

Universidad Central de Venezuela  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Geología, Minas y Geofísica

## Procedencia de las facies arenosas de la secuencia paleocena-eocena en la parte occidental del Lago de Maracaibo, región de Perijá, estado Zulia

Trabajo Especial de Grado presentado  
ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela  
para optar al título de Magíster Scientiarum en la  
especialidad de Ciencias Geológicas por  
el ing. Ricardo Alezones

Caracas, junio 2009

Procedencia de las facies arenosas de la secuencia paleocena-eocena en la parte occidental del Lago de Maracaibo, región de Perijá, estado Zulia

Autor: Ing. Ricardo Alezones

Palabras claves: Sedimentología, facies litológicas, procedencia tectónica

### Resumen

El trabajo pretende generar un modelo que trate de explicar cual ha sido la procedencia tectono-sedimentológica de las facies arenosas de las unidades sedimentarias de la secuencia paleocena-eocena del área occidental del lago de Maracaibo, específicamente la Cordillera de Perijá.

Fueron analizadas un total de 43 muestras de roca, las cuales comprenden siete (7) muestras de superficie y treinta y seis muestras (36) de subsuelo. Dichas muestras fueron tratadas modalmente, realizándose no menos de 250 conteos para caracterizar petrográficamente cada una de ellas. Luego de esta caracterización, las muestras fueron tratadas estadísticamente y graficadas según los diagramas de DICKINSON Y SUCZEK (1979) y DICKINSON *et al.* (1983), estableciéndose la procedencia de estas facies arenosas.

Se analizaron y estudiaron un total de 30 secciones sísmicas de la zona de Perijá, comprendidas entre Río Cachirí y el Río Lora, para tratar de determinar direcciones en el patrón de sedimentación de las unidades paleocenas-eocenas estudiadas, atando esta información de subsuelo a la ya obtenida en superficie y de esta forma tratar de comprender globalmente la procedencia de las rocas estudiadas.

De los análisis de los gráficos ternarios obtenidos, el porcentaje mayoritario de las rocas tratadas muestran una afinidad con una procedencia relacionada a bloques continentales, específicamente en una transición entre cratón estable y basamento levantado o elevado.

Las líneas sísmicas estudiadas presentan una dirección de solapamiento de reflectores en forma de *onlap* hacia el este del lago de Maracaibo para la secuencia eocena, indicando que la fuente se encontraba al este-noreste de la zona estudiada, además de la interpretación de altos estructurales ubicados también al este de la región estudiada, los cuales probablemente tienen relación con la interpretación del *foreland* “migrante” presente al norte de Venezuela durante el Paleogeno.

## Agradecimientos

Este trabajo fue el resultado de el empuje, no solo del autor del mismo, sino de un gran grupo de personas que me acompañaron durante todo el (largo) tiempo que duró la ejecución del mismo.

Antes que nada y nadie, el mayor de los agradecimientos a la Ilustre Universidad Central de Venezuela, en cuyo seno nací, conocí y disfruté de la presencia de un gran número de amigos, profesionales, profesores..

A mis tutores y guías durante la elaboración de gran parte del trabajo, los doctores Marino Ostos y Jairo Lugo, gracias de todo corazón. Espero no haberlos defraudado.

A todos mis compañeros de trabajo en esta genial escuela, los profesores Olga Rey, Rafael Falcón, Franco Urbani, Sebastián Grande, Inírida Rodríguez, Omar Márquez, Jorge Mora, Mauricio Bermúdez, Paúl Romero, Franck Audemard, André Singer...

A mis nuevos compañeros, defensores de la justicia. La nueva camada es tal vez quien ha hecho que esto salga, ya que ellos son los que más exigen! Gracias a los profesores Lenin González, Ruthman Hurtado, Enzo Caraballo, David Mendi

A todos mis estudiantes que luego resultaron en grandes aliados del laboratorio, quienes siempre estuvieron a la hora de prestar ideas, esfuerzos, amistad. Nombraré solo a varios, porque sino tendría que imprimir las listas de los últimos 10 años!! Gracias a Graziana, Gladys, Woodwarde, Andrés, Ricardo, Alexandra, Patricia, José Vielma, Hildemaro, Iliana, Adriana(s)...

A Geología FC, todos ellos son un poco la esencia de lo que es trabajar en equipo..

A mi gran aliada, amiga, esposa, compañera (de vida y ahora de trabajo), gracias Caro, tu presionaste y obtuviste resultados, te amo.

A mi mejor trabajo, mi mejor resultado, mi mejor tesis: Camila, eres lo que todos queremos, eres mi linda y bella Chipi!!!

A mis padres y mi abuelo, ustedes me lo han dado!!

A todos aquellos que de una u otra forma han estado involucrados en esto. A todos gracias!!!

*And in the end, the love you take is equal to the love you make  
John Lennon & Paul McCartney (1969)*

# Índice General

<b>1. Introducción .....</b>	<b>5</b>
1.1 Objetivo y alcance del trabajo .....	5
1.2. Localización del área de estudio .....	6
1.3. Metodología de la investigación.....	6
1.3.1 Recopilación de información existente.....	6
1.3.2 Etapa de oficina y laboratorio.....	6
1.4. Geología del área de estudio .....	11
1.4.1 Marco Geológico.....	11
1.4.2 Trabajos Previos .....	14
1.4.3 Estratigrafía del área.....	16
<b>2. Marco Estratigráfico Regional .....</b>	<b>21</b>
2.1 Generalidades.....	21
2.2 Ciclos depositacionales del occidente de Venezuela.....	21
<b>3. Petrografía Sedimentaria y Análisis Modal .....</b>	<b>39</b>
<b>FORMACIÓN LA SIERRA.....</b>	<b>39</b>
<b>FORMACIÓN MIRADOR.....</b>	<b>48</b>
<b>4. Procedencia. Diagramas Ternarios de procedencia .....</b>	<b>77</b>
4.1 Generalidades .....	77
4.2 Interpretación de los triángulos de procedencia .....	81
<b>5. Geología Estructural del área .....</b>	<b>96</b>
<b>5.1 Descripción de las líneas sísmicas analizadas .....</b>	<b>96</b>
Grupo de orientación WNW-ESE .....	96
<i>Línea 1</i> .....	96
<i>Línea 2</i> .....	97
<i>Línea 3</i> .....	101
Grupo de orientación ENE-WSW .....	102
<i>Línea 4</i> .....	102
Grupo de orientación E-W .....	102
<i>Línea 5</i> .....	102
Grupo de orientación N-S.....	105
<i>Línea 6</i> .....	105
<i>Línea 7</i> .....	109
<b>6- Evolución Paleogeográfica .....</b>	<b>116</b>
<b>7- Sumario y Conclusiones .....</b>	<b>118</b>
<b>8- Recomendaciones .....</b>	<b>120</b>
<b>9- Bibliografía.....</b>	<b>121</b>

# 1. Introducción

El investigar algo siempre ha sido el motivo de toda persona que se encuentra ligada a la búsqueda de conocimientos, tanto académicos como tecnológicos, y porque no, de aprovechamiento económico. Cuando se define un tema de investigación siempre han de plantearse también las interrogantes ¿Mejorará de alguna manera el estado del conocimiento científico al tratar de desarrollar este tema de investigación? o ¿Existirá algún beneficio social luego de concluir con la investigación planteada?

En el caso de las Ciencias de la Tierra, el poder responder estas interrogantes (y tal vez muchas otras) es tan importante como la elección del tema a investigar, ya que de alguna manera esta rama del conocimiento científico tiene una conexión directa con el desarrollo tecnológico-científico-económico-social de los seres humanos. De esta forma, el poder realizar una investigación dentro de este campo, resulta un reto ya que, no solo se enriquece el conocimiento científico, también se establecen nuevas estrategias para atacar, solucionar e idear nuevos caminos que conduzcan a ampliar los horizontes en la búsqueda de información, conocimientos y soluciones.

Con la ayuda de la sismoestratigrafía, la interpretación estructural de líneas sísmicas, geología de superficie, la interpretación y el análisis de secciones de rocas, y la integración de los perfiles de pozos se persigue determinar la procedencia de las rocas formadas durante el Paleoceno-Eoceno en la Cuenca de Maracaibo, así como establecer las relaciones espaciales temporales de las fuentes de sedimentos de las rocas del Paleogeno, y el ambiente tectónico de sedimentación de las mismas.

## 1.1 Objetivo y alcance del trabajo

Con la ayuda de la sismoestratigrafía, la interpretación estructural de líneas sísmicas, la geología de superficie, la interpretación y el análisis modal de secciones de rocas, se pretende modelar el Paleoceno-Eoceno de la parte occidental de la cuenca de Maracaibo desde el punto de vista de secuencias tectonoestratigráficas, así como poder establecer las relaciones espaciales y temporales de las fuentes de sedimentos para las rocas clásticas de dicha área. De igual manera, se tratará de determinar la influencia de la tectónica andina y/o caribeña sobre el tipo de sedimentos, la naturaleza del tipo de roca sedimentaria generada, el ambiente tectónico de sedimentación de las mismas, todo esto enmarcado dentro de la clasificación de cuencas de BALLY y SNELSON (1980).

De igual manera, el trabajo constituye el último requisito para optar al título de Magíster en Ciencias Geológicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.

## 1.2. Localización del área de estudio

La parte occidental de la Cuenca de Maracaibo se encuentra localizada en el estado Zulia, Venezuela. Se halla limitada al oeste y suroeste por la serranía de Perijá, al este y sureste por la cordillera andina (Andes de Mérida), al norte por el Mar Caribe. Específicamente la zona de trabajo se encuentra localizada según las coordenadas :

Latitud N 11° 00'	Longitud : E 73° 00'
N 11° 00'	E 72° 00'

Latitud : N 9° 00'	Longitud : E 73° 00'
N 9° 00'	E 72° 00'

Las muestras de superficie fueron recolectadas durante las jornadas de campo establecidas en el proyecto “Flanco de Perijá” realizado por la Universidad Central de Venezuela (Escuela de Geología, Minas y Geofísica) y Maraven S.A. durante el año de 1992. Las localidades donde fueron tomadas las muestras fueron : río Lora, río Sukumo (o río Sucumo), río Tukuko (o río Tucuco), río Negro, río Cachirí (Figura 1).

## 1.3. Metodología de la investigación

### 1.3.1 Recopilación de información existente

Fueron recopilados los mapas geológicos existentes (Creole Petroleum Corporation y otros disponibles en el Ministerio de Energía y Minas., biblioteca de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela y por las filiales de P.D.V.S.A.). La finalidad de esta recopilación era establecer el estado del conocimiento geológico de superficie del área de trabajo, así como poder escoger cuáles serían las mejores líneas sísmicas para analizar, teniendo como base la geología de superficie, y de esta manera tener un mejor control superficie-subsuelo. Así mismo, se realizó la búsqueda de las muestras de roca (tanto secciones finas como muestras de mano) pertenecientes a los trabajos realizados durante el Proyecto “Flanco de Perijá” U.C.V.-Maraven S.A. De igual manera se recolectaron los trabajos geológicos publicados del área, así como los trabajos especiales de grado y la mayor cantidad de referencias bibliográficas actuales acerca de tectonoestratigrafía y de la implementación de esta herramienta en el análisis de cuencas de características similares (tanto tectónicas como estratigráficas) a la de la Cuenca de Maracaibo.

### 1.3.2 Etapa de oficina y laboratorio

Una de las partes fundamentales del trabajo consiste en realizar la petrografía y los análisis modales de secciones de rocas para poder de esta manera establecer el tipo

litológico y su mineralogía. Por esta razón, la primera etapa metodológica a cumplir es la obtención de las muestras que representen arealmente y geográficamente la zona de trabajo. De esta manera, las secciones de superficie trabajadas durante el proyecto del “Flanco Perijá” U.C.V.- Maraven S.A. (1992) son la fuente de información idónea para la obtención de las secciones de roca que caracterizan a las formaciones rocosas que afloran en la región occidental de la cuenca de Maracaibo. A su vez, para mantener un buen control en subsuelo, se escogieron un número importante de muestras de núcleos de los pozos Alp-2 y Alt-3, 22 y 14 respectivamente. Las muestras de los pozos y de superficie fueron suministrados por Maraven S.A.

Para realizar el análisis modal se seleccionaron 43 muestras, de entre todas de las muestras tomadas en campo y de los núcleos, luego de realizar una petrografía cualitativa y discriminando las muestras según su localización y el tipo de roca. Debe destacarse que en el momento de preparar las secciones de rocas, estas (en lo posible), fueron teñidas para reconocer porosidad y para reconocer feldespatos. Posteriormente fueron llevadas a cabo las siguientes actividades :

- conteo sistemático de no menos de 250 puntos por cada sección de roca, donde se incluyen partículas detríticas, matriz cemento y espacios porosos. Se determinó por cada punto a contar : variable involucrada (tipo mineralógico), diámetros mayor y menor de la partícula y las constantes ópticas del ocular y el objetivo del microscopio petrográfico
- luego, se introdujeron los datos obtenidos en la computadora mediante el programa CARGADAT.BAS, revisando estos datos utilizando el programa LISTDAT.BAS (ambos programas de YORIS, 1984)
- los datos generados por el programa de YORIS (1984) son tratados por otro programa, el MODALMUN.BAS, el cual genera matrices granulométricas y composicionales (YORIS, 1989). El mismo proporciona estadística granulométrica por variable, por porcentajes de las variables empleadas en el cálculo de diversos diagramas ternarios que clasifican a las rocas según la cantidad de cuarzo (Q), feldespatos (F), fragmentos líticos inestables (L), fragmentos líticos estables (Lt [Qp+Ft]), donde Qp es cuarzo policristalino y Ft es ftanita. Lo mencionado anteriormente se utiliza como variables en los triángulos Q-F-L y Q-F-Lt(Qp+Ft) de PETTIJOHN, POTTER Y SIEVER (1973)
- a partir de la información generada y graficada en los triángulos, se crearon tablas y gráficos que sintetizan y caracterizan las muestras analizadas referentes a la composición y procedencia de las muestras.

Para el análisis de procedencia se realizó el análisis modal de las muestras previamente escogidas. Dentro de los parámetros a utilizar en estos análisis se estimaron porcentajes de minerales y fragmentos de rocas en función de la superficie de cada partícula, tal como lo consideran DICKINSON Y SUCZEK (1979) y DICKINSON *et al.*(1983).

Es importante resaltar que la composición del área fuente, la naturaleza de los procesos sedimentarios dentro de la cuenca de depositación y la trayectoria que enlaza al área fuente con la cuenca de depositación son factores que influyen notablemente en la composición de las areniscas; de esta manera, la clave que existe entre el área fuente y la cuenca de depositación estará gobernada por la deformación tectónica sufrida por los terrenos involucrados en el proceso (DICKINSON Y SUCZEK, 1983).

En los trabajos de DICKINSON Y SUCZEK (1979) y DICKINSON *et al.* (1983) se proponen varios tipos de áreas fuentes, las cuales están controladas por efectos tectónicos. En base al marco tectónico que controla al área fuente se construyen diagramas ternarios para clasificar a la roca en un ambiente determinado. A partir de estos mismos gráficos ternarios, pueden distinguirse tres tipos de procedencia, a saber : a- bloque continental; b- arco magmático; c- orógeno reciclado.

DICKINSON *et al.* (1983), mencionan que los sedimentos procedentes de bloques continentales constituyen tipos de areniscas derivadas de amplias zonas positivas de cratones estables, de bloques de basamento expuesto a lo largo de discontinuidades estructurales; los sedimentos derivados de arcos magmáticos no disectados, disectados y de zonas transicionales entre los otros dos; los sedimentos derivados de orógenos reciclados proceden de terrenos plegados y fallados, constituidos por rocas de origen sedimentario y metasedimentario.

A la par, se analizaron e interpretaron una serie de secciones sísmicas, treinta en total, las cuales están ubicadas cercanas a las secciones de superficie. De esta manera se podría correlacionar de una forma más confiable la información petrográfica con la información de subsuelo y la geometría de los cuerpos de roca, obteniéndose una visión global de la disposición espacial de las unidades envueltas en el área de trabajo y su relación con la procedencia de los sedimentos que las originaron. Estas secciones sísmicas fueron suministradas por el departamento de Geología de PDVSA E. y P. (antiguamente departamento de Geología de Maraven S.A.) Aunque el análisis de líneas sísmicas de varias localidades a lo largo del lago de Maracaibo establecería un buen control de las estructuras y de la sismoestratigrafía del área, bastaría con analizar líneas que tengan una orientación N-S y SW-NE, aunque se utilizaron por lo menos familias de líneas sísmicas con dos orientaciones más : WNW-ESE y E-W (Figura 2). Con las dos primeras direcciones se obtendría la caracterización tanto estructural como sismoestratigráfica de los rasgos más importantes de la cuenca : la presencia de una cuenca *foreland* y de su *forebulge* al oeste (que según AUDEMARD, 1991 y OSTOS, com. pers., 1995, es una cuenca *foreland* en Colombia, independiente al Caribe) donde existe una propuesta acerca de la proveniencia de sedimentos desde la cordillera colombiana (levantamiento y desarrollo Paleoceno-Eoceno del *foredeep* colombiano), y el desarrollo de otra cuenca *foreland* y proveniencia de sedimentos al noreste de la cuenca de Maracaibo (levantamiento y desarrollo Paleoceno-Eoceno del *foredeep* Caribe al noroeste de Venezuela).

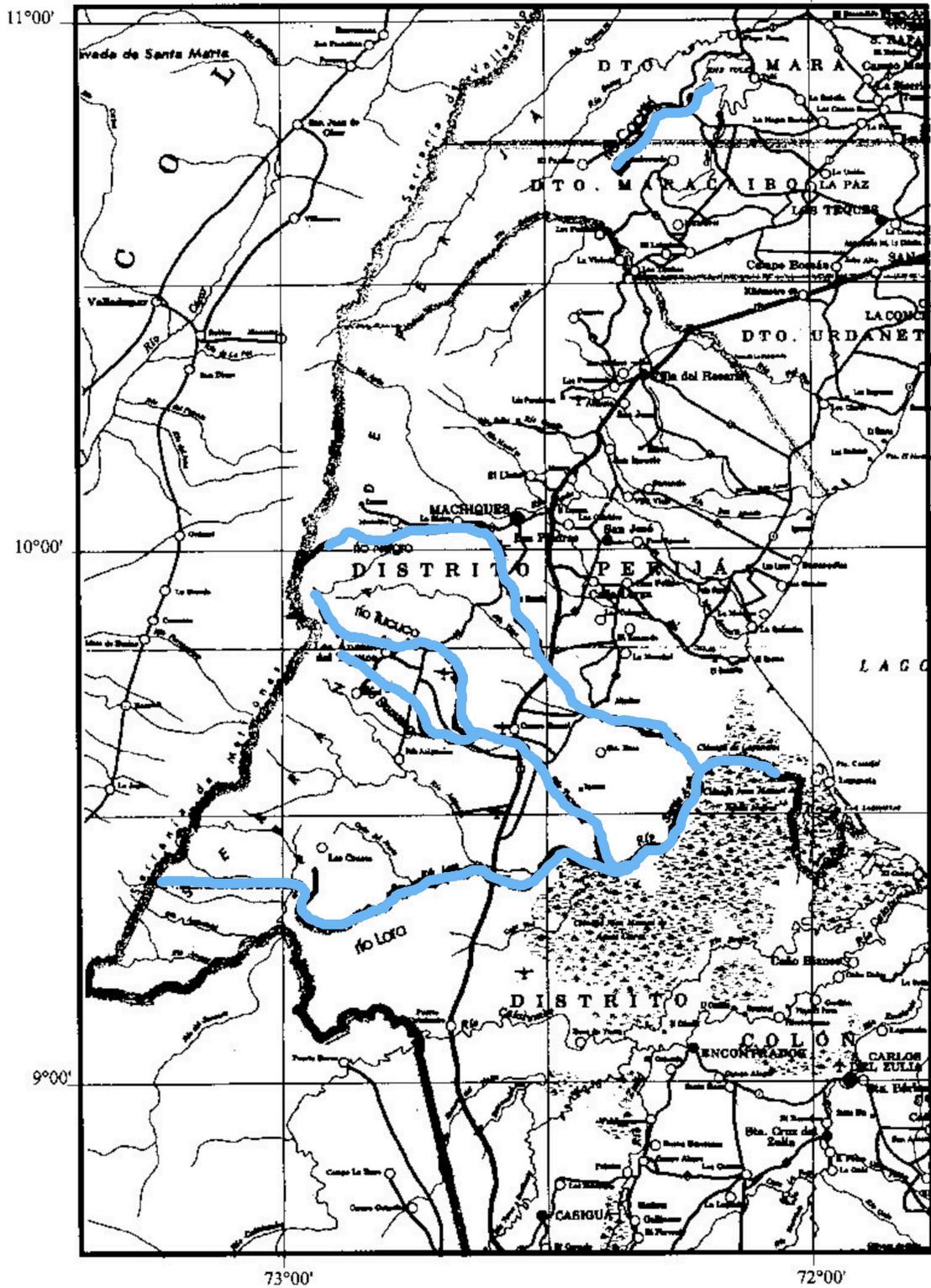


Figura 1. Ubicación relativa de las secciones de superficie muestreadas en la región de Perijá, estado Zulia. Modificado de la hoja del estado Zulia, Dirección de Cartografía Nacional (1976)

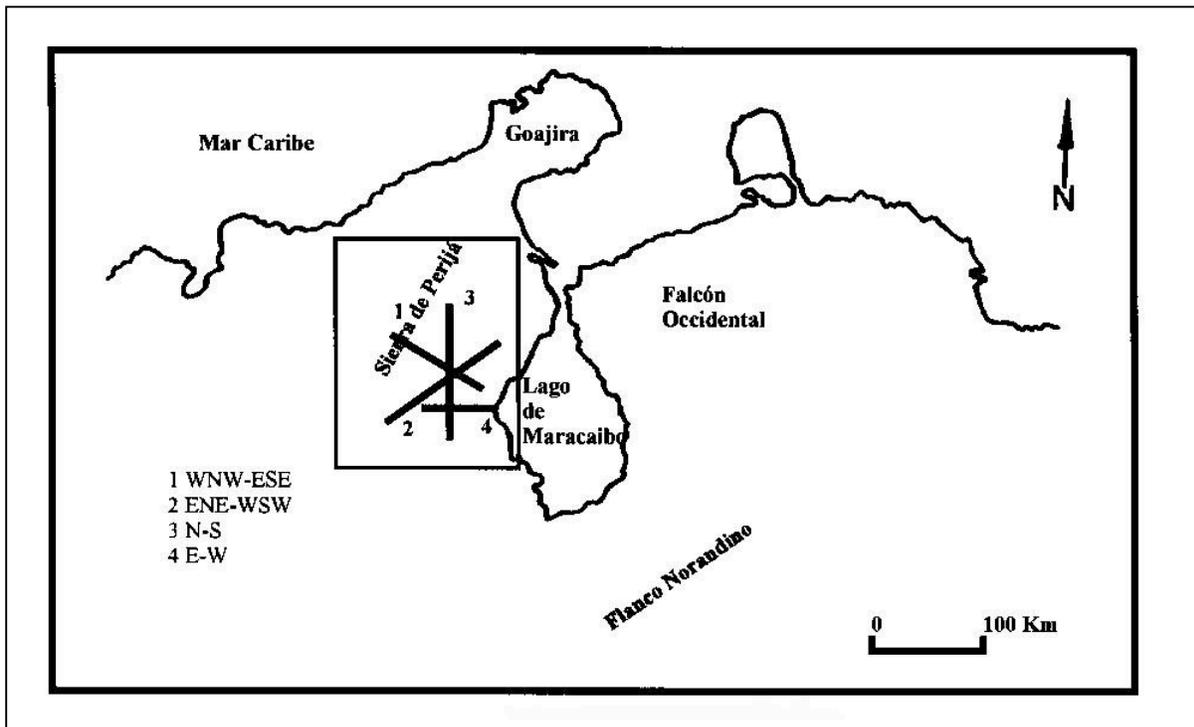


Figura 2. Mapa de ubicación de los grupos de líneas sísmicas analizadas

De esta manera, con estas dos direcciones se puede analizar de una manera óptima cómo son las características sismoestratigráficas y las direcciones principales de transporte de sedimentos, así como el estilo de deformación para la cuenca de Maracaibo, la cual controló la sedimentación Paleocena-Eocena.

## 1.4. Geología del área de estudio

### 1.4.1 Marco Geológico

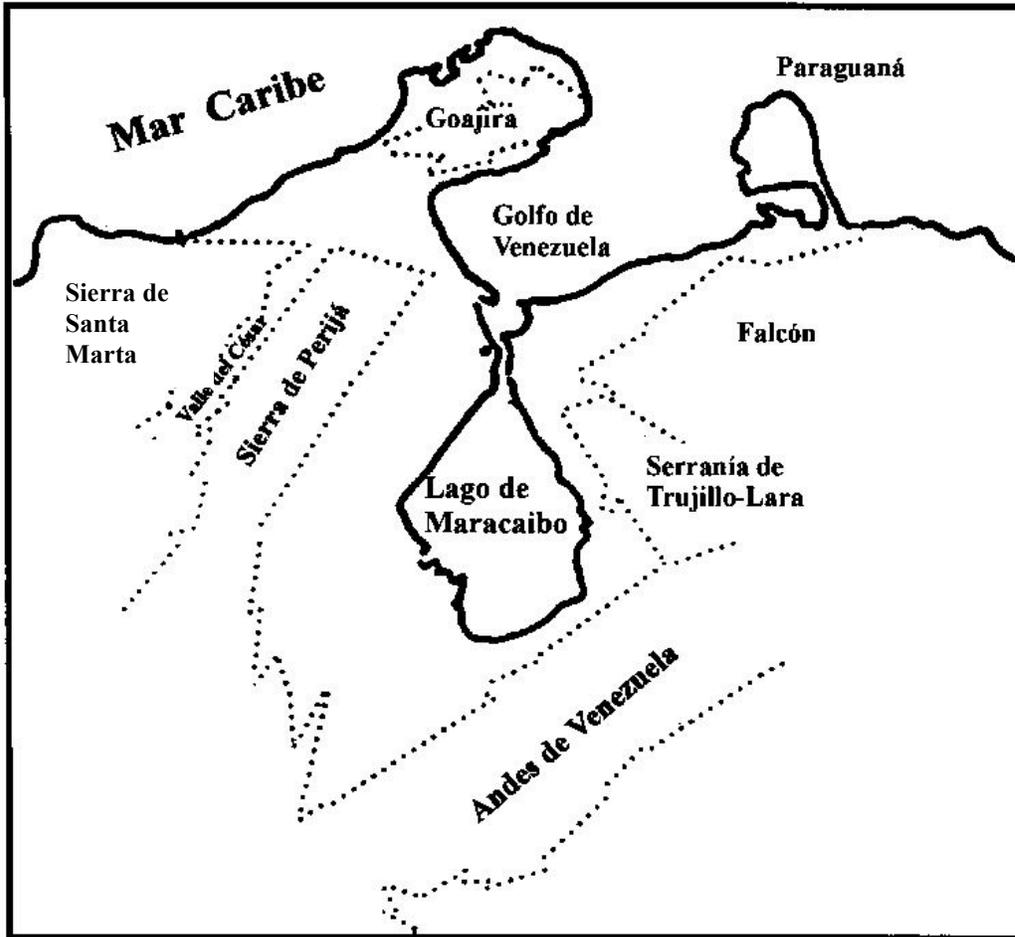
La Sierra de Perijá es el borde oeste de la cuenca de Maracaibo. La Sierra de Perijá es un terreno tectonoestratigráfico diferente al Macizo de Santander y representa la extensión norte de este último, constituyendo la rama más norte de la Cordillera Oriental Colombiana. La Sierra separa el valle del Cesar (cuenca de Colombia) de la cuenca de Maracaibo (Figura 3 y Figura 4).

El área de La Sierra de Perijá puede dividirse en las siguientes zonas (según AUDEMARD, 1991) :

\* Área Rosario-Tucuco : se caracteriza por la presencia de anticlinales largos y asimétricos, corrimientos con vergencia este que envuelven basamento. AUDEMARD (1991) menciona que estas estructuras fueron formadas en el Mioceno Medio y épocas posteriores. Los fallamientos que pueden ser observados no desplazan sedimentos más jóvenes que las lutitas de la Formación Colón de edad Cretácico Superior (Figura 4).

\* Área Alturitas-Totumo : se localiza al noroeste de Perijá. Está caracterizada por dos altos estructurales bien definidos : el anticlinal de Macoa, al sur y una estructura más al norte que envuelve rocas pre-cretácicas ígneo-metamórficas que se relacionan con el alto del Totumo-Inciarte, conocido también como el levantamiento de Palmar (MILLER, 1962). El interior de La Sierra está caracterizado por largos anticlinales sobrecorridos dentro de la región (Figura 4).

\* Área Mara Oeste-La Paz : se localiza al este del segmento más norte de La Sierra de Perijá. La parte más al norte de La Sierra consiste de estructuras ligeramente deformadas. El rasgo más al este de estas estructuras se conoce como Sinclinal de Dibujo (o Sinclinal de Manuelote). Este sinclinal está limitado al este por la falla de Tigre-Perijá, que separa el alto de basamento del Totumo-Inciarte y el área adyacente Mara-La Paz del sinclinal. El área Mara Oeste-La Paz, al norte y oeste de Maracaibo, es parte de una estructura ancha que separa la cuenca de Maracaibo del dominio Caribe al norte (AUDEMARD, 1991). La Figura 4 muestra que pueden hallarse rocas ígneas y metamórficas pre-cretácicas a profundidades menores a 5 km debajo del nivel del mar (BUCHER, 1952).



