58600	6.7	13.4725	5.0	1.3157	8.8	0.1286	7.3	0.83	779.6	53.6	852.6	51.1	1047.6	100.9	779.6	53.6
41	119	5700	4.3	23.2565	21.9	0.0819	22.2	0.0138	3.8	0.17	88.4	3.3	79.9	17.1	-167.7	550.9	88.4	3.3
42	66	4395	1.2	24.3640	32.0	0.1466	32.2	0.0259	3.6	0.11	164.9	5.9	138.9	41.8	-284.8	833.3	164.9	5.9
43	183	19665	1.6	20.1261	4.5	0.2847	4.7	0.0416	1.3	0.27	262.5	3.2	254.4	10.6	180.3	105.5	262.5	3.2
44	231	22555	2.0	20.2339	4.1	0.2737	4.7	0.0402	2.3	0.48	253.8	5.6	245.6	10.2	167.9	95.2	253.8	5.6
45	259	33125	4.5	11.9893	4.1	1.7734	4.5	0.1542	1.8	0.41	924.5	15.8	1035.8	29.0	1278.8	79.4	1278.8	79.4
46	175	70910	2.2	11.4958	1.4	2.6402	2.4	0.2201	2.0	0.81	1282.6	22.7	1311.9	17.8	1360.2	27.6	1360.2	27.6
47	496	51930	1.8	19.5779	5.0	0.2972	5.6	0.0422	2.6	0.45	266.5	6.7	264.2	13.1	244.3	115.7	266.5	6.7
48	374	110455	3.0	13.2997	1.8	1.6387	3.5	0.1581	3.1	0.86	946.0	26.8	985.2	22.4	1073.6	36.4	1073.6	36.4
49	246	96010	4.3	12.9847	1.3	1.8728	2.0	0.1764	1.5	0.74	1047.1	14.1	1071.5	13.1	1121.5	26.5	1121.5	26.5
50	759	174730	14.8	9.0328	0.9	4.3953	1.5	0.2879	1.2	0.79	1631.2	17.3	1711.4	12.5	1811.0	16.7	1811.0	16.7
51	459	50020	1.4	18.7848	2.8	0.3211	2.9	0.0437	0.8	0.29	276.0	2.3	282.7	7.1	338.8	62.6	276.0	2.3
52	140	87590	1.6	10.0542	1.6	3.6345	3.0	0.2650	2.5	0.85	1515.5	34.3	1557.1	23.8	1614.0	29.4	1614.0	29.4
53	136	51425	3.4	12.5334	1.8	2.1397	2.3	0.1945	1.6	0.67	1145.7	16.4	1161.7	16.2	1191.7	34.5	1191.7	34.5
54	45	4675	0.9	24.5105	27.0	0.2317	27.1	0.0412	3.0	0.11	260.2	7.6	211.6	51.8	-300.1	699.4	260.2	7.6
55	434	62900	4.6	17.5878	4.0	0.4635	6.0	0.0591	4.5	0.75	370.3	16.2	386.7	19.3	486.0	87.9	370.3	16.2
56	60	6790	0.8	11.5448	3.2	2.2958	3.8	0.1922	2.1	0.54	1133.5	21.6	1211.0	27.2	1352.0	62.3	1352.0	62.3
57	101	18270	2.2	14.1401	2.0	1.2715	4.8	0.1304	4.3	0.91	790.1	32.2	833.0	27.1	949.3	40.6	790.1	32.2
58	474	50100	2.0	18.7945	4.1	0.3052	5.9	0.0416	4.2	0.72	262.8	10.9	270.5	14.0	337.6	92.9	262.8	10.9
59	188	15540	1.5	19.7622	4.8	0.2922	5.6	0.0419	2.9	0.52	264.5	7.5	260.3	12.9	222.7	110.8	264.5	7.5
60	71	11835	1.7	17.7839	3.6	0.5662	4.1	0.0730	1.9	0.46	454.4	8.3	455.6	15.0	461.5	80.5	454.4	8.3
61	98	34120	2.9	16.9729	2.1	0.7608	3.0	0.0936	2.1	0.71	577.1	11.8	574.4	13.3	564.0	46.4	577.1	11.8
62	400	63775	11.5	19.0958	3.5	0.2721	4.0	0.0377	1.9	0.47	238.4	4.4	244.3	8.6	301.5	79.6	238.4	4.4
63	279	27215	1.5	19.9505	4.0	0.2793	4.5	0.0404	2.0	0.46	255.4	5.1	250.1	9.9	200.7	92.3	255.4	5.1
64	55	40430	1.2	7.9261	1.8	6.0811	2.6	0.3496	1.9	0.72	1932.6	31.6	1987.5	22.8	2045.2	31.8	2045.2	31.8
65	252	94650	2.5	10.2140	4.7	3.5525	5.0	0.2632	1.6	0.31	1506.0	20.8	1539.0	39.5	1584.6	88.5	1584.6	88.5
66	173	73480	3.3	12.6532	2.9	2.1378	3.2	0.1962	1.2	0.37	1154.8	12.4	1161.1	21.8	1172.9	58.0	1172.9	58.0

67	392	88190	6.4	16.4081	1.9	0.7351	4.3	0.0875	3.9	0.90	540.6	20.4	559.5	18.7	637.3	40.0	540.6	20.4
68	229	22595	1.6	18.8339	17.6	0.3310	17.7	0.0452	1.7	0.10	285.1	4.7	290.3	44.6	332.9	401.1	285.1	4.7
69	405	61805	1.8	17.7296	2.5	0.5546	3.3	0.0713	2.3	0.68	444.1	9.7	448.0	12.1	468.2	54.3	444.1	9.7
70	396	14105	2.3	19.9385	3.4	0.1640	4.4	0.0237	2.8	0.64	151.1	4.2	154.2	6.3	202.1	78.0	151.1	4.2
71	67	24940	3.5	14.1177	3.3	1.5914	3.5	0.1629	1.2	0.34	973.1	10.7	966.9	21.9	952.6	67.6	973.1	10.7
72	110	9215	1.5	17.8735	8.6	0.3465	9.2	0.0449	3.3	0.35	283.2	9.0	302.1	23.9	450.3	190.4	283.2	9.0
73	560	48695	15.4	11.4767	6.3	2.0528	8.5	0.1709	5.7	0.67	1016.9	53.2	1133.2	58.1	1363.4	122.2	1363.4	122.2
74	207	56195	3.0	12.5953	1.3	2.0129	2.2	0.1839	1.8	0.80	1088.1	17.7	1119.9	14.9	1182.0	25.9	1182.0	25.9
75	487	166045	4.0	12.4851	2.8	1.9613	3.1	0.1776	1.4	0.45	1053.8	13.8	1102.3	21.2	1199.3	55.4	1199.3	55.4
76	55	9620	1.3	19.2434	10.8	0.4864	12.9	0.0679	7.1	0.55	423.4	29.1	402.4	42.9	283.9	247.1	423.4	29.1
78	110	22250	3.5	15.8231	3.6	0.7420	3.8	0.0852	1.2	0.32	526.8	6.2	563.6	16.5	714.9	76.8	526.8	6.2
79	886	21325	4.6	20.5532	2.0	0.0701	2.4	0.0104	1.3	0.52	67.0	0.8	68.8	1.6	131.2	47.7	67.0	0.8
80	456	45225	1.7	19.3967	2.4	0.2952	3.1	0.0415	2.0	0.63	262.3	5.1	262.6	7.3	265.7	55.6	262.3	5.1
81	80	52405	2.9	13.1245	4.1	1.9763	4.6	0.1881	2.2	0.48	1111.2	22.5	1107.5	31.1	1100.1	81.1	1100.1	81.1
82	389	131460	3.0	10.3650	1.7	3.3746	2.3	0.2537	1.5	0.68	1457.4	20.1	1498.5	17.9	1557.1	31.5	1557.1	31.5
83	96	4705	5.0	39.1892	68.6	0.0477	68.6	0.0136	2.1	0.03	86.8	1.8	47.3	31.7	-1687.1	2664.4	86.8	1.8
84	216	26560	1.8	18.6620	4.7	0.2868	5.1	0.0388	1.9	0.38	245.5	4.7	256.0	11.5	353.6	106.2	245.5	4.7
85	249	44680	6.6	15.4862	2.4	0.6288	4.7	0.0706	4.0	0.86	439.9	17.1	495.4	18.4	760.5	51.3	439.9	17.1
86	341	100075	5.4	13.3986	2.1	1.6485	3.1	0.1602	2.3	0.74	957.8	20.2	989.0	19.3	1058.7	41.3	1058.7	41.3
87	58	19955	2.5	13.5633	4.2	1.5846	4.8	0.1559	2.4	0.50	933.8	20.8	964.2	29.9	1034.0	84.1	1034.0	84.1
88	167	70065	3.8	12.1182	1.9	2.2953	2.7	0.2017	1.9	0.72	1184.6	20.9	1210.9	19.0	1257.9	36.4	1257.9	36.4
89	238	5935	1.7	24.4468	16.1	0.0676	16.1	0.0120	1.2	0.07	76.8	0.9	66.4	10.4	-293.5	412.7	76.8	0.9
90	347	3680	6.1	11.3645	42.5	0.4751	42.6	0.0392	3.0	0.07	247.6	7.2	394.7	140.1	1382.3	856.6	247.6	7.2
91	137	62075	2.7	12.6638	1.7	2.0655	3.0	0.1897	2.5	0.83	1119.8	25.7	1137.4	20.5	1171.2	32.7	1171.2	32.7
92	161	68790	2.0	13.6557	1.9	1.6638	3.2	0.1648	2.6	0.81	983.3	23.4	994.8	20.2	1020.3	38.3	1020.3	38.3
93	399	69690	13.8	17.2311	2.0	0.6020	3.3	0.0752	2.6	0.80	467.6	11.9	478.5	12.7	531.1	44.0	467.6	11.9
94	1524	50535	14.3	12.0751	1.3	2.0696	5.7	0.1812	5.6	0.97	1073.8	55.3	1138.8	39.3	1264.8	25.6	1264.8	25.6
95	167	35400	1.1	17.1240	2.7	0.7473	3.3	0.0928	2.0	0.59	572.1	10.8	566.7	14.4	544.7	58.4	572.1	10.8
96	397	42575	2.0	19.2797	2.5	0.3214	4.9	0.0449	4.3	0.87	283.4	11.9	283.0	12.2	279.6	56.2	283.4	11.9
97	327	37650	1.8	19.4036	3.4	0.2904	4.9	0.0409	3.5	0.71	258.2	8.8	258.9	11.1	264.9	78.1	258.2	8.8
98	550	58590	1.6	19.0622	3.8	0.3809	4.0	0.0527	1.3	0.33	330.9	4.3	327.7	11.3	305.5	86.4	330.9	4.3
99	157	49760	2.1	12.9094	1.7	2.0919	2.7	0.1959	2.1	0.79	1153.0	22.3	1146.1	18.4	1133.1	32.9	1133.1	32.9
100	335	112375	7.7	13.3360	1.6	1.7549	3.4	0.1697	3.0	0.88	1010.7	28.0	1029.0	22.0	1068.1	32.4	1068.1	32.4

TABLA A3-7. Resultados de Geocronología - Muestra SORM45 (Fm Cuervos)

No.	RELACIONES ISOTÓPICAS									EIDADES APARENTES (Ma)								
	U (ppm)	206Pb/204Pb	U/Th	206Pb*/207Pb* ± (%)	207Pb*/235U* ± (%)	206Pb*/238U ± (%)	error corr.	206Pb*/238U* ± (Ma)	207Pb*/235U ± (Ma)	206Pb*/207Pb* ± (Ma)	Mejor edad ± (Ma)	± (Ma)						
1	99	42950	1.9	10.2926	3.0	3.2753	3.4	0.2445	1.7	0.49	1410.0	21.4	1475.2	26.7	1570.2	56.0	1570.2	56.0
2	86	39090	1.1	10.4476	2.4	3.4508	3.0	0.2615	1.9	0.62	1497.4	24.7	1516.1	23.6	1542.2	44.2	1542.2	44.2
3	113	30860	0.7	12.5874	2.1	1.8208	2.8	0.1662	1.9	0.68	991.3	17.7	1053.0	18.6	1183.2	40.9	1183.2	40.9
4	121	83980	4.8	9.3013	1.4	4.4137	2.3	0.2977	1.9	0.79	1680.1	27.5	1714.9	19.4	1757.7	26.2	1757.7	26.2
5	60	28210	0.8	10.4295	3.3	3.5865	3.4	0.2713	0.5	0.15	1547.3	6.9	1546.5	26.7	1545.4	62.5	1545.4	62.5
6	152	96535	1.0	8.6325	1.8	5.4634	1.8	0.3421	0.5	0.27	1896.6	8.2	1894.9	15.9	1893.0	32.0	1893.0	32.0
7	415	80285	1.8	10.8744	2.0	2.9491	3.3	0.2326	2.6	0.78	1348.1	31.1	1394.6	24.8	1466.5	38.7	1466.5	38.7
8	219	83845	1.3	10.4799	1.6	3.1847	2.8	0.2421	2.3	0.82	1397.4	29.3	1453.5	21.9	1536.4	30.5	1536.4	30.5
9	208	98215	2.2	9.6284	2.2	4.3742	2.3	0.3055	0.6	0.28	1718.3	9.5	1707.5	18.8	1694.2	40.4	1694.2	40.4
10	138	81495	1.5	11.4347	1.8	2.8486	2.2	0.2362	1.3	0.58	1367.1	15.9	1368.4	16.8	1370.5	35.2	1370.5	35.2
12	110	68945	1.5	8.7522	2.2	5.3116	2.8	0.3372	1.7	0.61	1873.0	27.6	1870.7	23.7	1868.2	39.5	1868.2	39.5
13	309	58705	5.6	15.9128	1.5	0.9791	2.0	0.1130	1.4	0.70	690.2	9.4	693.2	10.3	702.9	31.1	690.2	9.4
14	130	55440	0.7	9.7648	1.6	4.0729	1.7	0.2884	0.6	0.35	1633.8	8.5	1648.9	13.6	1668.2	28.9	1668.2	28.9
15	37	17330	0.9	10.6397	4.0	3.4364	4.2	0.2652	1.2	0.29	1516.3	16.5	1512.8	33.1	1507.8	76.1	1507.8	76.1
16	581	11860	1.8	21.2767	6.6	0.0761	7.0	0.0117	2.3	0.33	75.2	1.7	74.4	5.0	49.2	157.4	75.2	1.7
17	266	107500	1.9	9.6550	1.8	4.3642	2.6	0.3056	1.8	0.70	1719.0	26.9	1705.6	21.1	1689.1	33.8	1689.1	33.8
18	210	4970	1.1	20.4978	12.3	0.0875	12.4	0.0130	1.7	0.13	83.3	1.4	85.2	10.1	137.5	289.2	83.3	1.4
19	207	21075	0.8	8.4994	1.6	5.1941	1.8	0.3202	0.8	0.47	1790.6	13.1	1851.7	15.3	1920.9	28.6	1920.9	28.6
21	198	91635	1.1	10.5208	1.3	3.5511	2.7	0.2710	2.4	0.88	1545.7	33.0	1538.7	21.7	1529.1	24.9	1529.1	24.9
22	186	15620	3.0	9.8030	2.7	2.8405	9.1	0.2020	8.7	0.96	1185.8	93.8	1366.3	68.2	1661.0	49.4	1661.0	49.4
23	122	47490	5.4	12.3171	2.3	2.2025	4.2	0.1968	3.5	0.84	1157.8	37.3	1181.8	29.3	1226.0	44.6	1226.0	44.6
24	149	39430	1.9	9.6413	1.9	3.5177	5.6	0.2460	5.2	0.94	1417.7	66.7	1531.2	44.2	1691.7	35.4	1691.7	35.4
25	412	48075	2.3	8.9852	5.6	4.6669	5.8	0.3041	1.4	0.24	1711.7	21.3	1761.3	48.7	1820.6	102.4	1820.6	102.4
26	533	234310	3.4	8.1822	0.8	5.5849	1.8	0.3314	1.6	0.89	1845.3	26.0	1913.8	15.7	1988.8	14.9	1988.8	14.9
27	372	42415	2.3	9.5636	2.0	3.6002	2.2	0.2497	1.1	0.48	1437.0	13.8	1549.6	17.8	1706.6	36.3	1706.6	36.3
28	322	18830	2.9	19.4732	3.1	0.2707	3.3	0.0382	1.1	0.32	241.8	2.5	243.2	7.1	256.7	70.9	241.8	2.5
29	120	30685	1.6	13.2325	2.0	1.8778	2.9	0.1802	2.0	0.71	1068.1	19.8	1073.3	18.9	1083.7	40.5	1083.7	40.5
30	123	8670	0.8	8.5320	1.4	5.4281	1.5	0.3359	0.6	0.39	1866.9	9.9	1889.3	13.2	1914.0	25.5	1914.0	25.5
31	224	48175	3.0	13.2014	2.7	1.7751	3.8	0.1700	2.7	0.71	1011.9	25.1	1036.4	24.5	1088.4	53.1	1088.4	53.1
32	32	9675	2.0	13.8534	4.0	1.6013	4.6	0.1609	2.3	0.49	961.7	20.2	970.7	28.6	991.1	81.0	991.1	81.0
33	236	21155	1.1	8.2937	2.8	5.7812	4.2	0.3478	3.2	0.75	1923.8	53.1	1943.6	36.7	1964.7	49.7	1964.7	49.7
34	471	8660	1.3	21.0128	9.5	0.0598	9.6	0.0091	1.3	0.13	58.5	0.7	58.9	5.5	78.9	226.8	58.5	0.7
35	107	50565	1.1	10.5769	2.0	3.3252	2.2	0.2551	0.9	0.43	1464.6	12.2	1487.0	16.9	1519.0	36.8	1519.0	36.8
36	177	41125	1.0	8.5508	5.1	5.5898	5.2	0.3467	1.1	0.22	1918.6	18.6	1914.5	44.6	1910.1	90.7	1910.1	90.7
37	122	27210	2.0	16.1055	3.7	0.9651	4.4	0.1127	2.3	0.52	688.6	14.8	686.0	21.7	677.2	79.3	688.6	14.8
38	23	12055	1.9	9.3607	3.3	4.6575	3.5	0.3162	0.9	0.27	1771.2	14.6	1759.6	28.9	1746.0	60.9	1746.0	60.9
39	151	3490	2.4	22.1038	10.6	0.0883	11.0	0.0141	2.9	0.26	90.6	2.6	85.9	9.0	-42.7	257.7	90.6	2.6
40	190	38480	1.4	10.3714	1.5	3.2718	3.1	0.2461	2.7	0.87	1418.4	33.7	1474.4	23.7	1555.9	28.3	1555.9	28.3
41	395	78240	0.9	12.1165	1.4	2.3697	1.9	0.2082	1.2	0.64	1219.4	13.2	1233.5	13.3	1258.2	28.0	1258.2	28.0
42	384	27165	1.3	16.0046	2.3	0.8385	2.4	0.0973	0.5	0.21	598.7	2.9	618.3	11.1	690.6	50.0	598.7	2.9
43	230	118560	5.7	10.5880	1.0	3.4388	1.1	0.2641	0.5	0.49	1510.6	7.3	1513.3	8.7	1517.0	18.3	1517.0	18.3
44	727	104600	0.7	16.4376	1.8	0.8321	2.0	0.0992	0.8	0.43	609.7	4.9	614.8	9.1	633.4	38.3	609.7	4.9
45	53	2310	0.9	17.1091	37.5	0.2208	37.5	0.0274	1.6	0.04	174.3	2.8	202.6	69.0	546.6	847.3	174.3	2.8
46	397	18880	1.9	18.8497	2.3	0.2997	3.0	0.0410	1.9	0.65	258.9	4.9	266.2	7.0	331.0	51.6	258.9	4.9
47	161	92175	1.2	8.6040	1.2	5.4165	2.5	0.3380	2.2	0.88	1877.0	35.7	1887.5	21.2	1898.9	20.9	1898.9	20.9
48	192	50800	1.8	9.0074	1.3	4.4798	1.5	0.2927	0.7	0.48	1654.8	10.4	1727.2	12.2	1816.2	23.4	1816.2	23.4
49	185	19135	20.4	13.4448	1.2	1.6771	1.6	0.1635	1.0	0.64	976.4	9.1	999.9	10.0	1051.7	24.4	1051.7	24.4
50	660	9925	1.2	20.9826	6.4	0.0601	6.5	0.0092	1.1	0.18	58.7	0.7	59.3	3.7	82.3	150.9	58.7	0.7
52	273	140475	7.2	8.3013	1.4	5.6007	2.3	0.3372	1.8	0.80	1873.2	29.9	1916.2	19.8	1963.1	24.4	1963.1	24.4
53	271	46910	3.2	11.3011	1.2	2.6580	1.3	0.2179	0.5	0.39	1270.5	6.0	1316.9	9.9	1393.1	23.6	1393.1	23.6
54	385	212960	2.4	10.1123	1.2	3.8300	1.7	0.2809	1.1	0.68	1595.9	16.0	1599.1	13.3	1603.3	22.6	1603.3	22.6
55	354	169255	5.7	9.8532	1.8	4.0763	2.3	0.2913	1.5	0.62	1648.1	21.1	1649.6	19.0	1651.5	33.9	1651.5	33.9
56	629	9070	1.2	22.4556	6.7	0.0567	7.2	0.0092	2.6	0.36	59.3	1.5	56.0	3.9	-81.2	165.3	59.3	1.5
57	153	52530	0.8	8.5581	2.5	5.5006	2.5	0.3414	0.5	0.20	1893.5	8.2	1900.7	21.8	1908.6	44.7	1908.6	44.7
58	167	5040	1.1	19.5370	7.1	0.1529	7.2	0.0217	1.5	0.21	138.1	2.0	144.4	9.7	249.1	163.2	138.1	2.0
59	352	27575	1.4	16.1352	5.5	0.7931	6.0	0.0928	2.4	0.40	572.1	13.2	592.9	27.2	673.3	118.6	572.1	13.2
60	167	25475	3.0	13.4173	1.7	1.7392	2.0	0.1692	1.2	0.59	1007.9	11.3	1023.2	13.2	1055.9	33.3	1055.9	33.3
61	98	44295	2.3	11.3270	2.5	2.7847	3.0	0.2288	1.6	0.55	1328.0	19.7	1351.4	22.2	1388.7	47.4	1388.7	47.4
62	565	156050	2.3	13.5039	1.4	1.7338	2.8	0.1698	2.4	0.87	1011.1	22.8	1021.2	18.0	1042.9	27.4	1042.9	27.4
63	199	63860	1.7	12.6167	2.0	2.2509	2.4	0.2060	1.2	0.52	1207.3	13.7	1197.1	16.7	1178.6	40.0	1178.6	40.0
64	122	2195	1.9	10.6923	36.5	0.1752	36.5	0.0136	1.6	0.04	87.0	1.4	163.9	55.3	1498.5	715.0	87.0	1.4
65	323	30155	1.1	8.7079	1.0	4.6003	1.1	0.2905	0.5	0.45	1644.2	7.3	1749.3	9.3	1877.3	18.0	1877.3	18.0
67	44	23180	1.0	10.1385	1.8	3.8170	2.4	0.2807	1.6	0.65	1594.7	21.9	1596.3	19.2	1598.4	33.8	1598.4	33.8
68	84	45975	0.9	10.1699	2.4	3.7528	2.9	0.2768	1.5	0.53	1575.2	21.4	1582.7	23.0	1592.7	45.2	1592.7	45.2
66	214	68770	1.3	9.1411	3.5	4.4913	7.2	0.2978	6.3	0.88	1680.2	93.6	1729.4	60.0	1789.4	63.1	1789.4	63.1

69	77	20405	1.7	11.2623	1.5	2.9318	1.7	0.2395	0.9	0.50	1384.0	10.7	1390.2	12.9	1399.7	28.2	1399.7	28.2
70	152	11400	1.4	8.7163	2.4	5.0921	3.1	0.3219	2.0	0.63	1799.0	30.8	1834.8	26.6	1875.6	44.0	1875.6	44.0
71	457	83700	4.0	12.5289	1.7	2.2392	4.8	0.2035	4.5	0.94	1193.9	49.4	1193.4	34.0	1192.4	33.6	1192.4	33.6
72	130	7695	2.4	11.5169	6.5	2.1957	6.5	0.1834	0.9	0.14	1085.5	9.1	1179.7	45.6	1356.7	124.8	1356.7	124.8
73	51	6800	1.2	12.8172	5.0	1.8272	5.1	0.1699	0.9	0.18	1011.3	8.5	1055.3	33.2	1147.4	98.7	1147.4	98.7
74	202	6040	1.6	16.3718	7.2	0.2450	7.3	0.0291	1.1	0.15	184.9	2.0	222.5	14.7	642.1	156.1	184.9	2.0
75	43	21665	0.8	9.1185	2.3	4.6941	2.6	0.3104	1.2	0.46	1742.9	18.0	1766.2	21.6	1793.9	41.7	1793.9	41.7
76	199	90470	1.0	8.6868	1.3	5.3419	2.7	0.3366	2.4	0.89	1870.1	39.4	1875.6	23.4	1881.7	22.7	1881.7	22.7
77	150	54495	0.9	8.6218	1.0	5.2078	1.9	0.3257	1.6	0.85	1817.3	25.2	1853.9	15.9	1895.2	17.4	1895.2	17.4
79	123	4400	0.6	20.0820	9.8	0.1958	10.0	0.0285	1.4	0.14	181.3	2.6	181.6	16.5	185.5	229.8	181.3	2.6
78	146	35620	2.4	14.4320	1.8	1.4128	2.2	0.1479	1.4	0.61	889.1	11.2	894.4	13.1	907.4	36.1	889.1	11.2
80	240	57020	2.2	11.3077	1.0	2.9787	2.1	0.2443	1.9	0.89	1408.9	23.7	1402.2	15.9	1391.9	18.2	1391.9	18.2
82	55	24780	1.5	10.5782	1.8	3.5398	2.0	0.2716	0.9	0.44	1548.8	12.0	1536.2	15.8	1518.8	33.8	1518.8	33.8
81	144	43940	3.0	13.6099	2.0	1.7713	2.3	0.1748	1.2	0.50	1038.7	11.1	1035.0	15.2	1027.1	41.1	1027.1	41.1
83	107	41065	0.9	7.9216	1.0	6.4509	1.8	0.3706	1.5	0.84	2032.3	26.8	2039.2	16.2	2046.2	17.8	2046.2	17.8
84	178	71435	1.6	9.1618	1.2	4.7886	1.7	0.3182	1.2	0.72	1780.9	18.7	1782.9	14.0	1785.2	21.0	1785.2	21.0
85	173	66605	1.9	11.4109	1.6	2.8698	1.8	0.2375	0.9	0.51	1373.7	11.5	1374.0	13.7	1374.5	30.2	1374.5	30.2
86	205	153665	1.5	7.5954	1.5	7.0516	1.9	0.3885	1.3	0.65	2115.6	22.7	2118.0	17.3	2120.2	25.9	2120.2	25.9
87	42	15120	0.6	10.1593	2.2	3.6874	2.3	0.2717	0.8	0.33	1549.4	10.7	1568.6	18.8	1594.6	41.4	1594.6	41.4
88	83	26150	0.6	10.3710	1.2	3.4881	1.4	0.2624	0.7	0.50	1501.9	9.5	1524.5	11.2	1556.0	23.1	1556.0	23.1
89	1105	12605	1.0	20.8281	1.7	0.0957	2.5	0.0145	1.8	0.74	92.6	1.7	92.8	2.2	99.8	39.2	92.6	1.7
90	195	3555	1.4	7.8288	6.1	5.7297	6.9	0.3253	3.2	0.46	1815.7	50.5	1935.9	59.7	2067.0	107.9	2067.0	107.9
91	124	52390	1.9	11.5156	1.7	2.7955	2.5	0.2335	1.7	0.70	1352.7	21.1	1354.3	18.4	1356.9	33.6	1356.9	33.6
92	68	39065	1.8	10.2786	2.9	3.8186	3.1	0.2847	1.1	0.37	1614.8	16.1	1596.7	24.7	1572.8	53.4	1572.8	53.4
93	796	16185	3.9	21.0977	5.6	0.0931	5.7	0.0142	1.0	0.17	91.1	0.9	90.3	4.9	69.3	133.4	91.1	0.9
94	123	55275	1.6	12.4454	1.4	2.2732	1.9	0.2052	1.3	0.68	1203.1	13.9	1204.0	13.2	1205.6	27.2	1205.6	27.2
95	59	27955	1.0	8.1268	1.0	6.1688	1.6	0.3636	1.3	0.77	1999.2	21.7	2000.0	14.3	2000.9	18.5	2000.9	18.5
96	150	58995	1.2	9.0602	1.1	4.9196	2.3	0.3233	2.0	0.87	1805.7	31.3	1805.6	19.3	1805.6	20.4	1805.6	20.4
98	215	91425	1.5	10.4025	1.0	3.5704	1.3	0.2694	0.7	0.59	1537.6	10.1	1543.0	10.0	1550.3	19.2	1550.3	19.2
97	57	30110	1.0	10.4518	2.0	3.5752	3.6	0.2710	3.1	0.84	1546.0	41.9	1544.0	28.7	1541.4	36.7	1541.4	36.7
99	234	46685	0.9	8.9935	1.0	4.5794	2.1	0.2987	1.8	0.87	1684.8	26.7	1745.5	17.3	1819.0	18.7	1819.0	18.7

TABLA A3-8. Resultados de Geocronología - Muestra SORM1 (Fm Cuervos)

No.	RELACIONES ISOTÓPICAS									EIDADES APARENTES (Ma)								
	U (ppm)	206Pb/204Pb	U/Th	206Pb*/207Pb* ± (%)	207Pb*/235U* ± (%)	206Pb*/238U ± (%)	error corr.	206Pb*/238U* ± (Ma)	207Pb*/235U ± (Ma)	206Pb*/207Pb* ± (Ma)	Mejor edad ± (Ma)							
1	244	70540	3.0	14.0488	1.0	1.5970	2.6	0.1627	2.4	0.92	971.9	21.3	969.0	16.1	962.6	21.0	971.9	21.3
2	171	4240	0.6	17.8371	13.5	0.2140	13.8	0.0277	2.4	0.18	176.1	4.2	196.9	24.6	454.8	301.7	176.1	4.2
3	393	13810	1.1	18.8336	3.1	0.3193	3.5	0.0436	1.6	0.45	275.2	4.3	281.4	8.6	332.9	70.9	275.2	4.3
5	212	72550	2.5	10.6047	1.0	3.4296	1.5	0.2638	1.2	0.76	1509.2	15.5	1511.2	11.9	1514.1	18.7	1514.1	18.7
4	226	21130	0.8	18.1632	1.9	0.4882	2.5	0.0643	1.6	0.65	401.8	6.4	403.7	8.4	414.5	42.6	401.8	6.4
6	511	39580	1.3	11.2287	1.2	2.8967	2.2	0.2359	1.9	0.84	1365.4	22.8	1381.1	16.7	1405.4	23.0	1405.4	23.0
7	702	15770	3.8	14.0569	2.2	1.0267	3.7	0.1047	2.9	0.79	641.8	17.8	717.3	18.9	961.4	45.7	641.8	17.8
8	479	22755	1.3	19.1210	2.0	0.3113	2.2	0.0432	1.0	0.44	272.4	2.5	275.2	5.2	298.5	44.6	272.4	2.5
9	249	4880	4.3	16.7455	8.8	0.3167	8.8	0.0385	1.3	0.14	243.3	3.0	279.4	21.6	593.3	190.2	243.3	3.0
10	172	32845	1.6	11.5246	1.1	2.5675	3.6	0.2146	3.4	0.95	1253.3	39.0	1291.4	26.2	1355.4	21.0	1355.4	21.0
11	823	32595	1.8	18.7460	2.0	0.3216	2.2	0.0437	1.0	0.44	275.9	2.6	283.2	5.5	343.5	44.9	275.9	2.6
12	112	87250	1.9	5.2900	1.4	13.1075	1.9	0.5029	1.3	0.66	2626.2	27.0	2687.4	17.8	2733.8	23.2	2733.8	23.2
14	318	9335	0.6	19.4191	6.5	0.2045	6.6	0.0288	1.0	0.15	183.1	1.8	189.0	11.3	263.1	149.5	183.1	1.8
15	124	2960	1.2	16.4613	7.0	0.3380	7.1	0.0404	0.8	0.12	255.0	2.1	295.7	18.2	630.3	151.9	255.0	2.1
16	471	31835	1.5	18.8314	2.1	0.3285	2.8	0.0449	1.9	0.67	282.9	5.2	288.4	7.0	333.2	47.2	282.9	5.2
17	177	34275	3.0	12.1076	3.1	2.2558	3.7	0.1981	2.0	0.53	1165.0	21.0	1198.6	25.9	1259.6	60.9	1259.6	60.9
18	871	13805	1.6	15.8936	5.7	0.5545	5.7	0.0639	0.5	0.09	399.4	1.9	447.9	20.8	705.5	121.8	399.4	1.9
19	80	1295	0.7	14.8177	26.4	0.2709	26.5	0.0291	2.3	0.09	185.0	4.2	243.4	57.4	852.8	557.7	185.0	4.2
20	803	49555	1.5	19.0872	2.4	0.3231	3.9	0.0447	3.1	0.79	282.0	8.4	284.3	9.6	302.5	54.0	282.0	8.4
21	343	10580	1.2	16.9857	4.3	0.5315	4.6	0.0655	1.7	0.37	408.8	6.8	432.8	16.3	562.4	93.8	408.8	6.8
22	477	32910	1.6	18.7241	2.4	0.3227	3.1	0.0438	2.0	0.64	276.5	5.4	284.0	7.8	346.1	54.8	276.5	5.4
2A	275	10925	1.5	18.4437	3.9	0.3259	3.9	0.0436	0.5	0.13	275.1	1.3	286.5	9.7	380.1	86.8	275.1	1.3
23	308	23035	2.4	16.6004	3.0	0.6453	4.8	0.0777	3.8	0.79	482.3	17.6	505.6	19.1	612.2	63.9	482.3	17.6
24	414	18800	1.6	19.1453	2.5	0.3137	2.6	0.0436	0.8	0.32	274.8	2.2	277.0	6.3	295.6	56.0	274.8	2.2
25	492	7235	1.6	17.3034	9.2	0.2198	9.2	0.0276	0.7	0.08	175.4	1.2	201.8	16.8	521.9	201.7	175.4	1.2
26	438	28585	1.4	19.0812	2.0	0.3427	3.3	0.0474	2.7	0.81	298.7	7.9	299.3	8.7	303.2	44.7	298.7	7.9
27	95	33650	2.0	13.4896	1.6	1.7899	2.0	0.1751	1.2	0.58	1040.2	11.3	1041.8	13.2	1045.0	33.1	1045.0	33.1
28	70	7545	1.5	18.8594	6.4	0.5525	6.5	0.0756	1.1	0.18	469.7	5.2	446.7	23.4	329.8	144.9	469.7	5.2
29	461	37995	1.4	16.4858	1.7	0.6616	3.8	0.0791	3.4	0.89	490.8	15.9	515.6	15.3	627.1	37.5	490.8	15.9
30	123	6870	0.9	21.2985	9.4	0.2278	9.5	0.0352	1.7	0.18	223.0	3.8	208.4	17.9	46.7	224.2	223.0	3.8
31	380	17010	2.9	18.6704	2.0	0.2969	2.5	0.0402	1.6	0.62	254.1	3.9	264.0	5.8	352.6	44.7	254.1	3.9
32	187	2895	2.5	17.4196	23.2	0.0757	23.2	0.0096	1.3	0.05	61.4	0.8	74.1	16.6	507.2	516.0	61.4	0.8
33	495	9180	5.2	20.4195	11.4	0.0993	11.6	0.0147	2.4	0.21	94.1	2.3	96.2	10.7	146.5	267.6	94.1	2.3
34	72	59625	1.7	6.9449	1.1	8.3428	1.9	0.4202	1.6	0.81	2261.5	29.8	2269.0	17.4	2275.7	19.3	2275.7	19.3
35	195	45850	1.8	12.0317	4.6	2.4089	4.7	0.2102	0.9	0.18	1229.9	9.7	1245.2	33.8	1271.9	90.4	1271.9	90.4
36	175	11370	1.9	19.7219	4.5	0.3029	4.6	0.0433	1.1	0.24	273.4	3.0	268.6	10.9	227.4	103.7	273.4	3.0
37	180	10295	0.6	19.5649	7.8	0.2775	8.1	0.0394	1.1	0.26	249.0	5.2	248.7	17.9	245.9	180.9	249.0	5.2
39	152	44110	1.9	12.7197	1.9	2.1766	2.3	0.2008	1.3	0.57	1179.6	14.3	1173.6	16.3	1162.5	38.1	1162.5	38.1
38	121	4310	1.6	19.4937	10.0	0.2279	10.1	0.0322	2.0	0.19	204.5	3.9	208.5	19.1	254.2	229.4	204.5	3.9
40	82	17650	1.8	13.9522	1.9	1.6263	2.0	0.1646	0.5	0.25	982.1	4.6	980.4	12.4	976.7	39.0	976.7	39.0
42	536	8315	2.1	14.9793	7.2	0.6442	7.5	0.0700	2.0	0.26	436.1	8.2	504.9	29.7	830.2	150.3	436.1	8.2
43	277	5740	1.5	13.1084	16.1	1.0076	16.2	0.0958	1.9	0.12	589.7	10.8	707.6	82.9	1102.6	324.3	589.7	10.8
41	1031	41815	1.9	18.8809	1.6	0.2864	3.1	0.0392	2.7	0.87	248.0	6.7	255.7	7.1	327.2	35.2	248.0	6.7
44	201	21750	1.0	13.5322	0.8	1.6067	1.0	0.1577	0.7	0.66	943.9	5.9	972.8	6.3	1038.7	15.3	1038.7	15.3
45	429	61705	13.6	14.9248	1.6	1.0261	4.5	0.1111	4.2	0.93	678.9	26.8	717.0	22.9	837.8	33.5	678.9	26.8
1A	1599	24895	2.3	11.3109	6.1	2.1323	6.8	0.1749	2.9	0.44	1039.2	28.2	1159.3	46.7	1391.4	116.8	1391.4	116.8
46	525	29875	1.3	19.1095	2.7	0.3344	2.9	0.0463	1.1	0.38	292.1	3.1	292.9	7.4	299.8	61.3	292.1	3.1
48	540	32810	2.0	19.0988	1.8	0.3207	2.5	0.0444	1.7	0.69	280.2	4.6	282.4	6.1	301.1	40.9	280.2	4.6
47	691	18665	1.4	17.3947	2.5	0.4895	2.8	0.0618	1.4	0.48	386.3	5.1	404.5	9.5	510.3	54.8	386.3	5.1
49	646	183465	22.1	12.6594	1.4	2.1375	1.8	0.1963	1.2	0.63	1155.2	12.2	1161.0	12.6	1171.9	27.9	1171.9	27.9
50	213	61510	1.9	9.7040	1.3	3.9903	1.8	0.2808	1.3	0.71	1595.6	18.0	1632.2	14.5	1679.8	23.1	1679.8	23.1
52	93	3085	0.8	20.0419	18.0	0.2017	18.1	0.0293	1.8	0.10	186.3	3.2	186.5	30.9	190.1	422.3	186.3	3.2
51	304	19750	1.5	18.5077	3.5	0.3475	4.2	0.0466	2.3	0.55	293.9	6.7	302.9	11.1	372.3	79.7	293.9	6.7
53	356	73860	3.4	12.8242	0.8	1.9697	1.8	0.1832	1.6	0.88	1084.4	15.5	1105.2	11.8	1146.3	16.3	1146.3	16.3
54	873	23080	2.8	19.3337	2.6	0.2675	2.6	0.0375	0.5	0.19	237.4	1.2	240.7	5.6	273.2	59.1	237.4	1.2
55	868	24270	1.2	19.1338	1.3	0.3106	1.4	0.0431	0.5	0.36	272.0	1.3	274.6	3.3	296.9	29.4	272.0	1.3
56	797	89015	5.4	14.5467	3.2	0.8604	4.1	0.0908	2.5	0.61	560.1	13.4	630.3	19.1	891.1	66.5	560.1	13.4
57	324	4870	5.2	15.9302	13.7	0.2805	14.1	0.0324	3.1	0.22	205.6	6.3	251.0	31.3	700.6	293.1	205.6	6.3
6A	91	28090	1.9	12.9413	3.1	2.1056	3.5	0.1976	1.7	0.47	1162.6	17.6	1150.7	24.2	1128.2	61.9	1128.2	61.9
58	378	15465	4.0	19.1155	2.3	0.2791	2.7	0.0387	1.4	0.52	244.7	3.4	249.9	6.0	299.1	53.0	244.7	3.4
59	457	22795	1.1	19.5175	2.0	0.2792	2.4	0.0395	1.4	0.57	249.9	3.4	250.0	5.4	251.4	46.1	249.9	3.4
60	443	52605	2.7	16.4591	1.1	0.7921	1.2	0.0946	0.5	0.43	582.5	2.8	592.4	5.2	630.6	22.7	582.5	2.8
62	279	4635	4.3	19.3345	12.8	0.1078	13.0	0.0151	2.3	0.18	96.7	2.2	104.0	12.8	273.1	293.4	96.7	2.2
61	264	31845	1.9	16.6801	1.6	0.7447	1.8	0.0901	1.0	0.52	556.1	5.1	565.2	7.9	601.8	33.6	556.1	5.1
63	117	14280	0.8	16.0969	4.7	0.7978	5.8	0.0931	3.4	0.59	574.1	18.9	595.6	26.3	678.3	100.7	574.1	18.9

64	265	19375	4.5	19.1540	4.0	0.2780	4.2	0.0386	1.4	0.33	244.2	3.3	249.0	9.2	294.5	90.3	244.2	3.3
65	529	24050	1.5	19.0035	1.4	0.3046	2.8	0.0420	2.4	0.86	265.1	6.2	270.0	6.6	312.5	32.1	265.1	6.2
66	581	66720	5.7	17.1769	0.9	0.7085	1.1	0.0883	0.6	0.55	545.3	3.1	543.9	4.6	537.9	20.1	545.3	3.1
67	364	20790	0.6	19.7165	2.7	0.2390	3.1	0.0342	1.5	0.50	216.6	3.3	217.6	6.0	228.1	61.8	216.6	3.3
68	201	6435	0.6	16.6774	6.9	0.3810	7.0	0.0461	1.2	0.17	290.5	3.4	327.8	19.5	602.2	148.9	290.5	3.4
70	169	53580	1.9	11.4788	1.8	2.7711	2.6	0.2307	1.8	0.70	1338.2	21.8	1347.8	19.1	1363.1	35.1	1363.1	35.1
69	1728	70550	6.9	13.9292	1.6	1.2357	6.0	0.1248	5.7	0.96	758.3	41.1	816.9	33.4	980.0	32.4	758.3	41.1
71	149	29120	1.8	14.2356	1.6	1.5238	1.9	0.1573	1.1	0.56	941.9	9.3	940.0	11.5	935.5	31.8	941.9	9.3
72	117	7865	1.1	18.4066	6.0	0.4015	6.1	0.0536	1.2	0.19	336.6	3.8	342.7	17.7	384.7	134.3	336.6	3.8
73	285	38170	4.6	13.6447	2.7	0.8896	5.2	0.0880	4.4	0.85	543.9	22.9	646.1	24.7	1021.9	54.7	543.9	22.9
74	253	40150	4.3	15.0521	1.5	0.9619	3.9	0.1050	3.6	0.93	643.7	22.1	684.3	19.4	820.1	30.5	643.7	22.1
4A	243	4410	1.6	13.4136	18.0	0.7542	18.0	0.0734	1.2	0.07	456.4	5.2	570.6	78.9	1056.4	365.2	456.4	5.2
75	166	27920	2.4	14.0461	1.0	1.1022	1.2	0.1123	0.6	0.49	686.0	3.8	754.4	6.4	963.0	21.3	686.0	3.8
76	680	53210	1.6	19.2385	1.6	0.3064	3.6	0.0427	3.2	0.89	269.8	8.4	271.4	8.5	284.5	37.5	269.8	8.4
77	108	9120	1.4	18.6292	5.5	0.3351	5.6	0.0453	1.1	0.19	285.4	3.0	293.4	14.2	357.6	123.4	285.4	3.0
78	606	49350	1.7	19.3871	2.6	0.3088	3.0	0.0434	1.6	0.52	274.0	4.2	273.2	7.2	266.8	58.8	274.0	4.2
79	265	16095	1.7	19.0596	5.5	0.3162	5.5	0.0437	0.7	0.13	275.7	1.9	278.9	13.5	305.8	125.0	275.7	1.9
80	162	14575	1.6	10.1620	4.1	3.3113	4.6	0.2440	2.1	0.45	1407.7	26.2	1483.7	35.7	1594.1	76.4	1594.1	26.2
81	366	38075	4.7	17.1664	1.8	0.5269	4.2	0.0656	3.8	0.90	409.6	15.0	429.8	14.8	539.3	40.3	409.6	15.0
82	58	2000	1.1	18.3165	28.1	0.1934	28.2	0.0257	3.1	0.11	163.5	4.9	179.5	46.5	395.7	640.4	163.5	4.9
83	52	3160	1.5	11.6800	23.9	1.0448	24.0	0.0885	0.8	0.03	546.7	4.1	726.3	124.9	1329.5	470.2	546.7	4.1
84	135	8875	1.7	16.2264	12.8	0.6203	12.9	0.0730	1.3	0.10	454.2	5.9	490.0	50.1	661.2	275.4	454.2	5.9
85	194	3950	2.4	17.1654	5.1	0.2361	6.1	0.0294	3.3	0.54	186.8	6.1	215.2	11.9	539.4	112.4	186.8	6.1
86	1022	15075	4.4	16.5922	4.4	0.5328	5.3	0.0641	3.0	0.56	400.6	11.6	433.7	18.8	613.2	94.9	400.6	11.6
87	344	7765	2.0	17.0630	3.6	0.3577	3.9	0.0443	1.4	0.36	279.2	3.9	310.5	10.4	552.5	79.2	279.2	3.9
88	259	8320	5.8	22.7604	13.2	0.0904	13.4	0.0149	2.3	0.17	95.5	2.2	87.9	11.3	-114.3	326.8	95.5	2.2
89	255	17295	1.2	15.7611	4.7	0.8076	5.0	0.0923	1.7	0.33	569.2	9.0	601.1	22.7	723.2	100.0	569.2	9.0
90	218	32840	1.5	8.5931	1.7	5.2592	3.1	0.3278	2.6	0.84	1827.6	40.9	1862.3	26.2	1901.2	30.2	1901.2	30.2
91	886	43750	2.2	18.8124	3.1	0.3068	4.1	0.0419	2.8	0.66	264.3	7.1	271.7	9.9	335.5	70.3	264.3	7.1
93	49	6995	2.3	14.9800	5.7	1.1140	5.8	0.1210	1.1	0.19	736.5	7.6	760.1	30.9	830.1	118.5	736.5	7.6
1A	567	35530	2.2	19.3651	1.6	0.3239	1.9	0.0455	1.0	0.53	286.8	2.8	284.9	4.7	269.4	36.8	286.8	2.8
94	266	11105	6.4	18.5860	4.0	0.2849	4.0	0.0384	0.5	0.12	242.9	1.2	254.5	9.1	362.8	90.1	242.9	1.2
95	589	23300	1.4	18.4267	2.2	0.3184	3.8	0.0425	3.2	0.82	268.6	8.3	280.7	9.4	382.2	48.7	268.6	8.3
92	471	25400	1.5	19.2221	2.9	0.3111	3.1	0.0434	1.1	0.36	273.7	2.9	275.0	7.4	286.4	65.4	273.7	2.9
97	616	27235	2.1	18.6664	3.0	0.3250	3.3	0.0440	1.3	0.39	277.6	3.4	285.8	8.1	353.1	68.1	277.6	3.4
98	169	13375	2.3	18.1235	6.0	0.3932	7.5	0.0517	4.5	0.60	324.9	14.2	336.7	21.5	419.4	133.9	324.9	14.2
96	603	21060	3.6	19.4223	3.7	0.2490	3.8	0.0351	1.2	0.30	222.3	2.5	225.8	7.8	262.7	84.0	222.3	2.5
100	74	8070	1.6	15.9772	8.8	0.7639	9.1	0.0885	2.1	0.23	546.8	11.2	576.3	40.0	694.3	188.6	546.8	11.2
99	259	116635	36.3	13.1665	1.8	1.9069	2.2	0.1821	1.3	0.57	1078.4	12.6	1083.5	14.9	1093.7	36.8	1093.7	36.8

TABLA A3-9. Resultados de Geocronología - Muestra Base 39 (Eoceno)