*Figura 3. Ubicación de los mayores rasgos geológicos que rodean la Cuenca de Maracaibo (modificado de Audemard, 1991)*

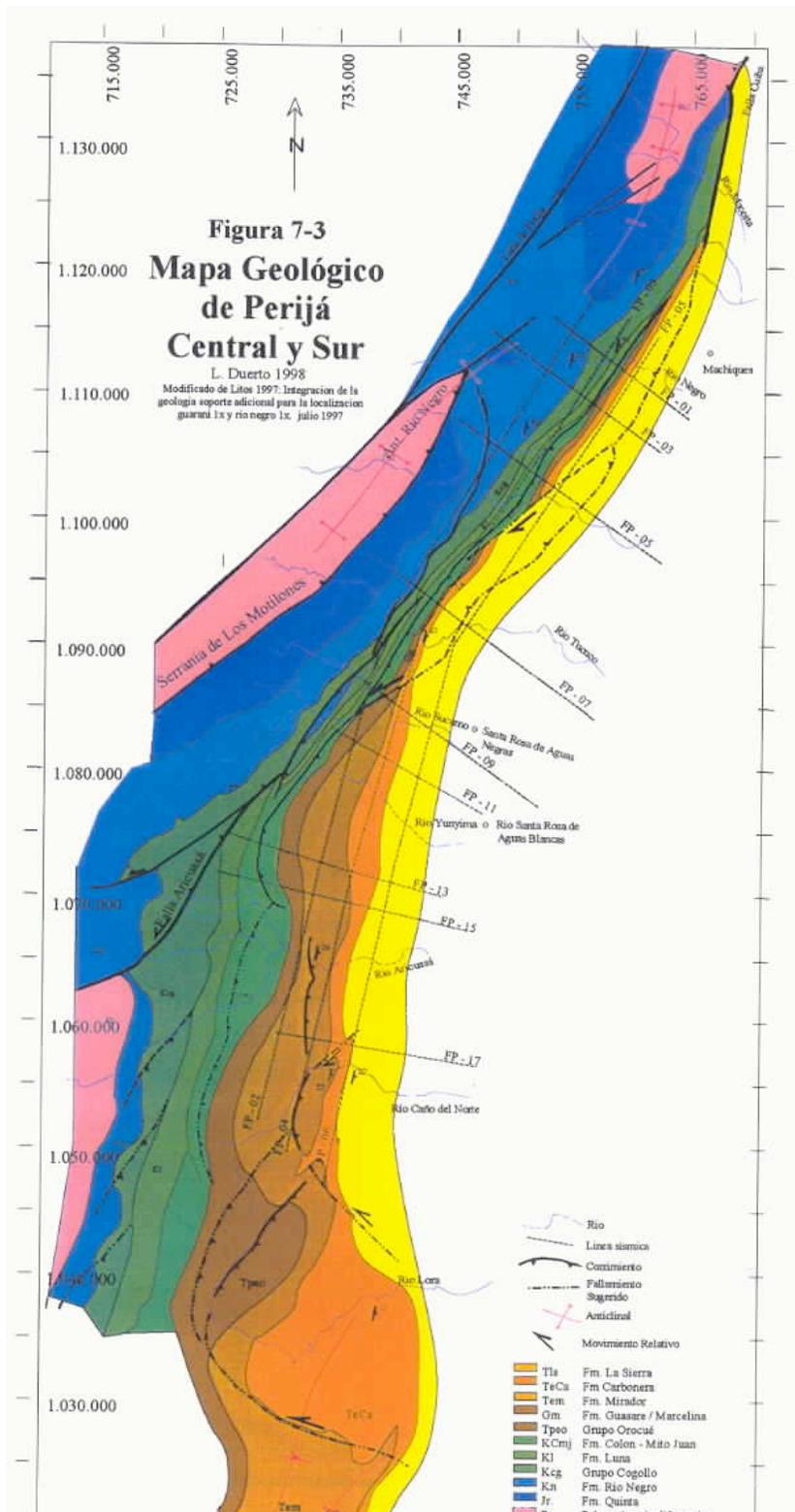


Figura 4. Mapa geológico del área sur y central de Perijá, donde se muestran los rasgos geológicos más importantes (tomado de Duerto, 1998)

## 1.4.2 Trabajos Previos

La Cuenca de Maracaibo ha sido objeto de innumerables estudios geológicos; desde principios de siglo, esta parte de la geografía venezolana ha despertado un singular interés en aquellas personas que de una u otra forma tienen (o han tenido) relación con las Ciencias de la Tierra y más específicamente con la exploración y explotación de hidrocarburos.

Dentro de las personas que han trabajado en el área de procedencia de las rocas clásticas paleocenas-eocenas está VAN ANDEL (1958), quien, a partir del análisis modal de 600 secciones finas de rocas del Eoceno, concluye que la fuente para estas rocas se encuentra localizada al suroeste y noreste de la Cuenca de Maracaibo.

DICKINSON *et al.* (1983), proponen que las fuentes establecidas por VAN ANDEL (op. cit.) corresponden a 1) una provincia de orógeno reciclado al oeste-noroeste del Lago de Maracaibo; 2) una provincia cratónica al suroeste del lago y una provincia transicional en el área intermedia entre 1 y 2.

VAN VEEN (1972) realiza un estudio sedimentológico de las formaciones Mirador y Misoa en el lago de Maracaibo, y concluye que dichas unidades se depositaron en un ambiente fluvio-deltaico y que la fuente de sedimentos se localizaba al sur y suroeste de la cuenca.

AUDEMARD (1991) menciona que la evolución tectónica del oeste de Venezuela se produjo en cinco etapas mayores : a) un episodio de extensión en el Jurásico que se superpuso a los cinturones plegados y peneplanados del Paleozoico Superior. Se desarrollaron una serie de medio grábenes (*half-grabens*) en un marco de cuencas retroarco (*back arc basins*), las cuales fueron rellenadas con capas rojas continentales, rocas volcánicas y volcanoclásticas; b) un episodio de margen pasivo relacionado con la apertura del Atlántico se produjo durante el Cretácico. Las rocas carbonáticas dominaron la porción inferior de la sección, siendo la parte superior de esta sección principalmente clástica; c) un episodio de desarrollo de una antefosa (*foredeep*) generada a partir de una subducción tipo A para el Cretácico Tardío-Terciario. Dicha antefosa migraba desde el oeste hacia el norte a lo largo del norte de Venezuela, siendo el resultado de la interacción entre la subducción de las placas Pacífico y Caribe bajo Suramérica. El máximo de esta deformación se produce al final del Eoceno Medio, momento en el cual La Sierra de Perijá emerge como estructura positiva. Durante este evento compresivo, los grábenes asimétricos del Jurásico se invierten parcialmente; d) la progresión en el levantamiento de La Sierra de Perijá persiste durante el Oligoceno-Mioceno Medio, momento en el cual el Macizo de Santander fue levantado; e) los emergentes Andes de Venezuela en dirección NW son la estructura principal que caracteriza el Mioceno Tardío-Plioceno, estando posiblemente asociados con un despegue (*decollement*) profundo relacionado con la estructura de Perijá. Los Andes sucedieron a Perijá como principal fuente de sedimentos para las cuencas de Barinas-Apure y Maracaibo, además de separar ambas cuencas.

LUGO (1992) menciona que al noroeste del lago de Maracaibo y en las adyacencias de la falla de Icotea (específicamente el sector este) se han reconocido progradaciones hacia el sur y suroeste de la cuenca de Maracaibo, interpretando que para el tiempo de sedimentación de la Formación Misoa se desarrolló una cuenca *foreland* al noroeste de la cuenca de Maracaibo, la cual estaba asociada al avance del cinturón de plegamiento y corrimiento Caribe .

CASTILLO (1995), a partir de datos procedentes del análisis modal de 115 muestras, establece que las rocas de la Formación Mirador (muestras del estado Táchira), poseen una fuente sedimentaria que proviene de un orógeno reciclado; las muestras de las formaciones Trujillo y Misoa tienen una procedencia de un bloque continental y un orógeno reciclado y las rocas del nivel estratigráfico B de la Formación Misoa tienen una procedencia de un orógeno reciclado con una componente colisional importante.

CARDOZO (1996) establece que la procedencia de los sedimentos de la Formación Misoa en la costa oriental del lago de Maracaibo proviene principalmente de la cadena Caribe y representa los depósitos de molasas deltaicas dentro de una cuenca antepaís (*foreland*), la cual se formó como una consecuencia de la carga tectónica de los terrenos caribes que fueron acrecionándose al noroeste de Suramérica.

ROMERO (1996) concluye que dentro de la Formación Misoa en el sector norte del lago de Maracaibo, existen para los diferentes niveles estratigráficos definidos en ella, procedencias que se encuentran regidas por marcos tectosedimentarios diferentes. Los niveles C7-B8 se encuentran caracterizados por un marco de orógeno reciclado, donde las areniscas pertenecientes a estos niveles se encuentran asociados a depósitos de cuenca *foreland*. Pueden plantearse dos alternativas como fuentes : el escudo de Guayana y/o el Arco de Tiara. Los niveles B7-B5 poseen una fuente principal orogénica, con una menor influencia cratónica. La procedencia es fundamentalmente de orógeno reciclado, donde los sedimentos son el producto de una típica fase molásica asociada a cuencas tipo antepaís (*foreland*), donde los sedimentos provienen de una fuente granítica localizada en el Arco de Mérida. Los niveles B2-B4 poseen una procedencia esencialmente cratónica, y en menor grado, orogénica. A diferencia de la anterior, la procedencia aunque es granítica, por la asociación mineral que presenta, tiene mayor afinidad con el Complejo de Sebastopol.

YORIS y OSTOS (1997) mencionan que la información existente en la actualidad parece indicar que en el Paleoceno se reactivaron algunas estructuras en la Cuenca de Maracaibo (parte occidental y Sierra de Perijá), al igual que hacia el noroeste por efectos del desplazamiento del terreno Caribe hacia el este. Este fenómeno de reactivación de estructuras es diacrónico, por lo que el aporte sedimentario por estos efectos difiere en tiempo geológico.

### 1.4.3 Estratigrafía del área

El Terciario en el occidente de Venezuela se caracteriza, en su parte basal (Paleogeno), por una sedimentación eminentemente fluvio-deltaica. Un amplio cinturón deltaico y litoral se desarrolló en la actual posición de La Sierra de Perijá, mientras que hacia el sureste y norte del escudo de Guayana prevalecían aún las condiciones marinas (AUDEMARD, 1991).

VAN ANDEL (1958) menciona que la composición de las areniscas de esa zona indica la presencia de dos (2) provincias diferentes. Una provincia de grauwas, la cual establece este autor como correspondiente al Cretácico Superior, paralela al margen oeste de la cuenca; la otra provincia, cuarzoza, se encuentra al sur-sureste derivada del escudo de Guayana.

En el área del suroeste de la sierra afloran rocas del Paleoceno-Eoceno, pertenecientes a las siguientes unidades (Figuras 5 y 6) :

- Grupo Orocué, subdividido en las formaciones Catatumbo, Barco y Los Cuervos

- Formación Catatumbo : representa el cinturón de grauwas del suroeste de Perijá. Comprende 250 m de espesor de lutitas grises carbonáceas, interestratificadas con areniscas micáceas, carbonosas, de grano fino, capas de carbón y areniscas argiláceas. Posee contactos concordantes con la Formación Mito Juan infrayacente y con las areniscas de la Formación Barco suprayacente (AUDEMARD, 1991)

- Formación Barco : está conformada por 200 m de espesor de areniscas de tamaño de grano de fino a medio, con estratificación cruzada intercaladas con lutitas carbonosas y algunas capas de carbón (NOTESTAIN *et al.*, 1944). Esta unidad es equivalente a la Formación Guasare, expuesta hacia la parte norte de la sierra.

- Formación Los Cuervos : es una unidad de 300 m de espesor la cual consiste de una interestratificación de carbones, areniscas carbonáceas, limolitas y lutitas (NOTESTAIN *et al.*, 1944). Tanto el contacto inferior, con las areniscas de la Formación Barco, como el superior con las areniscas de la Formación Mirador, son concordantes. Esta unidad es equivalente a la Formación Marcelina descrita al noroeste de Venezuela (AUDEMARD, 1991).

En el área del noroeste de La Sierra de Perijá se encuentran las unidades equivalentes de las formaciones descritas para el suroeste; es la extensión del cinturón de grauwas, ahora definido por las formaciones Guasare y Marcelina.

- Formación Guasare : es una secuencia de 350 m de espesor, la cual consiste de areniscas, calizas glauconíticas fosilíferas bien estratificadas, y cantidades subordinadas de areniscas. Una característica peculiar de esta unidad es su espesor tan uniforme dentro de los límites geográficos donde aflora (SUTTON,

1946). Se ha inferido una superficie de discontinuidad entre la Formación Colón infrayacente y la Formación Guasare, por la ausencia del Cretácico Superior. El tope de la unidad presenta contactos conformes con los sedimentos suprayacentes de la Formación Marcelina al norte y con la Formación Trujillo en el resto de la cuenca (AUDEMARD, 1991).

- Formación Marcelina : los aproximadamente 500 m de espesor de esta unidad consisten de carbones interestratificados con areniscas, lutitas y algunas capas delgadas de calizas. Se ha interpretado un ambiente fluvio-deltaico para esta unidad (AUDEMARD, 1991).

El Eoceno Temprano y Medio en el oeste de Venezuela está representado por las siguientes unidades :

- Formación Mirador : los sedimentos del Eoceno Temprano en la parte suroeste de la cuenca de Maracaibo se incluyen en una secuencia de espesor variable (<1000 m) que consisten de areniscas limpias, cuarzosas, gruesamente estratificadas con presencia de estratificación cruzada y de origen fluvial conocida por el nombre de Formación Mirador. Su base aparentemente es inconforme sobre las capas de carbón de la Formación Los Cuervos; su contacto superior no muestra ningún rastro de inconformidad, sin embargo un hiatus de importancia se ha identificado cuando se compara la flora de Mirador y la flora de las unidades suprayacentes Carbonera y/o La Sierra.
- Formación Misoa : la unidad equivalente hacia el norte y este de la cuenca de Maracaibo es la Formación Misoa (GARNER, 1926). Se encuentra bien expuesta hacia el sureste de Perijá , donde alcanza un espesor de hasta 6000 m. La unidad está compuesta predominantemente de intervalos de areniscas, lutitas laminadas y cantidades subordinadas de calizas ricas en orbitoides. El contacto basal de la unidad es conforme con la Formación Trujillo. Las formaciones Mirador y Misoa han sido interpretadas como complejos aluviales-deltaicos, similares en tamaño a los que actualmente pueden observarse en el Mississippi (VAN VEEN, 1972).

El Eoceno superior representa un período de tiempo donde la deformación fue el rasgo característico en la cuenca de Maracaibo. Muchas de las unidades infrayacentes fueron erosionadas. Las rocas del Eoceno Superior de la cuenca de Maracaibo son generalmente discordantes respecto a las rocas preexistentes.

Las formaciones La Sierra y Carbonera se desarrollaron a lo largo del frente este de La Sierra de Perijá (AUDEMARD, 1991).

- Formación Carbonera (suroeste de la Cuenca de Maracaibo) : es una unidad de estratificación irregular de areniscas, limolitas, lutitas y carbones, con un espesor de 450 m (NOTESTAIN *et al.*, 1944). Se ha interpretado un ambiente depositacional lagunal a fluvial.

- Formación La Sierra (noroeste de la cuenca de Maracaibo) : hacia el norte, la Formación Carbonera cambia su nombre y pasa a llamarse Formación La Sierra (HEDBERG y SASS, 1937). Las areniscas de las formaciones La Sierra-Carbonera se consideran también parte de la provincia de grauwas, las cuales se derivan de la Cordillera Central de Colombia al oeste (VAN ANDEL, 1958).

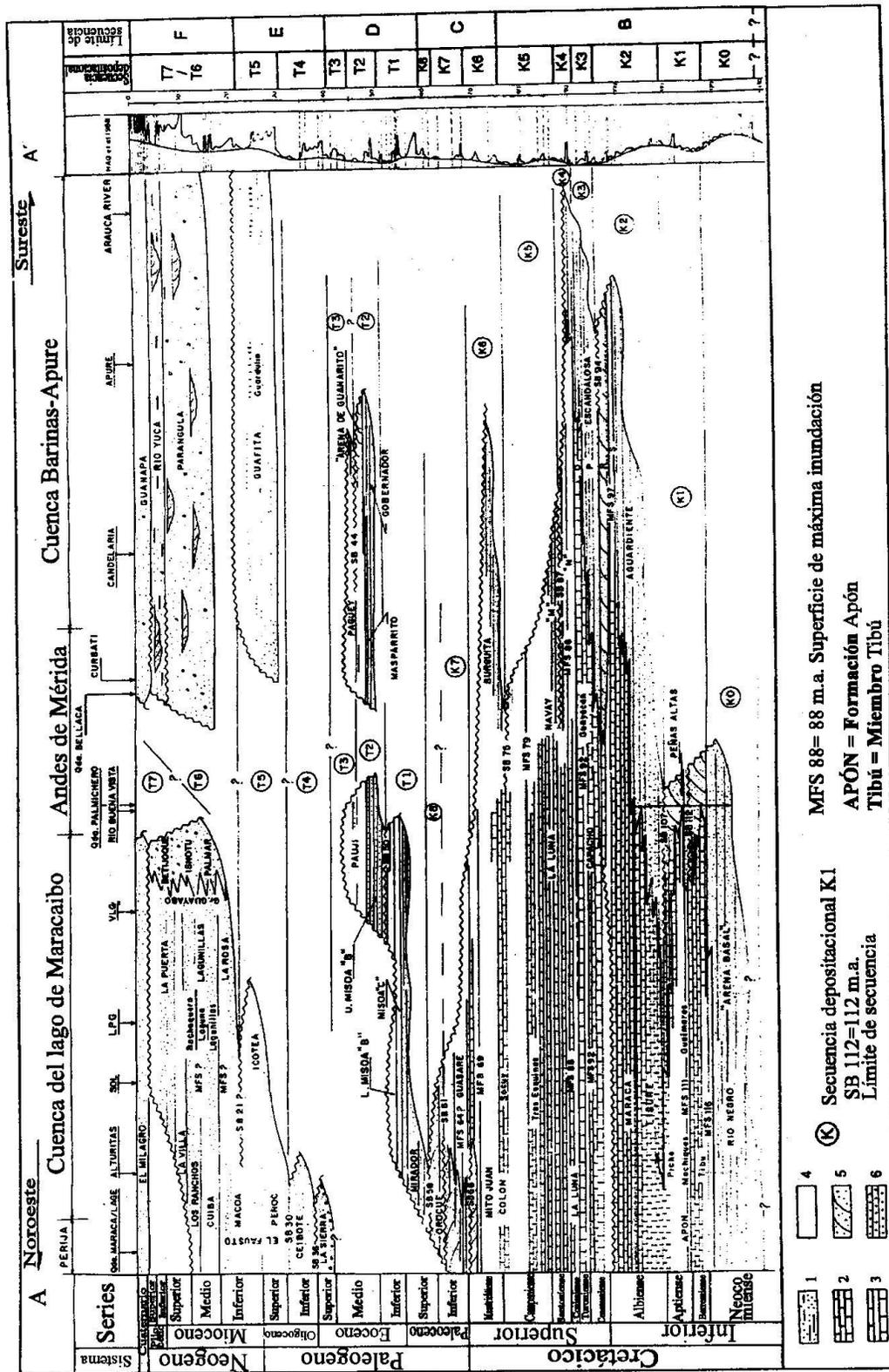


Figura 5. Carta que muestra las relaciones cronoestratigráficas entre las diferentes unidades litoestratigráficas presentes en el occidente venezolano. Modificado de Lugo, 1992.

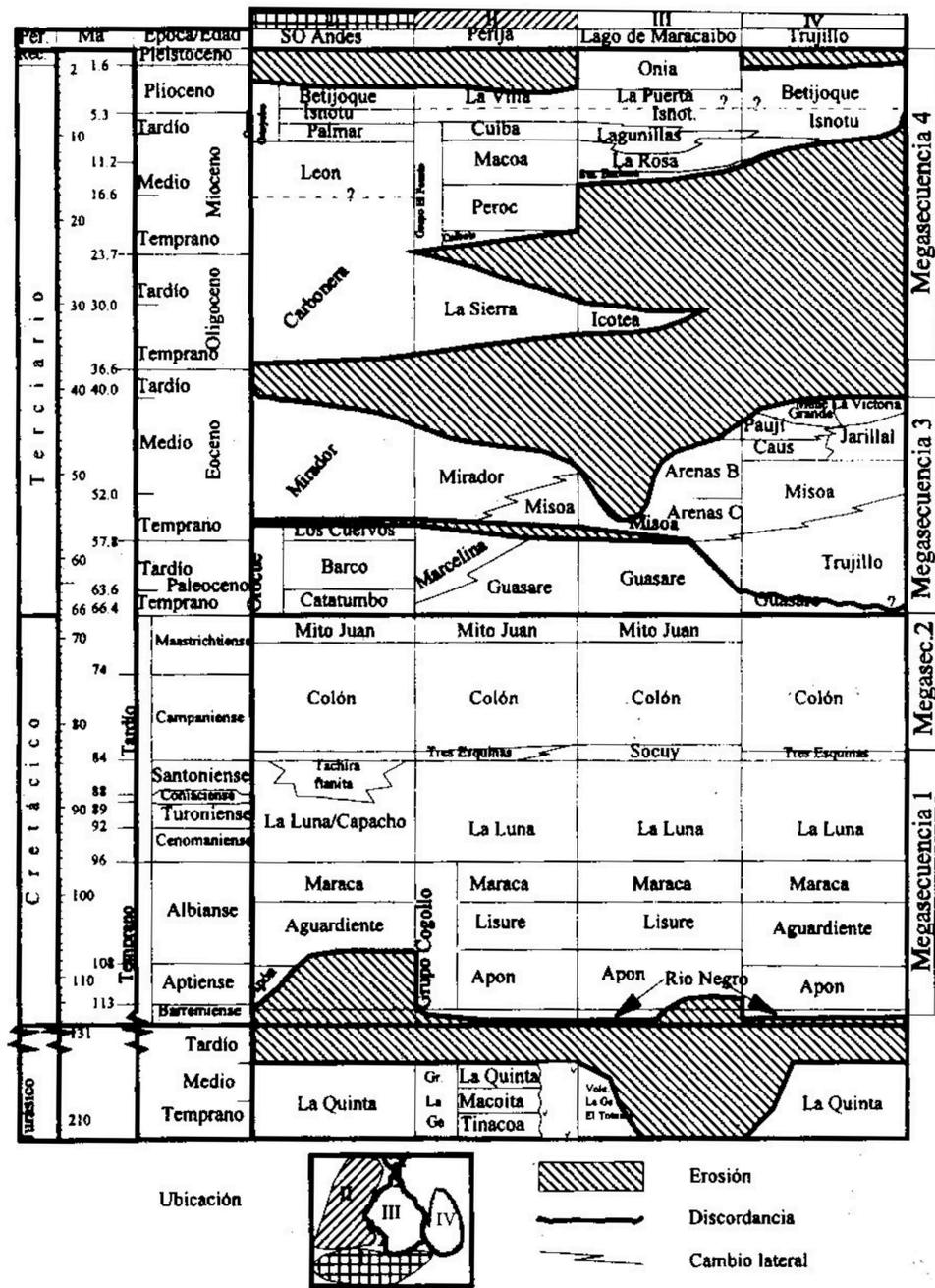


Figura 6. Carta estratigráfica donde se encuentran las unidades sismoestratigráficas planteadas por Parnaud et al, 1995. Modificado de Parnaud et al, 1995.

## 2. Marco Estratigráfico Regional

### 2.1 Generalidades

Las unidades litoestratigráficas reconocidas en la Cuenca del lago de Maracaibo y la sierra de Perijá son listadas en la Figura 5. Esta secuencia de rocas puede ser interpretada también desde el punto de vista de secuencias estratigráficas y ciclos paleobatimétricos. La paleobatimetría representa la profundidad a la cual los sedimentos fueron depositados. Cuando se elabora una curva que muestra la variación paleobatimétrica a través del tiempo, es posible identificar ciclos, los cuales están definidos por los puntos de inflexión de la curva. Un ciclo comienza cuando la paleobatimetría aumenta, alcanza un máximo y luego disminuye. El ciclo siguiente se inicia en un nuevo aumento de la paleobatimetría (RODRÍGUEZ, 1992).

La paleobatimetría responde a tres factores principales

- \* variación eustática del nivel del mar
- \* tasa de subsidencia (positiva o negativa)
- \* aporte sedimentario

Una discusión excelente sobre el impacto de cada una de estas variables puede ser hallada en GALLOWAY (1989) y en RODRÍGUEZ (1992).

### 2.2 Ciclos depositacionales del occidente de Venezuela

Las unidades litoestratigráficas mostradas en la Figura 5 pueden ser agrupadas en los llamados “ciclos sedimentarios”.

Se han realizado algunos trabajos donde se han tratado de establecer ciclos sedimentarios en la secuencia Mesozoico-Cenozoico en el occidente de Venezuela (ALEZONES y PADRÓN, 1992; MENÉNDEZ y PÉREZ, 1992; RODRÍGUEZ, 1992; LUGO y MANN, 1995; PARNAUD *et al.*, 1995), en donde los criterios utilizados son aquellos establecidos por HAQ *et al.* (1988).

Las secuencias en las cuales pueden ser divididas las unidades de roca existentes (tanto a nivel de superficie como de subsuelo) en el occidente de Venezuela, se encuentran limitadas por discordancias, lo que evidencia la evolución dinámica que ha sufrido la Cuenca de Maracaibo durante el Mesozoico-Cenozoico.

La primera supersecuencia o megasecuencia se encuentra representada por un período de *rifting* o apertura y separación de masas continentales durante el Jurásico. Pueden hallarse afloramientos correspondientes a esta secuencia en Perijá y en los Andes

de Mérida, en el subsuelo del lago de Maracaibo, y en la Cuenca Barinas-Apure. En Perijá la supersecuencia 1 ó A se muestra como el Grupo La Gé e incluye a las formaciones Tinacoa, Macoíta y La Quinta. Estas unidades reflejan una sedimentación continental donde localmente pueden hallarse evidencias de actividad volcánica (presencia de material extrusivo como cenizas volcánicas). En los Andes Merideños la supersecuencia Jurásica se encuentra identificada como la Formación La Quinta, la cual estuvo depositada en un marco continental, caracterizándose por el color rojizo de las areniscas. En el subsuelo de la Cuenca de Maracaibo, al oeste de la falla de Icotea, puede reconocerse como rasgo estructural importante, la presencia de un medio *graben* (*half-graben*), el cual a su vez actuó como elemento estructural que controló la sedimentación para ese momento. La base de esta supersecuencia no ha podido ser reconocida en esta área; por medio de información de pozos, se ha establecido que esta supersecuencia (Figura 7) corresponde a la Formación La Quinta (PARNAUD *et al.*, 1995).

Para el Cretácico inferior, en Venezuela occidental se produce una transgresión que llega a inundar inclusive al escudo de Guayana. Esta extensa transgresión trae como consecuencia que esta parte de la paleogeografía de Venezuela se comporte como una gran plataforma carbonática dentro de un marco tectónico pasivo (PARNAUD *et al.*, 1995; LUGO y MANN, 1995). Durante el tiempo de desarrollo de esta megasecuencia, se genera un margen pasivo, depositándose varias secuencias (Figura 7).

Existen diferentes puntos de vista a la hora de interpretar la división de secuencias para esta segunda megasecuencia. Por un lado PARNAUD *et al.* (1995) mencionan la presencia de una sola megasecuencia que abarca desde el Cretácico inferior hasta el final del Cretácico; esta megasecuencia a su vez puede ser dividida en seis (6) secuencias depositacionales. Estas secuencias serían, según PARNAUD *et al.* (1995), las siguientes:

- I. Secuencia KØ, Neocomiense-Barremiense; es una espesa secuencia de sedimentos continentales, los cuales fueron depositados en tres surcos: el surco de Machiques en Perijá, el surco de Uribante en Mérida, y el surco de Barquisimeto en Trujillo-Lara. Esta secuencia marca el componente continental de la base de la Cuenca desarrollada durante una tectónica de margen pasivo en el Cretácico. La unidad estratigráfica que representa esta secuencia es la Formación Río Negro
- II. Secuencia K1, Aptiense; luego de la depositación de la Formación Río Negro, se produce una transgresión marcada que abarca desde el Aptiense hasta el Campaniense. La Formación Apón, de edad Aptiense, representa la secuencia K1; se caracteriza por una sedimentación de plataforma marina somera que muestra cambios laterales de facies.  
Esta secuencia consiste de tres partes
  - a) una parte inferior, la cual se interpreta como un sistema encadenado transgresivo (TST). Comprende depósitos de ambiente plataformal interno, donde se desarrollaron barras bioclásticas litorales (Miembro Tibú)
  - b) una parte intermedia, donde se puede hallar la superficie de máxima inundación (MFS). Esta secuencia representa un ambiente de plataforma

media con intercalaciones de depósitos someros (miembros Machiques y Guaímaros)

c) la parte superior de la secuencia se caracteriza por un *highstand* y una progradación. Esta parte regresiva fue depositada en un ambiente de plataforma interna (Miembro Piché)

III. Secuencia K2, depositada durante el Albiense-Cenomaniense inferior, representando la misma la segunda mayor transgresión marina que tomó lugar durante el Albiense, donde el mar invadió el área desde la serranía de Perijá hasta el límite sureste de la Cuenca de Barinas-Apure. Esta secuencia se divide en tres partes

a) la parte inferior, es un sistema encadenado transgresivo (TST). Durante el TST se producen depósitos en un ambiente de plataforma media (Formación Lisure). Paralelamente, se depositan arenas transgresivas en un ambiente de plataforma interna con facies de línea de costa (Formación Aguardiente)

b) la parte media corresponde a la superficie de máxima inundación, desarrollándose en el Miembro S de la Formación Escandalosa, de ambiente de plataforma marina abierta, en la Cuenca de Barinas-Apure. En la Cuenca de Maracaibo la superficie de máxima inundación se encuentra ausente por efectos erosivos

c) la parte superior es un sistema encadenado de alto nivel progradacional. Se relaciona con un ambiente litoral somero con sedimentos de lagunas costeras, barras, y de línea de costa; todo esto se observa en el Miembro R de la Formación Escandalosa, en la Cuenca Barinas-Apure. El equivalente lateral en la Cuenca de Maracaibo se encuentra ausente debido a la erosión

IV. Secuencias K3, K4, K5, Cenomaniense Superior-Campaniense Inferior; como resultado de un evento episódico transgresivo ocurrido en el Cenomaniense Superior-Campaniense Inferior, se produce una depositación de secuencias en una Cuenca tipo *foreland*. Estas secuencias de rocas se encuentran presentes en la Serranía de Perijá y en el Lago de Maracaibo y reciben el nombre de Formación La Luna y Miembro Tres Esquinas. En los Andes Merideños estas secuencias se encuentran representadas por las formaciones Capacho y La Luna. En la Cuenca Barinas-Apure, las secuencias están representadas por las formaciones Escandalosa y Navay. Pueden reconocerse varias superficies de máxima inundación (MFS). Una de estas se encuentra en la base de la Formación La Luna; esta superficie no es obvia. Otra de estas superficies se encuentra en la base del Miembro La Morita (Formación Navay), en la Cuenca Barinas-Apure. Una tercera se encuentra en el Miembro Tres Esquinas (Formación La Luna) en la Cuenca de Maracaibo. Las características de las secuencias K3, K4 y K5 son las siguientes: i) la presencia de cenizas volcánicas en la base de la Formación La Luna sugiere la existencia de un arco volcánico Pacífico (PARNAUD *et al.*, 1995); ii) la profundización de la Cuenca en forma veloz (pasa de profundidades de plataforma interna a profundidades batiales), refleja una posible migración del alto estructural (*forebulge*) hacia el este (en dirección de la Cuenca Barinas-

Apure); iii) las tres secuencias transgresivas terminan en superficies de máxima inundación; iv) existen dos sistemas de facies bien definidas. Al oeste se encuentran facies de plataforma media-facies batiales, donde pueden hallarse litofacies calcáreas y lutíticas, correspondientes a la Formación La Luna. Hacia el este pueden encontrarse facies de sedimentos litorales, que corresponden a las formaciones Escandalosa y Navay.