No.	RELACIONES ISOTÓPICAS									EIDADES APARENTES (Ma)								
	U (ppm)	206Pb/204Pb	U/Th	206Pb* ± 207Pb* (%)	207Pb* ± 235U* (%)	206Pb* ± 238U* (%)	error corr.	206Pb* ± 238U* (Ma)	207Pb* ± 235U* (Ma)	206Pb* ± 207Pb* (Ma)	Mejor edad (Ma)	± (Ma)						
1	284	73000	3.1	12.7228	1.6	2.1939	2.9	0.2024	2.5	0.84	1188.4	26.6	1179.1	20.3	1162.0	31.1	1162.0	31.1
3	105	27535	1.9	12.7875	1.9	1.9764	2.8	0.1833	2.1	0.73	1085.0	20.6	1107.5	19.1	1152.0	38.5	1152.0	38.5
4	104	1855	1.5	14.8673	31.8	0.2547	31.8	0.0275	1.8	0.06	174.7	3.1	230.4	65.7	845.9	677.2	174.7	3.1
5	321	34985	9.2	17.2569	1.5	0.6449	3.2	0.0807	2.8	0.89	500.4	13.6	505.3	12.7	527.8	32.5	500.4	13.6
6	154	48125	5.5	12.6226	1.2	2.0399	3.1	0.1867	2.8	0.92	1103.7	28.7	1128.9	20.9	1177.7	23.4	1177.7	23.4
7	84	25900	5.0	13.4575	2.6	1.5610	8.1	0.1524	7.7	0.95	914.2	65.6	954.9	50.3	1049.8	52.5	1049.8	52.5
8	252	2870	1.5	20.2101	16.3	0.0539	16.9	0.0079	4.4	0.26	50.7	2.2	53.3	8.8	170.6	383.0	50.7	2.2
9	547	89655	6.1	16.8358	1.3	0.7971	2.4	0.0973	2.0	0.84	598.8	11.6	595.2	10.8	581.7	28.0	598.8	11.6
10	46	2055	0.9	14.0964	43.3	0.2629	44.0	0.0269	7.7	0.18	171.0	13.0	237.0	93.3	955.7	930.0	171.0	13.0
10A	169	71720	3.4	10.1621	1.4	3.5558	2.3	0.2621	1.8	0.79	1500.4	24.6	1539.7	18.4	1594.1	26.5	1594.1	26.5
7A	562	80250	4.0	14.1787	2.6	1.3156	3.0	0.1353	1.6	0.53	817.9	12.4	852.6	17.5	943.8	52.7	817.9	12.4
11	402	47975	1.7	17.4783	1.9	0.6703	2.7	0.0850	1.9	0.71	525.7	9.8	520.9	11.2	499.8	42.5	525.7	9.8
12	197	4090	2.2	23.6223	17.6	0.0742	17.8	0.0127	3.0	0.17	81.5	2.4	72.7	12.5	-206.7	444.2	81.5	2.4
13	205	56850	3.5	13.5336	2.9	1.7433	3.2	0.1711	1.3	0.40	1018.2	11.8	1024.7	20.4	1038.5	58.6	1038.5	58.6
14	364	123040	3.0	11.8902	4.6	2.5377	5.8	0.2188	3.7	0.62	1275.7	42.2	1282.9	42.6	1294.9	88.7	1294.9	88.7
15	487	57085	4.1	16.4185	3.2	0.6173	5.8	0.0735	4.8	0.83	457.2	21.1	488.2	22.4	635.9	69.8	457.2	21.1
5A	293	9455	1.8	20.1273	6.7	0.1506	6.8	0.0220	1.2	0.18	140.2	1.7	142.5	9.1	180.2	157.1	140.2	1.7
16	231	855	1.4	9.7411	24.8	0.1119	25.2	0.0079	4.7	0.19	50.8	2.4	107.7	25.7	1672.7	464.9	50.8	2.4
17	215	58710	1.9	13.5742	0.9	1.6824	2.0	0.1656	1.8	0.89	988.0	16.4	1001.9	12.8	1032.4	18.2	1032.4	18.2
18	70	2795	1.1	30.1087	37.7	0.1260	37.8	0.0275	1.9	0.05	175.0	3.3	120.5	43.0	-856.8	1115.9	175.0	3.3
20	617	152210	10.0	13.3571	2.7	1.6064	3.5	0.1556	2.3	0.65	932.4	19.9	972.7	22.1	1064.9	54.1	1064.9	54.1
20A	141	40520	2.9	14.0063	1.4	1.6139	1.9	0.1639	1.2	0.65	978.6	11.3	975.6	11.9	968.8	29.2	968.8	29.2
21	73	6565	1.4	19.6014	13.4	0.3100	13.9	0.0441	3.8	0.28	278.0	10.4	274.2	33.4	241.6	309.5	278.0	10.4
22	153	39590	3.3	13.5054	2.7	1.7322	4.0	0.1697	2.9	0.72	1010.3	26.9	1020.6	25.6	1042.7	55.3	1042.7	55.3
23	269	74935	4.3	13.4505	1.4	1.7130	2.4	0.1671	1.9	0.81	996.2	17.9	1013.4	15.4	1050.9	28.6	1050.9	28.6
24	121	10470	2.5	19.7117	7.7	0.2960	7.9	0.0423	1.6	0.20	267.2	4.2	263.3	18.2	228.6	178.2	267.2	4.2
25	217	77960	3.3	11.2375	1.4	2.9584	2.0	0.2411	1.5	0.73	1392.5	18.7	1397.0	15.5	1403.9	26.6	1403.9	26.6
26	253	10535	3.1	21.1290	5.5	0.1953	5.5	0.0299	0.9	0.15	190.1	1.6	181.1	9.2	65.8	130.5	190.1	1.6
27	547	165035	4.2	12.3957	1.3	2.1985	1.8	0.1976	1.2	0.68	1162.7	12.7	1180.6	12.3	1213.5	25.4	1213.5	25.4
28	295	22700	2.7	19.8983	3.8	0.2824	5.0	0.0408	3.2	0.65	257.5	8.2	252.5	11.1	206.8	88.0	257.5	8.2
29	102	9790	1.7	17.7391	5.4	0.5582	5.6	0.0718	1.6	0.29	447.1	7.0	450.3	20.4	467.1	119.3	447.1	7.0
30	150	23380	1.5	16.4867	1.5	0.8298	2.5	0.0992	2.0	0.80	609.9	11.6	613.5	11.4	627.0	31.8	609.9	11.6
31	216	16915	1.8	18.5614	4.9	0.3304	5.1	0.0445	1.6	0.31	280.5	4.4	289.9	13.0	365.8	110.3	280.5	4.4
32	418	17635	1.6	15.5586	29.4	0.3827	29.5	0.0432	0.9	0.03	272.5	2.4	329.0	83.0	750.6	634.9	272.5	2.4
33	64	825	1.7	33.9781	86.7	0.0286	87.1	0.0070	8.3	0.10	45.2	3.7	28.6	24.6	-1218.2	3422.1	45.2	3.7
34	297	93565	6.7	12.2182	4.6	2.3157	5.2	0.2052	2.4	0.45	1203.2	25.8	1217.1	36.6	1241.8	90.2	1241.8	90.2
35	457	18375	1.2	19.6063	6.2	0.2017	6.4	0.0287	1.8	0.28	182.3	3.2	186.6	11.0	241.0	142.7	182.3	3.2
33A	362	145980	28.5	8.6411	3.3	3.6401	3.8	0.2281	2.0	0.51	1324.7	23.5	1558.3	30.6	1891.2	59.4	1891.2	59.4
36	113	36150	4.0	12.4634	3.1	1.9826	5.6	0.1792	4.7	0.84	1062.7	46.2	1109.6	38.1	1202.7	60.7	1202.7	60.7
37	161	30845	5.9	13.6861	3.1	1.4945	3.8	0.1484	2.2	0.58	891.7	18.2	928.2	23.0	1015.8	62.4	891.7	18.2
38	140	41920	2.6	12.7436	2.6	2.0839	3.2	0.1926	2.0	0.61	1135.5	20.5	1143.5	22.2	1158.8	51.0	1158.8	51.0
39	217	36805	6.2	14.2728	5.1	1.2737	7.7	0.1319	5.8	0.75	798.4	43.2	834.1	43.6	930.2	103.8	798.4	43.2
40	25	1350	1.4	36.7999	88.2	0.1133	88.6	0.0302	9.3	0.10	192.0	17.6	109.0	91.8	-1474.0	3730.5	192.0	17.6
41	265	16460	1.4	19.7603	5.7	0.3008	5.7	0.0431	0.5	0.09	272.1	1.4	267.1	13.4	222.9	131.7	272.1	1.4
42	153	32885	2.7	12.5063	1.4	2.1209	2.0	0.1924	1.4	0.70	1134.2	14.6	1155.6	13.8	1196.0	28.2	1196.0	28.2
43	279	11710	2.2	17.4644	8.7	0.3534	8.7	0.0448	0.5	0.06	282.3	1.4	307.3	23.0	501.5	191.4	282.3	1.4
44	286	74435	1.7	13.4062	1.3	1.7214	1.7	0.1674	1.1	0.66	997.6	10.5	1016.5	11.1	1057.5	26.0	1057.5	26.0
45	67	17310	5.1	14.1836	3.4	1.4242	3.6	0.1465	1.2	0.34	881.3	10.2	899.1	21.8	943.0	70.3	881.3	10.2
46	132	1985	2.9	21.0016	24.5	0.0513	24.7	0.0078	3.0	0.12	50.2	1.5	50.8	12.2	80.2	588.6	50.2	1.5
47	782	196200	3.3	11.9973	4.5	2.5288	4.9	0.2200	2.1	0.42	1282.1	24.2	1280.4	36.0	1277.5	87.4	1277.5	87.4
48	160	3175	1.4	22.5351	11.3	0.1691	11.4	0.0276	1.6	0.14	175.8	2.8	158.6	16.7	-89.8	277.3	175.8	2.8
50	100	31235	2.2	12.8114	2.2	1.9128	5.0	0.1777	4.4	0.89	1054.6	43.0	1085.6	33.0	1148.3	44.3	1148.3	44.3
51	312	61170	2.3	14.4131	2.7	1.4387	3.1	0.1504	1.5	0.48	903.2	12.4	905.2	18.5	910.1	56.0	903.2	12.4
52	903	93465	1.6	17.3691	2.0	0.6061	2.2	0.0764	0.9	0.42	474.3	4.2	481.1	8.2	513.5	42.9	474.3	4.2
53	299	7120	1.8	21.9727	20.1	0.0779	20.2	0.0124	1.9	0.09	79.6	1.5	76.2	14.8	-28.2	491.0	79.6	1.5
55	32	1000	1.5	22.3761	54.6	0.1896	54.6	0.0308	3.0	0.06	195.4	5.8	176.3	88.6	-72.5	1433.2	195.4	5.8
4A	112	47370	3.2	11.9496	2.3	2.4747	3.7	0.2145	2.9	0.78	1252.6	32.9	1264.7	26.7	1285.2	44.6	1285.2	44.6
56	207	45020	2.1	12.4473	1.6	1.9186	2.8	0.1732	2.3	0.82	1029.7	21.7	1087.6	18.7	1205.3	31.9	1205.3	31.9
58	281	67530	4.3	12.8257	1.9	1.9212	3.2	0.1787	2.6	0.81	1059.9	25.5	1088.5	21.4	1146.0	37.2	1146.0	37.2
60	287	9010	0.9	20.3171	5.4	0.1773	6.1	0.0261	2.7	0.44	166.3	4.4	165.8	9.3	158.3	127.6	166.3	4.4
59	102	24615	2.7	12.7251	1.5	1.9445	1.9	0.1795	1.1	0.58	1064.0	10.8	1096.6	12.7	1161.7	30.5	1161.7	30.5
62	38	8895	1.0	10.2224	6.3	3.2487	6.9	0.2409	2.8	0.40	1391.2	34.4	1468.9	53.5	1583.0	118.2	1583.0	118.2
65	377	8100	2.1	21.1311	7.9	0.0937	7.9	0.0144	0.5	0.07	91.9	0.5	91.0	6.9	65.6	188.3	91.9	0.5
66	170	12440	1.3	19.2184	6.5	0.3009	6.6	0.0419	1.2	0.18	264.8	3.1	267.1	15.6	286.9	149.2	264.8	3.1
67	238	16095	1.4	20.4243	4.4	0.2521	4.6	0.0373	1.1	0.25	236.3	2.6	228.3	9.3	146.0	103.8	236.3	2.6

68	168	3430	3.5	21.9993	10.5	0.0916	10.5	0.0146	1.1	0.10	93.5	1.0	89.0	9.0	-31.2	254.7	93.5	1.0
69	90	26200	2.3	12.3764	1.8	2.2522	2.0	0.2022	1.0	0.50	1186.9	11.1	1197.5	14.3	1216.5	34.5	1216.5	34.5
70	351	131070	9.6	11.2646	1.2	2.5188	1.8	0.2058	1.3	0.72	1206.3	14.1	1277.5	12.9	1399.3	23.4	1399.3	23.4
72	350	22945	1.9	19.6828	2.1	0.2959	2.7	0.0422	1.7	0.62	266.7	4.4	263.2	6.3	232.0	49.1	266.7	4.4
73	169	10145	1.2	18.2349	20.3	0.3248	20.5	0.0430	2.8	0.14	271.1	7.4	285.6	51.2	405.7	459.6	271.1	7.4
74	272	65745	1.6	14.0933	1.0	1.3305	4.1	0.1360	4.0	0.97	822.0	30.8	859.1	23.8	956.1	19.6	822.0	30.8
75	856	29460	2.1	18.9150	5.6	0.3091	5.9	0.0424	1.6	0.27	267.7	4.2	273.4	14.1	323.1	128.2	267.7	4.2
76	279	107710	4.5	11.3582	1.8	2.7824	2.7	0.2292	2.0	0.74	1330.3	23.8	1350.8	19.9	1383.4	34.2	1383.4	34.2
77	227	73900	3.3	12.1563	1.5	2.2031	4.1	0.1942	3.8	0.93	1144.3	39.8	1182.0	28.6	1251.7	29.6	1251.7	29.6
78	270	16980	2.8	19.0808	4.6	0.3002	5.1	0.0416	2.2	0.43	262.4	5.5	266.6	11.9	303.3	104.3	262.4	5.5
79	441	124240	3.3	11.9272	2.3	2.1808	5.2	0.1886	4.7	0.90	1114.0	48.3	1174.9	36.4	1288.9	44.0	1288.9	44.0
80	106	31195	9.6	13.5676	2.2	1.5778	4.3	0.1553	3.7	0.86	930.4	31.9	961.5	26.7	1033.4	44.5	1033.4	44.5
80A	281	108315	13.5	12.7087	1.5	2.0141	2.6	0.1856	2.1	0.82	1097.7	21.6	1120.3	17.7	1164.2	29.3	1164.2	29.3
81	112	7350	2.6	19.9255	8.6	0.2625	8.6	0.0379	0.8	0.09	240.0	1.8	236.7	18.2	203.6	199.8	240.0	1.8
82	337	4355	2.9	18.2859	15.1	0.0732	15.6	0.0097	3.8	0.24	62.3	2.3	71.8	10.8	399.4	340.0	62.3	2.3
83	320	89620	3.6	11.6798	2.0	2.4594	4.5	0.2083	4.0	0.90	1220.0	44.9	1260.2	32.4	1329.6	37.9	1329.6	37.9
84	480	27330	5.0	18.8393	3.5	0.2598	4.0	0.0355	2.0	0.49	224.9	4.4	234.5	8.4	332.2	79.5	224.9	4.4
85	309	19885	2.1	20.0970	6.7	0.2843	7.3	0.0414	2.8	0.38	261.7	7.1	254.1	16.4	183.7	157.2	261.7	7.1
86	1004	70735	2.5	18.7316	6.8	0.2864	7.2	0.0389	2.2	0.31	246.0	5.3	255.7	16.2	345.2	154.2	246.0	5.3
87	458	90840	9.1	12.5585	1.2	1.9502	1.8	0.1776	1.4	0.76	1054.0	13.3	1098.5	12.1	1187.8	23.3	1187.8	23.3
89	183	3480	2.1	21.7120	18.2	0.0674	18.2	0.0106	1.6	0.09	68.1	1.1	66.2	11.7	0.6	440.7	68.1	1.1
88	136	35410	2.6	13.6712	1.6	1.6116	4.8	0.1598	4.6	0.95	955.6	40.7	974.7	30.3	1018.0	31.8	1018.0	31.8
90	213	57495	4.4	11.8487	2.2	2.2380	5.6	0.1923	5.2	0.92	1133.9	53.9	1193.0	39.6	1301.7	43.3	1301.7	43.3
90A	148	34530	1.5	13.7078	3.0	1.3284	10.6	0.1321	10.2	0.96	799.7	76.3	858.2	61.4	1012.6	60.5	799.7	76.3
91	111	34280	2.8	12.8953	2.1	2.0755	2.1	0.1941	0.5	0.25	1143.6	5.6	1140.7	14.6	1135.3	41.0	1135.3	41.0
92	397	25235	1.1	19.2050	3.1	0.2973	4.0	0.0414	2.5	0.62	261.6	6.4	264.3	9.4	288.5	71.9	261.6	6.4
93	207	4055	2.6	21.3328	34.4	0.0686	34.5	0.0106	2.5	0.07	68.0	1.7	67.3	22.5	42.9	844.0	68.0	1.7
96	111	34670	3.5	12.2059	1.3	2.4376	1.5	0.2158	0.7	0.44	1259.6	7.4	1253.8	10.5	1243.8	25.7	1243.8	25.7
97	67	2355	1.5	20.7967	25.6	0.1817	25.8	0.0274	2.7	0.10	174.3	4.6	169.5	40.2	103.4	614.5	174.3	4.6
98	110	37710	3.3	12.8250	2.0	2.0208	3.3	0.1880	2.7	0.81	1110.3	27.5	1122.5	22.7	1146.2	39.4	1146.2	39.4
99	57	3045	1.3	24.8653	28.9	0.1509	29.1	0.0272	3.2	0.11	173.1	5.5	142.7	38.8	-337.0	757.5	173.1	5.5
100	185	27415	2.2	12.5385	1.3	2.1759	1.6	0.1979	0.9	0.58	1163.9	9.8	1173.4	11.0	1190.9	25.3	1190.9	25.3

TABLA A3-10. Resultados de Geocronología - Muestra Iguanas (Fm Cuesta)

No.	RELACIONES ISOTÓPICAS										EIDADES APARENTES (Ma)							
	U (ppm)	206Pb/204Pb	U/Th	206Pb*/207Pb* ± (%)	207Pb*/235U* ± (%)	206Pb*/238U ± (%)	error corr.	206Pb*/238U* ± (Ma)	207Pb*/235U ± (Ma)	206Pb*/207Pb* ± (Ma)	Mejor edad ± (Ma)							
1	193	58975	4.4	12.4756	1.8	2.1841	2.7	0.1976	2.1	0.76	1162.5	22.1	1176.0	19.0	1200.8	34.9	1200.8	34.9
2	248	70850	6.2	12.4036	1.4	2.1756	3.3	0.1957	3.0	0.91	1152.3	31.5	1173.3	22.9	1212.2	27.2	1212.2	27.2
3	161	87080	2.3	11.9063	1.4	2.5983	1.8	0.2244	1.2	0.66	1304.9	14.3	1300.1	13.5	1292.3	26.9	1292.3	26.9
4	157	101980	7.6	12.3424	1.5	2.1466	2.3	0.1922	1.7	0.75	1133.0	18.0	1164.0	16.0	1221.9	29.9	1221.9	29.9
5	195	29450	1.8	18.7787	4.1	0.4658	4.5	0.0634	2.0	0.44	396.5	7.6	388.3	14.6	339.5	92.2	396.5	7.6
6	329	110140	2.8	12.7156	3.4	2.1103	4.9	0.1946	3.5	0.72	1146.4	37.0	1152.2	33.7	1163.2	67.2	1163.2	67.2
7	47	24465	3.0	13.5772	3.8	1.7281	4.2	0.1702	1.6	0.38	1013.0	15.0	1019.0	26.8	1032.0	77.7	1032.0	77.7
8	333	78215	16.5	13.4926	3.7	1.5307	4.7	0.1498	2.9	0.62	899.8	24.5	942.8	29.2	1044.6	75.5	1044.6	75.5
9	415	154120	10.6	13.8214	1.3	1.6471	2.3	0.1651	2.0	0.84	985.1	17.8	988.5	14.7	995.8	26.0	995.8	26.0
10	100	19975	3.0	13.1532	4.7	1.5722	5.3	0.1500	2.5	0.47	900.9	20.8	959.3	32.8	1095.8	93.5	1095.8	93.5
11	441	97260	10.1	16.9643	2.4	0.7820	4.8	0.0962	4.1	0.86	592.2	23.4	586.6	21.4	565.1	53.2	592.2	23.4
12	39	8215	1.6	18.1384	8.2	0.5534	8.5	0.0728	2.1	0.24	453.0	9.0	447.2	30.7	417.5	184.4	453.0	9.0
13	218	8045	2.8	20.7707	8.9	0.0823	9.5	0.0124	3.4	0.36	79.4	2.7	80.3	7.4	106.4	210.6	79.4	2.7
14	131	42665	3.6	14.1465	3.3	1.3764	8.3	0.1412	7.6	0.92	851.5	60.8	878.9	48.9	948.4	68.0	851.5	60.8
15	501	31005	1.1	20.4190	3.0	0.1857	3.8	0.0275	2.3	0.61	174.9	4.0	173.0	6.0	146.6	70.2	174.9	4.0
16	125	6885	2.2	21.6492	28.0	0.0802	28.1	0.0126	2.2	0.08	80.7	1.8	78.4	21.2	7.6	685.6	80.7	1.8
17	501	205290	2.5	13.9371	2.3	1.5112	3.2	0.1528	2.3	0.70	916.4	19.3	934.9	19.8	978.9	47.3	916.4	19.3
18	485	36555	1.9	19.2917	4.1	0.2213	4.4	0.0310	1.7	0.39	196.6	3.4	203.0	8.1	278.1	92.8	196.6	3.4
19	139	73350	1.9	12.2991	1.1	2.3904	1.6	0.2132	1.2	0.73	1246.0	13.0	1239.7	11.3	1228.8	21.2	1228.8	21.2
20	151	8260	1.0	20.0435	6.9	0.1914	6.9	0.0278	0.5	0.07	177.0	0.9	177.9	11.3	189.9	161.3	177.0	0.9
21	745	262660	9.5	12.7415	2.3	2.0708	2.8	0.1914	1.6	0.57	1128.8	16.7	1139.2	19.3	1159.1	46.0	1159.1	46.0
22	52	14595	2.5	14.5679	2.4	1.3902	3.4	0.1469	2.4	0.70	883.4	19.7	884.8	20.2	888.0	50.4	883.4	19.7
23	438	22815	2.9	15.8950	1.7	0.7081	2.3	0.0816	1.5	0.64	505.9	7.2	543.6	9.6	705.3	37.2	505.9	7.2
25	406	61515	2.9	17.5268	1.5	0.5598	2.7	0.0712	2.3	0.83	443.1	9.7	451.4	10.0	493.7	34.0	443.1	9.7
26	92	38445	3.0	11.9980	2.5	2.2922	4.1	0.1995	3.3	0.79	1172.4	34.8	1209.9	29.1	1277.3	49.4	1277.3	49.4
27	80	34390	2.1	12.6897	1.8	2.1172	2.1	0.1949	1.1	0.52	1147.6	11.4	1154.4	14.3	1167.2	35.0	1167.2	35.0
28	153	69340	3.2	13.7600	1.3	1.6535	1.7	0.1650	1.1	0.67	984.6	10.3	990.9	10.7	1004.9	25.4	1004.9	25.4
29	94	28115	2.9	14.4993	1.8	1.3905	2.4	0.1462	1.6	0.66	879.7	13.2	884.9	14.5	897.8	38.0	879.7	13.2
30	229	56615	1.8	13.5337	4.3	1.5810	4.9	0.1552	2.4	0.49	929.9	20.9	962.8	30.6	1038.4	86.5	1038.4	86.5
31	318	125630	4.7	13.5513	1.9	1.7448	3.8	0.1715	3.3	0.86	1020.3	30.7	1025.2	24.3	1035.8	38.6	1035.8	38.6
32	160	6860	1.6	22.3680	12.8	0.0769	12.9	0.0125	1.4	0.11	79.9	1.1	75.2	9.4	-71.6	314.5	79.9	1.1
33	210	11500	0.9	20.2383	4.9	0.1906	5.3	0.0280	2.0	0.38	177.9	3.5	177.2	8.7	167.4	115.2	177.9	3.5
34	216	9240	0.9	10.6299	9.4	1.4552	10.1	0.1122	3.6	0.36	685.4	23.7	912.0	60.6	1509.6	177.4	1509.6	177.4
35	354	141175	3.2	12.5101	1.4	2.2146	4.0	0.2009	3.8	0.94	1180.3	40.6	1185.7	28.0	1195.4	26.8	1195.4	26.8
36	60	13870	0.9	16.9966	6.0	0.7127	6.8	0.0879	3.2	0.47	542.9	16.9	546.4	28.8	561.0	131.0	542.9	16.9
37	851	87640	2.0	18.8997	2.1	0.3047	4.5	0.0418	4.0	0.89	263.8	10.3	270.1	10.7	325.0	47.7	263.8	10.3
38	107	11930	2.0	20.1322	7.4	0.2897	7.5	0.0423	1.3	0.17	267.1	3.5	258.3	17.2	179.6	173.3	267.1	3.5
39	466	177820	3.3	12.2466	2.1	2.3793	3.0	0.2113	2.1	0.70	1235.9	23.3	1236.4	21.3	1237.2	42.0	1237.2	42.0
40	1601	270615	11.4	12.9464	1.7	1.9186	2.6	0.1801	1.9	0.73	1067.8	18.4	1087.6	17.1	1127.4	34.7	1127.4	34.7
41	356	37355	1.9	18.4861	1.8	0.3401	3.0	0.0456	2.5	0.82	287.4	7.0	297.2	7.8	375.0	39.5	287.4	7.0
42	167	64770	2.0	13.6009	3.6	1.8036	4.6	0.1779	2.8	0.61	1055.6	27.6	1046.8	30.1	1028.4	73.4	1028.4	73.4
43	221	94345	3.2	13.5125	1.7	1.8004	4.6	0.1764	4.2	0.93	1047.5	41.0	1045.6	29.8	1041.6	33.7	1041.6	33.7
44	192	28715	0.7	17.4571	3.3	0.6296	3.4	0.0797	1.1	0.31	494.4	5.1	495.9	13.5	502.4	72.0	494.4	5.1
45	37	1290	2.3	21.3308	105.8	0.0732	106.0	0.0113	5.2	0.05	72.6	3.7	71.7	73.5	43.1	1051.2	72.6	3.7
46	65	24500	3.2	13.3661	2.7	1.8136	3.0	0.1758	1.3	0.43	1044.0	12.3	1050.4	19.5	1063.5	54.2	1063.5	54.2
47	121	37530	1.9	14.0073	2.7	1.5065	2.8	0.1530	0.9	0.32	918.0	7.8	933.0	17.1	968.6	54.1	918.0	7.8
48	154	5170	0.7	18.5490	9.2	0.2023	9.3	0.0272	0.6	0.07	173.1	1.1	187.0	15.8	367.3	208.5	173.1	1.1
49	200	64195	2.4	13.8977	1.6	1.5585	3.0	0.1571	2.6	0.86	940.6	22.8	953.9	18.8	984.6	31.8	940.6	22.8
50	197	20700	2.7	18.1703	5.6	0.3208	10.2	0.0423	8.5	0.83	266.9	22.2	282.5	25.1	413.6	126.3	266.9	22.2
51	524	60735	1.6	18.8305	3.4	0.3258	4.4	0.0445	2.8	0.63	280.6	7.7	286.3	11.0	333.3	77.6	280.6	7.7
54	330	55125	2.0	17.3295	1.4	0.6766	3.4	0.0850	3.1	0.91	526.1	15.7	524.7	14.0	518.6	31.2	526.1	15.7
55	573	157385	8.2	11.6744	2.5	2.5651	2.9	0.2172	1.5	0.52	1267.0	17.5	1290.8	21.5	1330.4	48.8	1330.4	48.8
56	27	13590	2.0	12.7539	4.9	2.1121	5.0	0.1954	0.9	0.18	1150.4	9.4	1152.7	34.2	1157.2	97.0	1157.2	97.0
57	239	19580	1.5	17.7954	2.4	0.5677	3.0	0.0733	1.8	0.60	455.8	7.9	456.5	11.0	460.0	53.4	455.8	7.9
58	206	12360	1.4	20.6340	5.3	0.1695	6.1	0.0254	3.0	0.50	161.5	4.8	159.0	8.9	121.9	124.4	161.5	4.8
59	148	4715	2.2	23.5661	21.3	0.0737	21.6	0.0126	3.7	0.17	80.6	3.0	72.2	15.0	-200.7	537.7	80.6	3.0
60	95	40700	2.0	12.3249	2.2	2.0480	6.4	0.1831	6.0	0.94	1083.7	59.9	1131.6	43.7	1224.7	43.8	1224.7	43.8
61	80	2740	1.0	18.5212	9.6	0.1955	9.9	0.0263	2.4	0.24	167.1	4.0	181.3	16.4	370.7	216.7	167.1	4.0
62	159	75340	3.1	13.6556	2.0	1.6508	2.5	0.1635	1.5	0.60	976.2	13.6	989.9	15.9	1020.3	40.7	1020.3	40.7
63	191	71850	1.4	12.7407	2.3	2.1081	3.1	0.1948	2.1	0.69	1147.3	22.3	1151.4	21.3	1159.3	44.6	1159.3	44.6
64	48	3950	1.4	21.7909	24.0	0.2531	24.1	0.0400	2.7	0.11	252.8	6.8	229.1	49.5	-8.1	585.8	252.8	6.8
65	84	9780	3.0	20.9780	11.7	0.2752	12.0	0.0419	2.6	0.22	264.5	6.8	246.9	26.2	82.8	277.8	264.5	6.8
66	68	34270	2.4	9.5015	2.8	4.2152	3.4	0.2905	2.0	0.58	1643.9	28.6	1677.0	28.1	1718.6	51.5	1718.6	51.5
67	106	62910	5.0	12.4053	3.8	1.9193	8.8	0.1727	7.9	0.90	1026.9	75.2	1087.8	58.7	1212.0	74.8	1212.0	74.8
68	199	103780	4.2	13.6118	1.3	1.6760	1.5	0.1655	0.8	0.55	987.0	7.7	999.5	9.6	1026.8	25.5	1026.8	25.5