PARNAUD *et al.* (1995) mencionan que para el Cretácico Tardío-Paleoceno se produce otra megasecuencia (megasecuencia C, Figura 6). Estos mismos autores mencionan que en el Cretácico Tardío se produce una nueva fase en la evolución tectónica de la región; esta fase se encuentra caracterizada por la colisión de un arco volcánico Pacífico con la placa Suramericana. Esta colisión transforma el antiguo margen pasivo en un cinturón activo, por lo cual se acentúa el carácter de la protoCuenca *foreland* mencionada en el aparte de las secuencias K3, K4, K5 (Figuras 6 y 7), hallándose su alto estructural (*forebulge*) asociado en el área de Barinas. Sin embargo, hacia el norte y noroeste el marco de margen de pasivo persiste hasta el momento del emplazamiento de las napas de Lara. Las interpretaciones de la evolución geológica de esa área para el Cretácico-Paleoceno indican que se produjo el cierre de la Cuenca simulando un “cierre tipo tijera”, es decir, el paso transicional del marco de margen pasivo hasta alcanzar el marco de margen o cinturón activo, desde el Cretácico Tardío al Paleoceno. Esta fase transicional estuvo caracterizada por un evento regresivo que produjo como resultado tres secuencias depositacionales (K6, K7, K8), mostradas en la Figura 7.

- Secuencia K6 (Campaniense superior hasta el Maestrichtiense), representa el evento regresivo que se hace presente para el principio del Cretácico superior. De forma simultánea, hacia el oeste, un arco volcánico Pacífico colisiona con Suramérica, formando una antifosa (*foredeep*), dentro de la cual se deposita una facies lutítica (Formación Colón). El alto estructural asociado a la Cuenca *foreland*, migra desde el depocentro ubicado en la Cuenca de Maracaibo hacia la Cuenca Barinas-Apure, donde la facies arenosa de línea de costa, representado por la Formación Burgüita, es depositada. Se ha interpretado que la unidad lutítica de la Formación Colón se comporta como un manto transgresivo, mientras que las facies arenosas de la Formación Mito Juan (estratigráficamente por encima) representaría un sistema depositacional progradacional de alto nivel (*highstand system tract*)
- Secuencias K7 y K8, Maestrichtiense superior-Paleoceno inferior; al finalizar el Cretácico, la antifosa de Perijá fue rellenada con sedimentos de la secuencia K6 pertenecientes al *highstand* de la Formación Mito Juan, con área fuente de sedimentos ubicada al oeste del área. Toda esta zona fue afectada por un período erosivo por encima de un basamento somero. Un nuevo período transgresivo proveniente del noreste fue el responsable de la depositación de dos secuencias (K7 y K8) subordinadas al Paleoceno. La secuencia inferior cubrió completamente la plataforma, mostrando características marinas, mientras que la secuencia superior es esencialmente deltaica. La secuencia K7 comprende varias unidades litoestratigráficas. La Formación Guasare, la cual consiste de depósitos

marino-someros en la Cuenca de Maracaibo; la Formación Trujillo que comprende depósitos marino-profundos, al noreste del área del lago; la Formación Catatumbo, caracterizada por sedimentos deltaicos hacia el sur. La secuencia K8, de características deltaicas se compone de tres unidades: las formaciones Barco y Los Cuervos (Grupo Orocué), ambas hacia el sur del lago de Maracaibo y la Formación Marcelina, al norte. Al noreste también se encuentran las facies del sistema encadenado de bajo nivel (*lowstand system tract*) de la Formación Trujillo.

Para el Paleoceno superior-Eoceno Medio, PARNAUD *et al.* (1995) mencionan la existencia de otra supersecuencia (supersecuencia D o supersecuencia de Cuencas colisionales). El emplazamiento de las napas de Lara comienza al norte de la Cuenca de Maracaibo a finales del Paleoceno (Figura 7). Estas napas se desplazan gradualmente hacia el este, generando varias Cuencas *foreland*. Una de estas Cuencas posee una dirección N20W, paralela al margen noreste del lago de Maracaibo; otra Cuenca posee una dirección E-W, hallándose al frente de las napas. La deformación flexural se ve reflejada en una serie de ciclos transgresivos y regresivos de edad Eoceno. La base y el tope de la supersecuencia D corresponden a discordancias regionales. La presencia de períodos intermitentes de subsidencia y efectos eustáticos sobreimpuestos generan tres secuencias depositacionales T1, T2 y T3 :

- ◇ Secuencia T1 (Paleoceno superior-Eoceno inferior), esta secuencia pudiese dividirse en dos partes o fases. Una primera fase en la cual el nivel base se encontraba bajo, y la erosión fue seguida por la depositación de sedimentos continentales en el sector sur de la Cuenca de Maracaibo. Las condiciones marino profundas al norte de la Cuenca producen la sedimentación de las turbiditas del sistema encadenado de bajo nivel (*lowstand system tract*) de la Formación Trujillo. En la segunda fase, se produce una transgresión relacionada a la flexura de la plataforma frente a la gran carga generada por las napas en la parte central de la Cuenca de Maracaibo. Hacia el sur, la depositación continental de la Formación Mirador persiste (Figura 7).
- ◇ Secuencia T2 y T3 (Eoceno medio), durante el Eoceno medio dos eventos importantes cambiaron la configuración de la Cuenca. El primero fue el desplazamiento de las napas de Lara, generando una subsidencia flexural en la plataforma de la Cuenca Barinas-Apure y una inundación marina. Las areniscas basales de la Formación Gobernador fueron seguidas por la depositación de las lutitas de aguas profundas de la Formación Pagüey. En segunda instancia, la carga tectónica de las napas de Lara produjeron una zona de “bisagra” a lo largo del sector noreste de la plataforma de la Cuenca. La depositación, para este momento paleogeográfico, de los sedimentos de plataforma somera de la Formación Misoa (arenas B) fue seguida por condiciones de aguas profundas y acumulación de las lutitas de la Formación Paují. Esta secuencia (T2) finaliza en un sistema encadenado de alto nivel (*highstand system tract*) progradacional, muy relacionado a las napas. Luego sigue la sedimentación de las areniscas basales de la parte superior de la Formación Misoa y posteriormente se produce

una flexura en la plataforma, resultando de esto la depositación de un sistema encadenado de bajo nivel (*lowstand system tract*) turbidítico, correspondiente a la Formación Paují, de ambiente batial (PARNAUD *et al.*, 1995) El desarrollo del emplazamiento de las napas de Lara se ve reflejado en la progradación forzada en dirección noreste (parte superior de la Formación Paují).

Para la parte final del Eoceno (Eoceno Tardío) y principio del Mioceno (Mioceno Temprano) el área completa sufre un cambio (Figura 7). Los relieves positivos que se encuentran al este y noreste separan la Cuenca continental de Maracaibo de la Cuenca marina que se encuentra en Falcón (Figura 7). Los levantamientos al oeste y sur de la Serranía de Perijá y la Cordillera Colombiana Oriental alimentan al sistema depositacional fluviodeltaico reinante para aquel momento. La circulación marina desde el este continúa afectando a la Cuenca Barinas-Apure. Esta influencia marina se extiende a la Cuenca de Maracaibo al final del Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano. Pueden reconocerse dos secuencias depositacionales : la primera es T4, depositada en el Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano en dos dominios sedimentarios diferentes. Un dominio deltaico, localizado al oeste, el cual era alimentado desde Colombia, formaciones Carbonera y La Sierra y otro dominio de sedimentos marinos, depositados en la parte este de la Cuenca, la cual se encontraba abierta frente al mar (Miembro Arauca, Formación Guafita).

La base de la secuencia T4 corresponde sísmicamente a una discordancia que representa la erosión del Eoceno desde el oeste al este y la erosión de la sección del Paleoceno al sur de la Cuenca del lago de Maracaibo. La segunda secuencia (T5) se depositó en el Oligoceno superior-Mioceno inferior durante una amplia y extensa inundación marina (Formación León en la Cuenca de Maracaibo y el Miembro Guardulio de la Formación Guafita en la Cuenca Barinas-Apure).

Para el Mioceno medio-Pleistoceno comienzan a sentirse los efectos de un evento tectónico compresional a gran escala. Se empiezan a levantar el Macizo de Santander, la Serranía de Perijá y la Cordillera de los Andes Merideños. La orogénesis de los Andes Merideños culmina en el Plio-Pleistoceno. El levantamiento de estas montañas se correlaciona con dos secuencias depositacionales, T6 y T7. Este evento de deformación trae como consecuencia el aislamiento de la Cuenca de Maracaibo y de la Cuenca Barinas-Apure. Son varias las discordancias angulares en los piedemontes del norte y del sur de los andes que registran esta historia tectónica. Un rápido levantamiento, acompañado de la sedimentación de una molasa a lo largo del margen de la Cordillera Andina es lo que caracteriza este período. La sedimentación marina persiste en la Cuenca de Maracaibo, pero gradualmente va cambiando a una paleogeografía de aguas frescas (ambiente marino restringido) al norte. En la Cuenca de Maracaibo una nueva fase transgresiva comienza durante el Mioceno medio, dando como resultado la depositación de la Formación La Rosa. Seguidamente se produce un evento progradante regresivo con una contracción (disminución) de la influencia marina (Formación Lagunillas). La molasa, representada por la Formación Betijoque, fue depositada a lo largo de la Cordillera Andina aproximadamente para el mismo tiempo. Los paleoambientes de aguas frescas dominaron el centro de la Cuenca de Maracaibo, reflejándose esto en la depositación de la Formación La Puerta y la Formación Los Ranchos. Estas secuencias localmente exceden los 5500 m de espesor en la antefosa flexural.

El otro punto de vista es el de LUGO y MANN (1995) quienes mencionan que el ciclo Cretácico-Terciario puede ser dividido en cuatro (4) megasecuencias, mostradas en la Figura 5.

La sección cretácica es dividida en dos megasecuencias. La primera consiste de cinco formaciones. Estas unidades serían :

- ◆ Formación Río Negro (unidad sísmica K1), de edad Barremiense; ésta se caracteriza por facies de abanicos fluviales y aluviales que se engrosan en zonas de depresiones tectónicas como Uribante, Machiques y Barquisimeto. En la Cuenca de Maracaibo, la Formación Río Negro se restringe al área oeste de la falla de Icotea y asociada al bloque deprimido de la falla de Urdaneta (AUDEMARD, 1991), engrosándose paulatinamente en dirección W-SW. La distribución de la Formación Río Negro muestra que el Arco de Mérida era rasgo positivo durante el Barremiense
- ◆ Formación Apón (unidad sísmica K2) correspondiente al Aptiense; esta es una unidad carbonática de aguas someras que puede hallarse a ambos lados del Arco de Mérida. La Formación Apón es la unidad basal de una plataforma carbonática estable de aguas someras que incluye a las unidades que están estratigráficamente por encima (Lisure, unidad K3; Maraca, unidad K4). Durante la depositación de las formaciones Apón y Lisure, la paleobatimetría varió de 2 m a 15 m, mientras que durante la depositación de la Formación Maraca, la profundidad del agua fluctuó entre 0 y 4 m
- ◆ Formación Lisure (unidad sísmica K3), Aptiense-Albiense; es una unidad arenosa y calcarenosa que se adelgaza hacia el Arco de Mérida, depositándose en condiciones de aguas someras. El aporte de clásticos se deriva del Arco de Mérida y del cratón Suramericano (Guayana) que se encuentra al sureste de la Cuenca de Maracaibo
- ◆ Formación Maraca (unidad sísmica K4) incluida dentro del Cenomaniense; unidad calcárea fosilífera que se adelgaza hacia el Arco de Mérida. Se menciona que esta unidad puede ser hallada desde la Cuenca de Barinas hasta los Andes Merideños. Se depositó durante la transgresión del Aptiense tardío
- ◆ Formación La Luna (unidad sísmica K5) correspondiente al Turoniense-Santoniense; es una unidad de lutitas negras anóxicas y silíceas que se adelgaza sobre el Arco de Mérida. Se depositó simultáneamente a la superficie de máxima inundación generalizada de Suramérica del Cretácico Tardío.

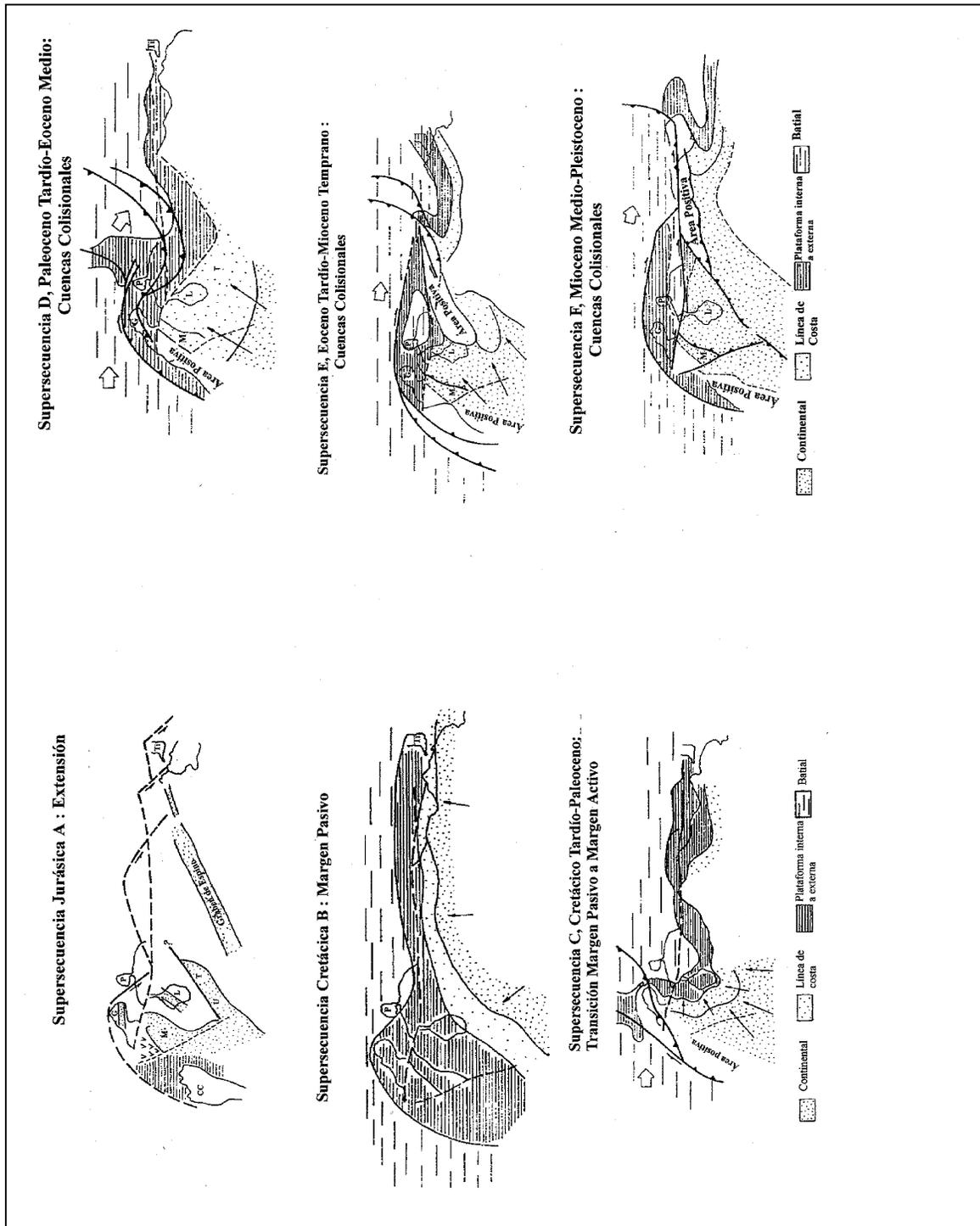


Figura 7. Evolución geotectónica de las Supersecuencias A-F en Venezuela. Simbología : M, Machiques; U, Uribante; T, Trujillo; L, Lago de Maracaibo, CC, Cordillera Central Colombiana; G, Goajira; P, Paraguaná; Ti, Trinidad. Mayor detalle en el texto. Modificado de Pindell y Erikson (1993), en Parnaud et al., 1995.

La segunda megasecuencia está compuesta por las siguientes unidades :

- ◆ Miembro Socuy de la Formación Colón y Formación Colón (unidades sísmicas K6 y K7) depositadas durante el Cretácico Tardío; el Miembro Socuy separa la megasecuencia transgresiva inferior de la megasecuencia regresiva marina a marina somera representada por la Formación Colón. En los afloramientos de los Andes Merideños, el Miembro Socuy posee espesores comprendidos entre 1 y 3 m, compuesto por calizas glauconíticas. Se ha interpretado este miembro como una sección condensada. La Formación Colón se encuentra estratigráficamente por encima; se compone principalmente de lutitas. Al final de la depositación de esta unidad, el Arco de Mérida estuvo parcialmente emergido en la parte sureste de la Cuenca de Maracaibo, generando sedimentos clásticos gruesos hacia el norte

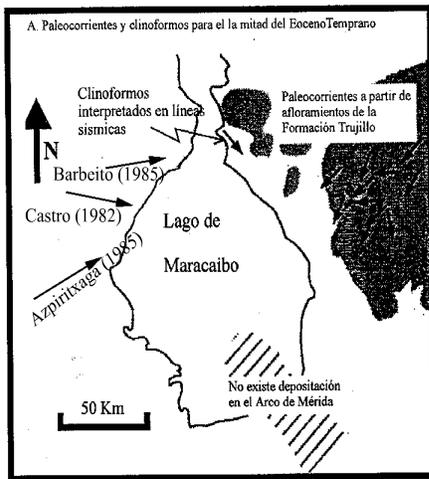
La megasecuencia Paleoceno-Eoceno es predominantemente clástica. Ha sido subdividida por LUGO (1992, en LUGO y MANN, 1995), en siete unidades sísmicas, a saber :

- ◆ Formación Guasare (unidad sísmica P1); consiste de calizas y areniscas calcáreas de edad Paleoceno. Esta Formación exhibe una variación lateral de facies pronunciada, gradando al noroeste a lutitas, al norte a rocas marino someras, al oeste a rocas clásticas de grano grueso y al sur a depósitos fluviales y deltaicos. Un hiatus marca el contacto entre la parte superior de la Formación Guasare y la Formación Misoa, estratigráficamente por encima. Probablemente este hiatus se encuentra relacionado a la exposición subaérea que marca el final del ciclo regresivo que comenzó en el Campaniense con la depositación de las lutitas de la Formación Colón
- ◆ Formación Trujillo (unidades sísmicas E1 y E2); se caracteriza por estar formada de areniscas turbidíticas y lutitas, que pueden ser halladas al noreste de la Cuenca de Maracaibo. Pueden encontrarse olistolitos y fragmentos de rocas del Grupo Cogollo (Cretácico) y de la Formación La Luna, así como olistolitos de rocas paleocenas dentro de la Formación Trujillo, lo cual indicaría la inestabilidad del talud donde se depositó esta unidad, causada por el fallamiento inverso que generó el cinturón de corrimiento presente al noreste de la Cuenca de Maracaibo
- ◆ Formación Misoa (unidades sísmicas E3-E6); se encuentra caracterizada por un espesor de más de 7.000 m de areniscas deltaicas y lutitas que se encuentran debajo del área del actual lago de Maracaibo. Para el Eoceno Medio, un inmenso sistema fluviodeltaico, representado por la Formación Misoa, dominaba el área del lago. El depocentro más profundo de la Formación Misoa se presentaba como un cinturón alargado paralelo al margen noreste del actual lago de Maracaibo
- ◆ Formación Paují (unidad sísmica E7); se distingue por estar compuesta de cientos de metros de lutitas marinas las cuales se encuentran en la parte más oriental de la Cuenca de Maracaibo

La cuarta megasecuencia se relaciona con el período Oligoceno-Pleistoceno, tiempos donde se producen los levantamientos del Macizo de Santander, la Serranía de Perijá y los Andes Merideños.

Geodinámicamente LUGO y MANN (1995) establecen que la historia geológica desde el Jurásico hasta el Eoceno para el norte de Suramérica puede resumirse en tres eventos tectónicos importantes : a) un período de *rifting* jurásico acompañado de la separación de los continentes de norte y suramérica; b) un período de margen pasivo siguiente al proceso de *rifting* durante el Cretácico Temprano-Tardío (etapa de *drifting*); c) la generación de una Cuenca antepaís (*foreland*) como consecuencia de la colisión oblicua entre la placa del Caribe y el margen pasivo suramericano.

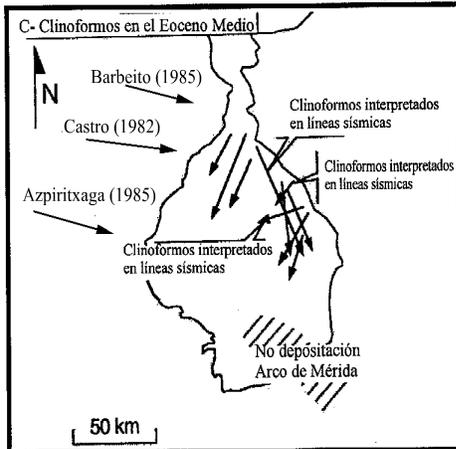
Estos autores sustentan sus argumentos con múltiples evidencias. La interpretación de la Cuenca antepaís (*foreland*) es consistente con los datos de paleocorrientes tomados por MATHIEU (1989) en superficie (Figura 8.a), con los clinoformos observados en la interpretación de varias líneas sísmicas del área del Lago de Maracaibo (Figura 8.c), con los datos de análisis petrográficos y petrológicos de muestras de areniscas del área del lago de Maracaibo (Figuras 8.b y 8.d). De esta manera llegan a plantear que todos los rasgos geológicos presentes durante el Paleogeno (Paleoceno-Eoceno) se derivan de la migración de una Cuenca antepaís (*foreland*) y de su antifosa (*foredeep*) desde el norte de la Cuenca de Maracaibo hacia el este (Figura 9). La misma es una consecuencia del paso de la placa del Caribe al norte de Suramérica y del emplazamiento de una serie de napas de por efectos del choque de ambas placas. Este emplazamiento sobrecarga la litosfera continental (Suramérica en este caso), generando una antifosa (*foredeep*) y una Cuenca antepaís (*foreland*), que va a condicionar su sedimentación. Por efectos de este marco tectónico, la sedimentación se caracteriza por tener procedencias diferentes: orógenos reciclados, zonas de subducción, arcos volcánicos, en fin, bordes litosféricos activos.



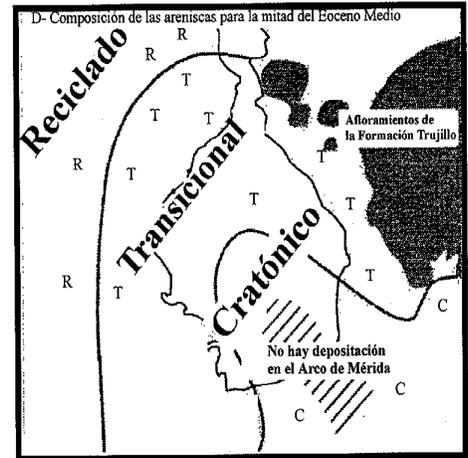
Modificado de Lugo y Mann (1995)



Modificado de Lugo y Mann (1995)



Modificado de Lugo y Mann (1995)



Modificado de Lugo y Mann (1995)

Figura 8. a) Ubicación de paleocorrientes (Mathieu, 1989) y clinoformos (Azpirtxaga, 1985; Barbeito, 1985; Castro, 1982; Lugo y Mann, 1995) en el área de estudio para el Eoceno Temprano medio; b) Composición de las areniscas para el Eoceno Temprano medio; c) Ubicación de clinoformos interpretados para el Eoceno Medio (Azpirtxaga, 1985; Barbeito, 1985; Castro, 1982; Lugo y Mann, 1995); d) Composición de las areniscas para el Eoceno Medio.

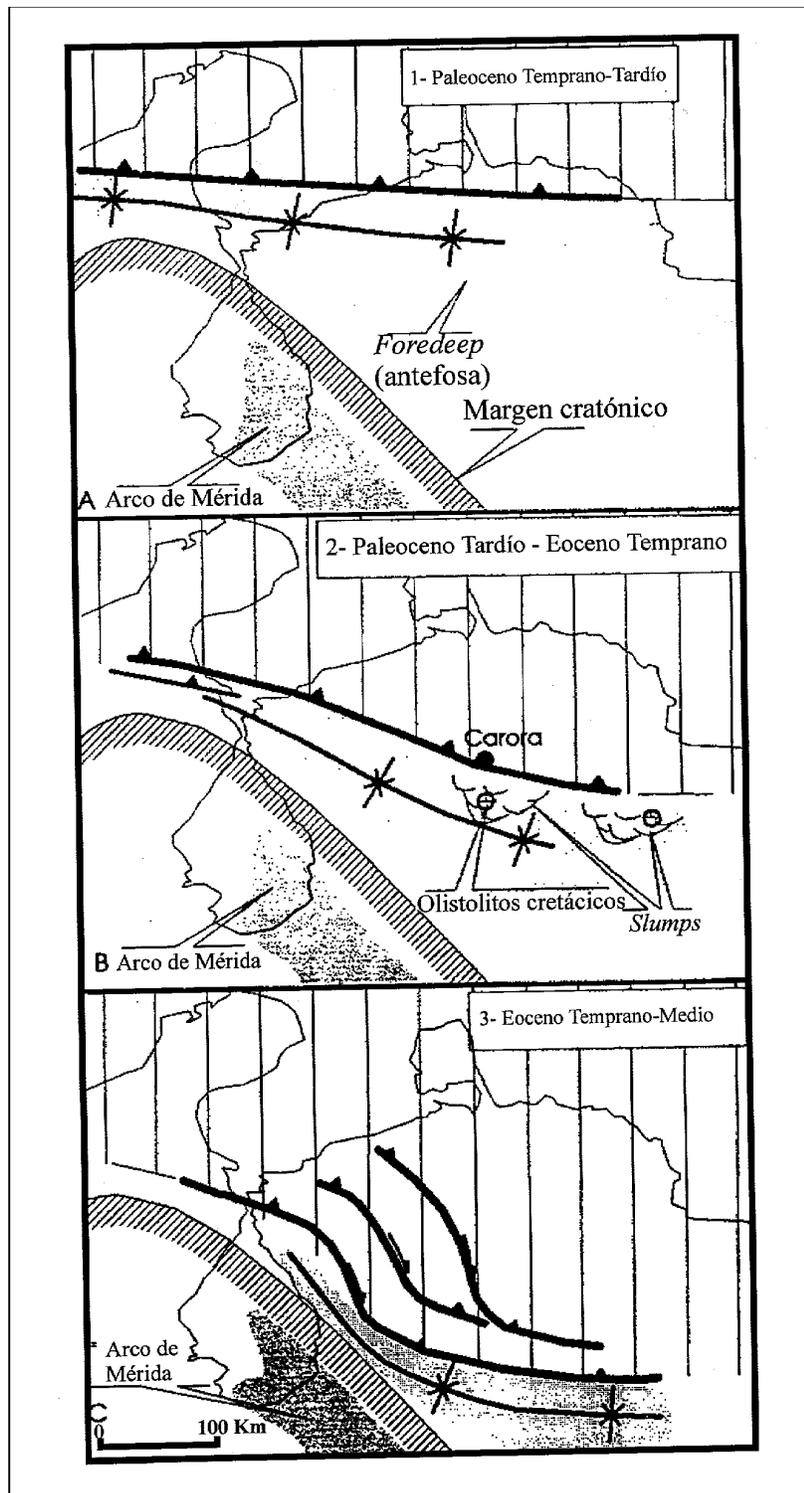


Figura 9. Modelo evolutivo de la parte Nororiental de la Cuenca de Maracaibo, durante el Paleoceno al Eoceno Medio de acuerdo a Lugo y Mann (1995) (Modificado de Lugo y Mann, 1995)

Villamil (1999) desarrolla un modelo que trata de explicar como fue la evolución tectonoestratigráfica en el occidente del borde norte de Sudamérica en el período de tiempo comprendido entre el Maestrichtiense y el Oligoceno.

#### - Tectonoestratigrafía del Maestrichtiense Tardío-Paleoceno

El eje de depositación (depocentro) principal para ese momento migra desde lo que actualmente es denominado Cordillera Oriental colombiana hacia la región del actual lago de Maracaibo debido a un continuo levantamiento orogénico de la ancestral Cordillera Central colombiana (Figura 10).

El registro estratigráfico desde el Maestrichtiense Tardío al Paleoceno Temprano tanto en Colombia como en Venezuela occidental se encuentra dominado por un sistema depositacional que aporta sedimentos desde el este, oeste y sur sobre una Cuenca de ambientes marinos someros a costeros. Ejemplo de lo anterior son las unidades que conforman el Grupo Orocué al este de Venezuela (Figura 11).

#### - Depositación durante el Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano

El período marcado por el límite Cretácico-Terciario está signado por un levantamiento orogénico, y este período también estuvo posteriormente acompañado por un período de relajamiento cortical, el cual generó espacio para acomodar y permitir la depositación de unidades fluviales de grano grueso por encima de la discordancia que marca el paso del Cretácico al Terciario.

Las areniscas basales de esta transgresión producida por efectos tectónicos se encuentran relacionadas a las formaciones Barco en el piedemonte de los Llanos, Cacho y Socha en la Cordillera Oriental colombiana y la parte basal de Hoyón en la parte occidental del piedemonte de la Cordillera Oriental colombiana. La transgresión continúa durante el Eoceno Temprano, incrementando el espacio para acomodar sedimentos. Las unidades que representan la máxima inundación dentro del período Paleoceno-Eoceno Temprano son Los Cuervos en el Piedemonte de los Llanos y la Formación Bogotá en el área de la Sabana de Bogotá. Existe una discordancia que representa el pulso inicial de la orogénesis andina en el tope de la Formación Los Cuervos. La parte inferior de la Formación Mirador en el piedemonte de Los Llanos representa el depósito de un valle inciso que se sedimentó por encima de la discontinuidad estratigráfica presente en el tope de la Formación Los Cuervos. La presencia de estratos sedimentarios del Paleoceno superior y del Eoceno inferior en Colombia y en Venezuela occidental no es común, ya que el levantamiento pre-Andino permitió la peneplanación y erosión de estratos infrayacentes a estas superficies.

Para el Eoceno Temprano, las “Napas de Lara” comienzan a cargar la Cuenca de Maracaibo; esta carga causa un cambio en las facies sedimentarias, de sistemas depositacionales de aguas someras a turbiditas de aguas profundas, ejemplificado en la Formación Trujillo. Por efectos de esta carga tectónica, se produce una subsidencia continua que permite una acumulación de paquetes agradantes de espesores importantes. Existe material acumulado por deslizamientos intraformacionales (*slumps*) derivados de las napas del Caribe (napas de Lara) y que se acumularon en el talud o en el piso de la Cuenca

*foreland* generada por el emplazamiento de las napas. Las facies derivadas de este fenómeno corresponden a las formaciones Matatere y Paracotos (Figura 12).

- Proceso orogénico del Eoceno Medio y la discordancia de este período.

El espacio regional para acomodar sedimentos en el noroeste de Sudamérica decrece dramáticamente durante este tiempo. Esto es causado por el climax del evento orogénico pre-Andino el cual se propaga desde el oeste hacia el este, generando una pronunciada discordancia angular. Afecta tanto las regiones occidentales de Colombia, pero de manera más marcada las regiones orientales de este país y el occidente de Venezuela. Este levantamiento pre-Andino causó levantamientos aislados en Colombia, controlando a su vez la posición de varios sistemas fluviales que fluyen a lo largo de valles que se encuentran entre paleo-altos. Estos sistemas fluviales probablemente a su vez vertían sus aguas a un río mayor, el cual drenaba grandes porciones areales de Colombia y Venezuela. Este gran sistema fluvial produjo grandes cantidades de sedimentos hacia la actual posición del lago de Maracaibo. Como evidencia de la presencia de este gran sistema fluvial-deltaico-marino marginal están las formaciones Misoa y Trujillo (Figura 13).

Las napas de Lara, continúan cargando la Cuenca *foreland* y generando la cantidad de sedimentos que formarán una secuencia espesa. Estas napas luego sobrecorrieron la Cuenca, deslizándose por encima de los sedimentos provenientes de ellas mismas, como la Formación Matatere. La Cuenca de Maracaibo y el área de Trujillo fueron los depocentros de los sedimentos provenientes las áreas levantadas por efectos de la orogenia pre-Andina durante el Eoceno Medio. Las unidades Misoa y Trujillo no poseen equivalentes coevales en otras regiones del noroeste de Sudamérica ya que muchos de estos sitios se encontraban expuestos para ese momento (Figura 13).

La orogenia pre-Andina fue diacrónica; comenzó primero al sur de Colombia y luego se propagó a lo largo del tiempo al oeste de Venezuela. Mucho del material erosionado a partir de terrenos levantados en Colombia fue llevado al oeste venezolano. El espacio para acomodar toda esta cantidad de sedimentos fue rápidamente creado ya que la parte más profunda de la Cuenca *foreland* (el *foredeep*) se formó en ese espacio geográfico. La combinación de estos dos eventos tectónicos, levantamiento y erosión en Colombia, carga y depositación en Venezuela occidental, permitió que se acumulara una espesa sección rica en arenas (Figura 13).

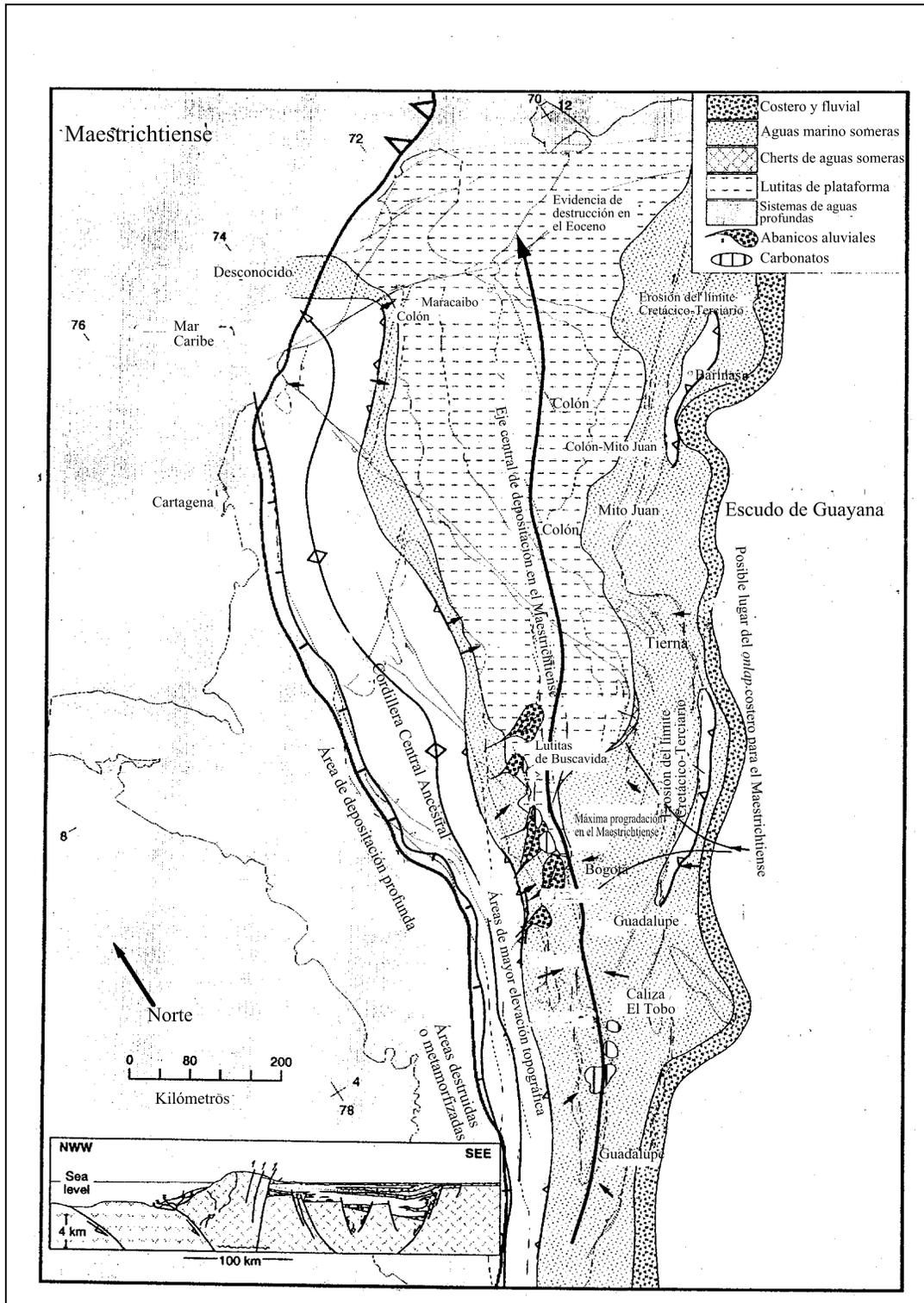


Figura 10. Posición del depocentro durante el Maestrichtiense en el oriente de Colombia y occidente de Venezuela (modificado de Villamil, 1999).

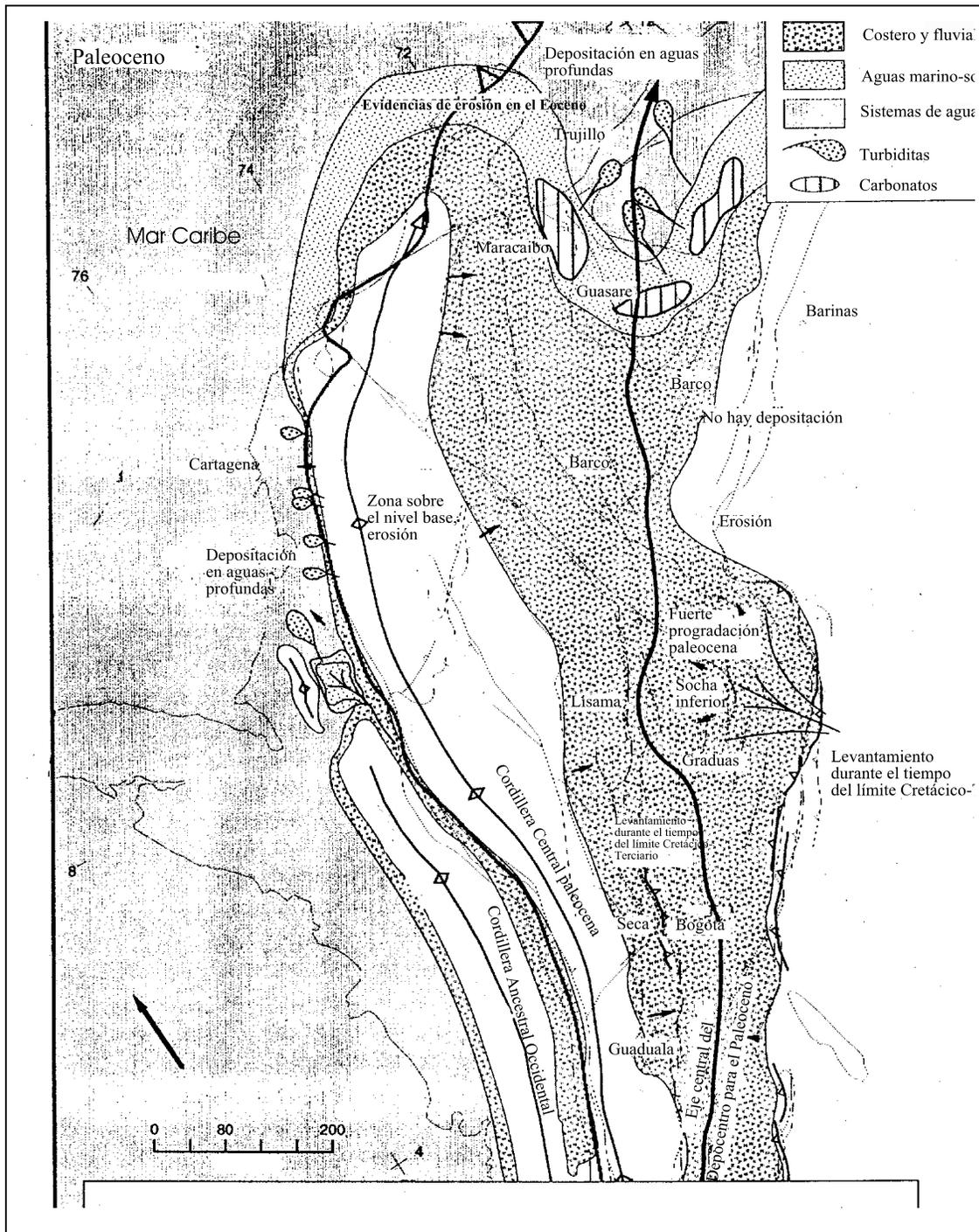


Figura 11. Paleogeografía y posición del depocentro durante el Paleoceno (modificado de Villamil, 1999).

- Depositación durante el Eoceno Tardío

#### Cuencas de Maracaibo y Barinas –Apure

El incremento en el espacio para acomodar sedimentos para el Eoceno Tardío fue registrado en el occidente de Venezuela, además de haber sido “ayudado” por el efecto tectónico representado por la carga generada por el emplazamiento de las napas de Lara. Las formaciones Paují y Pagüey, en la Cuenca de Maracaibo y en la Barinas-Apure respectivamente representan facies típicas de una depositación de lutitas distales en la parte más profunda de una Cuenca *foreland*, es decir depositación en el *foredeep* (Figura 14).

- La máxima inundación en el Oligoceno Temprano

Para el Oligoceno, gran parte de la región de la Cordillera Central colapsa (es sobrellenada de sedimentos). Adicionalmente a este colapso se produce la inversión de la Cuenca, iniciándose en los flancos de la Cordillera Oriental colombiana. Este levantamiento originó que el eje central de depositación se dividiese en dos. En el Oligoceno se incrementa el espacio para acomodar sedimentos y esto queda bien representado por la Formación Carbonera en el oeste de Venezuela y en la Cuenca de Los Llanos de Colombia. La base de esta unidad es más antigua en las regiones que se encuentran al norte siendo más joven hacia el sur, representado esto la transgresión oligocena. Esta transgresión permitió el ingreso de ambientes marinos más al sur (Figura 15).

La inversión de la Cuenca y el levantamiento generaron una carga en las adyacencias de la Cuenca *foreland* permitiendo la depositación de unidades espesas de origen fluvial.

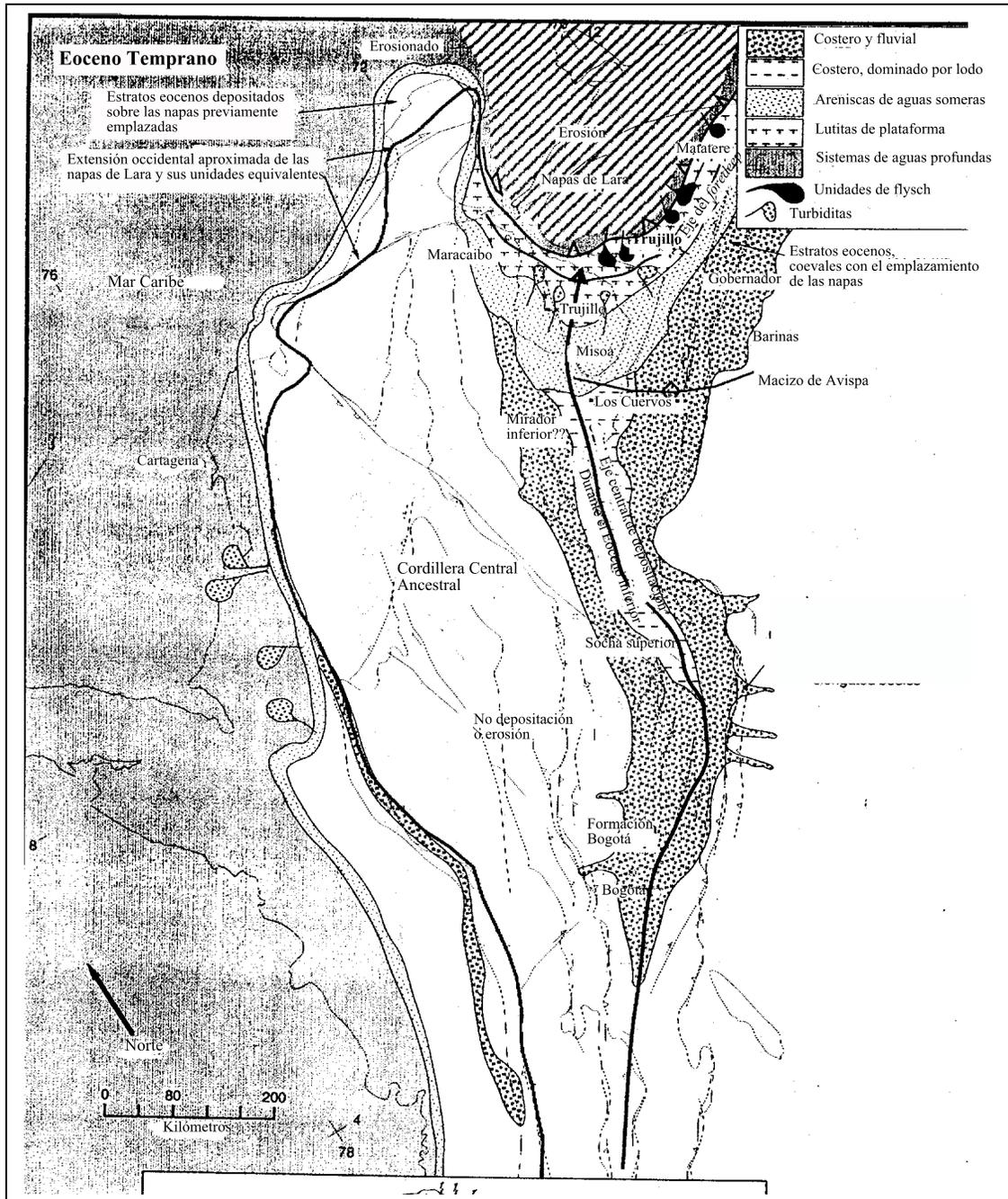


Figura 12. Paleogeografía y posición del depocentro durante el Eoceno Temprano (Modificado de Villamil, 1999)

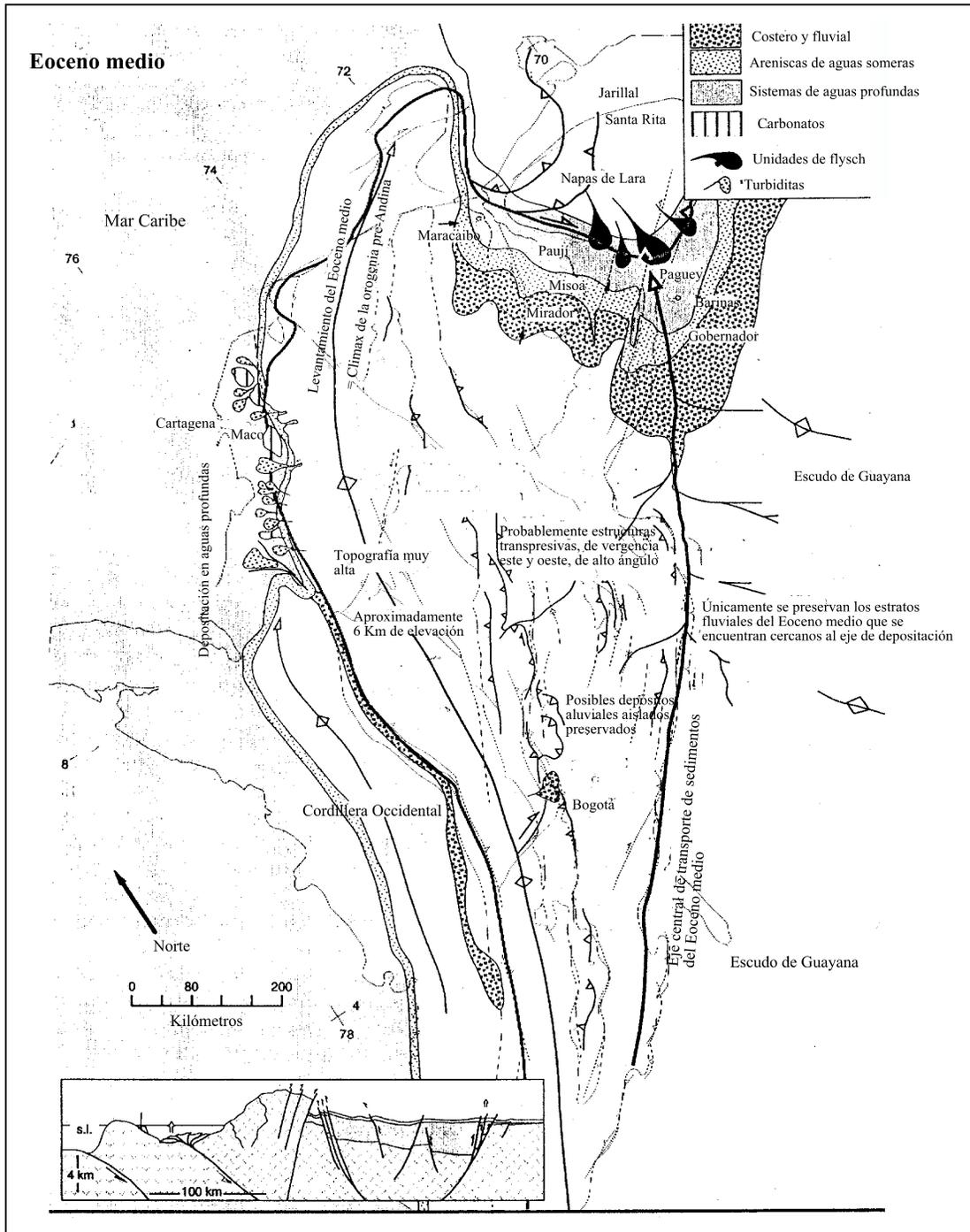


Figura 13. Paleogeografía y posición del depocentro durante el Eoceno Medio (Modificado de Villamil, 1999).

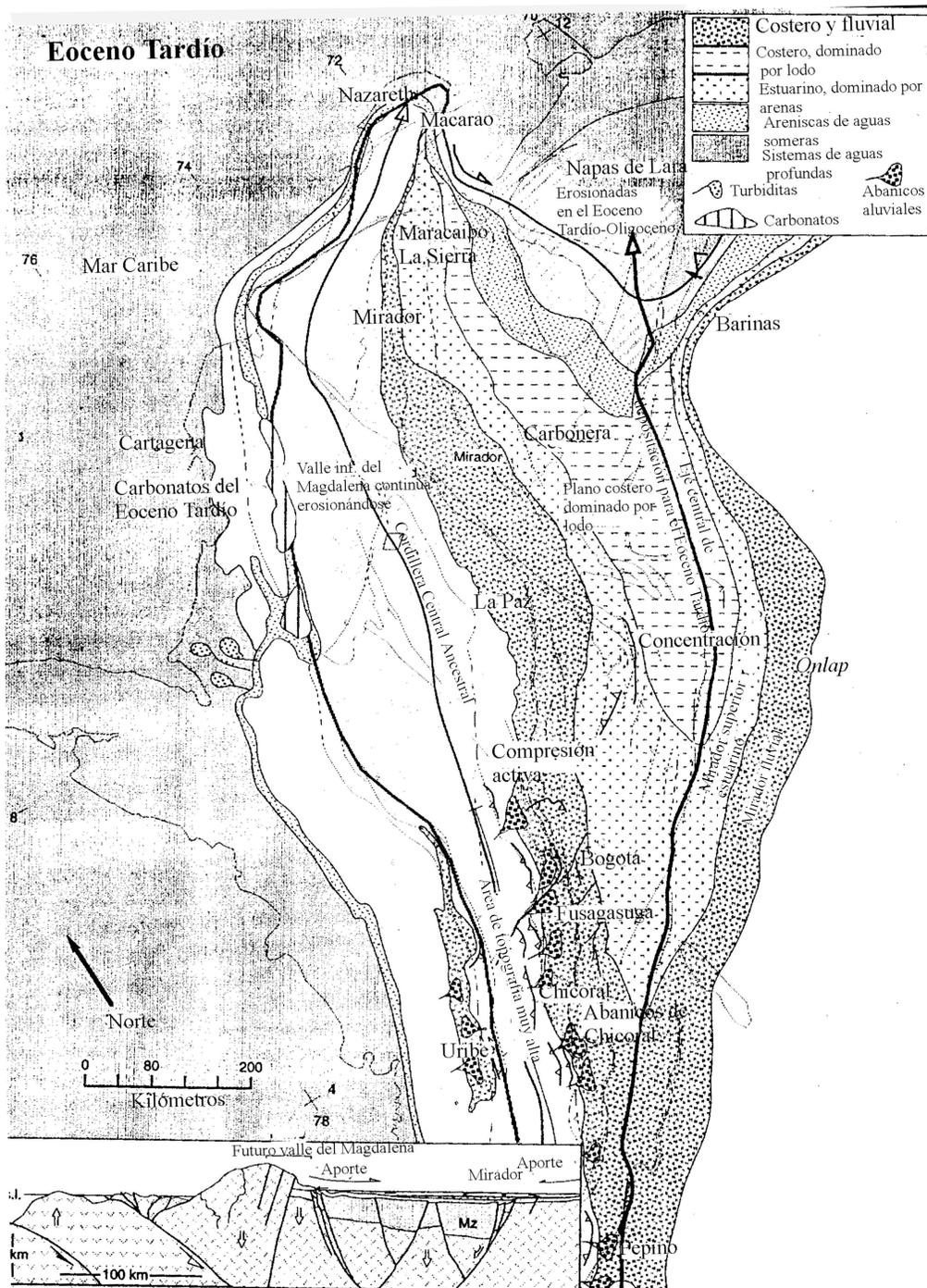


Figura 14. Paleogeografía y posición del depocentro para el Eoceno Tardío (Modificado de Villamil, 1999).

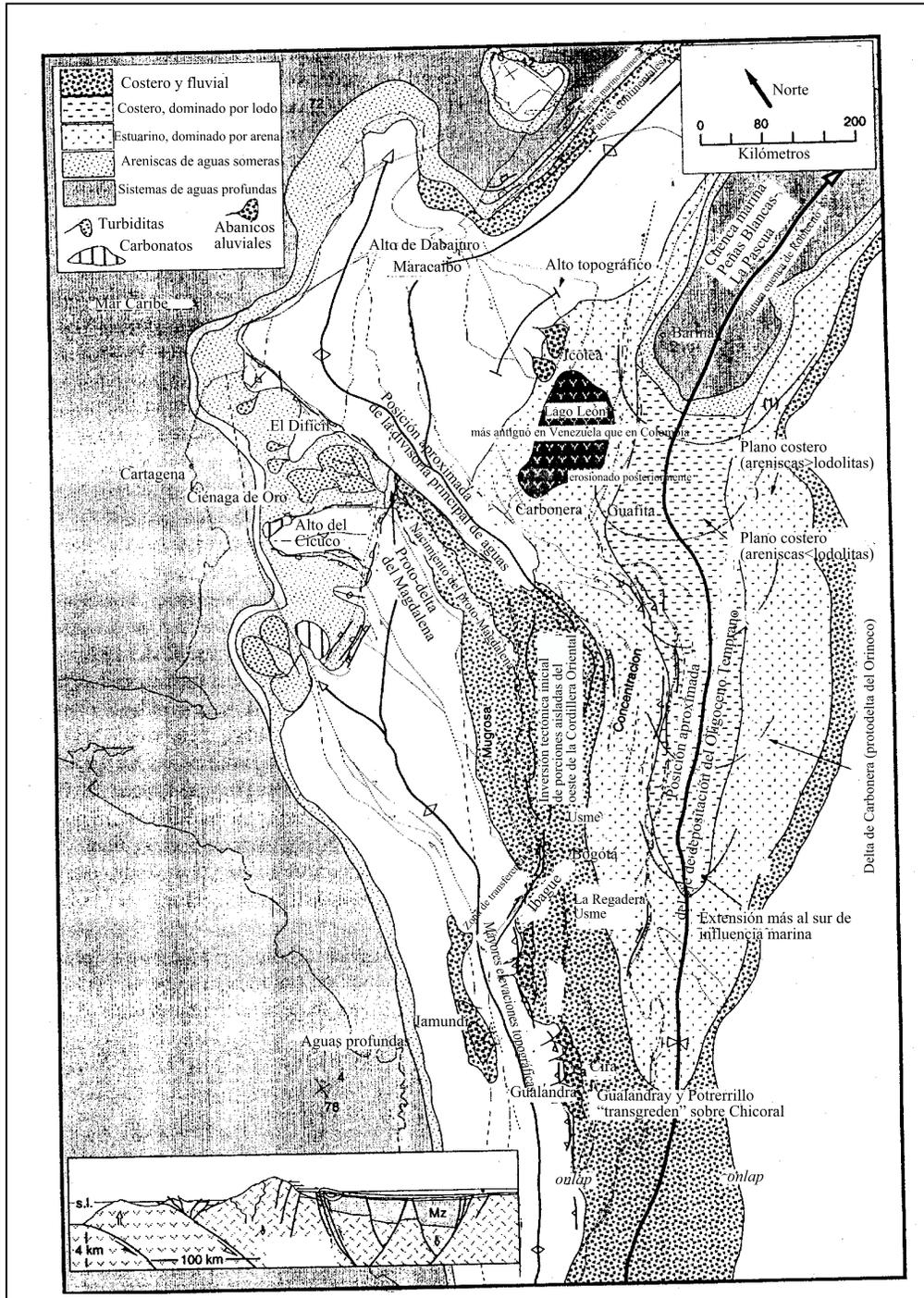


Figura 15. Paleogeografía y posición del depocentro para el Oligoceno Temprano, así como la posición original de los deltas del proto Orinoco y del proto Magdalena (Modificado de Villamil, 1999)

### **3. Petrografía Sedimentaria y Análisis Modal**

Como ya fue mencionado en el aparte de metodología, se realizó un conteo modal de no menos de doscientos cincuenta (250) puntos las cuarenta y tres muestras estudiadas. De estudio petrográfico, y por medio del programa MODALMUN.BAS (YORIS, 1989), se obtiene la caracterización petrográfica y clasificación según PETTIJOHN, POTTER y SIEVER (1972). Esta clasificación según estos autores para las muestras analizadas puede observarse en la tabla 1. Las variables y datos correspondientes a estas variables mineralógicas pueden detallarse en los anexos.