69	265	35560	2.1	19.8332	5.2	0.2880	6.1	0.0414	3.3	0.53	261.7	8.4	257.0	13.9	214.4	119.8	261.7	8.4
70	160	5500	0.8	18.8249	12.9	0.2013	13.6	0.0275	4.2	0.31	174.8	7.2	186.2	23.1	334.0	293.9	174.8	7.2
70A	73	29905	2.6	13.4586	3.6	1.7054	4.0	0.1665	1.8	0.43	992.6	16.1	1010.6	25.8	1049.7	73.2	1049.7	73.2
73	197	67865	11.3	14.2919	1.4	1.3939	2.7	0.1445	2.3	0.85	869.9	18.7	886.3	16.0	927.4	29.0	869.9	18.7
74	91	45845	2.7	12.5687	1.2	2.1007	2.2	0.1915	1.8	0.83	1129.5	18.5	1149.0	14.9	1186.2	23.9	1186.2	23.9
75	50	25015	3.9	14.3191	3.5	1.4778	4.5	0.1535	2.8	0.62	920.4	23.9	921.3	27.1	923.5	71.8	920.4	23.9
71	31	15230	1.2	12.2402	3.5	2.2586	4.5	0.2005	2.9	0.64	1178.0	31.0	1199.5	31.7	1238.3	67.9	1238.3	67.9
72	334	20045	2.4	20.3208	2.5	0.1714	3.6	0.0253	2.6	0.72	160.8	4.1	160.6	5.4	157.9	58.9	160.8	4.1
76	125	14030	1.4	19.5224	3.9	0.2939	5.0	0.0416	3.2	0.63	262.8	8.1	261.6	11.5	250.9	89.0	262.8	8.1
77	67	32980	2.4	13.5452	1.7	1.6512	3.9	0.1622	3.5	0.90	969.1	31.4	990.0	24.6	1036.7	34.3	1036.7	34.3
78	216	12280	2.9	17.7984	14.1	0.1859	14.4	0.0240	3.2	0.22	152.9	4.8	173.1	22.9	459.7	313.0	152.9	4.8
79	126	8820	1.9	20.3041	10.5	0.1899	10.5	0.0280	0.7	0.07	177.8	1.3	176.5	17.0	159.8	245.6	177.8	1.3
81	267	9750	3.3	22.0023	10.1	0.0730	10.5	0.0116	2.7	0.26	74.6	2.0	71.5	7.2	-31.5	245.5	74.6	2.0
82	86	41355	2.7	12.4918	2.1	2.1197	2.4	0.1920	1.3	0.51	1132.4	13.0	1155.2	16.8	1198.3	41.2	1198.3	41.2
83	97	56765	2.8	12.6153	1.7	2.1187	3.2	0.1938	2.7	0.85	1142.2	28.7	1154.9	22.4	1178.8	34.2	1178.8	34.2
84	192	95175	4.0	13.7788	1.0	1.6261	2.0	0.1625	1.8	0.86	970.7	15.9	980.4	12.8	1002.1	20.7	1002.1	20.7
85	207	22255	6.2	19.9516	4.1	0.2559	4.3	0.0370	1.1	0.25	234.4	2.4	231.4	8.9	200.6	96.3	234.4	2.4
86	360	40965	1.0	18.2119	3.3	0.4199	4.2	0.0555	2.6	0.62	348.0	8.9	356.0	12.7	408.5	73.9	348.0	8.9
87	428	50135	1.4	19.7696	3.2	0.2899	4.0	0.0416	2.4	0.61	262.6	6.3	258.5	9.2	221.8	74.1	262.6	6.3
88	257	91845	2.3	16.5479	1.4	0.7386	2.5	0.0886	2.1	0.83	547.5	11.0	561.6	10.9	619.0	30.1	547.5	11.0
90	114	13875	2.3	19.5196	6.1	0.2929	6.6	0.0415	2.3	0.35	261.9	5.9	260.8	15.1	251.2	141.2	261.9	5.9
89	113	44740	2.2	13.6829	1.7	1.6908	2.1	0.1678	1.2	0.55	999.9	10.7	1005.1	13.3	1016.3	35.3	1016.3	35.3
91	120	29530	2.8	13.1885	3.0	1.7278	3.9	0.1653	2.5	0.64	986.0	22.8	1018.9	25.2	1090.4	60.5	1090.4	60.5
93	86	44955	2.2	13.0786	1.8	1.8768	3.1	0.1780	2.5	0.81	1056.2	24.7	1072.9	20.7	1107.1	36.6	1107.1	36.6
94	172	6635	0.9	16.7135	30.2	0.2165	30.6	0.0262	5.3	0.17	167.0	8.8	199.0	55.4	597.5	667.3	167.0	8.8
95	221	113190	1.7	13.0901	4.6	1.9816	6.4	0.1881	4.4	0.70	1111.3	45.2	1109.3	43.0	1105.4	91.6	1105.4	91.6
96	133	73725	3.0	12.8699	1.3	1.8906	2.7	0.1765	2.4	0.87	1047.7	22.7	1077.8	17.9	1139.2	26.3	1139.2	26.3
97	85	2740	2.3	27.3739	42.2	0.0592	42.3	0.0118	3.6	0.08	75.4	2.7	58.4	24.1	-591.0	1189.0	75.4	2.7
98	209	10935	1.0	19.5100	6.0	0.2079	6.0	0.0294	0.7	0.11	186.9	1.3	191.8	10.5	252.3	137.4	186.9	1.3
99	238	90415	3.0	13.0495	2.3	1.7905	4.5	0.1695	3.8	0.85	1009.2	35.7	1042.0	29.2	1111.6	46.7	1111.6	46.7
100	110	13520	2.1	19.6470	4.8	0.2890	5.4	0.0412	2.3	0.43	260.2	6.0	257.8	12.2	236.2	111.8	260.2	6.0
101	264	115305	0.4	13.7048	1.1	1.5717	2.6	0.1562	2.3	0.90	935.7	20.1	959.1	16.0	1013.0	23.1	1013.0	23.1
102	45	17640	1.8	13.5130	2.9	1.8236	3.0	0.1787	0.8	0.25	1060.0	7.4	1054.0	19.9	1041.5	59.2	1041.5	59.2
103	51	7680	1.1	18.4095	9.9	0.3312	10.0	0.0442	1.5	0.15	278.9	4.0	290.5	25.2	384.3	222.2	278.9	4.0
104	285	151070	3.1	11.8117	0.9	2.5937	2.0	0.2222	1.8	0.89	1293.4	21.2	1298.8	14.9	1307.8	17.9	1307.8	17.9
105	136	32400	1.5	17.4409	2.4	0.6504	2.5	0.0823	0.6	0.22	509.7	2.7	508.7	9.9	504.5	52.9	509.7	2.7
106	29	30205	1.0	5.3100	1.0	13.3094	1.9	0.5126	1.6	0.86	2667.6	35.4	2701.8	17.9	2727.6	16.1	2727.6	16.1
107	297	163575	1.3	10.1664	1.1	3.8193	2.7	0.2816	2.4	0.91	1599.5	34.4	1596.8	21.5	1593.3	20.7	1593.3	20.7
108	318	191580	1.8	11.3652	1.5	2.7725	4.7	0.2285	4.4	0.95	1326.8	52.9	1348.2	34.8	1382.2	28.8	1382.2	28.8
109	220	87000	4.4	13.4708	2.4	1.6701	2.7	0.1632	1.1	0.42	974.4	10.1	997.2	16.9	1047.8	48.8	1047.8	48.8
110	113	6575	3.2	11.2965	2.6	2.2063	3.4	0.1808	2.3	0.66	1071.2	22.2	1183.1	24.0	1393.8	49.7	1393.8	49.7
112	291	175585	3.5	10.5495	1.7	3.0921	3.5	0.2366	3.1	0.88	1368.9	38.5	1430.7	27.2	1523.9	31.7	1523.9	31.7
111	418	13480	1.2	20.2846	3.9	0.1683	4.1	0.0248	1.3	0.32	157.7	2.0	157.9	6.1	162.0	92.0	157.7	2.0
113	126	66260	3.4	13.2702	2.5	1.6860	3.8	0.1623	2.8	0.75	969.4	25.3	1003.2	24.0	1078.0	50.4	1078.0	50.4
114	18	3235	1.8	31.6744	56.0	0.2415	56.0	0.0555	1.3	0.02	348.1	4.4	219.6	111.1	-1004.8	1782.2	348.1	4.4
115	52	22150	1.7	14.7784	2.8	1.3354	5.5	0.1431	4.8	0.87	862.4	38.6	861.2	32.1	858.3	57.4	862.4	38.6
116	160	34675	3.4	17.0011	2.8	0.7014	4.0	0.0865	2.9	0.72	534.7	14.7	539.6	16.7	560.4	60.6	534.7	14.7
117	354	129615	8.6	13.5951	1.4	1.6553	3.5	0.1632	3.2	0.92	974.6	29.2	991.6	22.2	1029.3	27.5	1029.3	27.5
118	474	65735	2.4	19.5774	3.7	0.2872	4.0	0.0408	1.7	0.41	257.6	4.2	256.3	9.1	244.4	84.1	257.6	4.2
119	226	55515	1.4	7.0728	1.3	6.3437	2.4	0.3254	2.0	0.84	1816.1	31.5	2024.5	20.8	2244.3	22.3	2244.3	22.3
120	238	79110	2.7	12.1217	0.9	2.4179	2.3	0.2126	2.1	0.92	1242.5	24.1	1247.9	16.6	1257.3	17.8	1257.3	17.8

TABLA A4 - DATOS DISCRIMINADOS POR POBLACIONES

IGUANAS - FM CUESTA
No. GRANOS= 100

EDADES

Min	Max	No.	%
72	82	6	6.0
152	182	11	11.0
243	294	14	14.0
441	461	3	3.0
496	569	6	6.0
833	1438	60	60.0

BASE 39 - EOCENO
No. GRANOS= 75

EDADES

Min	Max	No.	%
46	52	3	4.0
158	196	11	14.7
238	242	1	1.3
247	285	14	18.7
761	1455	46	61.3

PITC RO - FM CUERVOS
No. GRANOS= 79

EDADES

Min	Max	No.	%
91	100	10	12.7
158	160	1	1.3
220	261	13	16.5
263	297	11	13.9
441	483	8	10.1
485	583	11	13.9
807	1402	25	31.6

PITS AG - FM CUERVOS
No. GRANOS= 84

EDADES

Min	Max	No.	%
85	88	2	2.4
230	305	30	35.7
426	473	4	4.8
514	538	1	1.2
552	592	3	3.6
755	854	3	3.6
862	1476	36	42.9
1495	1672	5	6.0

SORM1 - FM CUERVOS
No. GRANOS= 83

EDADES

Min	Max	No.	%
92	98	3	3.6
174	192	6	7.2
216	222	2	2.4
237	305	35	42.2
379	422	6	7.2
446	479	3	3.6
534	587	9	10.8
626	692	4	4.8
929	959	1	1.2
979	1451	13	15.7
1478	1550	1	1.2

SORM45 - FM CUERVOS
No. GRANOS= 79

EDADES

Min	Max	No.	%
57	60	3	3.8
90	93	2	2.5
951	2090	74	93.7

BCO1E - FM BARCO
No. GRANOS= 85

EDADES

Min	Max	No.	%
508	529	1	1.2
533	550	1	1.2
602	626	4	4.7
933	1113	6	7.1
1124	2011	73	85.9

SORORIA - FM BARCO
No. GRANOS= 84

EDADES

Min	Max	No.	%
77	82	3	3.6
510	539	2	2.4
884	1986	79	94.0

POZO DB 1E - FM MOLINO
No. GRANOS= 34

EDADES

Min	Max	No.	%
1034	1066	1	2.9
1186	2134	33	97.1

CH - FM AGUAS BLANCAS
No. GRANOS= 79

EDADES

Min	Max	No.	%
472	503	2	2.5
886	2014	77	97.5

TABLA A5 - PORCENTAJES DE MINERALES PESADOS ENCONTRADOS EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS

MUESTRA	UNIDAD	CIRCON											ESFENA	RUTILO		GRANATE	TURMALINA	APATITO	SILIMANITA	ANDALUSITA	ZOISITA	EPIDOTA	OX-FE		OPACOS		HBLND	BIOTITA	CALCITA	SIDERITA	YESO
		Euhedral				Redondo			Irregular					Euhedral	Redondo								Euhedral	Amorfo/red	Euhedral	Amorfo/red					
		Translucido	Volcánico	Rosado	Amarillo	Translucido	Rosado	Amarillo	Translucido	Rosado	Amarillo	Manchado de Oxidos																			
Iguanas	Cuesta	13.0	0.9	0.9	0.3	27.2	5.1	1.6	13.9	0.6	0.3	6.0	4.7	2.2	7.6	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	5.1	1.6	7.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0		
Base 39	Eoceno	12.9	2.9	0.0	0.0	24.8	13.2	0.0	14.5	4.2	0.0	4.5	2.3	1.3	1.9	0.0	1.6	0.0	0.0	0.3	1.6	0.0	1.6	6.5	1.3	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.6
Pit Sur-AG	Cuervos	14.8	1.5	0.3	0.3	28.6	8.9	1.2	6.5	1.8	0.0	0.6	4.0	3.4	2.8	0.0	0.6	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.6	16.6	0.0	0.0	0.3	1.2	0.0	
Pit Central-RO	Cuervos	40.7	3.0	0.0	0.0	25.5	3.0	0.0	15.7	0.0	0.9	0.9	0.3	0.0	0.3	0.3	1.8	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	2.1	1.8	3.0	0.0	0.3	0.0	0.0	
Barco1E	Barco	2.3	0.0	0.3	1.0	36.2	8.5	0.3	19.5	1.0	0.3	1.3	6.8	0.7	4.2	0.0	2.9	1.3	0.0	0.0	7.2	0.0	1.3	1.0	3.3	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	
SororiaM1	Cuervos	17.7	3.6	0.9	0.6	37.8	4.5	0.3	15.0	0.6	0.3	0.0	2.4	1.2	3.9	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.5	0.0	0.0	3.3	0.3	0.6	
SororiaM45	Cuervos	6.1	0.6	0.3	8.5	8.8	2.1	11.2	6.7	0.0	3.3	2.1	3.6	7.6	2.7	0.0	0.9	1.2	0.6	0.0	0.0	0.3	10.6	2.7	19.4	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	
SorBco	Barco	5.1	0.9	0.0	2.7	15.9	6.9	2.1	16.5	0.9	0.6	10.8	2.1	2.4	12.6	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	5.4	1.5	7.5	0.0	0.0	0.9	0.0	3.0	
Cano Hondo	Aguas Blancas	8.6	1.3	0.0	3.3	26.6	1.3	6.9	13.8	0.0	1.0	3.0	4.3	2.3	6.6	0.0	2.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.7	6.9	1.0	3.9	0.3	0.0	0.0	0.0	5.6	

TABLA A6 - MEDICIONES DE PALEOCORRIENTES

AREA	UNIDAD	UBICACIÓN		ESTRUCTURA	ESTRATIFICACION		PALEOCORRIENTES				EJE CALCULADO		PALEOCORRIENTE CORREGIDA POR BUZAMIENTO	
		X (este)	Y (norte)		Rumbo	Buzamiento	PALEOCORRIENTE PRINCIPAL		PALEOCORRIENTE CONJUGADA		Rumbo	Buzamiento	Rumbo	Buzamiento
							Rumbo	Buzamiento	Rumbo	Buzamiento				
Mina Pribbenow	Cuervos-mantos superiores	1061345	1548706	Planar unidireccional	195	5	227	25	158	3	233	3	53	0
Mina Pribbenow	Cuervos-mantos superiores	1061345	1548706	Planar unidireccional	195	5	227	25					229	3
Mina Pribbenow	Cuervos-mantos superiores	1061345	1548706	Artesa	195	5	222	25	355	3	38	2	38	4
Mina Pribbenow	Cuervos-mantos superiores	1061345	1548706	Artesa	195	5	129	6	350	4	145	2	145	6
Mina Pribbenow	Cuervos-mantos superiores	1061345	1548706	Artesa	195	5	75	3	190	11	202	2	202	1
Mina Pribbenow	Cuervos-mantos superiores	1061345	1548706	Planar bidireccional	248	2	320	21					320	19
Mina Pribbenow	Cuervos-mantos superiores	1061345	1548706	Planar bidireccional	248	2	235	11					235	11
Sororia	Barco	1085231	1548423	Planar unidireccional	8	16	320	34					229	22
Sororia	Cuervos-mantos inferiores	1087563	1547258	Planar bidireccional	75	25	78	22					87	19
Sororia	Cuervos-mantos inferiores	1087563	1547258	Planar bidireccional	75	25	152	40					154	16
Sororia	Cuervos-mantos inferiores	1087563	1547258	Artesa	75	25	115	18	85	10	142	8	321	15
Sororia	Cuervos-mantos inferiores	1087563	1547258	Artesa	75	25	35	24			35	24	48	38
Base 39	Eoceno	1056668	1555085	Clastos imbricados	65	36	72	32	75	40	83	7	264	5

ANEXO 2: FOTOS DE PETROGRAFÍA

ANEXO 2 – PETROGRAFÍA

Leyenda explicativa

ANEXO 2.1

IGN-CST

Aspecto general de la sección. Nótese la distribución bimodal de los granos, de tamaño Arena Gruesa y Arena muy Fina. Armazón compuesto por Cuarzo Monocristalino (Qm), Cuarzo policristalino (Qp) suturado y no suturado (metamórfico e ígneo), Líticos metamórficos (Lm) que son en su mayoría de bajo grado. Se presentan también abundantes líticos sedimentarios (Ls) de lodolitas, limolitas y arenitas de grano muy fino, y Chert (Qc). Abundantes óxidos de Hierro en la matriz.

B39-EOC

Aspecto general de la sección, donde resaltan sus componentes principales: Cuarzo monocristalino (Qm), Cuarzo policristalino (Qp), Chert (Qc), y fragmentos líticos sedimentarios (Ls) y metamórficos. Nótese la ausencia de Feldespato, el cual es muy escaso en la muestra.

ED5E-1

Aspecto general en donde se observa la composición del Cuervos Superior. Nótese la inmadurez composicional, abundantes feldespatos (KF y PI), líticos metamórficos (Lm) entre los que se resaltan esquistos verdes y esquistos micáceos, y abundante matriz que se confunde con los fragmentos del armazón. El cemento ferruginoso (Cf) es común en la sección.

ANEXO 2.2

ED5E-2

Foto donde se observan los principales constituyentes del armazón: Cuarzo monocristalino (Qm), Feldespatos (KF y PI), líticos metamórficos, volcánicos (Lv) y plutónicos (Lp). Esta muestra presenta además de cemento calcáreo impregnado de óxidos, fragmentos de micrita y algunas cuarcitas foliadas. La materia orgánica intersticial es común y se asocia al ambiente de zonas de carbones. La matriz (Mtrx) es rica en caolinita.

ED1E-1

Aspecto de la roca donde se observa su inmadurez composicional. Los fragmentos líticos son comunes en los que resaltan los volcánicos con algo de alteración (Lv) pero reconocibles por una mezcla de granitos con impregnación. También se observa cuarzo monocristalino (Qm), policristalino (Qp) y chert (Qc) en el armazón. Matriz caolinítica y difícil de reconocer de los granos del armazón. También cemento ferruginoso intersticial. Presencia de granates y minerales opacos euhedrales.

ED6E-1

Vista regional de la roca. Se resalta la abundancia de clorita como grano suelto y como producto de alteración de líticos volcánicos y metamórficos. Los granos del armazón están compuestos por cuarzo monocristalino (Qm), policristalino (Qp), líticos metamórficos (Lm), y en menor proporción volcánicos (Lv) y sedimentarios carbonosos (Ls). Abundante matriz (Mtrx) y cemento ferruginoso (Cf) y calcáreo (Cc) impregnado de óxidos.

ANEXO 2.3

ED6E-2

Aspecto general de la sección en donde se resalta la concentración de minerales pesados (Circones y epidotas?, principalmente). Los granos del armazón están constituidos principalmente por cuarzo monocristalino (Qm), chert (Qc), líticos metamórficos de bajo grado (Lm) y esporádicos líticos volcánicos (Lv). El feldespato es escaso.

ED6E-3

Foto donde se observa el predominio de cuarzo monocristalino (Qm) en los fragmentos del armazón (esta muestra está sobre el límite de secuencia dentro de la Formación Barco). Aunque en menor proporción, también existen fragmentos líticos metamórficos (Lm), volcánicos (lv) y chert (Qc). Los feldespatos son escasos. Presenta matriz caolinítica y cemento ferruginoso (Cf).

ED6E-4

Muestra algo lítica, con abundantes fragmentos metamórficos dúctiles que reducen la porosidad. En la foto se observa una madriguera vertical reconocible por la concentración de óxidos de hierro y materia orgánica. Otros fragmentos del armazón son cuarzo monocristalino (Qm), policristalino (Qp), feldespato (KF) y líticos volcánicos (Lv).

ANEXO 2.4

SOR-M1

Muestra muy lítica, donde se distinguen fragmentos de cuarzo monocristalino (Qm), policristalino (Qp), líticos metamórficos (Lm), volcánicos (Lv) y feldespatos (KF). Abundante materia orgánica intersticial, y óxidos de hierro. Se observan también biotitas verdes en el armazón. Matriz arcillosa que rodea los granos, y comunes minerales accesorios (Circón y turmalina).

SOR-M45

En esta muestra se observa que el componente principal es el cuarzo monocristalino (Qm) y el chert (Qc), aunque también se presentan líticos metamórficos y sedimentarios. El contenido de feldespatos es muy bajo. Porosidad reducida por matriz limosa.

SOR-BCO

Aspecto general de la sección donde se ve la inmadurez composicional. Los granos del armazón están compuestos principalmente por cuarzo monocristalino (Qm), policristalino (Qp), chert (Qc), y líticos volcánicos (Lv) y metamórficos (Lm). La porosidad es muy baja debido a la presencia de cemento calcáreo con óxidos (Cm), materia orgánica (MO) y matriz.

ANEXO 2.5

LN3E-1

Biomicrota donde se observa una concentración de pellets glauconíticos (PII) con cuarzo monocristalino (Qm). La matriz presenta una mezcla de micrita y materia orgánica.

LN3E-2

Aspecto general de la roca en donde se observan abundantes foraminíferos planctónicos (For), algunos de ellos rellenos de bitumen (Bit). Se observa disolución parcial de los fósiles (Dis) y posterior relleno de calcita.

LN3E-3

Esta roca presenta muy alto contenido de materia orgánica (MO) y lentes de calcita recristalizada sindeposicionales. Se resalta la abundancia de foraminíferos planctónicos (For) y cristales tabulares de calcita, que se asumen son fragmentos de organismos de concha delgada, como bivalvos (Biv). El bitumen (Bit) es común en el espacio intersticial y dentro de los foraminíferos.

ANEXO 2.6

LN3E-4

Vista general donde se observan abundantes microfracturas (Frc) rellenas de sílice y calcita. La muestra es una biomicrita silicificada con abundante materia orgánica (MO) intersticial y relleno de bitumen en los foraminíferos (For), el cual ocurre posterior a la silicificación.

LN3E-5

Bioesparita compuesta por abundantes fragmentos de bivalvos (Biv) y equinodermos, con presencia de minerales opacos, posibles óxidos (Ox). La disolución y relleno de calcita en los fragmentos es muy común.

LN3E-6

Limolita glauconítica con predominio de cuarzo monocristalino (Qm) en los fragmentos del armazón. Abundantes detritos de micrita (Ca) que ocasionan una cementación calcárea en parches, y materia orgánica (MO).