En las fotomicrografías 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 se presentan vistas generales de los tipos litológicos hallados en el área estudiada.

Las muestras analizadas (un total de cuarenta y tres) se encuentran en un rango de edades que comprenden desde el Paleoceno (Grupo Orocué) hasta el Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano (Formación La Sierra). Fueron seleccionadas cuatro muestras del Grupo Orocué (muestras de superficie), dieciocho de la Formación Mirador (incluyendo una muestra de superficie) y veinte de la Formación La Sierra (incluyendo dos muestras de superficie).

Fueron utilizados los pozos Alt-3 y Alp-2 como fuentes de muestras, así como las muestras de superficie tomadas en las secciones de los ríos Negro, Lora, Tucuco, y Sukumo, durante un trabajo realizado bajo un convenio U.C.V.-Maraven (1992).

A continuación se describen brevemente cada uno de los litotipos hallados en cada una de las unidades sedimentarias.

#### ***FORMACIÓN LA SIERRA***

##### ***Arenita Arcósica***

Presenta granos de cuarzo, los cuales son los más abundantes dentro de la muestra. Son de hábito granudo, de distribución homogénea. Los contactos entre los granos son grano/grano. Los tamaños de grano varían, aunque la tendencia es la de una arisca de grano fino-medio. Pueden observarse varios tipos de cuarzo: monocristalinos, policristalinos.

También se encuentran presentes cristales de feldespatos. Son abundantes dentro de la muestra, siendo su distribución homogénea. Su hábito es tabular, presentando bordes irregulares, aunque también pueden presentarse granudos. Pueden encontrarse cristales de microclino con su típico maclado “enrejado”, plagioclasas con maclado simple y polisintético, ortosas y feldespatos muy alterados.

Los fragmentos de roca no son muy abundantes, siendo su distribución heterogénea.

Los fragmentos más comunes son los de rocas volcánicas de matriz afanítica de color oscuro. Pueden también hallarse fragmentos de rocas sedimentarias de grano muy fino (limolitas y/o lutitas).

Tabla 1. Tabla de clasificación petrográfica de las muestras analizadas

Muestras/pozo	Clasificación según Pettijohn, Potter y Siever (1973)
La Sierra (Alp-2)	
10792'7"	Arenita lítica* / Subarcosa**
10792'2"	Arenita arcósica
10785'6"	Arenita lítica* / Arenita arcósica**
10775'4"	Arenita arcósica
10774'00"	Arenita lítica* / Sublitarenita**
10771'9"	Arenita arcósica
10770'5"	Subarcosa
10769'5"	Arenita arcósica
10768'5"	Arenita arcósica
10756'6"	Arenita arcósica
10754'4"	Arenita arcósica
10753'00"	Arenita arcósica
10673'8"	Arenita lítica
10668'11"	Arenita arcósica
10578'10"	Arenita arcósica
10573'4"	Arenita lítica* / Sublitarenita**
10569'8"	Arenita arcósica
10533'4"	Arenita lítica* / Sublitarenita**
Mirador (Alp-2)	
10853'9"	Subarcosa
10852'00"	Arenita arcósica
10833'9"	Arenita arcósica
10830'11"	Arenita arcósica
Mirador (Alt-3)	Mirador (Alt-3)
10127'00"	20.dat Arenita arcósica
10127'00"	17.dat Arenita arcósica
10125'9"	19.dat Arenita arcósica
10116'11"	16.dat Arenita lítica* / Subarcosa**
10097'00"	13.dat Arenita arcósica
10069'4"	11.dat Arenita arcósica
10066'8"	10.dat Arenita arcósica
10066'00"	9.dat Arenita arcósica
10065'6"	8.dat Arenita arcósica
10065'2"	7.dat Arenita arcósica
10064'11"	6.dat Arenita arcósica
10063'4"	5.dat Arenita arcósica
10061'3"	2.dat Arenita arcósica
Mirador (superficie)	
Z-L-9A	Arenita lítica* / Subarcosa**
La Sierra (superficie)	
Z-Mch-RN-005	Arenita arcósica
Z-Mch-TK-034	Arenita lítica
Orocue (superficie)	
Z-Mch-TK-025	Arenita lítica
Z-Mch-TK-023	Arenita lítica* / Sublitarenita**
Z-Mch-TK-032	Arenita lítica* / Subarcosa**
Z-Mch-TK-022A	Arenita lítica

\* = Fragmentos de roca incluyen Qp y fñanita

\*\* = Fragmentos de roca no incluyen Qp

Son también muy comunes los granos de filosilicatos (muscovita principalmente) deformados, como también se encuentran presentes bandas muy continuas de óxidos de hierro.

En la Fotomicrografía \*9 se observan bandas de óxido de hierro, feldespatos, micas, cuarzo, arcillas.

#### Arenita lítica

Este tipo litológico muestra cristales de cuarzo con hábito granudo, de bordes irregulares, algunos redondeados aunque la tendencia es a la angularidad. El grado de escogimiento es regular. Un porcentaje muy alto de grano se encuentra fracturado internamente (aunque este efecto pudiese ser debido a la elaboración de la sección).

Los tamaños de grano varían, esta característica tiende a no ser homogénea.

Los contactos son grano/grano, aunque pueden observarse contactos grano/matriz. La distribución es homogénea dentro de la muestra.

También pueden observarse cristales de feldespatos, aunque su presencia es muy baja dentro de la muestra. El hábito de los granos es tabular, con bordes irregulares. Pueden observarse plagioclasas con su maclado polisintético, aunque la mayoría de los granos se encuentran alterados, de tal manera que son prácticamente irreconocibles. Su distribución es heterogénea.

Los fragmentos de roca son abundantes, dándole un carácter de “suciedad” a la roca. Se pueden hallar frecuentes fragmentos de rocas metamórficas de diversos aspectos: por un lado se encuentran rocas foliadas, donde pueden apreciarse filosilicatos de tamaño muy pequeño que siguen una orientación preferencial. Pudiesen ser filitas o pizarras. Por otro lado, también pueden observarse rocas foliadas sólo que de tamaño de grano más grueso, donde pueden notarse cristales de cuarzo orientados. Son fragmentos de esquistos cuarzosos. Los fragmentos de rocas sedimentarias son abundantes, prácticamente lutitas y/o limolitas, de color marrón rojizo. Se pueden visualizar fragmentos de rocas volcánicas de matriz afanítica de color oscuro.

Son abundantes los granos de filosilicatos (muscovita) deformados. También se presentan bandas conformadas por óxidos de hierro.

En la fotomicrografía 10 se observan fragmentos de roca y filosilicatos.



Fotomicrografía 1. Vista general de una arenita lítica/sublítica. Objetivo 2.50.12. Ocular 12.5X. Muestra 10.533'4''. Formación La Sierra.

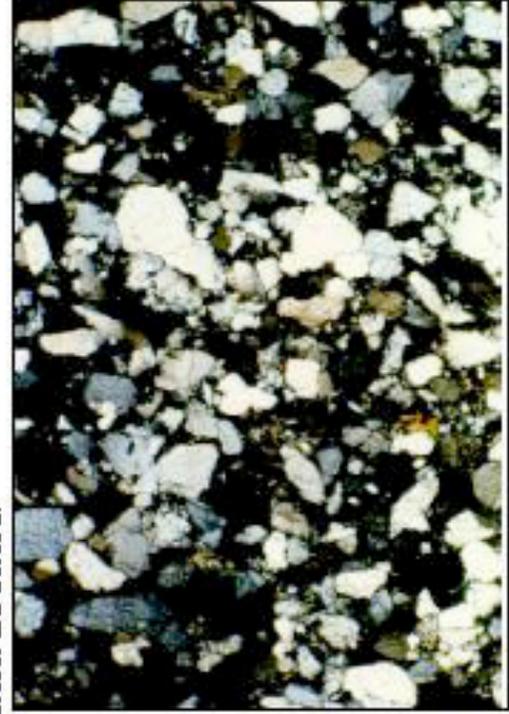


Fotomicrografía 2. Vista general de una arenita lítica/arcósica. Objetivo 2.50.12. Ocular 12.5X. Muestra 10.785'6''. Formación La Sierra.

3.60 mm



Fotomicrografía 3. Vista general de una subarcosa. Objetivo 2.50.12. Ocular 12.5X. Muestra 10.853'9''. Formación Mirador



Fotomicrografía. Vista general de una Arenita lítica/subarcosa. Objetivo 2.50.12. Ocular 12.5X. Muestra 16. Formación Mirador

3.60 mm



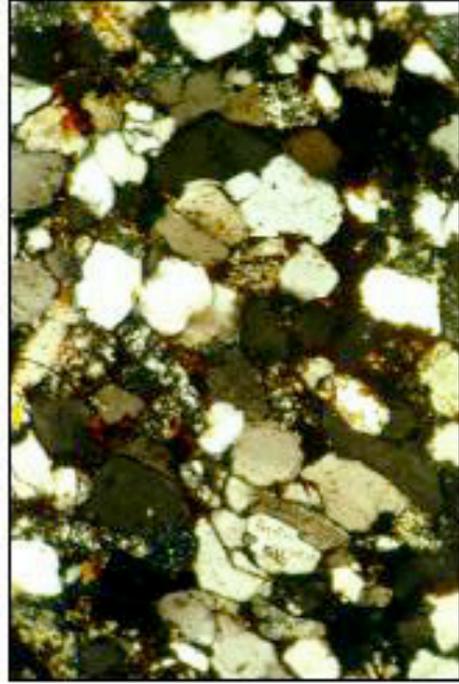
Fotomicrografía 5. Vista general de una arenita arcósica. Objetivo 2.50.12. Ocular 12.5X. Muestra 5. Formación Mirador



Fotomicrografía 6. Vista general de una arenita arcósica. Objetivo 2.50.12. Ocular 12.5X. Muestra 10.756'6''. Formación La Sierra.



Fotomicrografía 7. Vista general de una Arenita Arcósica. Objetivo 2.50.12. Ocular 12.5X. Muestra 19. Formación Mirador



Fotomicrografía 8. Vista general de una Arenita Lítica. Objetivo 2.50.12. Ocular 12.5X. Muestra Z-Mch-TK-022A. Grupo Orocué.

### Arenita lítica/sublitarénita

Los feldespatos presentes en la muestra se observan de hábito tabular, con bordes irregulares. Existen granos de plagioclasa con maclado simple y maclado polisintético; también pueden notarse granos de microclino con su típico maclado “enrejado”. Un porcentaje importante de los feldespatos se encuentra enmascarado por efectos de la alteración.

Los fragmentos de roca son abundantes dentro de la muestra. Pueden observarse de varios tamaños. Existen fragmentos de rocas sedimentarias (lutitas/limolitas), existen fragmentos de rocas metamórficas foliadas (esquistos cuarzosos), fragmentos de rocas ígneas volcánicas. Se distribuyen de manera homogénea en la muestra. Vale la pena mencionar que son frecuentes los granos de filosilicatos (principalmente muscovita). En la Fotomicrografía \*11 se observan cristales de cuarzo, feldespatos, fragmentos de filosilicatos, fragmentos de roca.

### Subarcosa

Se observan cristales de cuarzo, los cuales se presentan de forma granuda, algunos como prismas cortos, de aristas irregulares. Los contactos son grano/grano, generalmente longitudinales, aunque pueden observarse algunos contactos grano/matriz. Existen cuarzos autígenicos (sobrecrecimiento de cuarzo en continuidad óptica). La distribución de estos granos es homogénea dentro de la muestra.

Los feldespatos son granos de hábito prismático (corto y largo), redondeados, de aristas irregulares. Los contactos son grano/grano. Pueden hallarse granos de microclino con su típico maclado “enrejado”, aunque el feldespato más común es la ortosa o posiblemente albita con un porcentaje de anortita menor al 5%. La distribución es homogénea en la muestra, aunque su porcentaje de abundancia no es elevado.

Los fragmentos de roca son de diversos tamaños, y son abundantes en la muestra. Dentro de los que se hallan se tienen fragmentos de rocas metamórficas foliadas, fragmentos de rocas sedimentarias de grano muy fino (lutitas), fragmentos de rocas ígneas volcánicas (de carácter félsico a intermedio).

Pueden observarse filosilicatos (muscovita) deformadas, posiblemente por la compactación que ha sufrido la roca. En la Fotomicrografía \*12 pueden notarse fragmentos de rocas metamórficas/sedimentarias y feldespatos.

### Arenita lítica/arcósica

Se observan cristales granudos de cuarzo, con bordes irregulares, inclusive algunos redondeados; el escogimiento tiende a ser regular a medio. Los contactos tienden a ser grano/grano, aunque pueden ser hallados contactos tangenciales; pareciera que los granos se presentasen con una ligera orientación preferencial. El tamaño de grano es fino a medio. Es

la especie mineral más abundante dentro de la muestra, siendo su distribución homogénea. Pueden hallarse varios tipos: monocristalino, policristalino.

Los feldespatos se presentan como cristales que tienden a tener hábito prismático alargado, tabulares en algunas ocasiones, donde los bordes tienden a ser irregulares. Pueden notarse cristales de microclino con su típico maclado “enrejado”, así como también pueden hallarse cristales de plagioclasa con maclado simple y polisintético. No son muy abundantes y su distribución tampoco es homogénea.

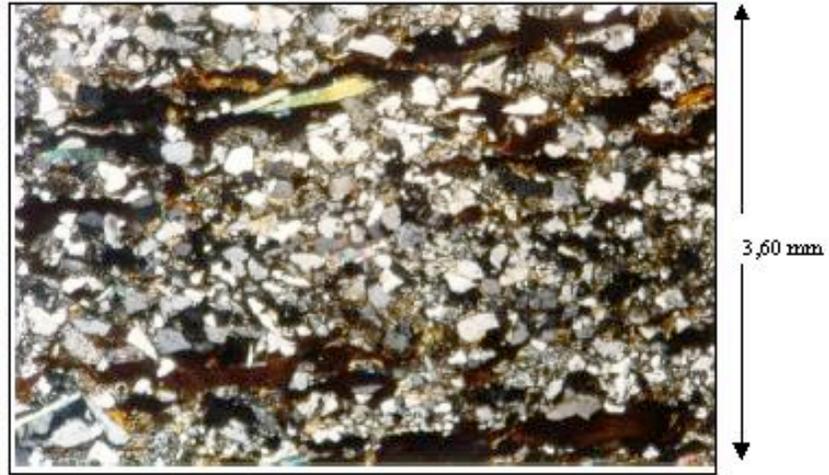
Los fragmentos de roca son abundantes dentro de la muestra. Pueden hallarse fragmentos de rocas foliadas (esquistos cuarzosos), como también fragmentos de rocas volcánicas y fragmentos de rocas sedimentarias (posiblemente lutitas). Su distribución es homogénea en la muestra. Pueden hallarse óxidos de hierro como cristales dentro de la muestra.

#### Arenita lítica/subarcosa

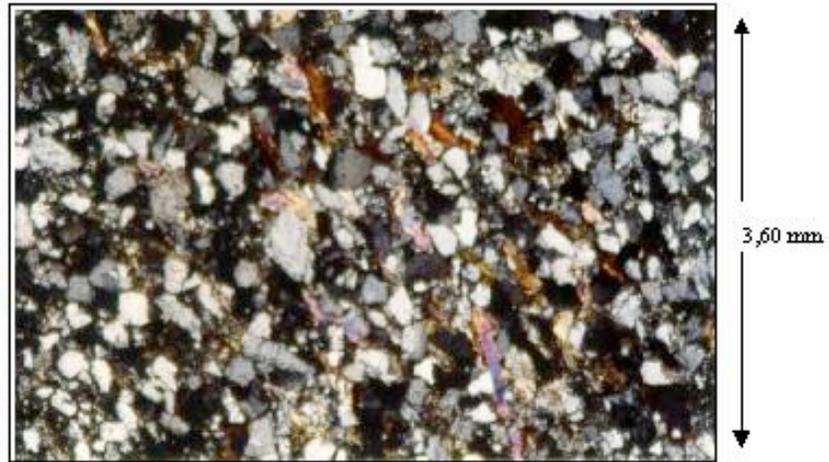
En la sección pueden observarse cristales de cuarzo de hábito granudo, con bordes irregulares, con un grado de escogimiento que va desde regular a malo. La mayoría de los granos presentan un alto grado de fracturamiento, debido posiblemente a la compactación. Los contactos son grano/grano, algunos suturados, otros longitudinales. La distribución homogénea en la muestra. Se hallan cristales de sílice microcristalina (chert).

Los feldespatos se presentan como granos de forma irregular, con hábito prismático a tabular, de escogimiento regular a malo. Pueden observarse granos de pertitas (feldespatos en exsolución), plagioclasas y plagioclasas con alto rango de alteración. No son muy abundantes en la muestra.

Los fragmentos de roca tienden a tener un tamaño de grano un poco menor respecto a las otras variables detríticas. Las formas que se encuentran en la muestra se hallan dentro del rango de granos redondeados y granos de aristas muy marcadas. Los fragmentos son de rocas ígneas volcánicas, de rocas sedimentarias (lutitas) y de rocas metamórficas foliadas (esquistos y gneises cuarzo feldespáticos). Nótese en la Fotomicrografía \*13 los fragmentos de rocas sedimentarias, chert, feldespatos y rocas volcánicas.



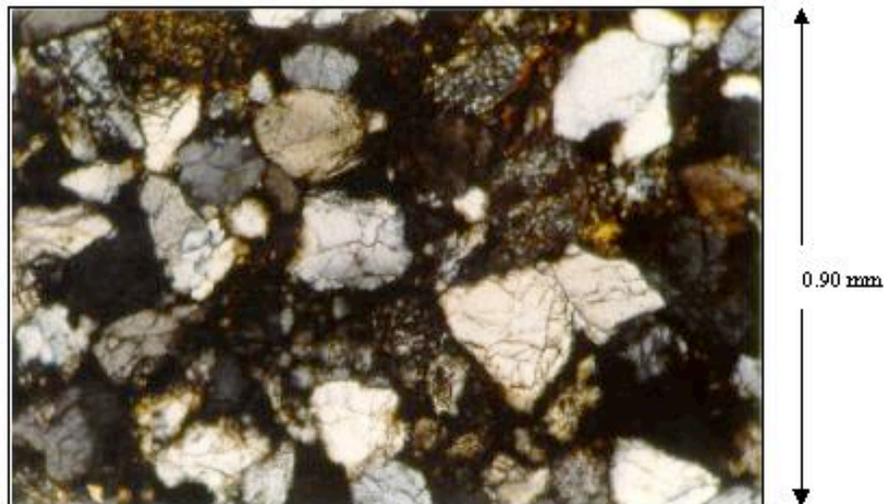
Fotomicrografía 9. Obsérvense las bandas de óxido de hierro, feldespatos, micas (muscovita). Formación La Sierra, muestra 10668'11''. Objetivo 2,50/0,8, Ocular 12,5X. Arenita Arcósica



Fotomicrografía 10. Pueden observarse fragmentos de roca, filosilicatos (muscovita en su mayoría), cuarzo y algunos granos de feldespatos. Formación La Sierra, muestra 10.673'8'' Objetivo 2,50/0,8, Ocular 12,5X. Arenita Lítica.



Fotomicrografía 11. Pueden notarse los fragmentos de rocas sedimentarias (lutitas), así como granos de chert, feldespatos y fragmentos de rocas ígneas volcánicas. Objetivo 2.5/0.8. Ocular 12.5 X. Muestra 10.792'7". Formación La Sierra. Arenita Lítica/Subarcosa



Fotomicrografía 12. En esta foto pueden observarse fragmentos de feldespatos alterados, granos de chert, cuarzo, fragmentos de rocas ígneas volcánicas y fragmentos de rocas sedimentarias (lutitas). Objetivo 10/0.25. Ocular 12.5 X. Muestra 9.dat. Formación Mirador. Arenita Arcósica.

## **FORMACIÓN MIRADOR**

### **Arenita arcósica**

En la muestra se observan cristales de cuarzo de hábito granudo, con forma irregular, aunque pueden hallarse granos redondeados. El grado de escogimiento va de regular a malo. La distribución es homogénea dentro de la sección. Los contactos son grano/grano longitudinales; ciertos cristales muestran contactos suturados, aunque también pueden hallarse contactos grano/matriz.

Los granos del feldespatos se muestran de hábito tabular, con bordes irregulares, en algunos casos pueden encontrarse granos subredondeados. La distribución es irregular en la muestra. El porcentaje más alto corresponde a feldespatos indeterminados por efectos de alteración. También pueden observarse cristales de microclino y de plagioclasas con maclado polisintético.

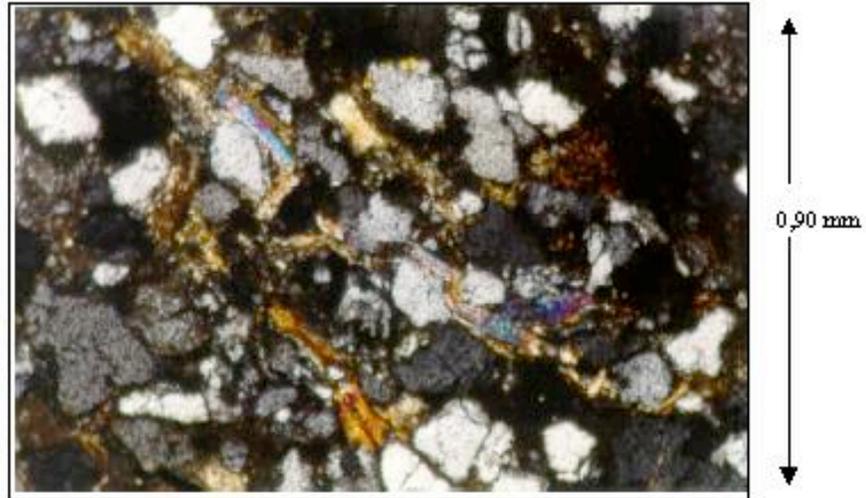
Los fragmentos de roca muestran una presencia representativa dentro de la muestra. Varían de tamaño. Pueden observarse fragmentos de rocas foliadas (esquistos cuarzosos), fragmentos de rocas sedimentarias (lutitas y/o limolitas). Se pueden observar fragmentos de chert y cristales de calcita (posiblemente como cemento).

### **Arenita arcósica**

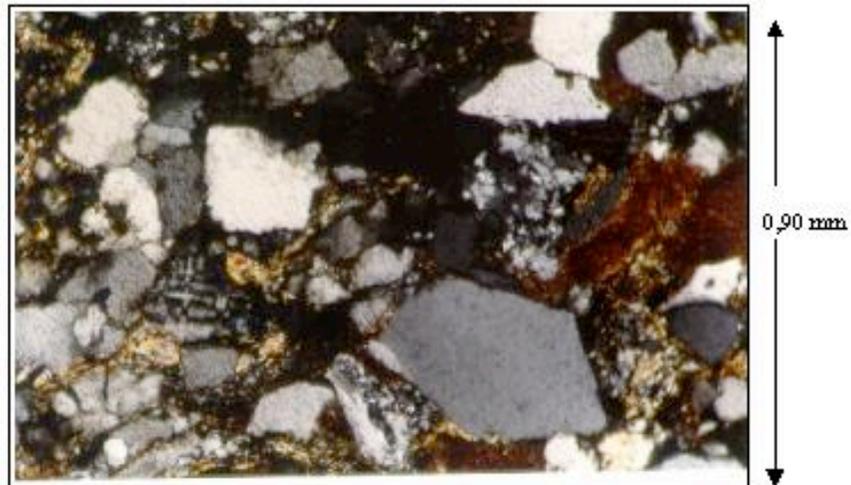
En la sección se pueden observar cristales de cuarzo de forma granuda, con diversos tamaños. Pueden hallarse granos de hábito prismático corto y otros prismáticos largos. El escogimiento varía de bueno a regular. Los contactos son grano a grano, longitudinales, aunque también pueden ser grano/matriz. La distribución es homogénea dentro de la muestra. Una característica resaltante es que prácticamente todos los granos se encuentran fracturados.

Los feldespatos se presentan de hábito prismático corto en algunos granos, como también prismas largos en otros granos. Los bordes tienden a ser irregulares, aunque pueden observarse granos cuyos bordes se encuentran corroídos. Presentan un alto porcentaje de alteración; pueden observarse aún restos de granos de plagioclasas con maclado polisintético, aunque el feldespato más común es la ortosa o en todo caso, albita con un porcentaje de anortita inferior al 5%. La distribución es homogénea dentro de la muestra.

Los fragmentos de roca tienden a ser del mismo tamaño que los granos de las especies minerales mencionados anteriormente. Son menos abundantes que los feldespatos y los cuarzos. Dentro del tipo de fragmentos que pueden ser hallados se tienen fragmentos de rocas metamórficas foliadas y no foliadas, fragmentos de rocas ígneas volcánicas (félsicas a intermedias), fragmentos de rocas sedimentarias (lutitas). También pueden observarse cristales de circón y epidoto, fragmentos de chert y cristales de filosilicatos (muscovita). En la Fotomicrografía \*14 se observan feldespatos alterados, chert, cuarzo, fragmento de rocas ígneas volcánicas, fragmento de rocas sedimentarias.



Fotomicrografía 13. Pueden notarse cristales de cuarzo, feldspatos, fragmentos de filosilicatos, así como fragmentos de roca metamórficos. Objetivo 10/0.25. Ocular 12.5 X. Muestra 10573'4''. Formación La Sierra. Arenita Lítica/Sublitarenita



Fotomicrografía 14. Detalle de cristales de feldspatos y fragmentos de rocas metamórficas y sedimentarias (lutitas). Objetivo 10/0.25. Ocular 12.5 X. Muestra 10.770'5''. Formación La Sierra. Subarcosa

En la sección se observan cristales de cuarzo de hábito granudo, en algunos casos hábito prismático largo, de bordes irregulares. Contactos grano/grano. Muchos de los granos presentan fracturas, posiblemente por efectos de la compactación. La distribución de esta especie mineral es homogénea dentro de la muestra.

Los feldespatos se presentan de forma granuda, de hábito prismático largo, con bordes irregulares. Los contactos son grano/grano. Los granos se presentan fracturados por efectos de la compactación. Se observan cristales de microclino (con su típico maclado “enrejado”), cristales de plagioclasa con su maclado polisintético y cristales de ortosa (o albita sin maclar). Esta última es la especie mineral detrítica más abundante en la muestra. La distribución de los feldespatos es homogénea dentro de la muestra.

Los fragmentos de roca tienden a ser de tamaño de grano menor que las otras especies minerales detríticas. Tienden a ser redondeadas, en algunos casos se presentan alteradas a arcillas. Dentro de los fragmentos observados se encuentran fragmentos de rocas ígneas volcánicas y fragmentos de rocas metamórficas foliadas (posiblemente gneises)

#### Arenita lítica/subarcosa

En la sección pueden hallarse cristales de cuarzo de forma granuda, con bordes irregulares, de escogimiento que va de bueno a regular. Los contactos son grano/grano, longitudinales, aunque pueden observarse contactos grano/matriz. Pueden observarse cristales prismáticos largos, de aristas irregulares. Se pueden observar en casi todos los cristales fracturas, que posiblemente sean producto de la compactación de las rocas. El tamaño de grano es fino. Es la especie mineral más abundante dentro de la muestra.

Los feldespatos se observan granudos, algunos de hábito prismático alargado, con bordes irregulares. El grado de escogimiento va de regular a malo. Un porcentaje importante de los granos se encuentra alterado. Los contactos tienden a ser grano/grano, aunque pueden observarse algunos contactos grano/matriz. Pueden observarse granos de plagioclasa, granos de feldespatos potásicos con textura perfitica. Muchos de los cristales se encuentran fracturados, posiblemente por la compactación de la roca.

Los fragmentos de roca son los segundos en abundancia dentro de esta muestra. Pueden hallarse fragmentos de rocas ígneas volcánicas, fragmentos de rocas metamórficas foliadas (esquistos). También se encuentran fragmentos de chert, cristales de filosilicatos (muscovita) y cristales de circón.



Fotomicrografía 15. Pueden notarse los granos de feldespatos, de chert, filosilicatos (muscovita principalmente) y cristales de cuarzo. Objetivo 2.5/0.8. Ocular 12.5 X. Muestra 10.853'9''. Formación Mirador. Subarcosa



Fotomicrografía 16. En esta foto se pueden observar fragmentos de rocas metamórficas, ígneas volcánicas y sedimentarias (lutita). Objetivo 2.5/0.12. Ocular 12.5 X. Muestra 10.833'9''. Formación Mirador. Arenita Arcósica.

### Arenita arcósica

En la sección pueden observarse cristales de cuarzo de hábito granudo, algunos de ellos prismáticos alargados, con bordes irregulares en ocasiones corroídos. Existen sobrecrecimientos de cuarzo (cuarzo autigénico). Los contactos tienden a ser grano/grano, algunos suturados, en ocasiones inclusive grano/matriz. La distribución de esta especie mineral es homogénea en la muestra.

Los feldespatos se presentan como cristales de forma granuda, de hábito tabular, con bordes corroídos y en algunos casos redondeados. Se pueden encontrar microclinos con su típico maclado “enrejado”, lo cual pudiese interpretarse como que la fuente tuviese un origen ígneo plutónico félsico o metamórfico de protolito ígneo félsico. También hay plagioclasas que muestran restos de textura zonada. Pueden hallarse cristales de plagioclasa con su típico maclado polisintético, así como cristales de ortosa (o albita con un porcentaje inferior a 5 de anortita, sin maclado), que son las más abundantes. Los contactos son grano/grano, en algunos casos suturados. La presencia de tantos granos de plagioclasa puede interpretarse como que la fuente debió haber sido ígnea. Su distribución es homogénea en la muestra.

Los fragmentos de roca hallados tienden a ser redondeados, de diversos tamaños. Dentro de estos fragmentos se encontraron fragmentos de rocas ígneas volcánicas y fragmentos de rocas metamórficas foliadas. No son muy abundantes. Pueden también observarse cristales de filosilicatos (muscovita) deformados, así como algunos cristales de circón.

### Subarcosa

Los cristales de cuarzo que se hallaron en esta sección se presentan angulares, con escogimiento de regular a malo. Los contactos tienden a ser grano/grano, longitudinales en su mayoría, aunque pueden hallarse algunos contactos grano/matriz. Es la especie mineral más abundante en la muestra. El hábito más común es granudo, con aristas irregulares, existiendo cristales prismáticos alargados también con bordes irregulares.

Los feldespatos se presentan como cristales redondeados, de menor tamaño que los cristales de cuarzo. Se encuentran alterados en un gran porcentaje. El grado de escogimiento va de regular a bueno. Los contactos tienden a ser grano/grano, y grano/matriz en algunos casos. Pueden observarse granos de microclino y de plagioclasa, lo que puede interpretarse como que la fuente era de origen ígneo félsico/intermedio.

Los fragmentos de roca que pueden observarse tienen un tamaño de grano más pequeño que las otras variables detríticas, son poco frecuentes dentro de la muestra. Dentro de los tipos observados se tienen fragmentos de rocas volcánicas, fragmentos de rocas metamórficas foliadas (esquistos), fragmentos de rocas sedimentarias (lutitas). También pudieron ser hallados fragmentos de chert, así como granos de filosilicatos (muscovita) deformados. En la Fotomicrografía \*15 se notan feldespatos, chert, filosilicatos, cuarzo.

## Arenita Arcósica

Los granos de cuarzo hallados en la muestra son muy angulares, presentando un escogimiento de bueno a regular. Los contactos se presentan grano/grano (en un porcentaje alto), longitudinales y grano/matriz. La distribución de esta especie mineral dentro de la muestra es homogénea. Los granos se muestran muy fracturados, posiblemente por efectos de la compactación.

Los feldespatos se presentan como cristales angulares, de escogimiento regular. Los contactos son grano/grano. No son tan frecuentes como el cuarzo pero son igualmente abundantes. También muestran fracturas. Se pueden encontrar microclinos con su típico maclado “enrejado”, lo cual pudiese interpretarse como que la fuente tuviese un origen ígneo plutónico félsico o metamórfico de protolito ígneo félsico. También hay plagioclasas que muestran restos de textura zonada.

Los fragmentos de roca presentes, los cuales no son muy abundantes, son los siguientes: fragmentos de rocas metamórficas foliadas (esquistos cuarzo-feldespáticos), fragmentos de rocas sedimentarias (lutitas), fragmentos de rocas ígneas volcánicas. También se observaron fragmentos de chert y granos deformados de filosilicatos. En la Fotomicrografía \*16 se pueden notar fragmentos de rocas metamórficas, ígneas, sedimentarias.

Luego de la descripción de las muestras correspondientes a cada una de las unidades sedimentarias presentes en el área de trabajo, se procedió a realizar un manejo de estos datos bajo la comparación de gráficos estadísticos.

En la figura 16 puede observarse la relación vertical existente entre las diferentes variables halladas por medio del análisis modal petrográfico de cada muestra. El gráfico representa “la posición stratigráfica” de cada muestra, tomando como referencia la unidad stratigráfica a la cual pertenece cada muestra y la profundidad a la cual fue tomada cada una de ellas en el pozo correspondiente. Para las muestras de superficie, sólo se tomó como parámetro la unidad a la cual pertenecían y su posición dentro de la columna stratigráfica correspondiente. De la inspección de la figura 16 puede extraerse que, a grandes rasgos, la variable más importante es el cuarzo monocristalino, que aunque presente algunas variaciones, se encuentra en promedio por encima del 25%. El cuarzo policristalino se encuentra de manera constante, aunque con algunas fluctuaciones, en un porcentaje promedio del 15%. Otra variable importante corresponde al porcentaje de feldespatos, el cual se mantiene prácticamente constante en las muestras, con un porcentaje promedio de 35%; observando bien el gráfico puede notarse que existe un incremento brusco desde la parte inferior del gráfico hasta aproximadamente la mitad (muestras Z-Mch-Tk034; 10853'9'') sitio donde disminuye el contenido de esta fase mineral detrítica. Verticalmente hacia arriba, se incrementa de nuevo la cantidad de feldespatos. Esto pudiese estar marcando algún tipo de evento, ya que relacionando la forma del gráfico con las unidades a las que pertenecen cada una de las muestras, puede notarse que el cambio se produce cuando se pasa de la Formación Mirador a la Formación La Sierra. Otra variable de considerable importancia corresponde a los fragmentos de roca, los cuales se hacen importantes en el paso de la Formación Mirador a la Formación La Sierra. El aumento de

esta variable pudiese hacer pensar en relacionar algún evento tectónico (el cambio de la fuente puede estar influenciada por efectos tectónicos), presente para ese momento.

En las figuras 17, 18, 19 pueden observarse las relaciones porcentuales entre cada variable detrítica hallada en las muestras del pozo Alp-2 en la Formación Mirador. La variable detrítica más importante es el cuarzo monocristalino, siguiendo en importancia los feldespatos, el cuarzo policristalino y los fragmentos de roca. Dentro de los feldespatos, el feldespato potásico es la especie mineral más abundante, mientras que los feldespatos indeterminados le siguen en importancia. El % de plagioclasas es bajo (por debajo del 10%), disminuyendo hacia la parte superior del pozo hasta prácticamente desaparecer (aunque, por la cantidad de feldespatos indeterminados, pudiese establecerse que un porcentaje alto de estos granos no reconocidos realmente correspondan a granos de plagioclasas alterados). Respecto a los fragmentos líticos, las muestras del pozo Alp-2 presentan diversos tipos: existen fragmentos de rocas volcánicas, fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas, fragmentos de rocas metamórficas y fragmentos de rocas sedimentarias (las cuales son las menos abundantes y menos frecuentes). El contenido de fragmentos volcánicos presenta un aumento generalizado desde la base de la sección a la parte superior, disminuyendo un poco en la parte superior. Igual (aunque de una forma menos marcada) sucede para las rocas ígneas félsicas. Del gráfico también se desprende que el contenido de fragmentos de rocas metamórficas es alto y se mantiene relativamente constante verticalmente. Sólo en una muestra se hallaron fragmentos de rocas sedimentarias, en un porcentaje realmente poco significativo (menos del 1%).

Pueden compararse estas descripciones con lo observado para la misma unidad (Formación Mirador) pero en el pozo Alt-3. Para estas muestras, la fase mineral preponderante es la de los feldespatos, seguida por el cuarzo monocristalino y luego el cuarzo policristalino. Dentro de los feldespatos, el feldespato potásico es el más importante, alcanzando un 90% de presencia en las muestras. Los feldespatos indeterminados son segundos en importancia mientras que las plagioclasas, aunque presentes en todas las muestras, se remiten prácticamente a ser trazas. Del gráfico puede notarse que el alto % de feldespatos potásicos es constante en prácticamente todas las muestras, observándose un paulatino aumento de las plagioclasas hacia la parte más alta de la sección, pero en la muestra más “joven”, desaparece la plagioclasa. De nuevo habría que considerar que dentro de los feldespatos no determinados podrían hallarse tanto feldespatos potásicos como plagioclasas. Respecto a los fragmentos líticos, igual que en el pozo anterior se encuentran presentes cuatro tipo de fragmentos: volcánicos, ígneos plutónicos félsicos, metamórficos y sedimentarios. Dominan los fragmentos volcánicos, incrementándose hacia la parte superior de la secuencia. También se presenta un incremento, mucho más leve que el de los fragmentos volcánicos, en los fragmentos metamórficos (figuras 19, 20, 21 y 22). La presencia de un mayor porcentaje de

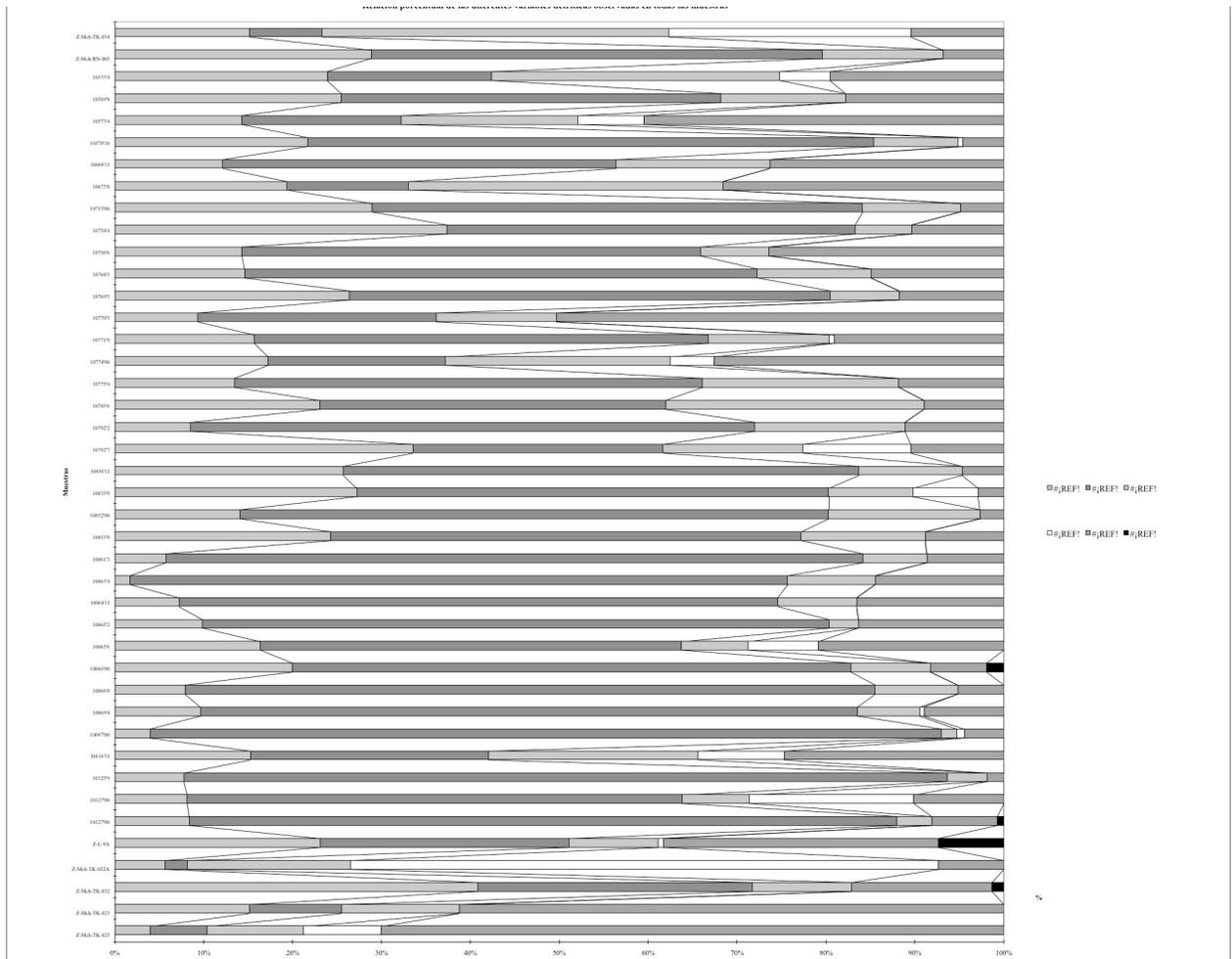


Figura 16. Gráfico de barras que muestra la relación porcentual de las diferentes variables detriticas observadas en las muestras analizadas

feldespatos potásico respecto a las plagioclasas sugiere un ambiente tectónico dominado por bloques continentales reactivados u orógenos reciclados (DICKINSON *et al.*, 1983). Para el momento en el cual se depositó la Formación Mirador, el emplazamiento de las napas ya había comenzado (Eoceno medio-superior), generando una cuenca antepaís (*foreland*) al este de la cuenca de Maracaibo y un alto estructural como consecuencia de la sobrecarga litosférica (*forebulge*). Este alto estructural, sumado al alto preexistente (Arco de Mérida), el cual también influye en la sedimentación para ese momento, aportan la cuota importante de feldespatos potásicos y fragmentos de rocas que dan el carácter de orógeno reciclado.

En cuanto a la Formación La Sierra, en el pozo Alp-2 se tiene que la variable detrítica más abundante es el cuarzo monocristalino, y le siguen en orden descendente el cuarzo policristalino, feldespatos y fragmentos de roca. Verticalmente tiende a ser estable el porcentaje de cuarzo monocristalino, al igual que el cuarzo policristalino, pero notándose un incremento gradual hacia la parte más alta de la secuencia respecto a los feldespatos. De igual forma esto se cumple para los fragmentos de roca. Discriminando entre las variables, puede establecerse, en cuanto a los feldespatos, que el más común y abundante es el feldespato potásico, el cual muestra un incremento desde la base hasta la parte media de la sección, disminuyendo paulatinamente su porcentaje hacia la parte más alta o tope de la unidad vista en el pozo. La plagioclasa, aunque presente en casi todas las muestras, tiene poca importancia (su porcentaje es inferior a 5%). Verticalmente presenta fluctuaciones, aunque puede pensarse en una tendencia a incrementar su porcentaje hacia la parte superior. Los feldespatos indeterminados muestran una participación importante dentro de los feldespatos. Debe recordarse la consideración hecha en los párrafos anteriores respecto a esta variable. En cuanto a los fragmentos líticos, de los gráficos se desprende que los fragmentos más abundantes corresponden a los metamórficos, siguiendo en orden los volcánicos y los ígneos plutónicos félsicos, siendo estos los menos abundantes al igual que los fragmentos de rocas sedimentarias. Verticalmente puede notarse que los fragmentos de rocas volcánicas presentan un incremento notable hacia el tope de la sección observada en el pozo; caso contrario sucede con los fragmentos de rocas metamórficas, que aunque tienden a ser relativamente constantes, muestran una disminución en su porcentaje hacia la parte más alta de la sección (figuras 24, 25, 26 y 27). La presencia de feldespatos potásicos por encima de las plagioclasas hace pensar que la fuente para esta unidad debe corresponder a un orógeno reciclado o a una de mezcla (DICKINSON *et al.*, 1983). Para finales del Eoceno y principios del Oligoceno, el panorama geológico establecía que el norte y el este de la cuenca del lago de Maracaibo se presentaban como altos estructurales y topográficos, al igual que el este del área de Perijá. Los altos del este y norte, ya existentes desde el Eoceno, son respuesta al paso y emplazamiento de las napas de Lara en el occidente de Venezuela (figuras 6 y 9). Hay que tomar en cuenta que para finales del Eoceno, la Serranía de Perijá comenzó a levantarse y a aportar sedimentos a la cuenca. Por supuesto, esto influye dentro de la composición de los clásticos (precisamente sería un orógeno reciclado).

De los análisis petrográficos y de las figuras 28 y 29 se desprende que para las muestras del Grupo Orocué (todas de superficie) el elemento más importante es el cuarzo monocristalino, con un porcentaje que se encuentra dentro del rango del 12-20%; el cuarzo policristalino siempre se encuentra presente, aunque en un porcentaje menor a la especie mineral anterior. El tercer elemento mineral en rango de importancia es el de los

feldespatos, que aunque siempre se encuentra presente dentro de las muestras analizadas, porcentualmente es menos importante que los dos anteriores. Dentro de los feldespatos, las plagioclasas son la fracción mineral que domina, aunque existe un porcentaje importante de feldespatos indeterminados que pudiesen inclinar la balanza a favor de los feldespatos potásicos, como también incrementar el porcentaje de las plagioclasas. Los fragmentos de roca son relativamente abundantes y dentro de estos el porcentaje mayoritario corresponde a fragmentos de rocas metamórficas, seguidos por fragmentos de rocas volcánicas y por último fragmentos de rocas sedimentarias. Siendo sólo muestras de superficie, los efectos de la alteración y meteorización son mayores en estas muestras. La presencia de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca según los porcentajes mostrados en las figuras 28, 29 y 30 establecen que probablemente la principal fuente de sedimentos provenga del S-SW, sitios que se presentaban como altos topográficos como respuesta a la carga litostática generada al norte como consecuencia del comienzo del paso y emplazamiento de las napas de Lara en el occidente de Venezuela (figuras 6 y 9).

Utilizando la tabla 2, realizada por CARDOZO (1996), pudiese tratar de establecerse cual (o cuales) es la fuente de aporte para estas unidades en base al tipo de fragmento de roca presente en las muestras, así como otras variables (tabla 2). La tabla presenta de manera resumida cual es la composición litológica de una serie de rasgos geológicos que rodean a la cuenca del Lago de Maracaibo y cual es la mineralogía característica que debiese hallarse en sedimentos derivados de cada uno de estos rasgos. La mineralogía por excelencia (fuera de los abundantes cuarzos y feldespatos) para el Grupo Orocué está compuesto por fragmentos volcánicos, fragmentos metamórficos (esquistos y filitas), micas (muscovita, biotita y clorita), turmalina, esfena, rutilo y/o leucoxeno (ver anexos). Según la tabla 2, la posible fuente para esta unidad debería corresponder a la Cordillera Central Colombiana y/o con el Arco de Mérida y rocas cretácicas. Esto a su vez tendría concordancia con los modelos propuestos por OSTOS (1990), LUGO y MANN (1995) y PARNAUD *et al.* (1995), figuras 6 y 9. Para la Formación Mirador la mineralogía (obviando los cuarzos y los feldespatos) sería de fragmentos volcánicos, fragmentos de rocas ígneas félsicas, fragmentos de rocas metamórficas (esquistos y filitas, gneises y otras rocas no foliadas), muscovita, biotita, clorita, circón, epidoto (ver anexos). Tomando como referencia la tabla 2 y comparando con la mineralogía y fragmentos detríticos antes expuestos, pudiese interpretarse que la fuente de aporte estaría ubicada en la cadena caribe y/o en el Arco de Mérida y rocas de la plataforma cretácica. Al igual que en el caso anterior, esto estaría de acuerdo con los modelos propuestos por OSTOS (1990), LUGO y MANN (1995) y PARNAUD *et al.* (1995). Para la Formación La Sierra, utilizando la misma restricción anterior, la mineralogía corresponde a fragmentos ígneos volcánicos, metamórficos (esquistos y filitas, gneises y rocas no foliadas), ígneas félsicas, muscovita, biotita, clorita, circón, esfena, rutilo y/o leucoxeno (ver anexos). Igual que para el caso anterior, la posible fuente de sedimentación estaría ubicada en la cadena caribe/Península de Paraguaná y/o en el Arco de Mérida y rocas cretácicas, e igual que en el caso anterior estaría en concordancia con los modelos propuestos (OSTOS, 1990; LUGO y MANN, 1995; PARNAUD *et al.*, 1995).

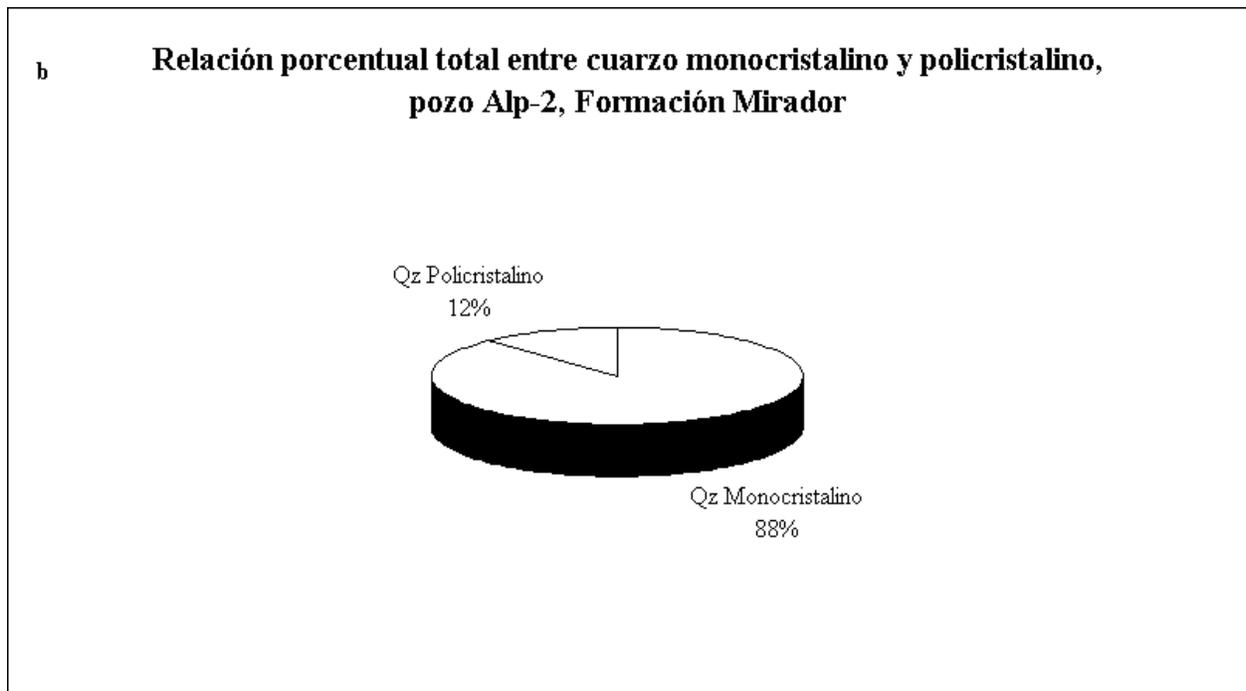
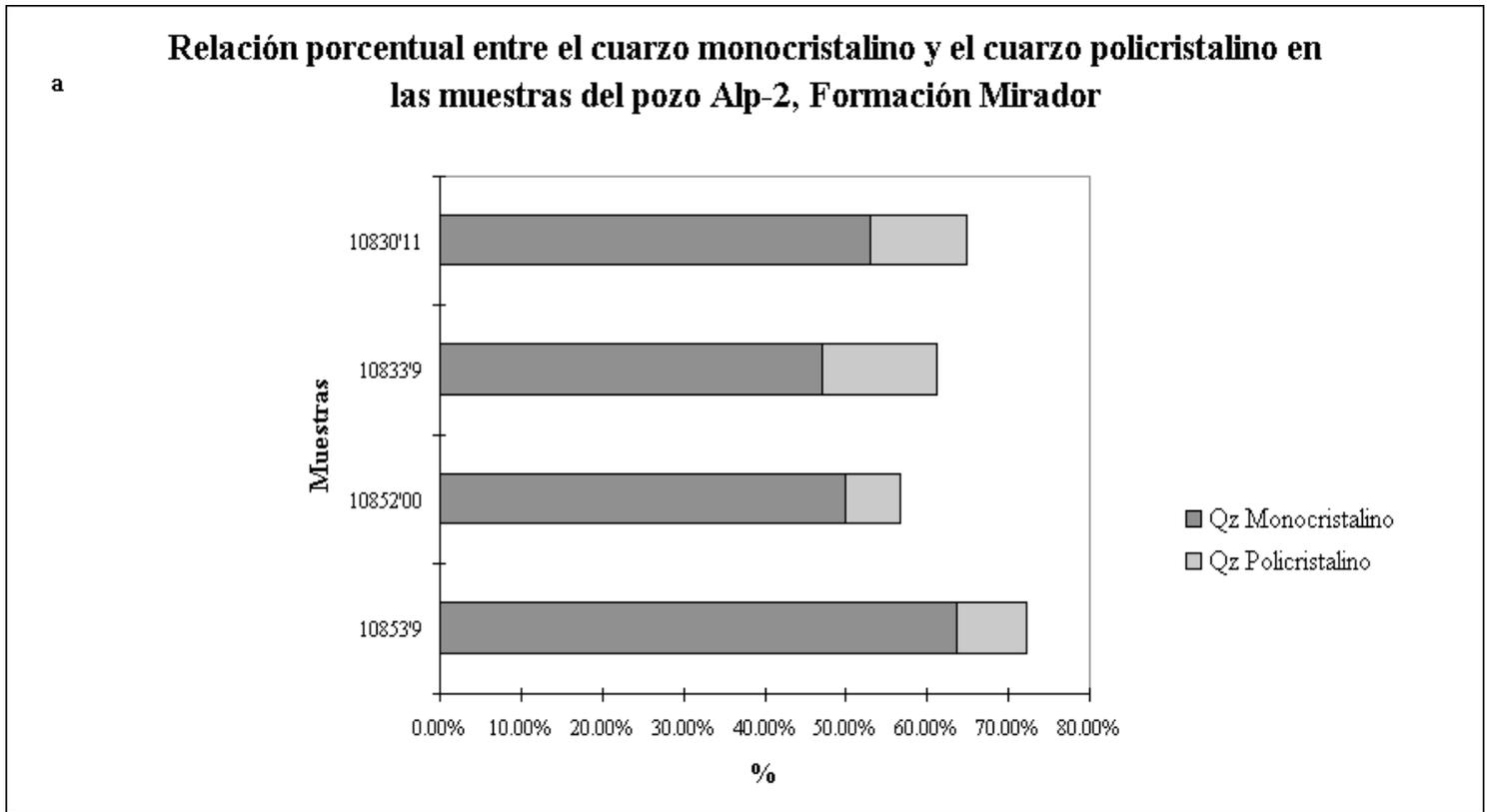
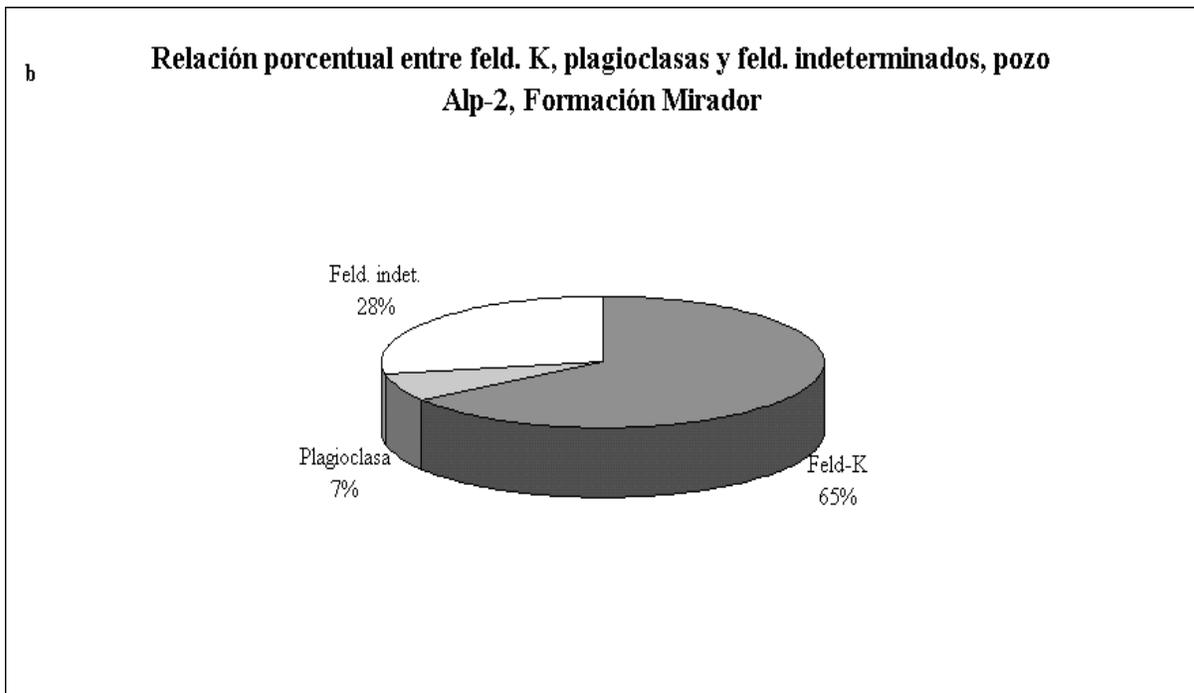
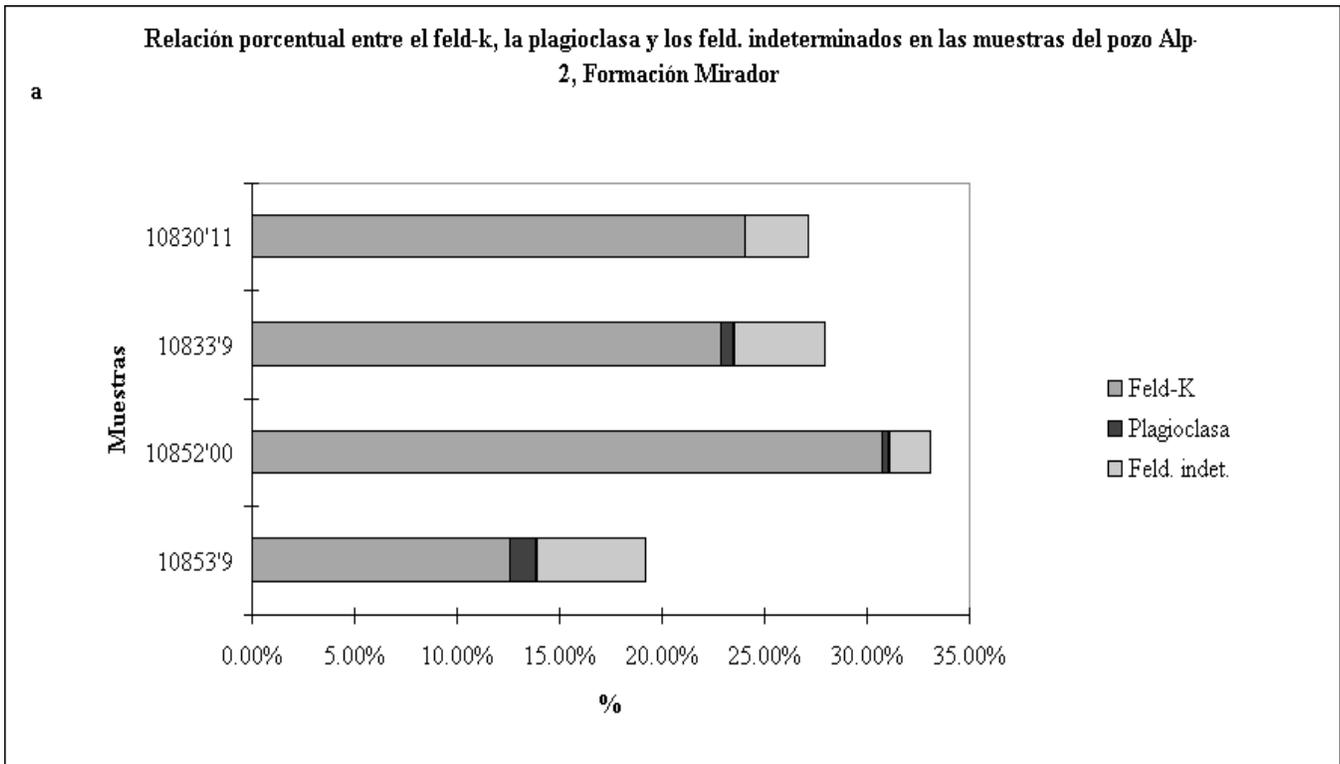