ANEXO 2.7

LN3E-7

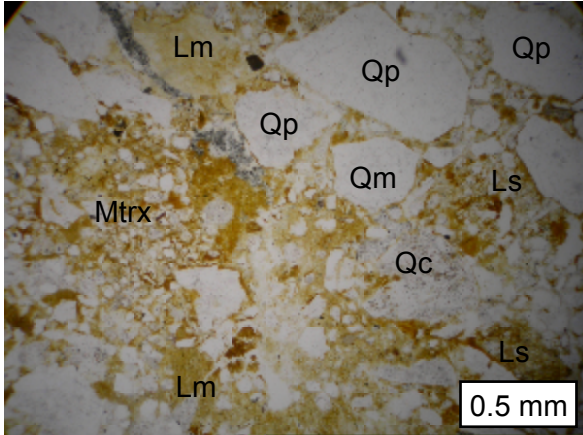
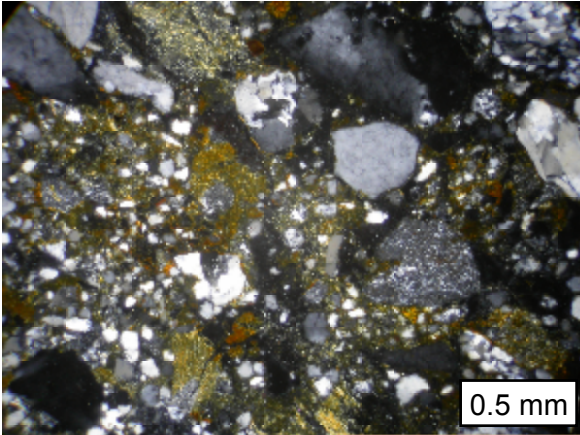
Limolita glauconítica (Glc), algo calcárea debido a detritos de micrita (Ca), y con abundante materia orgánica intersticial y residuos de bitumen (Bit). El principal constituyente del armazón es el cuarzo monocristalino (Qm).

LN3E-8

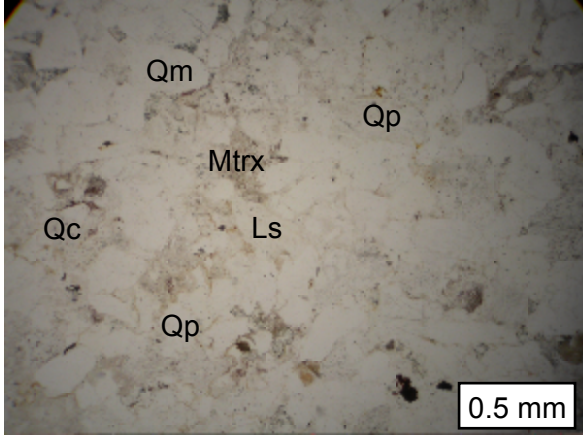
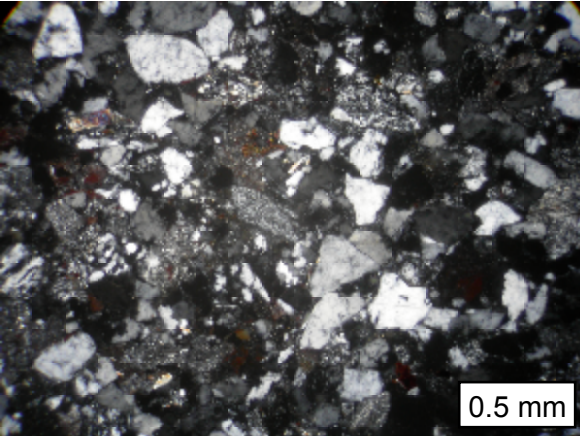
Biomicrita de foraminíferos (For), con abundante materia orgánica (MO) y relleno parcial de bitumen (Bit) en los foraminíferos. El aspecto general es muy difuso, por la disolución de los foraminíferos.

ANEXO 2.1 - FOTOS DE PETROGRAFÍA

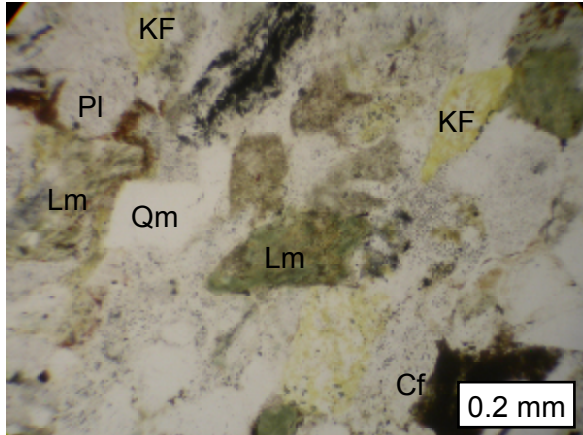
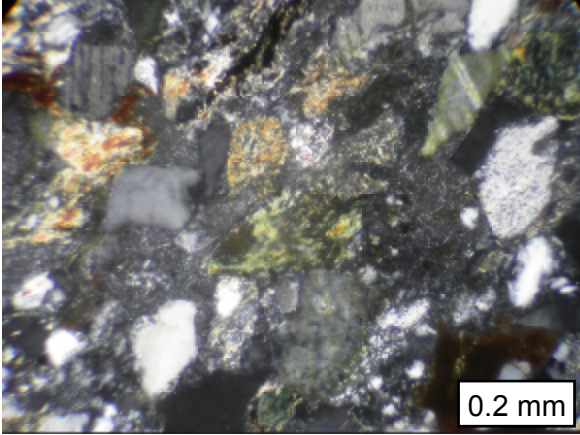
IGN-CST (FM CUESTA)



B39-EOC (EOCENO NO DIFERENCIADO)

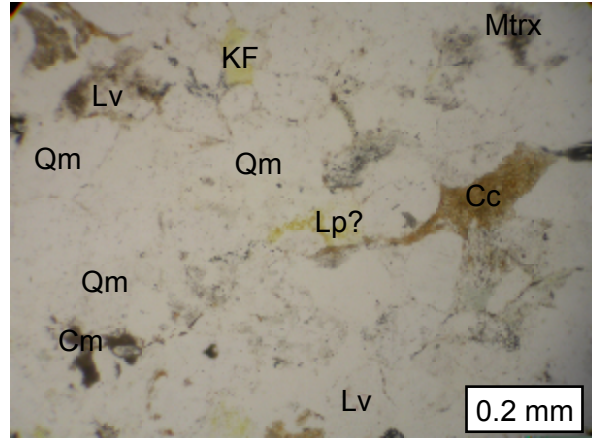
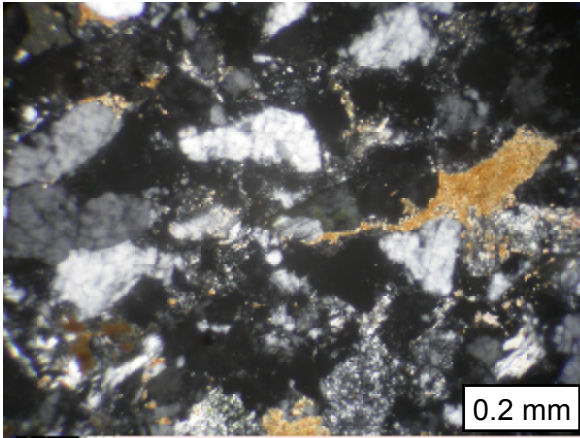


ED5E- 1 (Fm CUERVOS SUPERIOR)

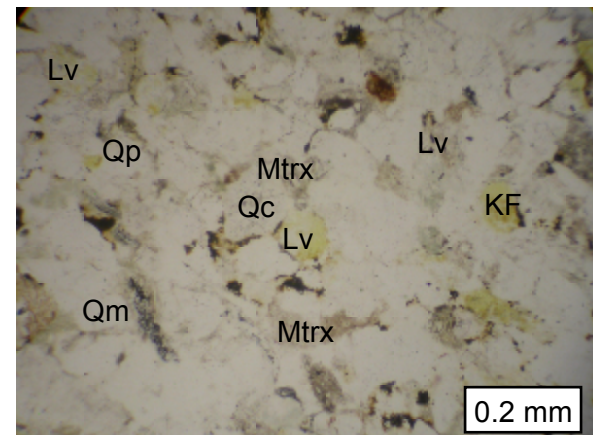
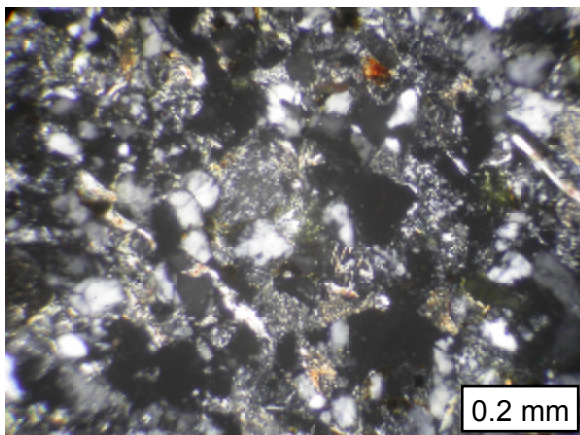


ANEXO 2.2 - FOTOS DE PETROGRAFÍA

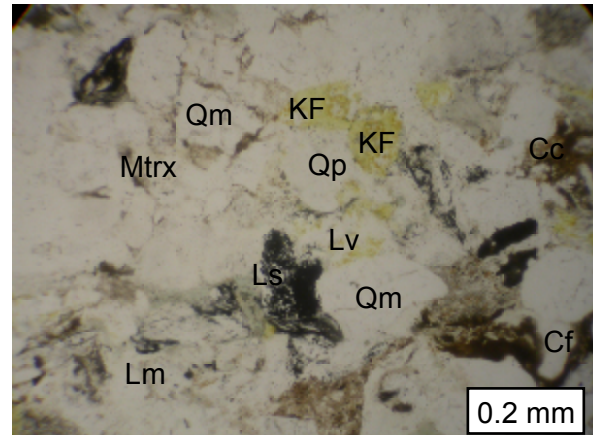
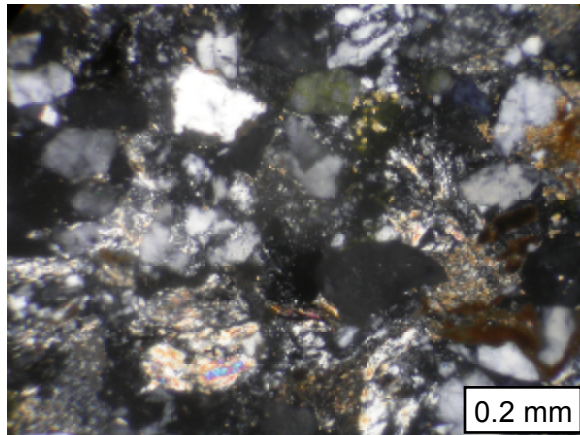
ED5E-2 (Fm CUERVOS MEDIO)



ED1E-1 (Fm CUERVOS MEDIO)

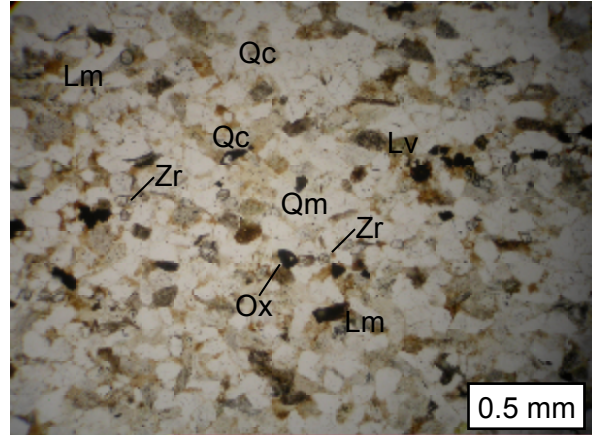
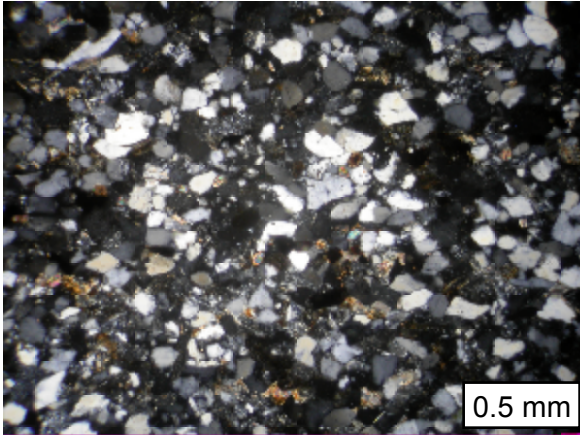


ED6E-1 (Fm CUERVOS INFERIOR)

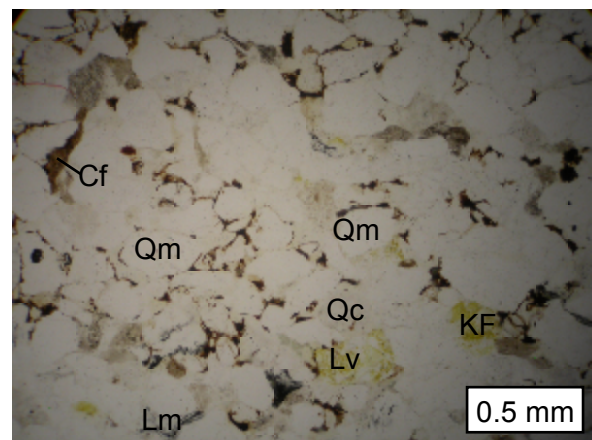
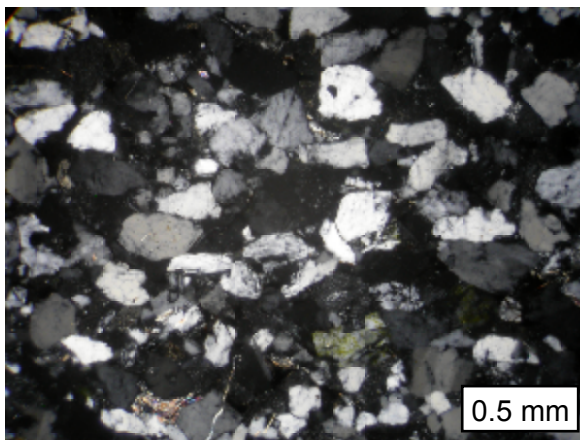


ANEXO 2.3 - FOTOS DE PETROGRAFÍA

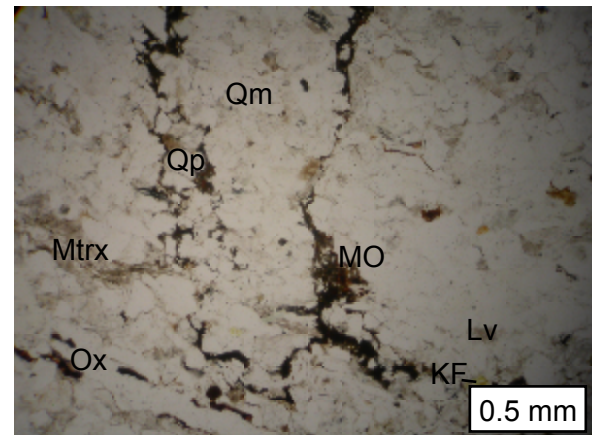
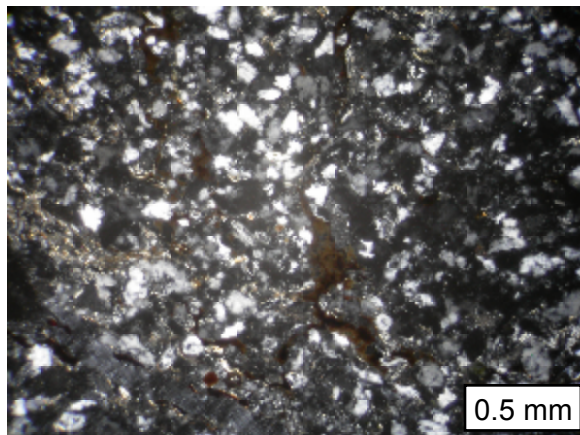
ED6E-2 (Fm BARCO SUPERIOR)



ED6E-3 (Fm BARCO SUPERIOR)

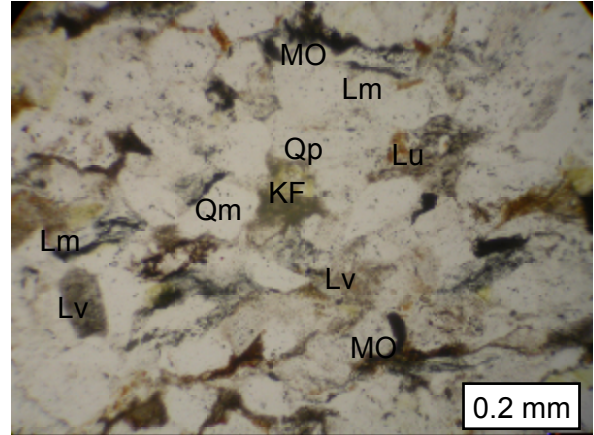
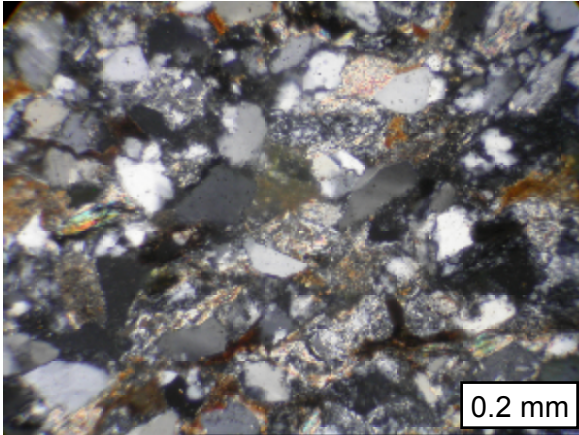


ED6E-4 (Fm BARCO INFERIOR)

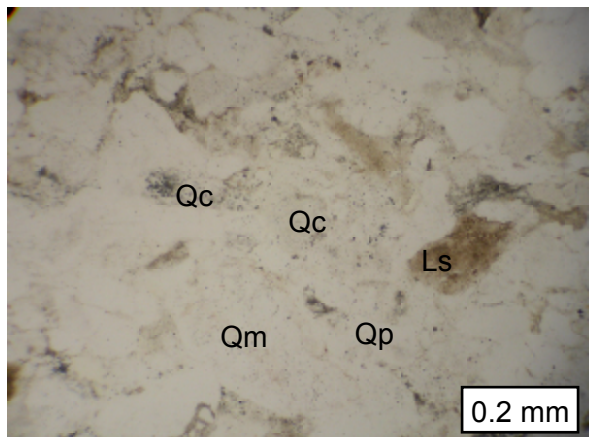
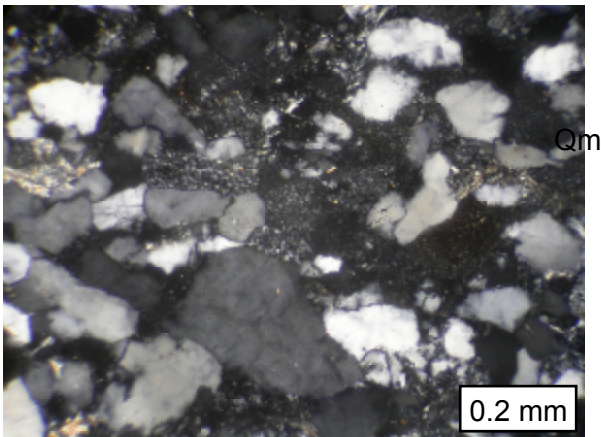


ANEXO 2.4 - FOTOS DE PETROGRAFÍA

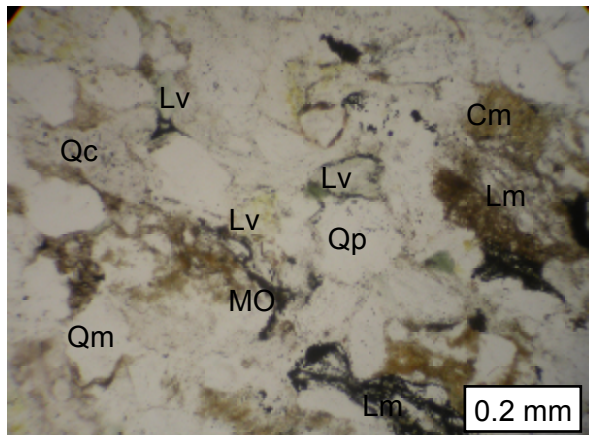
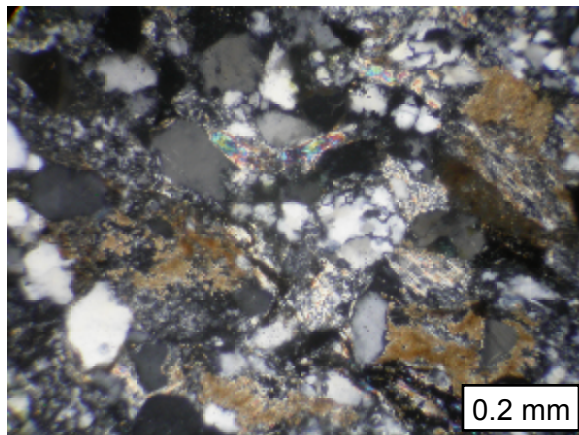
SOR-M1 (Fm CUERVOS MEDIO)



SOR-M45 (Fm CUERVOS MEDIO)

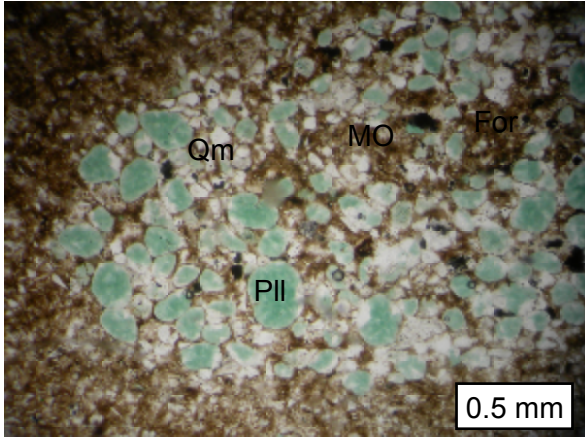
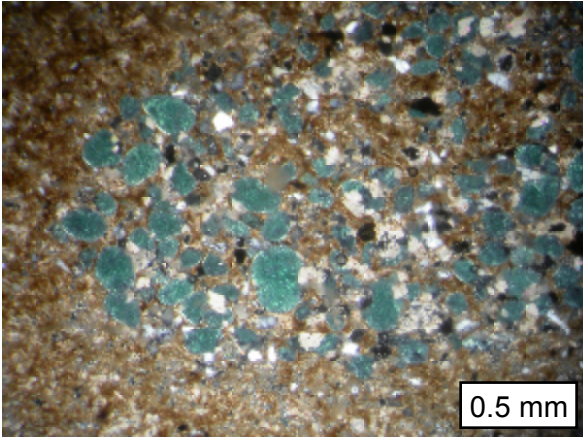


SOR-BCO (Fm BARCO SUPERIOR)

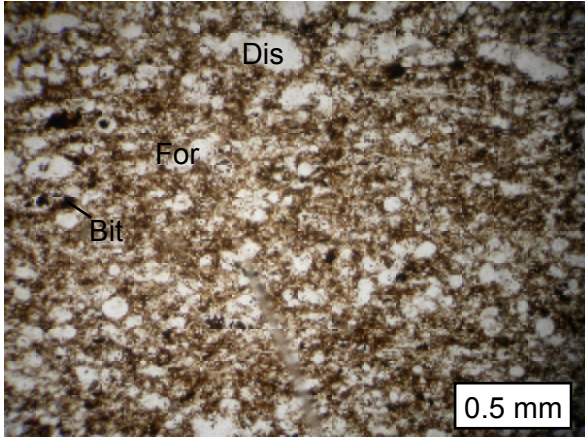
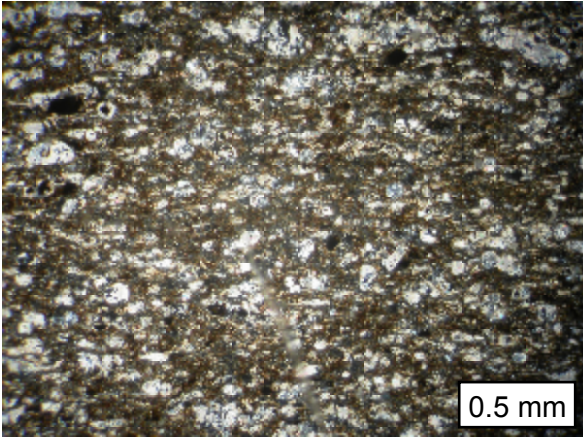


ANEXO 2.5 - FOTOS DE PETROGRAFÍA

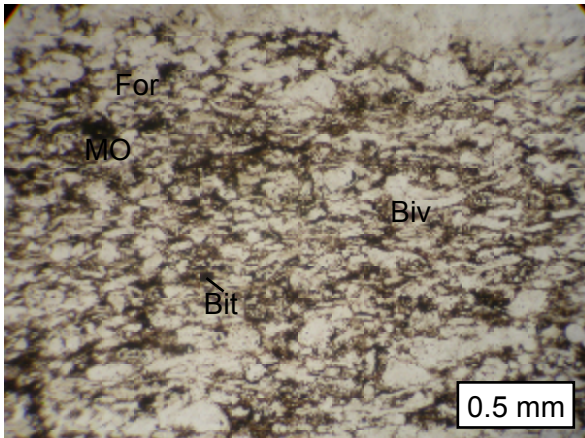
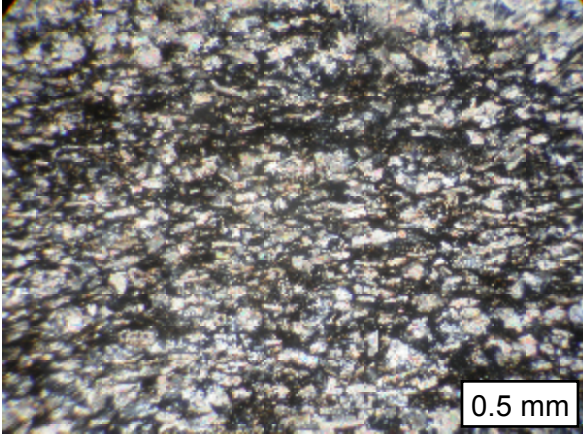
LN3E-1 (Fm MOLINO, Mb SOCUY)



LN3E-2 (Fm MOLINO, Mb SOCUY)

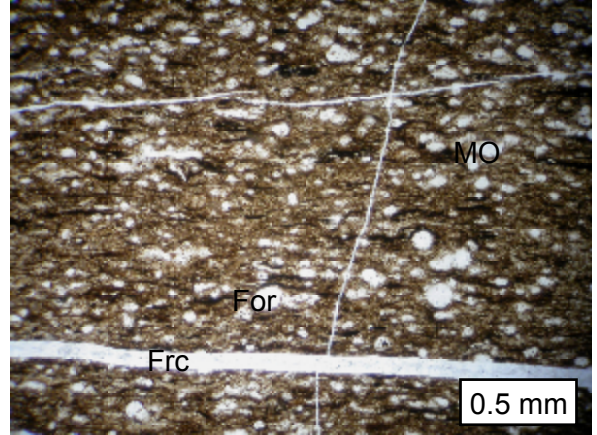
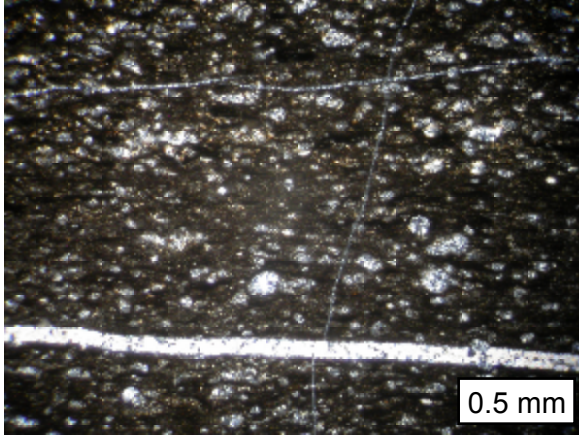


LN3E-3 (Fm LA LUNA)

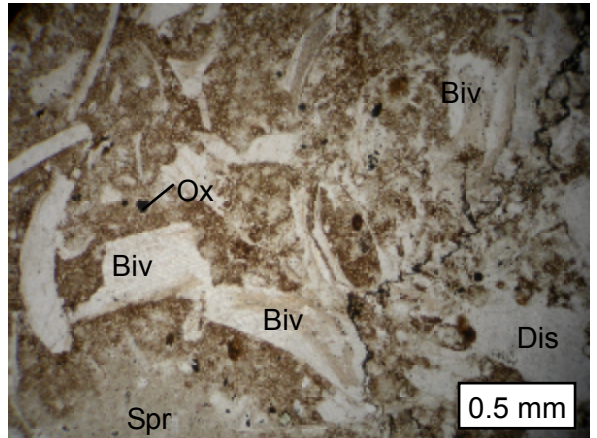
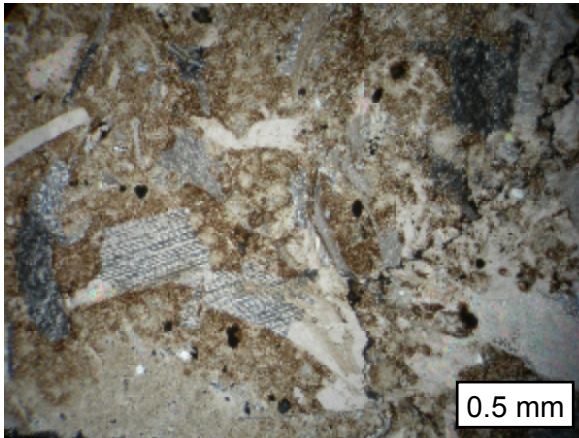


ANEXO 2.6 - FOTOS DE PETROGRAFÍA

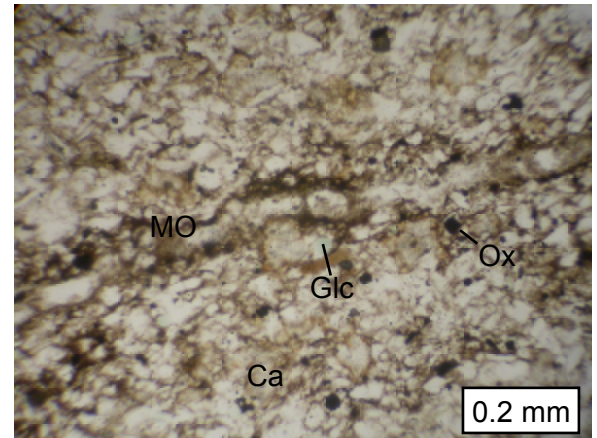
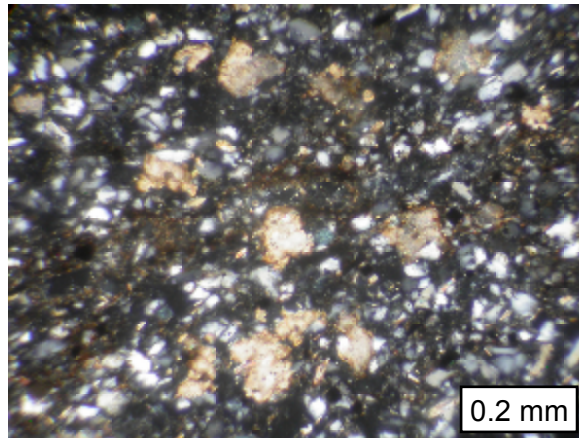
LN3E-4 (Fm AGUAS BLANCAS, Mb MARACAS)



LN3E-5 (Fm AGUAS BLANCAS, Mb MARACAS)

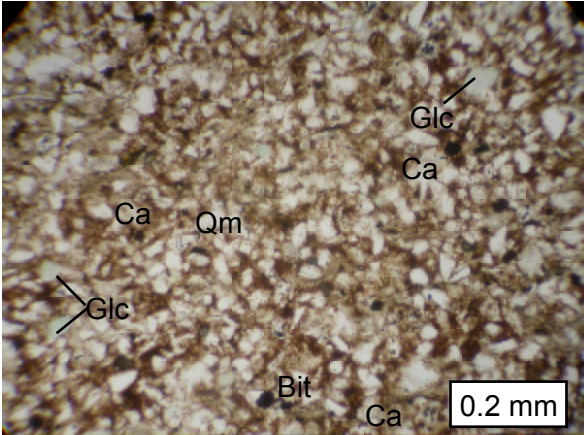
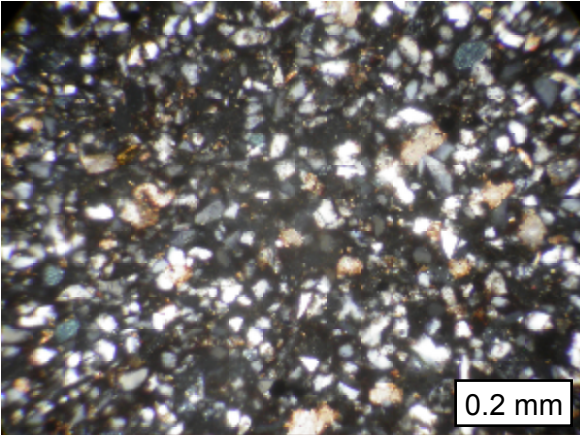


LN3E-6 (Fm ABUAS BLANCAS, Mb TOCUY)

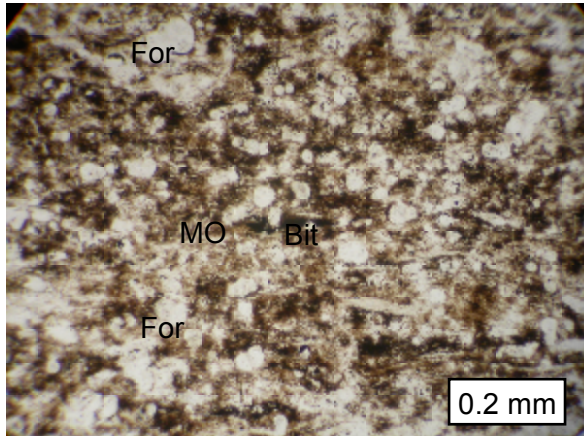
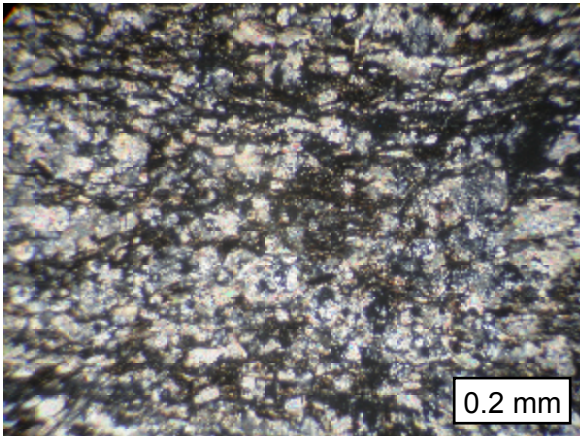


ANEXO 2.7 - FOTOS DE PETROGRAFÍA

LN3E-7 (Fm AGUAS BLANCAS, Mb TOCUY)



LN3E-8 (Fm AGUAS BLANCAS, Mb ANIMAS)



ANEXO 3: FOTOS DE MINERALES PESADOS

ANEXO 3 – MINERALES PESADOS

Leyenda explicativa

ANEXO 3.1

IGN-CST

Rutilos amarillos y rojos (Rut) impregnados de óxidos de hierro, que a veces le dan un aspecto pecoso a los granos, esfenas (Sph), y abundantes Opacos (Op) y Óxidos de Hierro (Ox). Los circones (Zr) son en su mayoría redondos y translúcidos.

B39-EOC

Abundantes circones (Zr) de colores y translúcidos, rutilos (Rut) amarillos y rojizos, y posibles Turmalinas (Tur) retrabajadas, que las hacen difícil de distinguir de los circones pero se caracterizan por su pleocroismo.

PIT SUR-AG

Circón volánico (Zrv) que se reconoce por su relación largo:ancho mayor a 3:1. Circones (Zr) redondeados e irregulares, Opacos (Op), Carbonato impregnado de óxidos (Ca) y ocasionales esfenas (Sph).

ANEXO 3.2

PIT CENTRAL-RO

Único granate (Grnt) encontrado en las secciones analizadas, rodeado de abundantes circones translúcidos y rosados, euhedrales y redondeados; además de abundantes opacos y una esfena (Sph).

SORORIA M1

Aspecto general de la muestra donde se observa una placa muy limpia, con abundantes circones (Zr) translúcidos y rutilos (Rut).

SORORIA-M45

Circones (Zr) con altos colores de interferencia muy impregnados de óxidos que le dan un tono pardusco, posible silimanita (Sil?), rutilos amarillos (Rut) y óxidos de hierro (Ox).

ANEXO 3.3

BARCO-1E

Abundantes circones (Zr) translúcidos y rosados, en su mayoría redondeados. Obsérvese el mineral de color azul que se interpretó como Turmalina (Tur) aunque fue el único grano de este tipo. Algunas esfenas (Sph) y opacos.

SOR-BCO

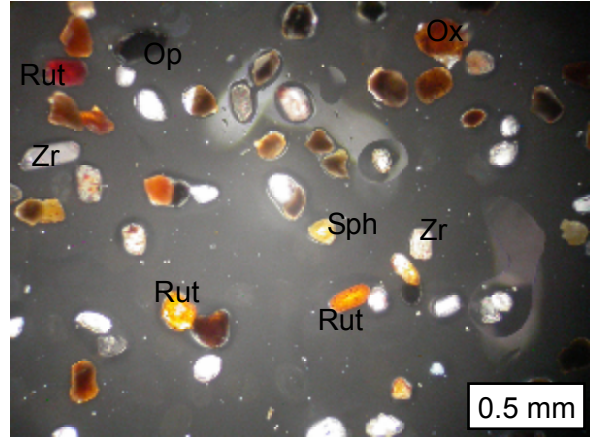
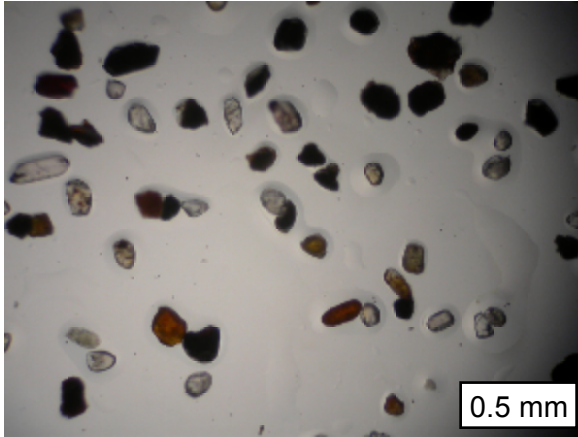
Muestra con circones (Zr) impregnados de óxidos, que le dan un tono pardusco, abundantes rutilos (Rut) euhedrales y redondos, y Óxidos (Ox).

CH-ABL

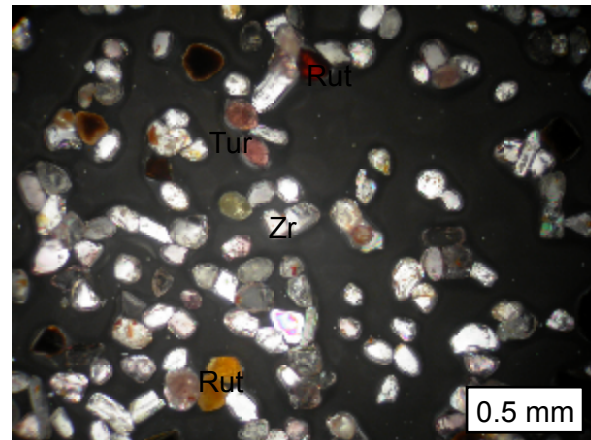
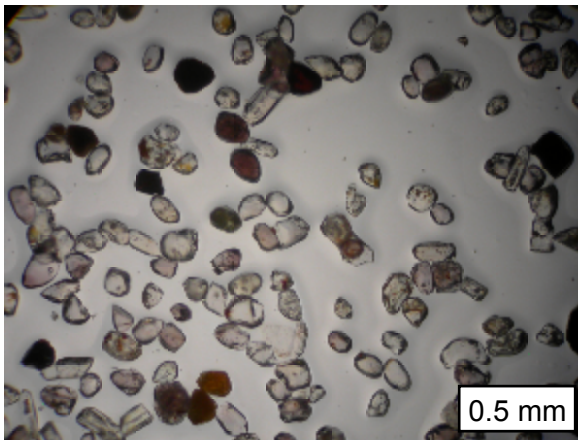
Muestra con abundantes circones (Zr), rutilos amarillos (Rut), turmalinas (Tur), carbonatos (Ca), y en menor proporción opacos y esfenas (Sph).

ANEXO 3.1 - FOTOS DE MINERALES PESADOS

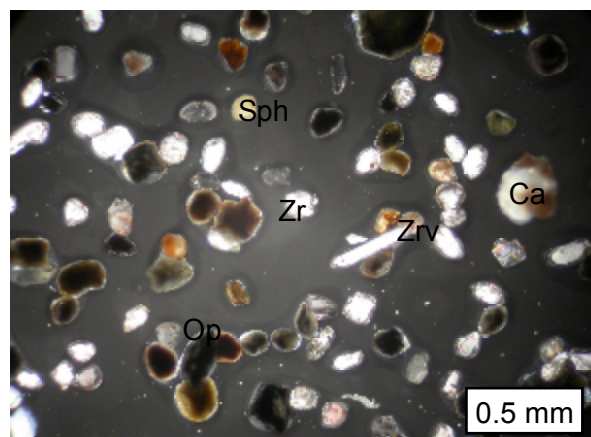
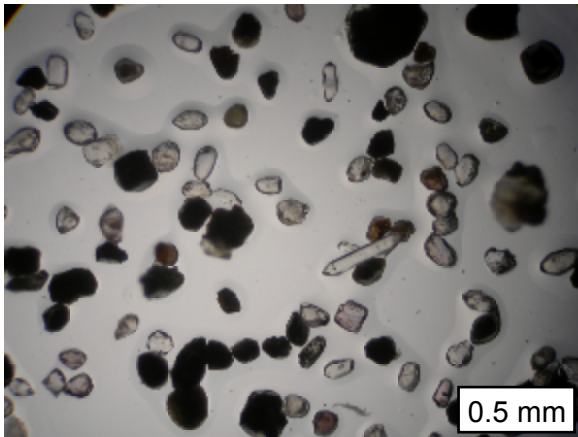
IGN-CST (FM CUESTA)



B39-EOC (EOCENO NO DIFERENCIADO)

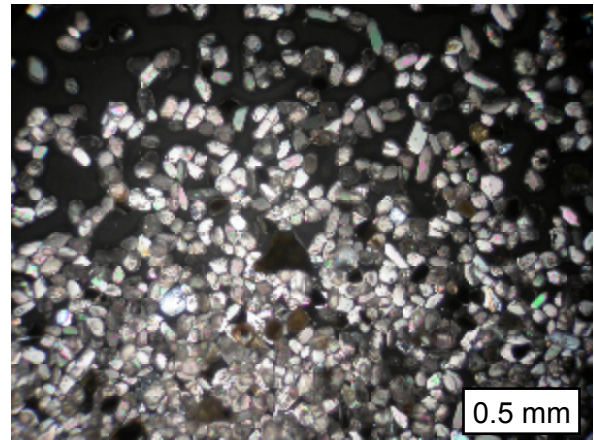
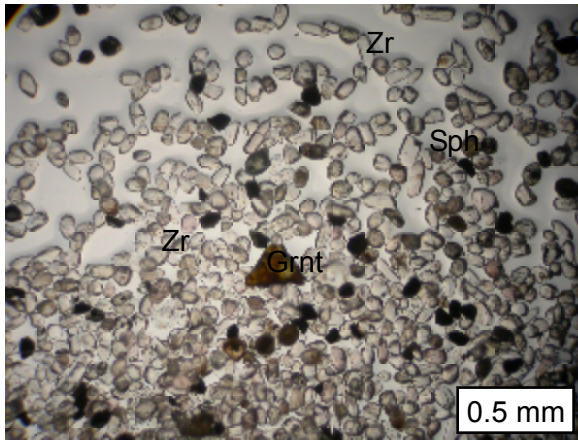


PIT SUR- AG (Fm CUERVOS MEDIO)

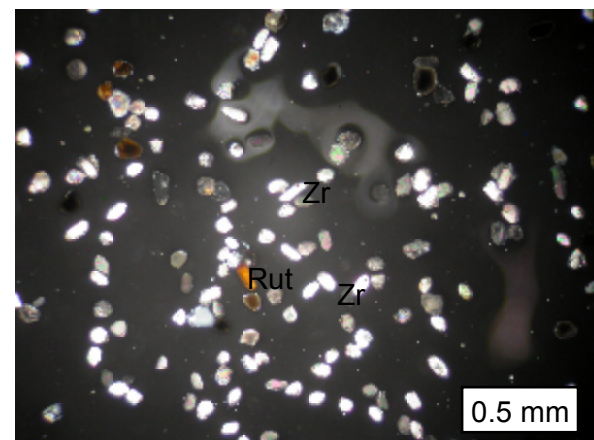
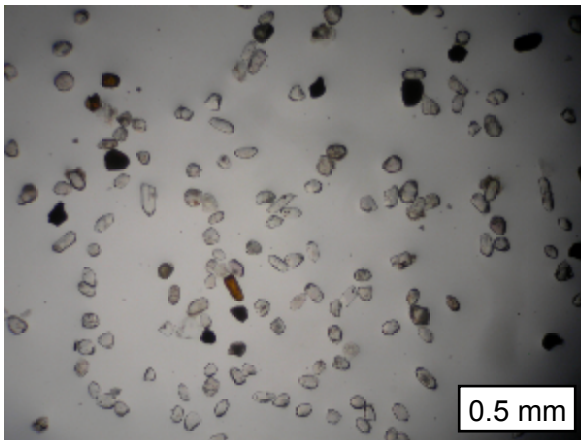


ANEXO 3.2 - FOTOS DE MINERALES PESADOS

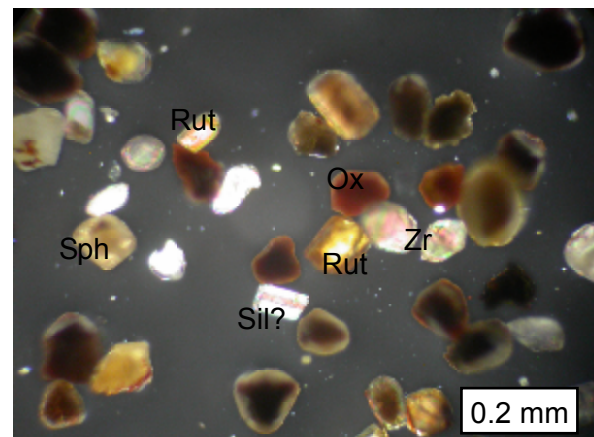
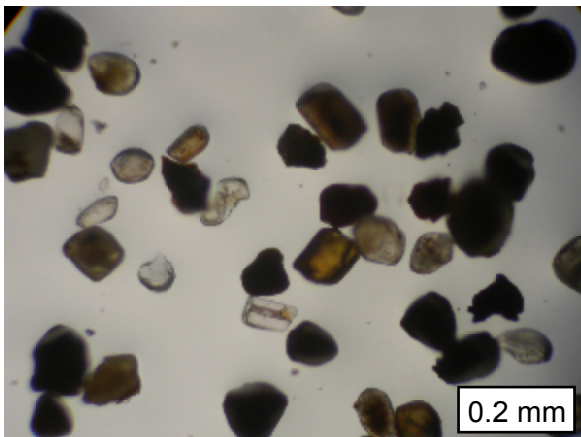
PIT CENTRAL-RO (FM CUERVOS MEDIO)



SORORIA M1 (FM CUERVOS MEDIO)

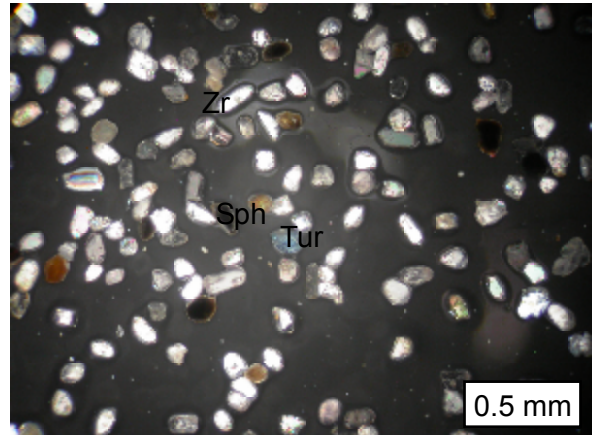
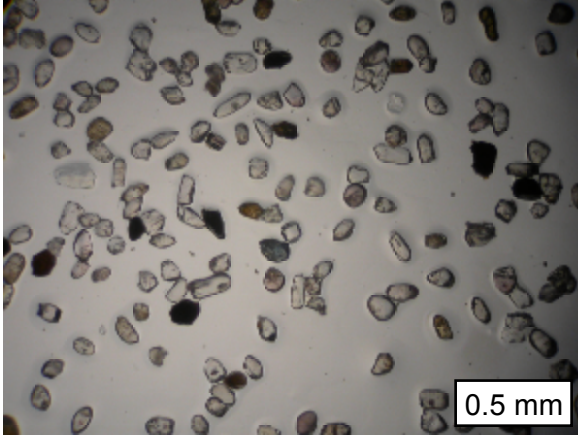


SORORIA-M45 (Fm CUERVOS MEDIO)

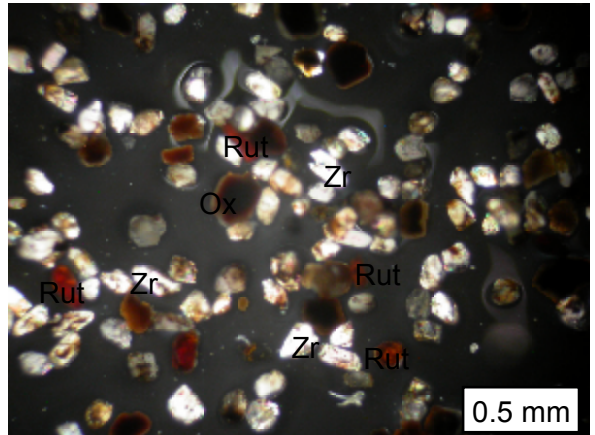
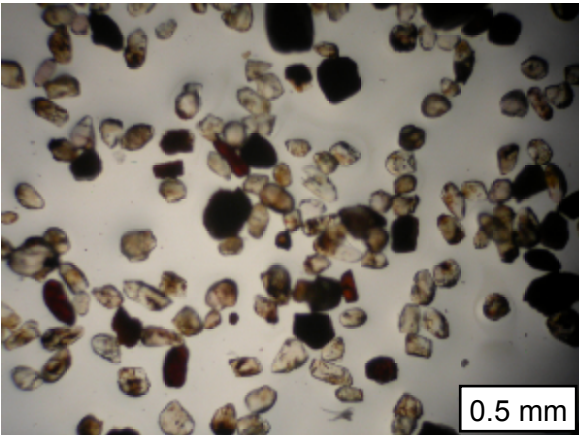