Figura 17. a) Gráfico de barras que muestra la relación porcentual entre el cuarzo monocristalino y el cuarzo policristalino de las muestras de la Formación Mirador, pozo Alp-2

b) Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre el cuarzo monocristalino y el cuarzo policristalino de las muestras de la Formación Mirador, pozo Alp-2



*Figura 18. a) Gráfico de barras que muestra la distribución porcentual de las variables Feldespatos, plagioclasas y feldespatos indeterminados observadas en la Formación Mirador, pozo Alp-2*  
*b) Gráfico de torta que muestra la distribución porcentual de las variables feldespatos, plagioclasas y feldespatos indeterminados observadas en la Formación Mirador, pozo Alp-2*

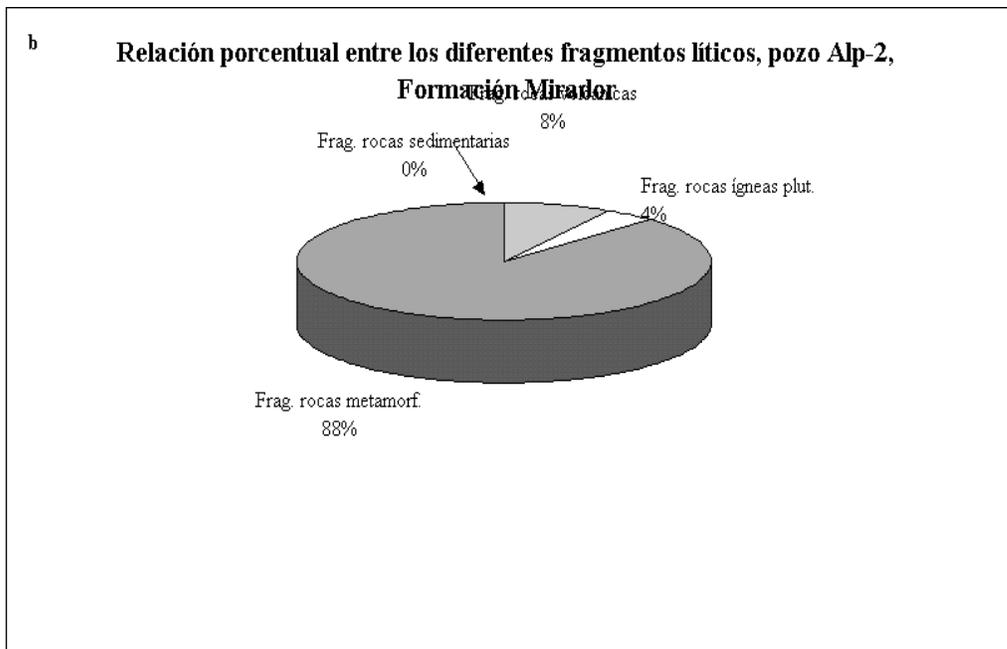
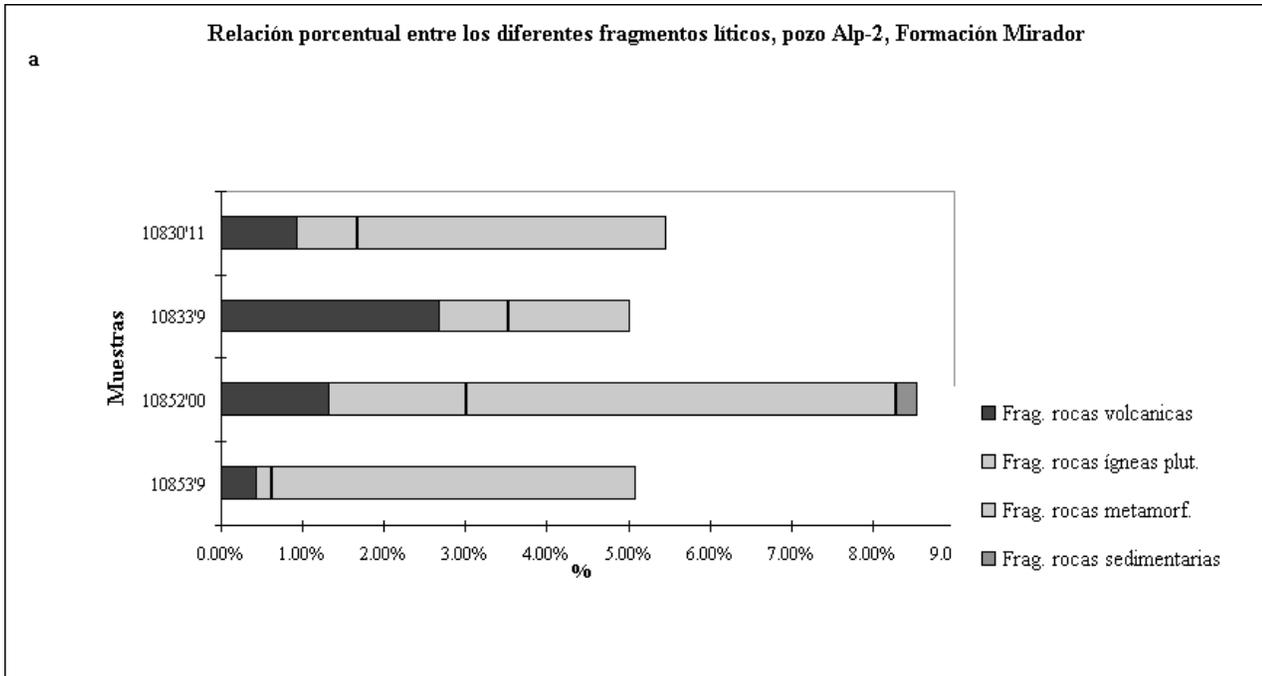


Figura 19. a) Gráfico de barras que muestra la relación porcentual entre los diferentes fragmentos líticos presentes en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alp-2  
 b) Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre los diferentes fragmentos líticos presentes en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alp-2

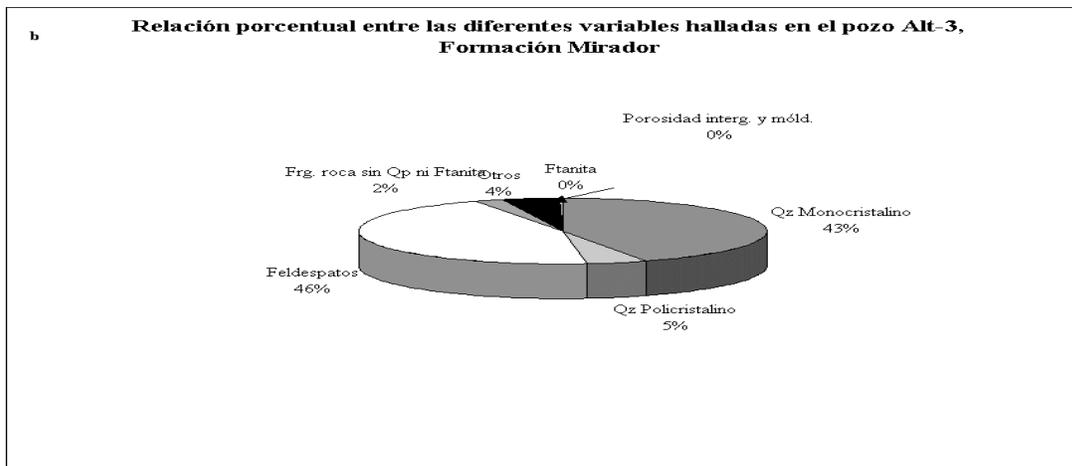
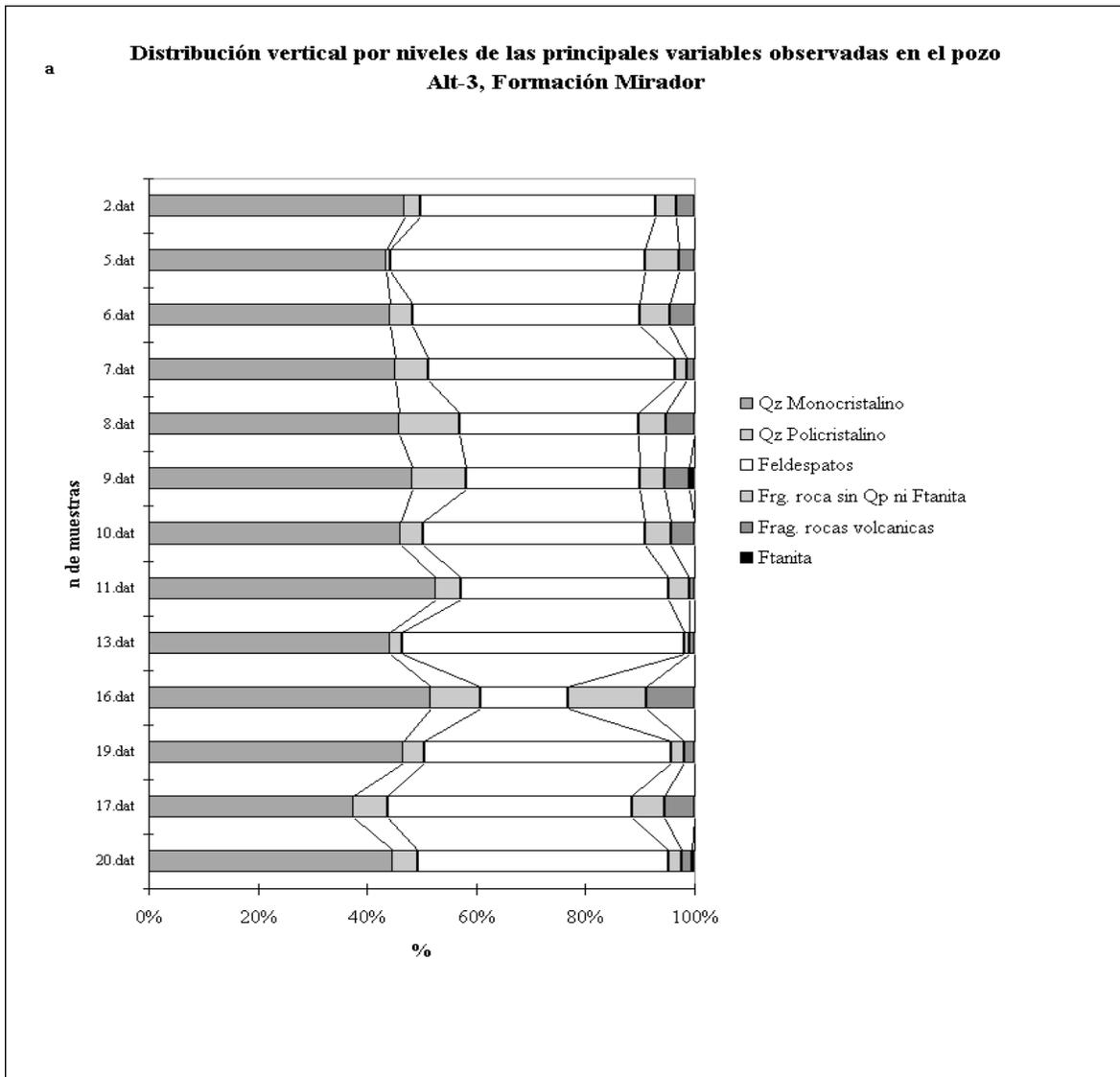


Figura 20. a) Gráfico de barras que muestra la relación porcentual entre las diferentes variables observadas en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3

b) Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre las diferentes variables observadas en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3

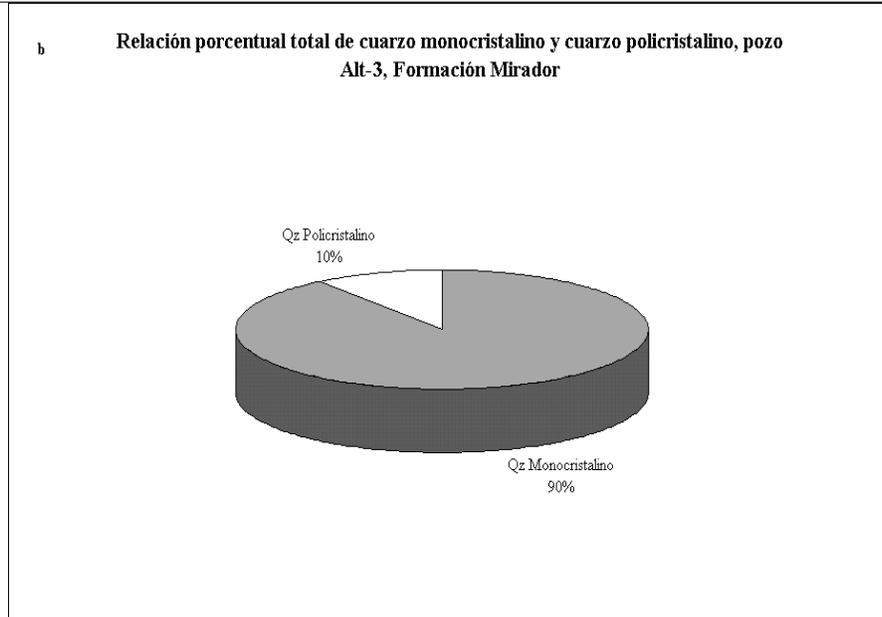
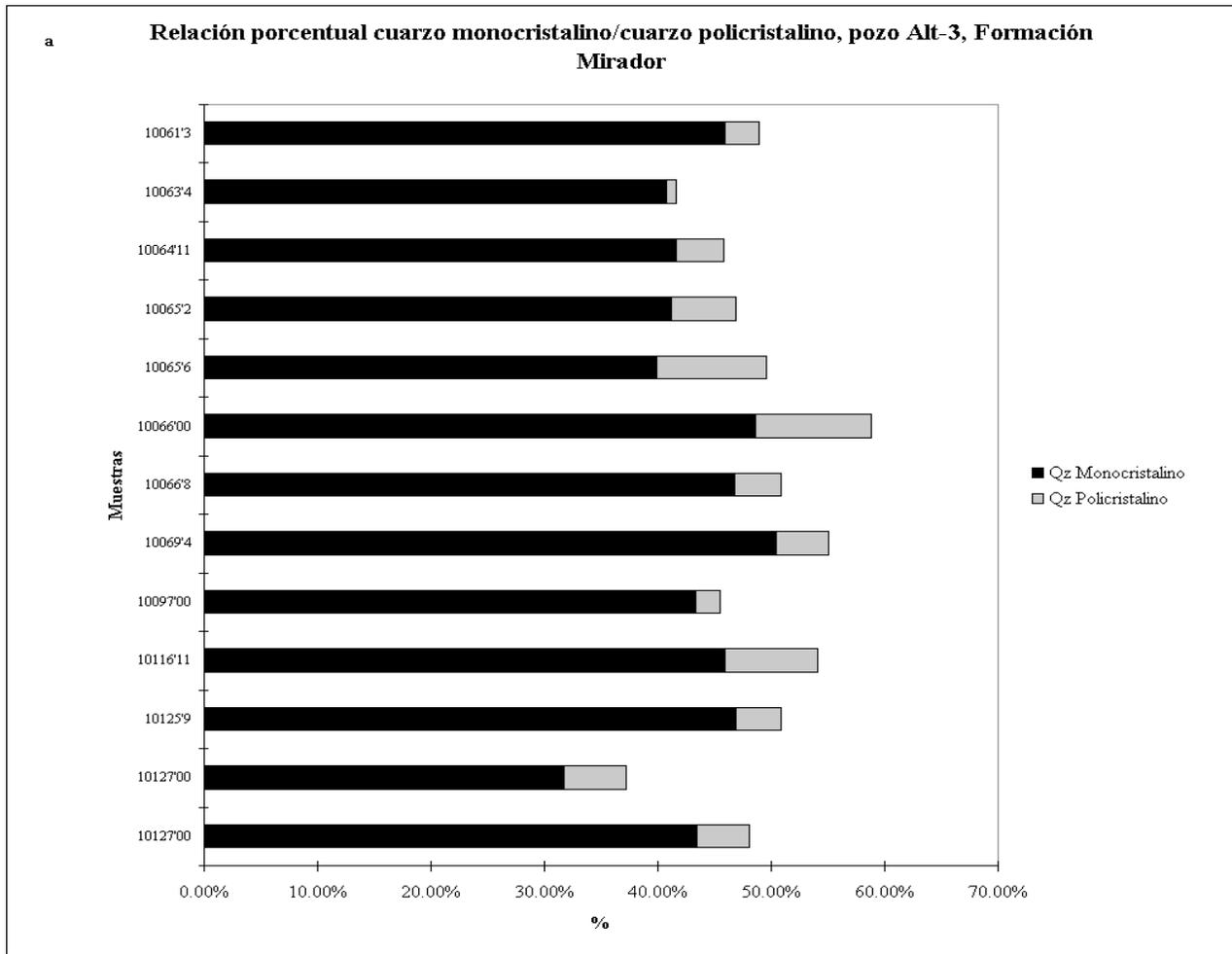
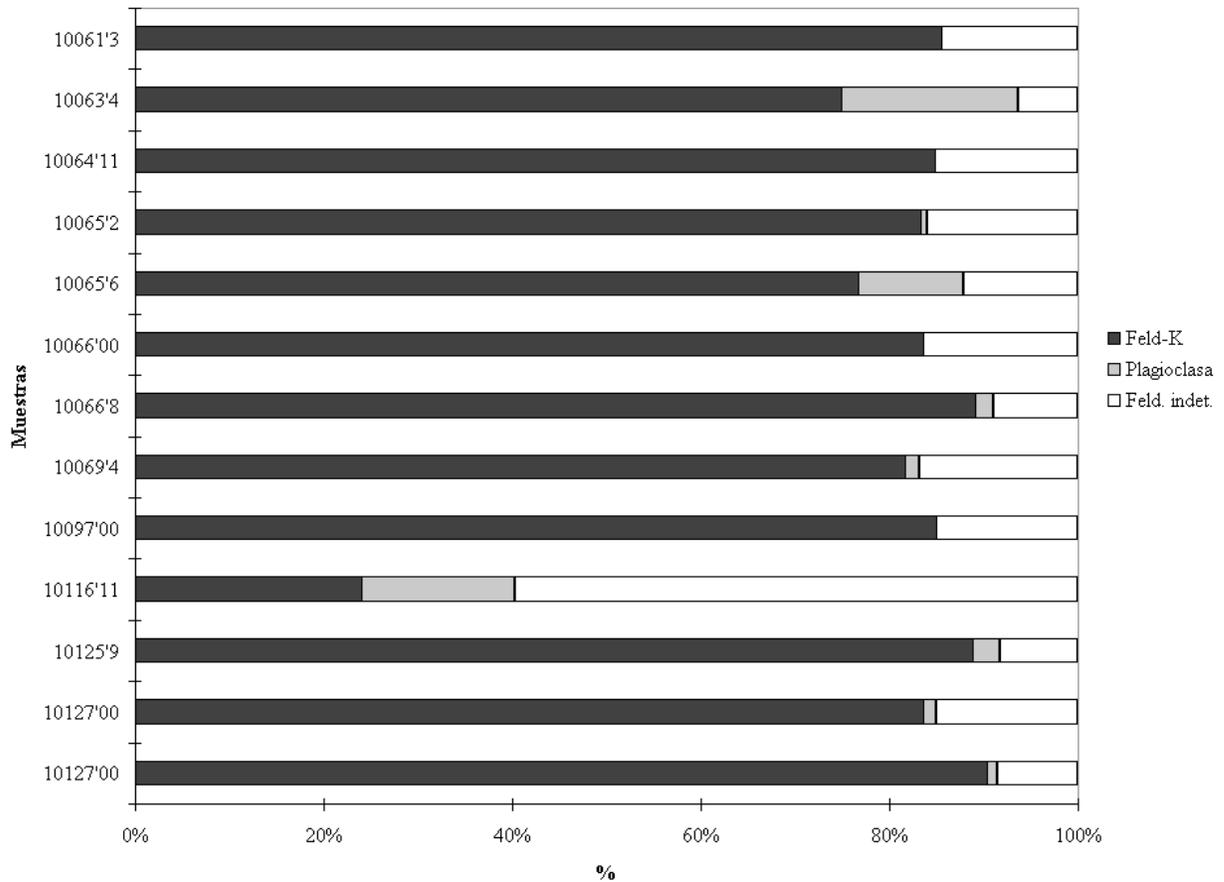


Figura 21. a) Gráfico de barras que muestra la relación porcentual entre el cuarzo monocristalino y el cuarzo policristalino en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3

b) Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre el cuarzo monocristalino y el cuarzo policristalino en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3

a

**Relación porcentual feld.-k, plagioclasas, feld. indet, pozo Alt-3, Formación Mirador**



b

**Relación porcentual total de feld.-k, plagioclasas, feld. indeterminados, pozo Alt-3, Formación Mirador**

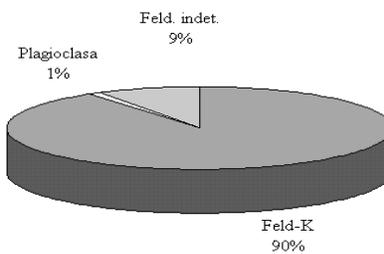


Figura 22. a) Gráfico de barras que muestra la relación porcentual entre feldespatos potásicos, plagioclasas y feldespatos indeterminados en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3

b) Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre feldespatos potásicos, plagioclasas y feldespatos indeterminados en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3

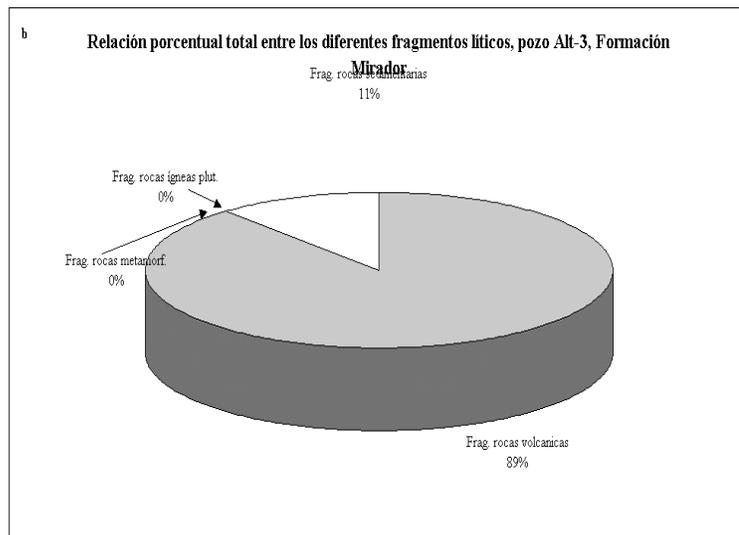
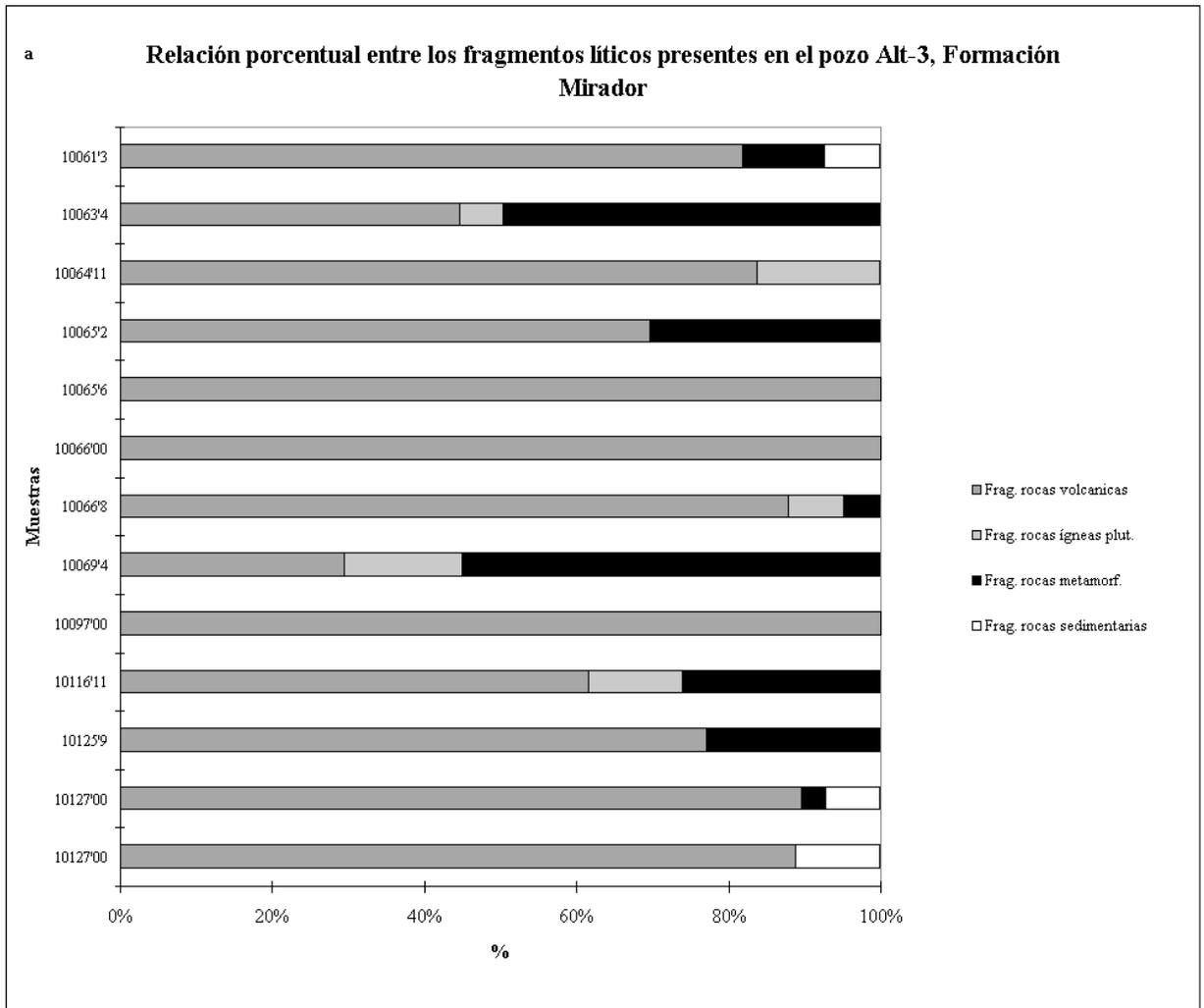
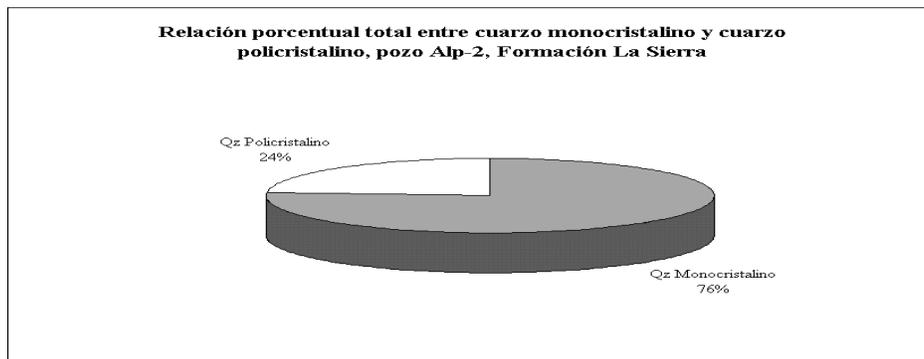
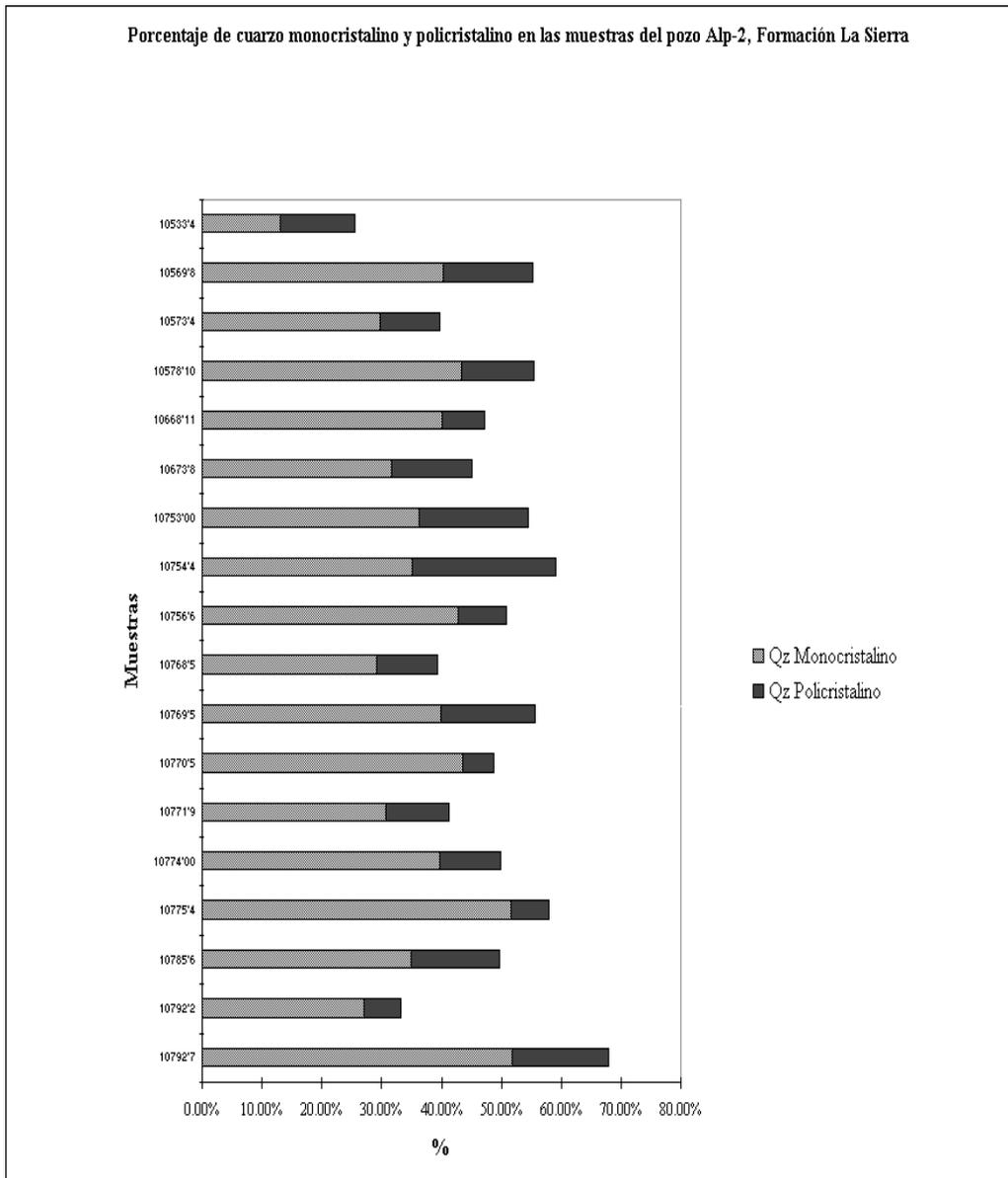