ANEXO 3.3 - FOTOS DE MINERALES PESADOS

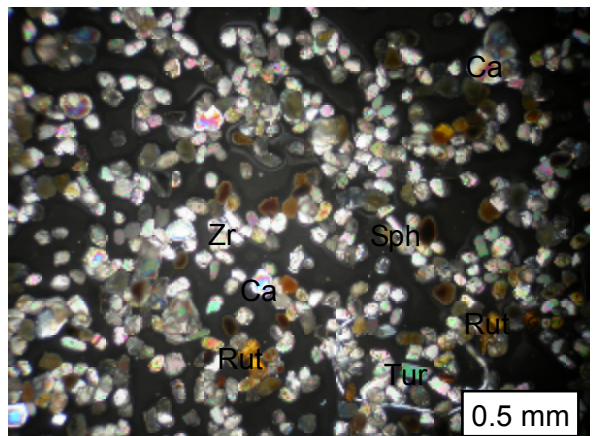
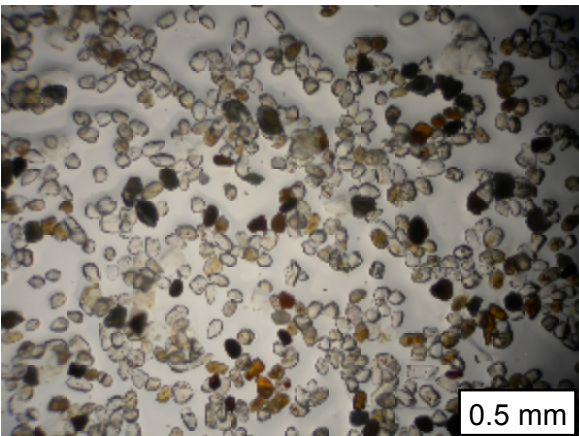
BARCO-1E (FM BARCO)



SOR-BCO (FM BARCO)

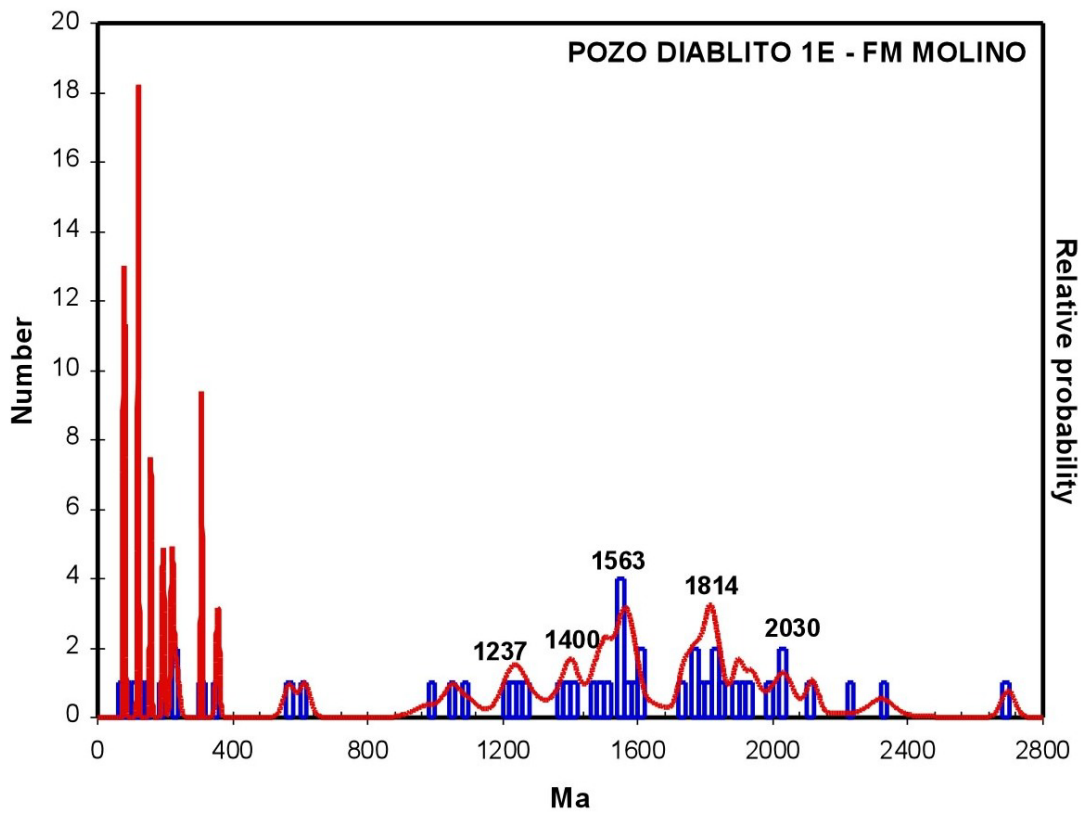
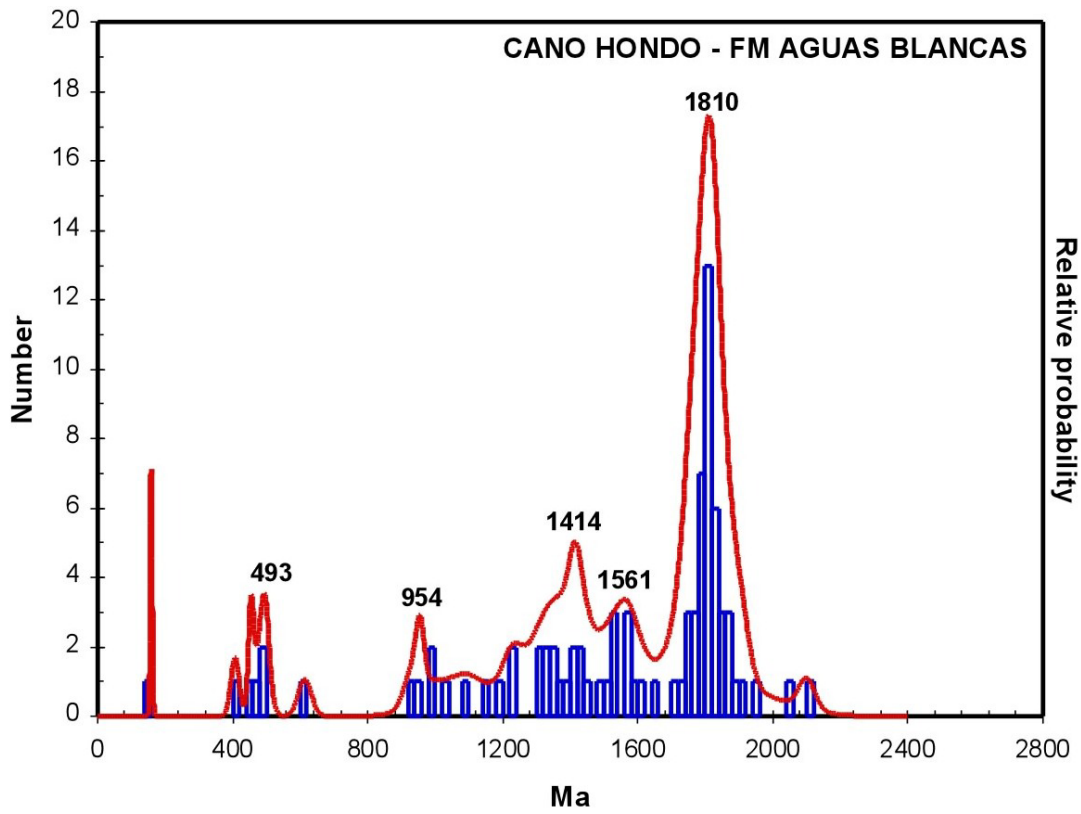


CH-ABL (FM AGUAS BLANCAS)

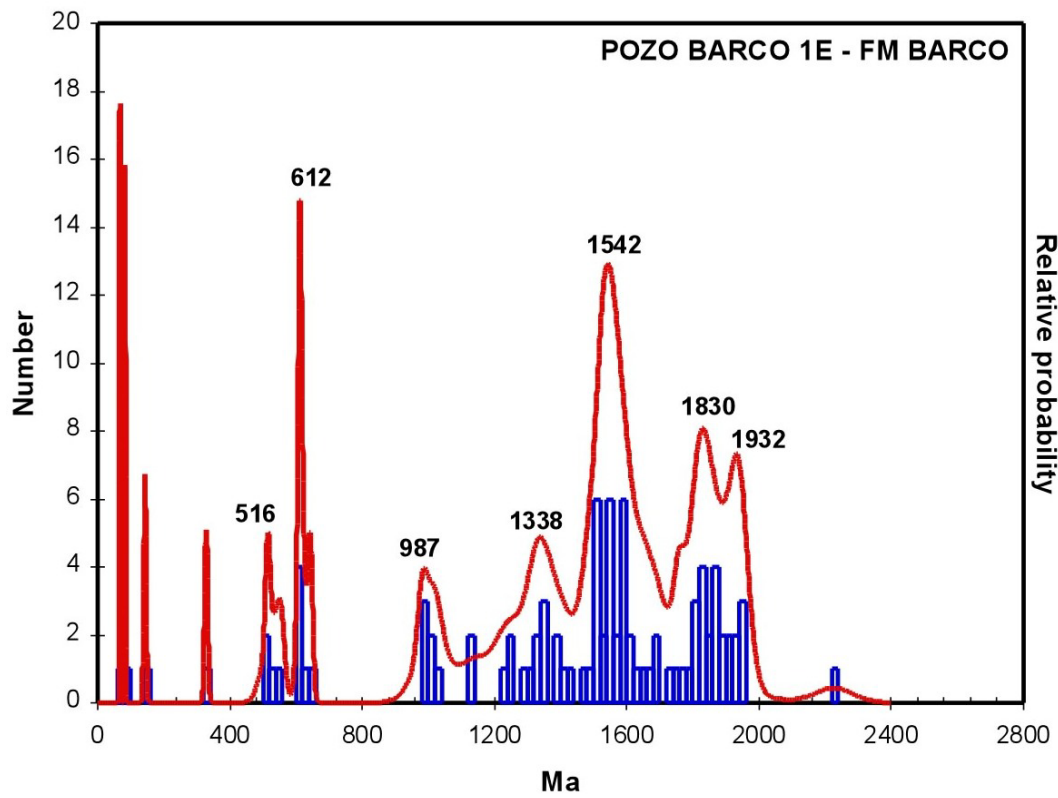
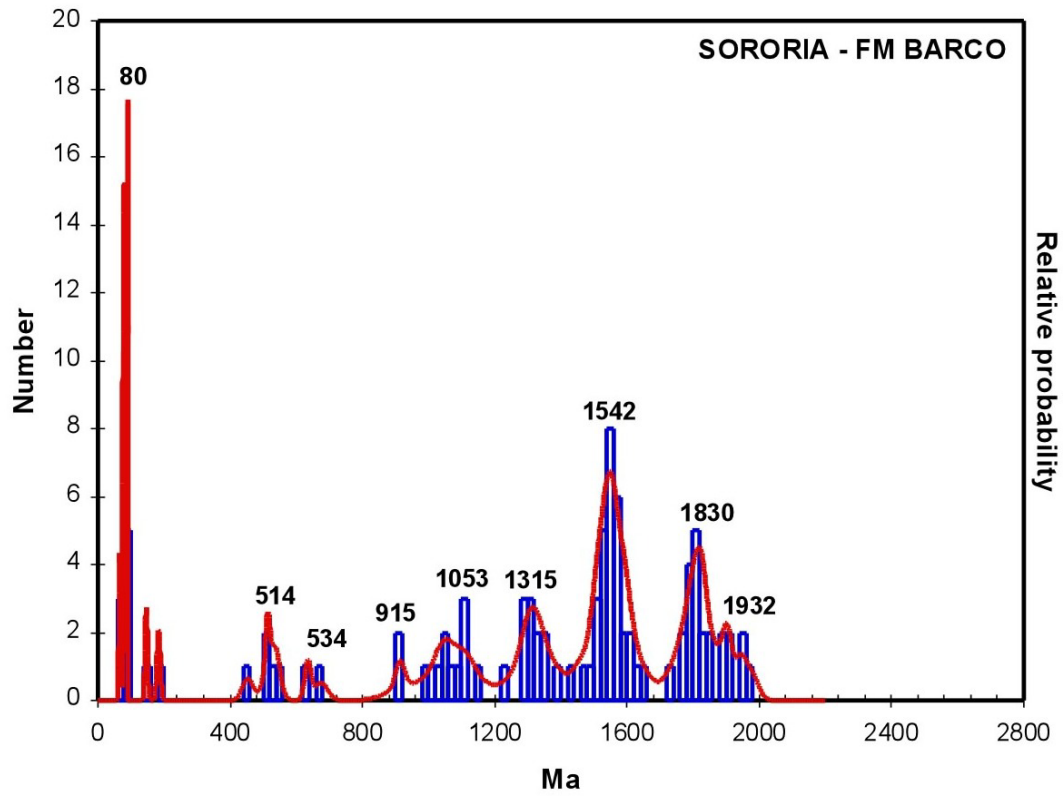


ANEXO 4: DIAGRAMAS DE PROBABILIDAD

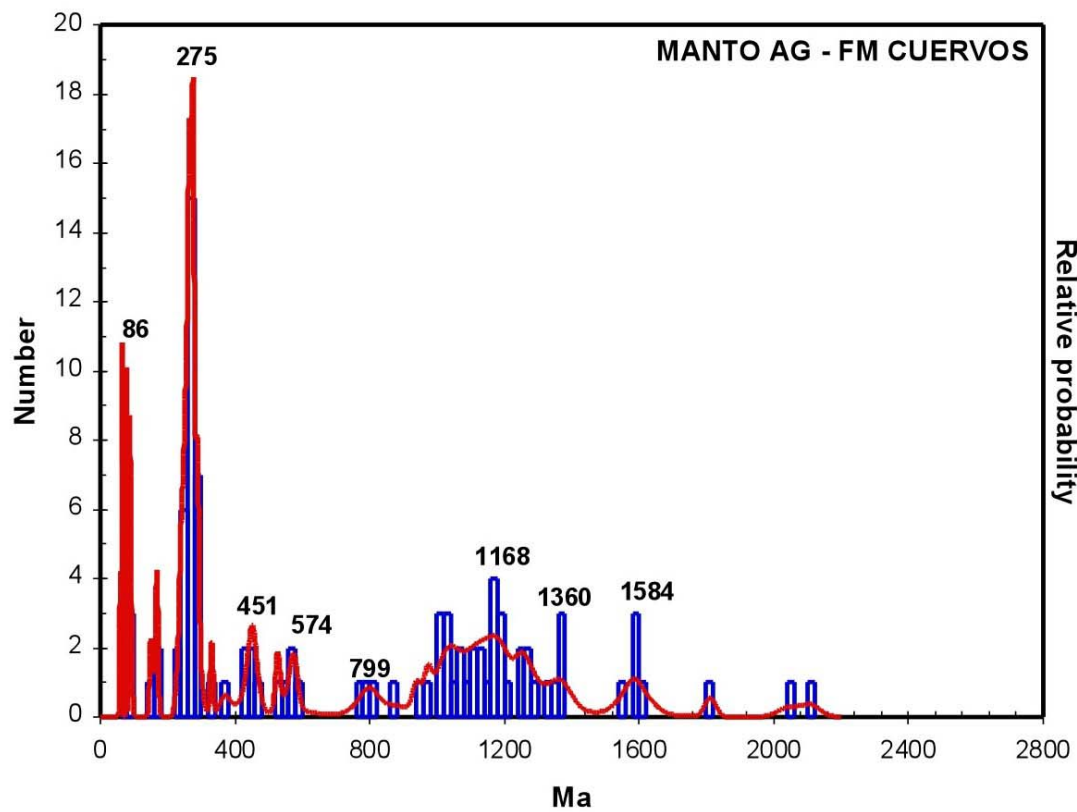
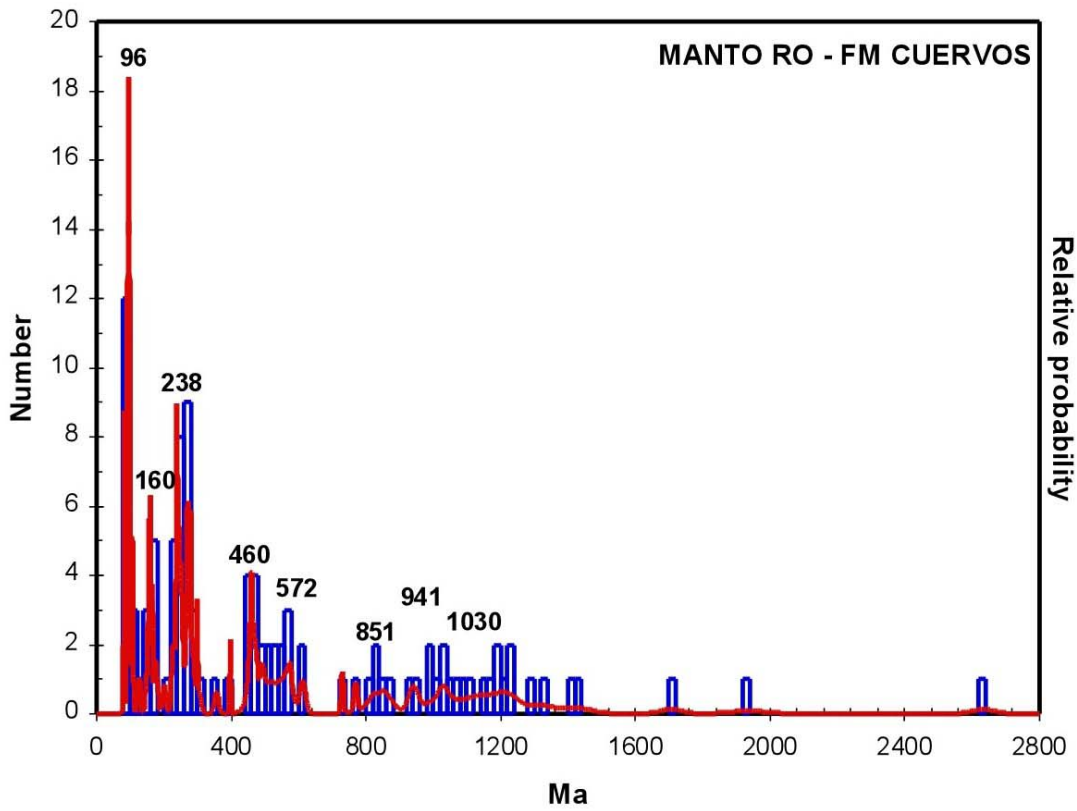
ANEXO 4.1: DIAGRAMAS DE PROBABILIDAD- CRETÁCICO



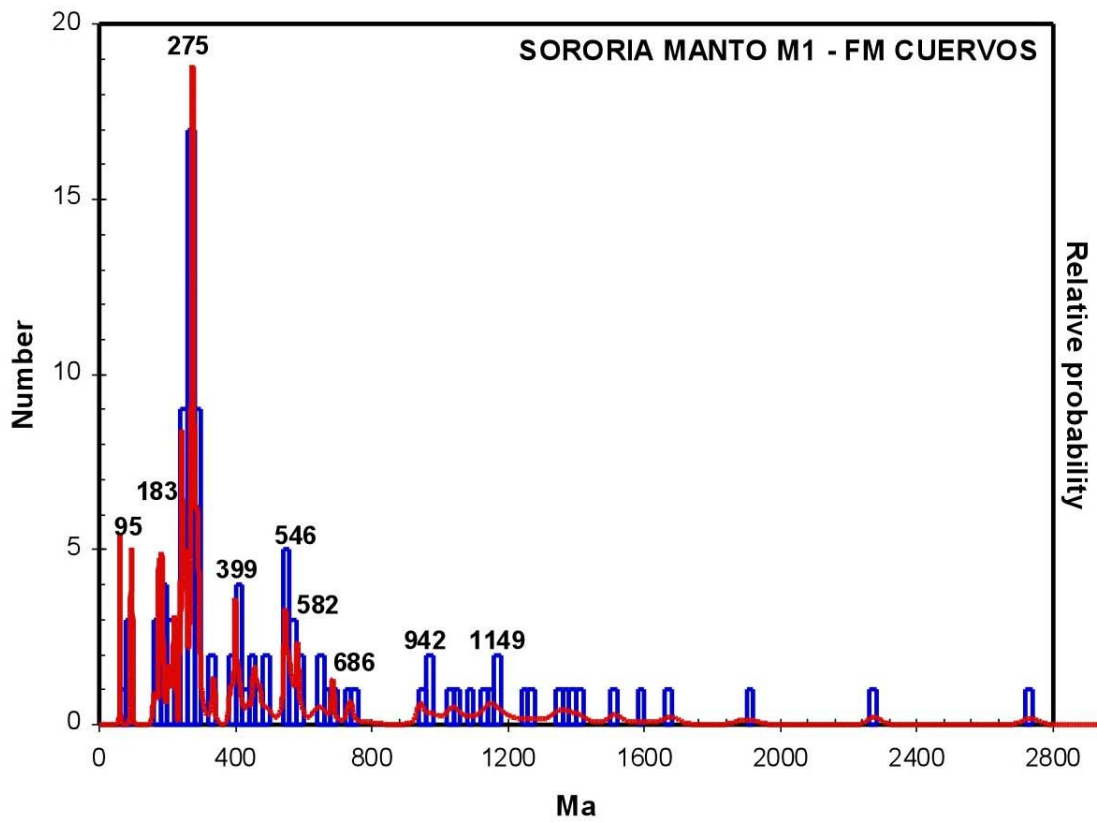
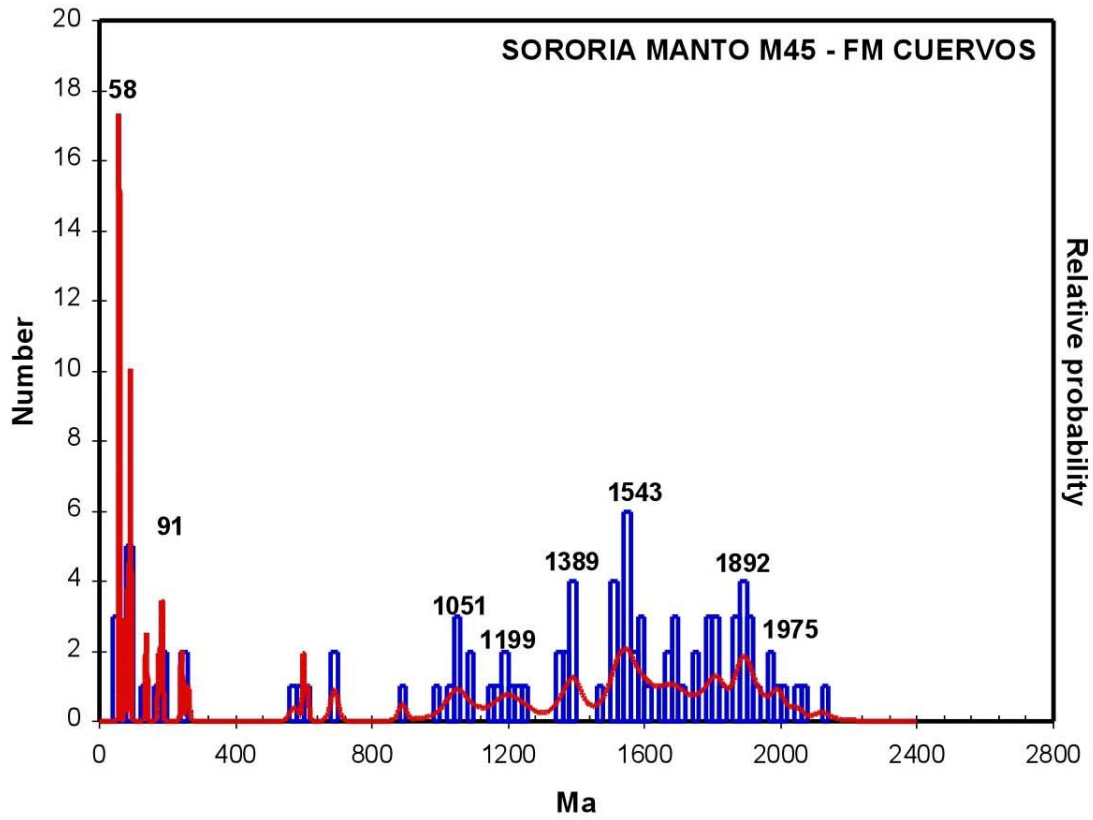
ANEXO 4.2: DIAGRAMAS DE PROBABILIDAD- FM BARCO



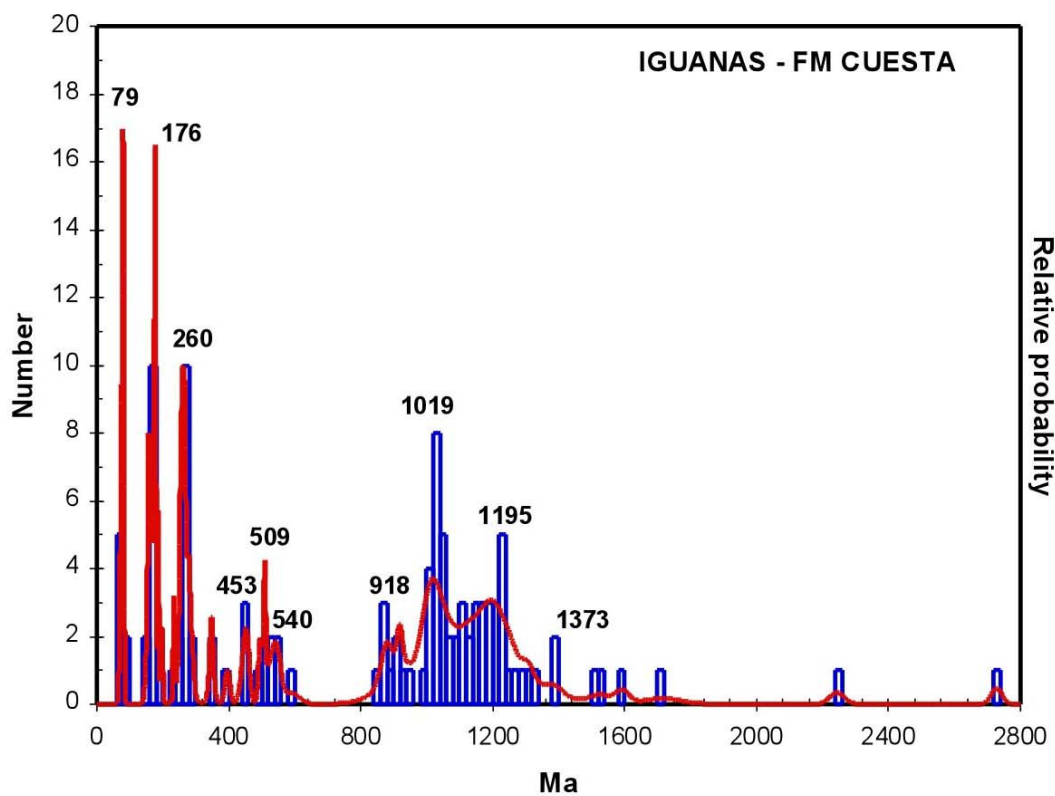
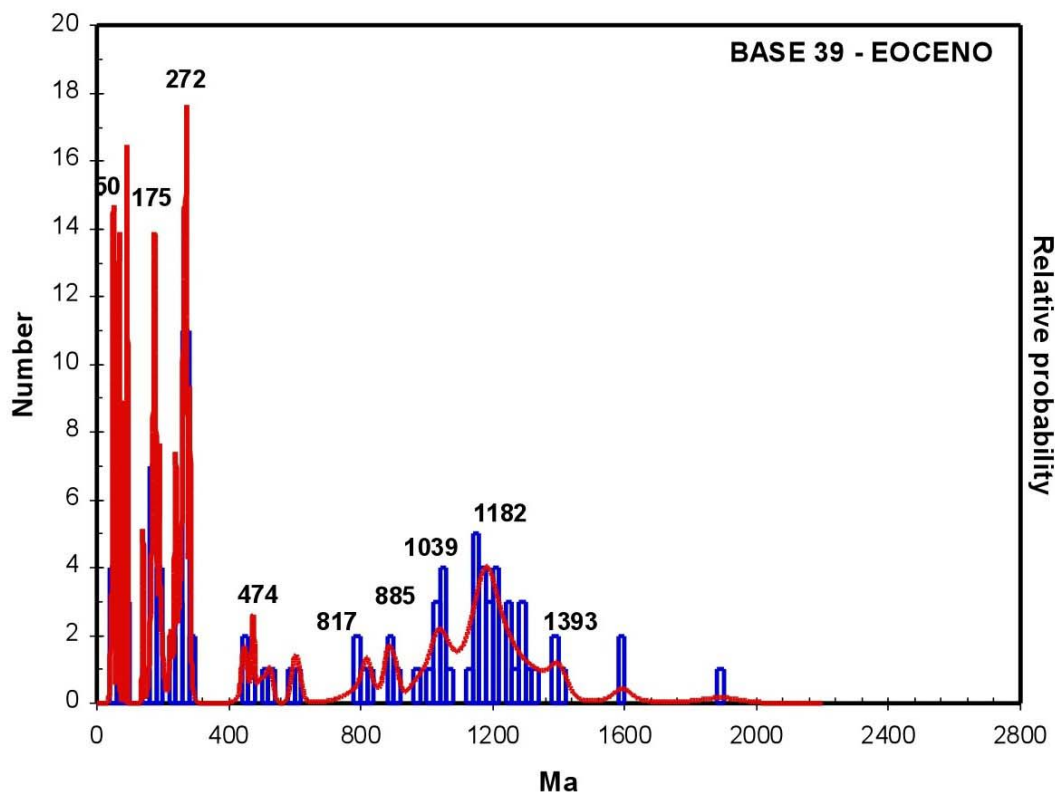
**ANEXO 4.3: DIAGRAMAS DE PROBABILIDAD- FM CUERVOS,
CENTRO DE LA CUENCA**



ANEXO 4.4: DIAGRAMAS DE PROBABILIDAD- FM CUERVOS, PERIJÁ

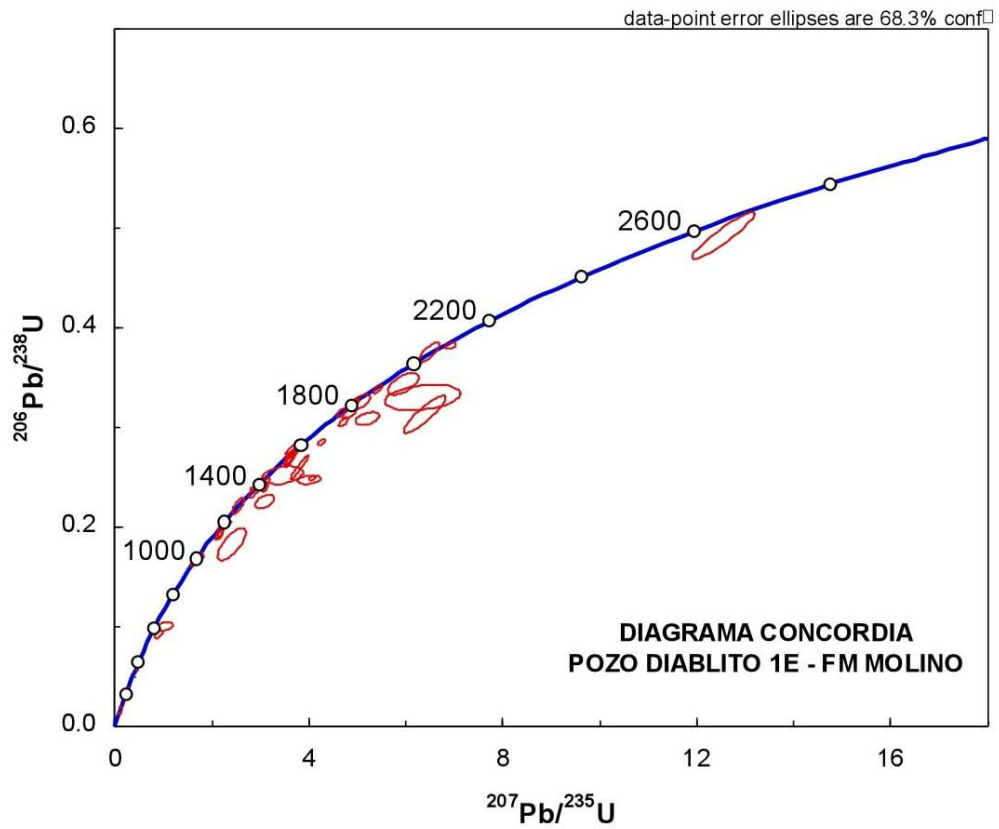
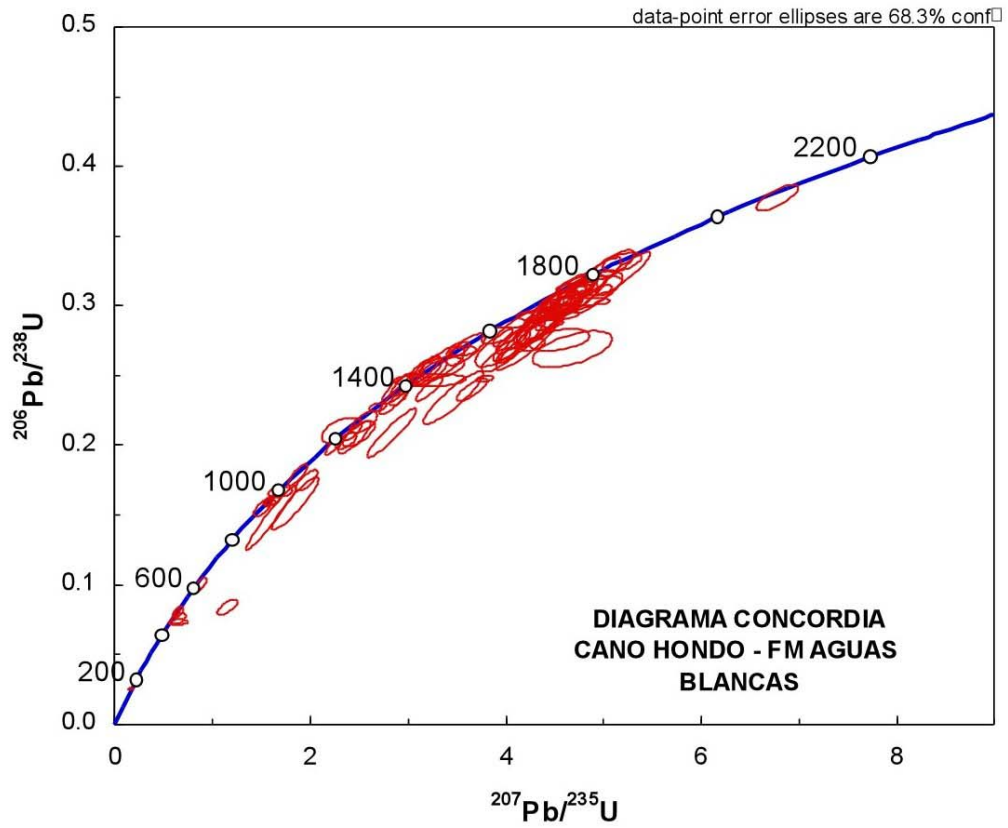


ANEXO 4.5: DIAGRAMAS DE PROBABILIDAD- EOCENO Y OLIGO-MIOCENO

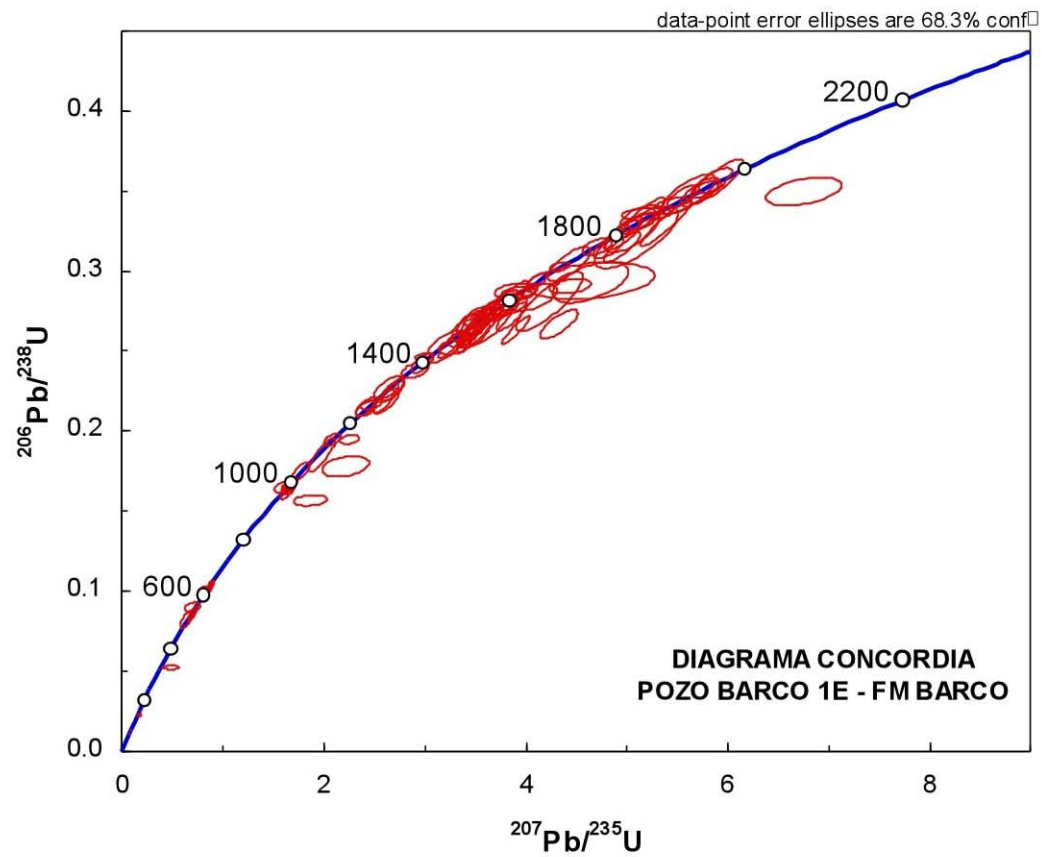
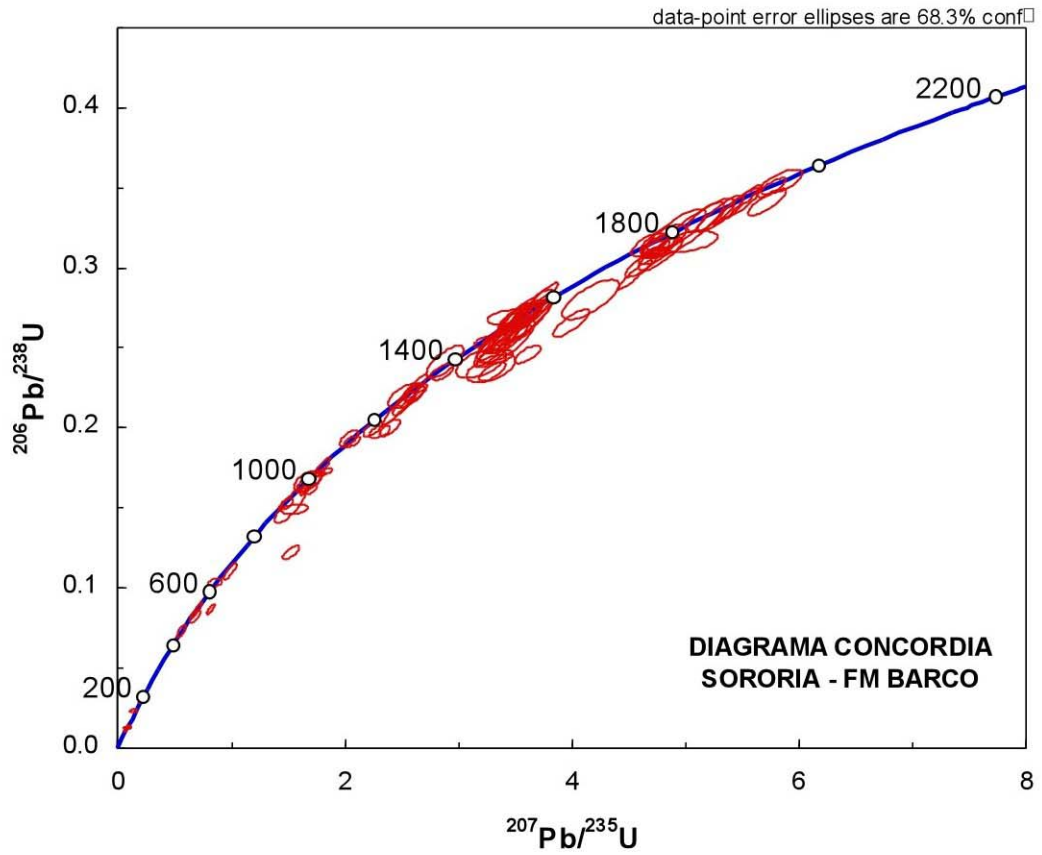


ANEXO 5: DIAGRAMAS CONCORDIA

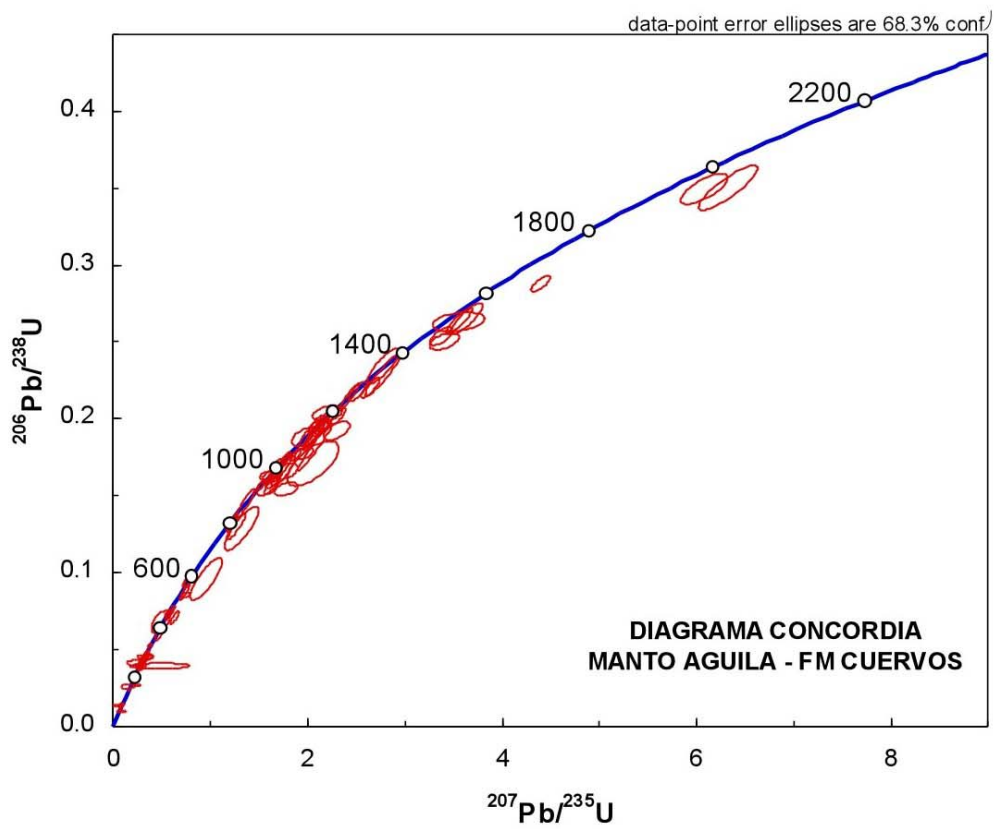
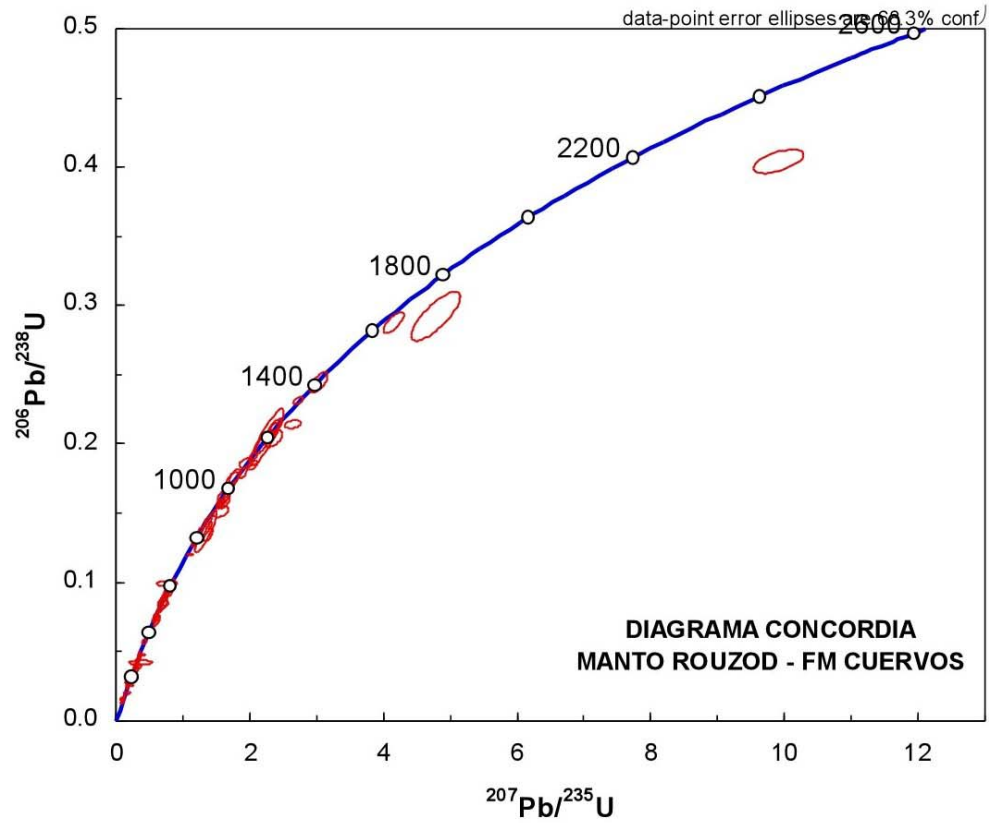
ANEXO 5.1: DIAGRAMAS CONCORDIA- CRETÁCICO



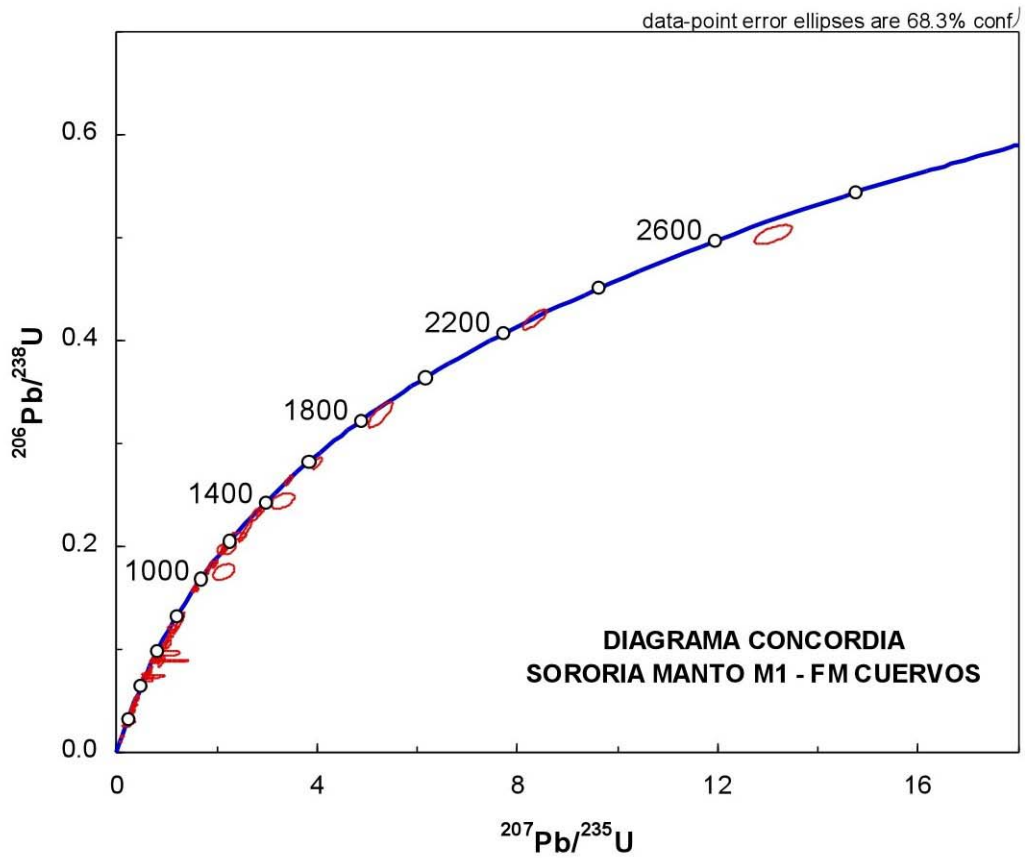
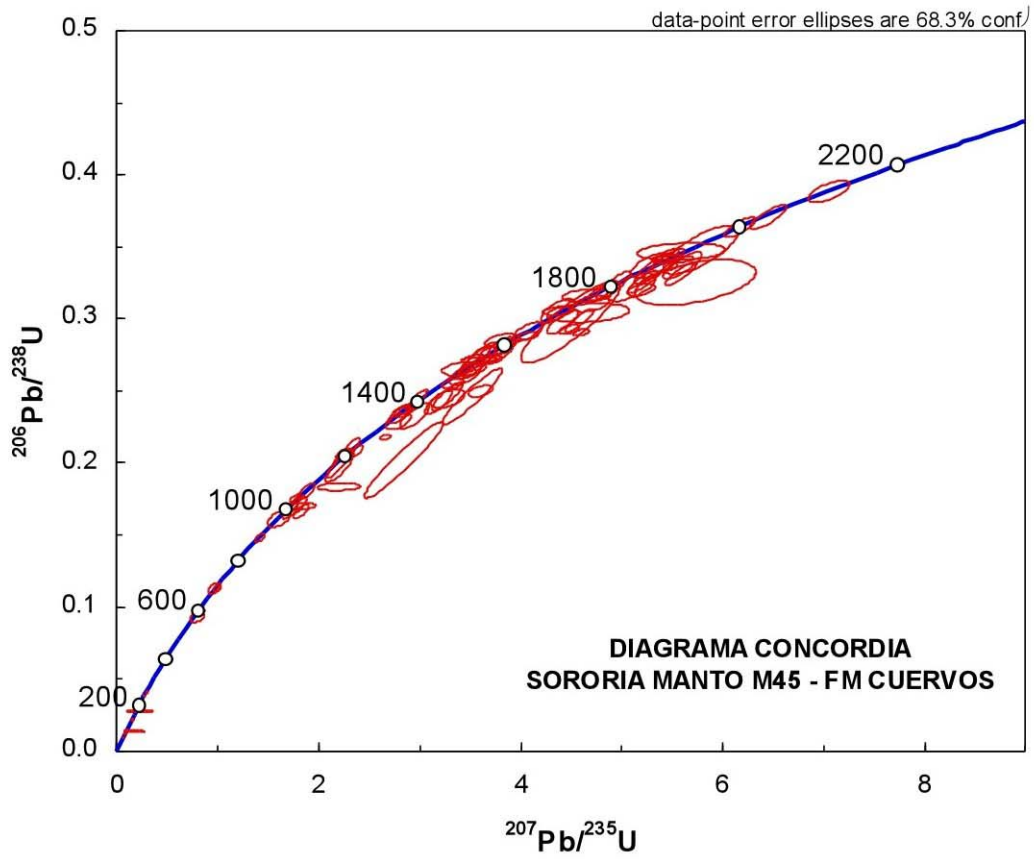
ANEXO 5.2: DIAGRAMAS CONCORDIA- FM BARCO



**ANEXO 5.3: DIAGRAMAS CONCORDIA- FM CUERVOS,
CENTRO DE LA CUENCA**



ANEXO 5.4: DIAGRAMAS CONCORDIA- FM CUERVOS, PERIJÁ



ANEXO 5.5: DIAGRAMAS CONCORDIA- EOCENO Y OLIGO-MIOCENO