Figura 23. a) Gráfico de barras que muestra la relación porcentual entre los diferentes fragmentos líticos observados en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3

b) Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre los diferentes fragmentos líticos observados en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3



*Figura 24. a) Gráfico de barras que muestra la distribución porcentual de las variables Cuarzo monocristalino y Cuarzo policristalino, Formación La Sierra, pozo Alp-2  
 b) Gráfico de torta que muestra la distribución porcentual de las variables Cuarzo monocristalino y Cuarzo policristalino, Formación La Sierra, pozo Alp-2*

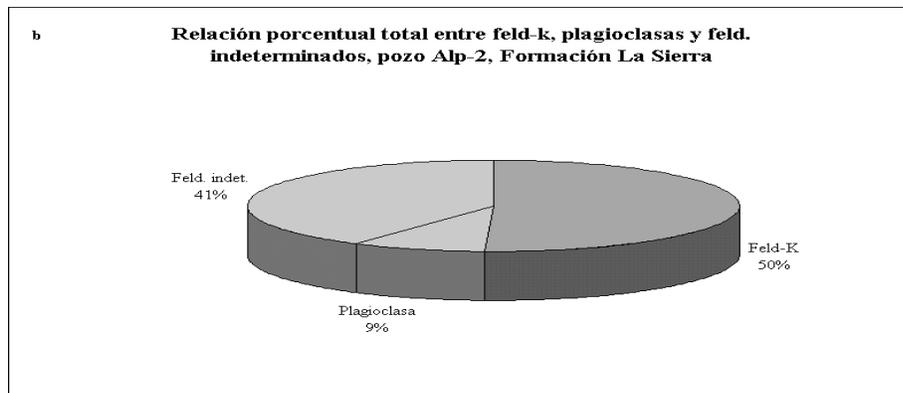
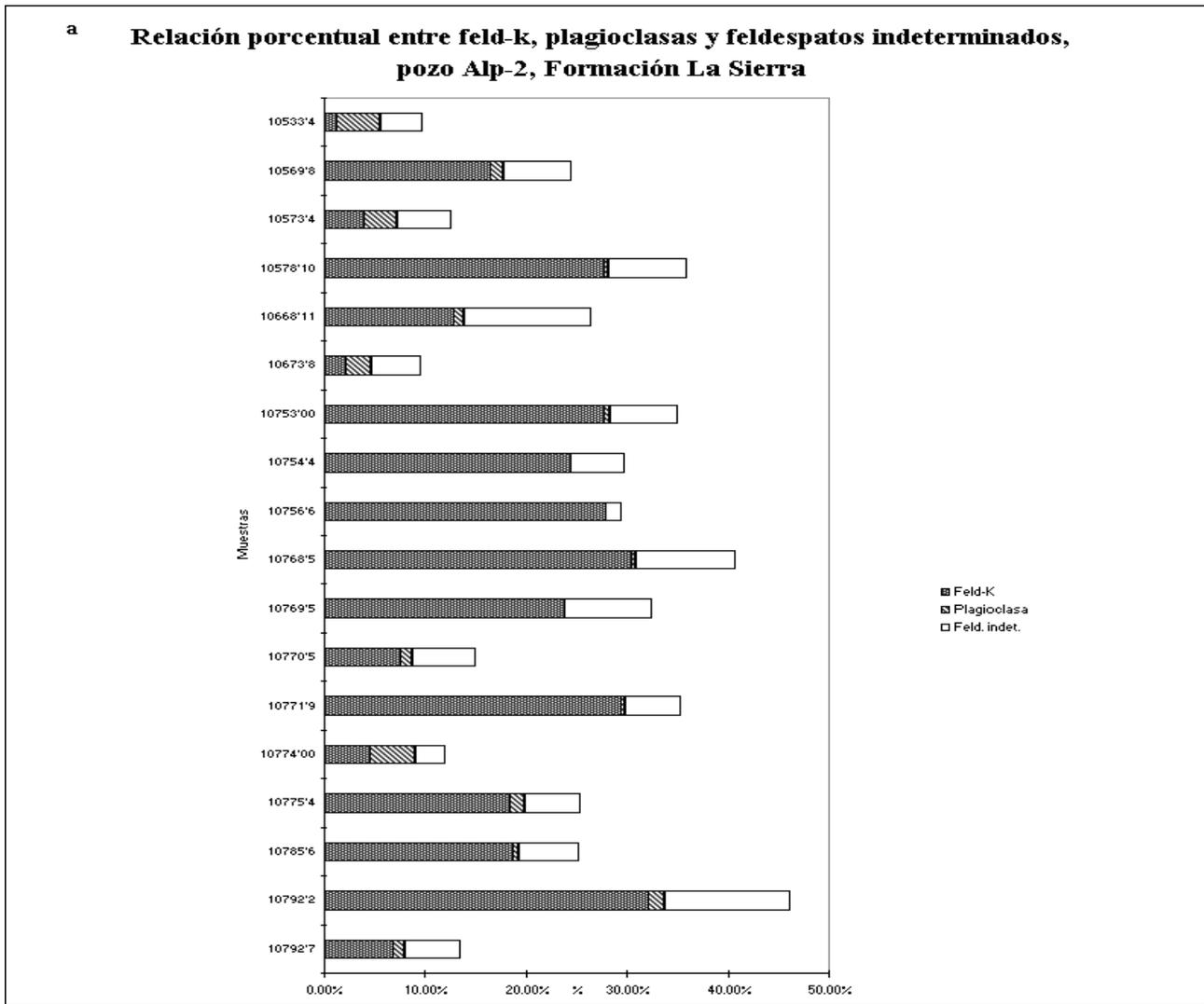
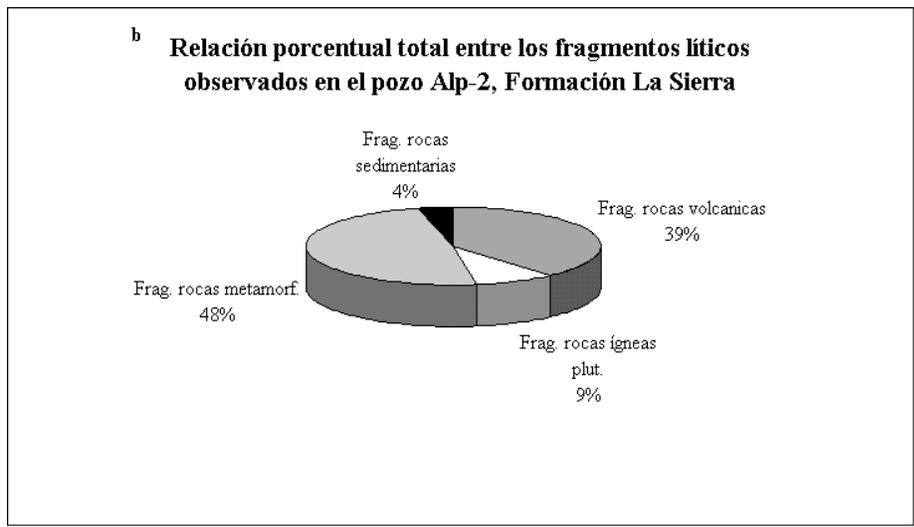
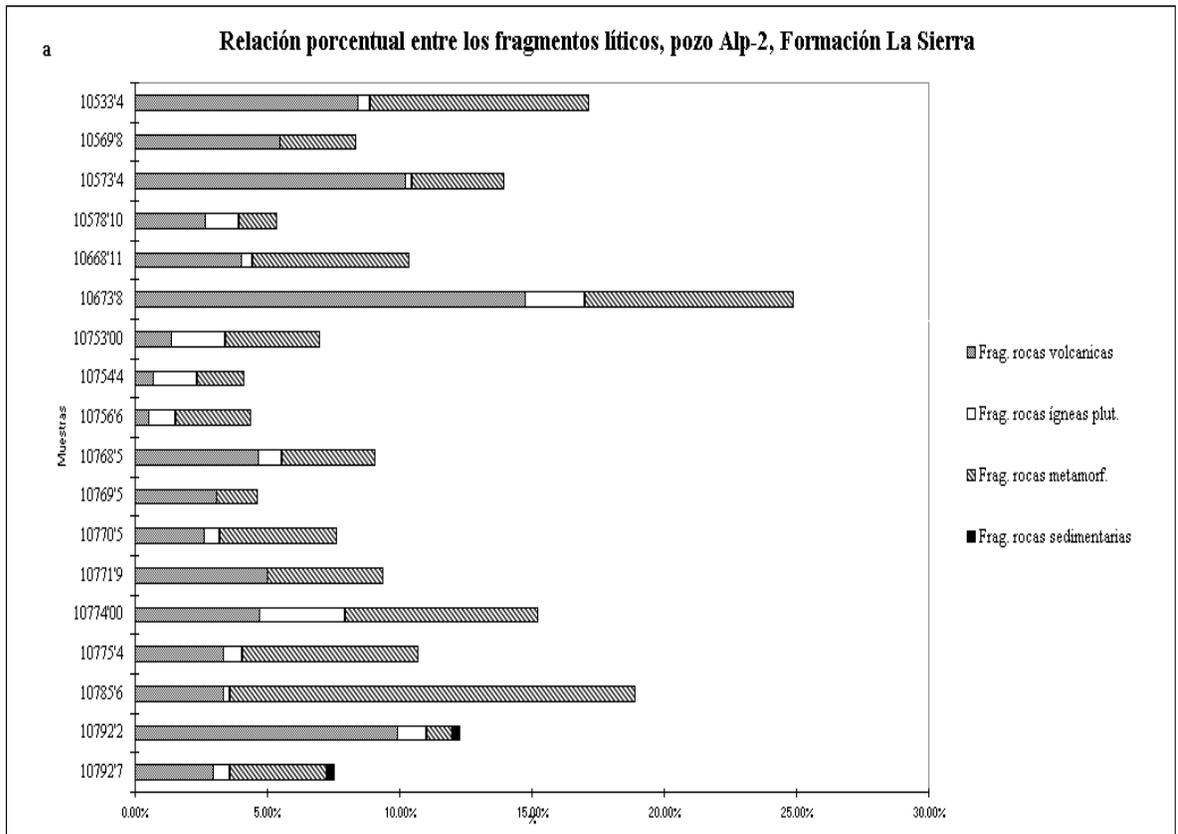


Figura 25. a) Gráfico de barras que muestran la relación porcentual entre feldespatos potásicos, plagioclasa y feldespatos indeterminados en las muestras de la Formación La Sierra, pozo Alp-2

b) Gráfico de torta que muestran la relación porcentual entre feldespatos potásicos, plagioclasa y feldespatos indeterminados en las muestras de la Formación La Sierra, pozo Alp-2



*Figura 26. a) Gráfico de barras que muestra la relación porcentual entre los diferentes fragmentos líticos observados en las muestras de la Formación La Sierra, pozo Alp-2*

*b) Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre los diferentes fragmentos líticos observados en las muestras de la Formación La Sierra, pozo Alp-2*

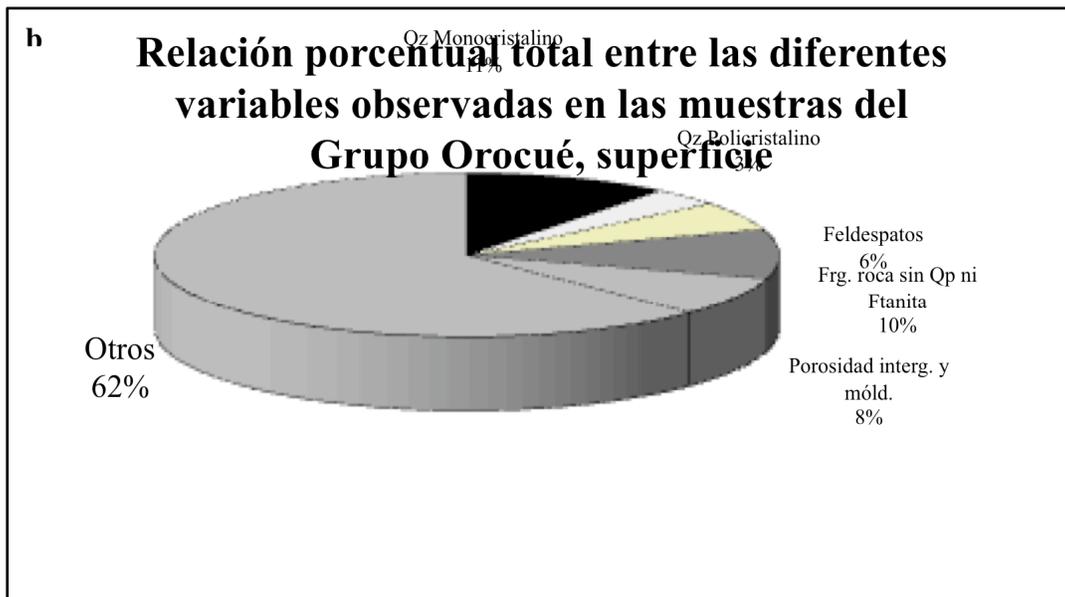
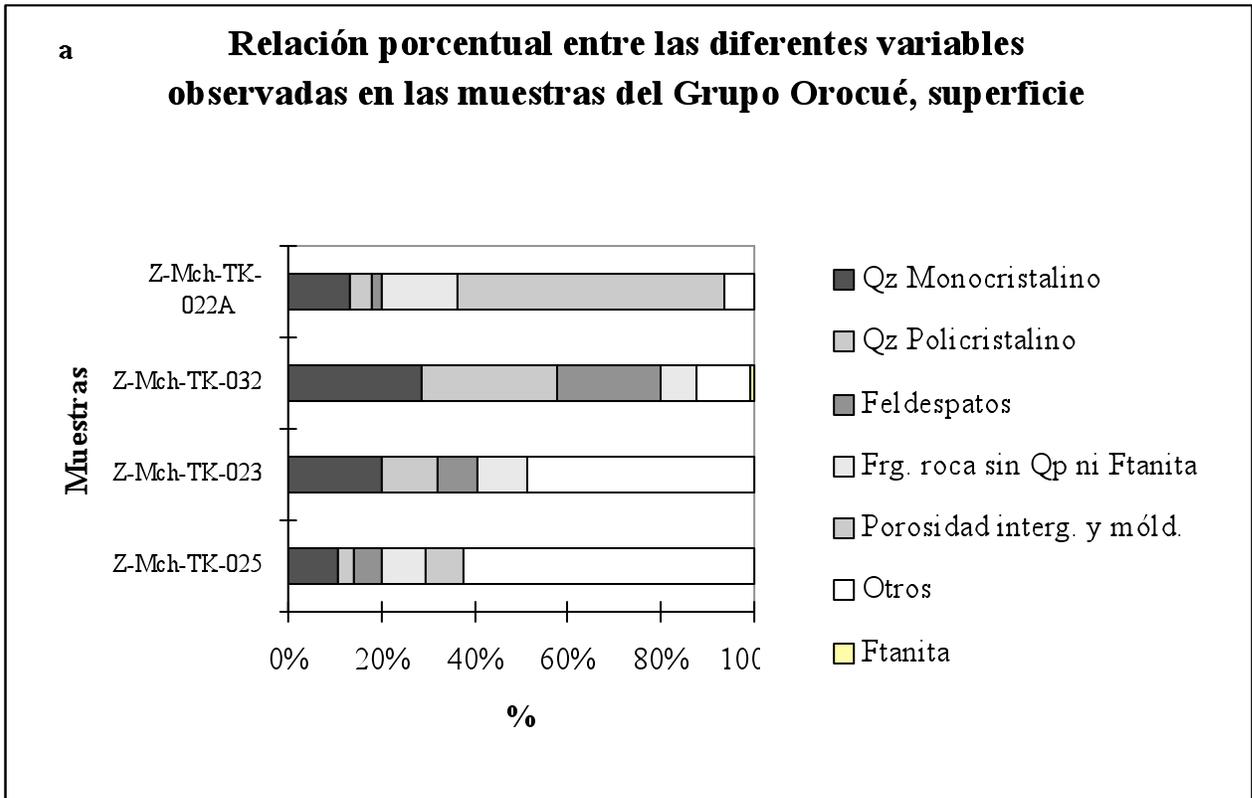
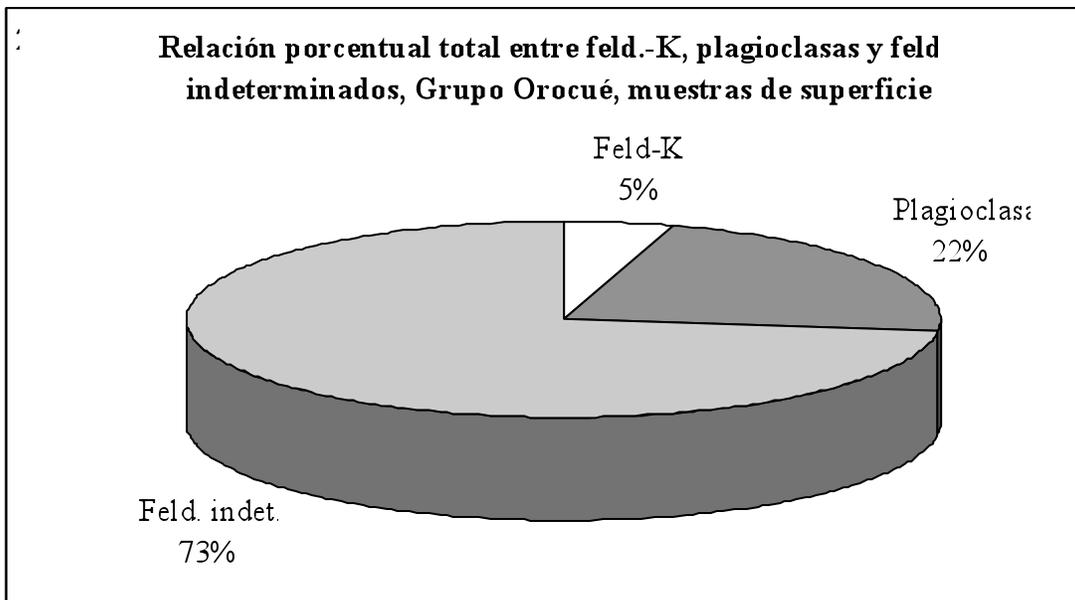
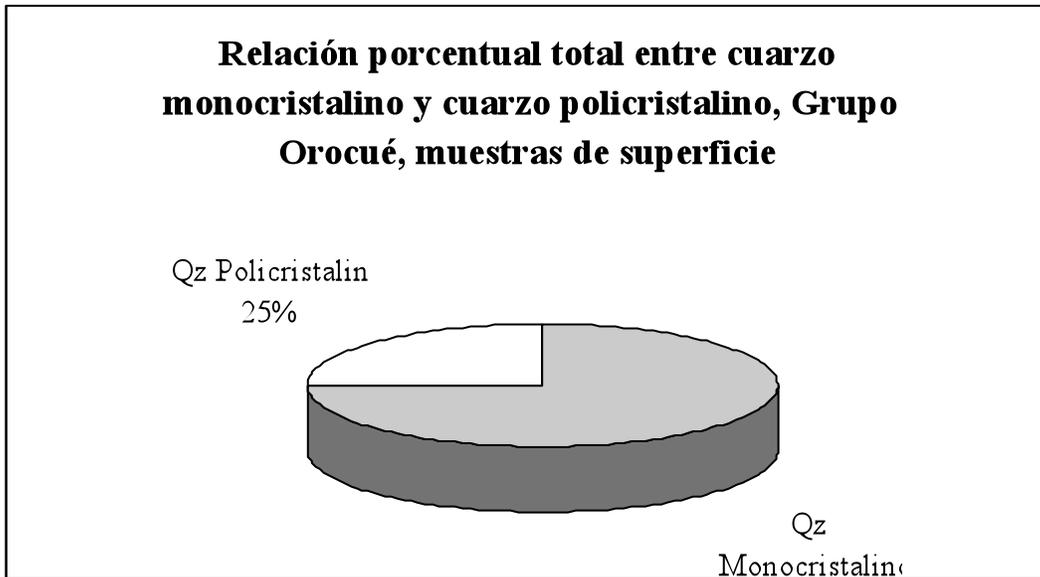


Figura 27. a) Gráfico de barras que muestra la relación porcentual entre las diferentes variables observadas en las muestras del Grupo Orocué, superficie

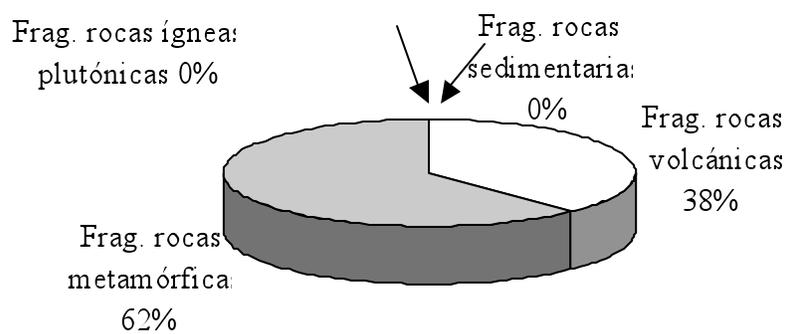
b) Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre las diferentes variables observadas en las muestras del Grupo Orocué, superficie



*Figura 28. Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre el cuarzo monocrystalino y el cuarzo policristalino en las muestras del Grupo Orocué, superficie*

*Figura 29. Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre los feldespatos K, las plagioclasas y los feldespatos indeterminados en las muestras del Grupo Orocué, superficie*

**Relación porcentual total entre los diferentes tipos de fragmentos líticos presentes en las muestras de superficie, Grupo Orocué**



*Figura 30. Gráfico que muestra la relación porcentual entre los diferentes fragmentos líticos observados en las muestras del Grupo Orocué, superficie*

Por inspección de esta tabla, como también en base a los modelos ya propuestos por OSTOS (1990), LUGO y MANN (1995) y por medio de la interpretación de las líneas sísmicas puede establecerse que la fuente para el Eoceno-Eoceno superior-Oligoceno inferior (formaciones Mirador y La Sierra) provienen del E-NE del lago de Maracaibo, aunque con algunas evidencias que mencionan que localmente existen direcciones de aportes diferentes a la ya establecida. De esta manera, pudiese estar hablándose de fuentes como las napas que se estuvieron emplazando al este del lago de Maracaibo para el Eoceno, así como elementos como la Cordillera de la Costa, aunque no habría que descartar como fuente al Arco de Mérida (también al este del área de trabajo) o a la Cordillera Central de Colombia.

NOMBRE	UBICACIÓN	COMPOSICIÓN	MINERALOGÍA DIAGNÓSTICA
		1- Provincia de Imataca: Gnesis graníticos migmatíticos y no migmatíticos; granulitas félsicas rojas y verdes; gneisoligoclásico-cuarzo-biotítico; gneis granítico	Circón, turmalina,
ESCUDO DE GUAYANA	SUR ESTE	2-Provincia de Pastora: (Complejo de Supamo) metalimolitas volcánicas, metareniscas feldespáticas; trondjhemitas, granodioritas, cuarzo-dioritas. (Grupo Carichapo) anfíbolitas, esquistos anfibólicos-biotíticos-epidóticos-albíticos (batolito Vuelvan Caras) cuarzomonzonita-biotítico	Epidoto,
		3- Provincia de Cuchivero: (rocas plutónicas) granitos alcalinos, granitos y cuarzomonzonitas, granodioritas, tonalitas, dioritas, rocas volcánicas, tobas de composición riolítica-alcalina, riolita, dacita latita cuarcífera	Apatito

NOMBRE	UBICACIÓN	COMPOSICIÓN	MINERALOGÍA DIAGNÓSTICA
		1-Formación Mucuchachí: varía de pizarras con tendencia filítica y brillo sercítico, fosilífera a pizarras de color gris oscuro a verdoso con tendencia filítica, metareniscas	Granate
ARCO DE MÉRIDA y ROCAS DE LA PLATAFORMA CRETÁCICA	SUR	2- Formación El Águila: cuarcitas, filitas y metalimolitas micáceas cloríticas y algunas de ellas muestran porfidoblastos de granate (Miembro El Balcón)	micas, clorita,
		3- Formación Río Momboy: filitas con biotita generalmente en porfidoblastos y cuarcitas	estaurolita,
		4- Intrusiones graníticas	
		5-Rocas sedimentarias de las formaciones La Luna, Colón, y parte del Grupo Cogollo (Apón, Lisure y Maraca)	fragmentos sedimentarios

NOMBRE	UBICACIÓN	COMPOSICIÓN	MINERALOGÍA DIAGNÓSTICA
		A-CADENA CARIBE	Granate, cianita
			Fragmentos de rocas volcánicas
CADENA CARIBE Y PENÍNSULA DE PARAGUANÁ	NOR-NOROESTE	1- Cinturón Cordillera de La Costa: Complejo Sebastopol, gneis granítico; Formación Tacagua, esquistos sericíticos, epidóticos, esquistos cuarzo-grafitosos, anfíbolita, esquistos cuarzo-grafitosos-cloríticos y metacuarcitas granatíferas y epidóticas	Fragmentos de rocas sedimentarias
		2- Cinturón Caucagua-El Tinaco: gneis hornblendítico-cuarzo-plagioclásico, gneis plagioclásico-cuarzoso, anfíbolitas, metavolcánicas alcalinas no orogénicas, intrusiones metadioríticas y metatrandjhemíticas	Circón, turmalina
			Estauroлита

NOMBRE	UBICACIÓN	COMPOSICIÓN	MINERALOGÍA DIAGNÓSTICA
		3- Cinturón Paracotos: Napas ofiolíticas, harzburgitas, serpentinas y gabros (Peridotita de Loma de Hierro); lavas almohadilladas y brechas volcánicas, lavas intrusionadas por diques gabroides (Formación Tiara), volcánicas sin metamorfizar y volcanoclásticas (Formación Dos Hermanas)	Granate, cianita
			fragmentos de rocas volcánicas
CADENA CARIBE Y PENÍNSULA DE PARAGUANÁ	NOR-NOROESTE	4- Cinturón Villa de Cura: metasedimentarias (mayormente volcanoclásticas) y metavolcánicas. Complejo de rocas Ultramáficas de Chacao: piroxenitas oliviníferas, magnetítica-olivínífera y magnetítica-hornbléndica. Gabro bипiroxénico y hornblendítico y diques de gabro	fragmentos de rocas sedimentarias
		5-Complejo de Peridotita de Tinaquillo: está compuesto por harzburgitas, dunitas, serpentinitas, metagabros y piroxenitas	circón, turmalina
		6- Ofiolita de Siquisique: gabros y lavas almohadilladas con lentes de lutitas	estauroлита

NOMBRE	UBICACIÓN	COMPOSICIÓN	MINERALOGÍA DIAGNÓSTICA
CORDILLERA CENTRAL COLOMBIANA	OESTE-SUROESTE	Anfibolitas, esquistos verdes y azules, eclogitas, rocas máficas y ultramáficas y sus equivalentes metamórfico, rocas volcánicas máficas y rocas graníticas. Rocas metasedimentarias con grafito, pelitas carbonáceas metamorfizadas, wacas y grawacas, mármoles, tobas volcánicas, rocas verdes, esquistos verdes, anfibolitas, migmatitas y metamórficas de alta P/T	fragmentos de rocas sedimentarias y de rocas metamórficas, granate

*Tabla2. Tabla donde se muestra la composición de las diferentes fuentes de aporte en el occidente de Venezuela. Tomado y modificado de Cardozo (1996)*

## 4. Procedencia. Diagramas Ternarios de procedencia

### 4.1 Generalidades

El uso de modos cuantitativos a partir de conteos modales en secciones finas de areniscas ha sido bien establecido en el trabajo de DICKINSON Y SUCZEK (1979) a través de los diagramas triangulares “Q-F-L”, “Qm-F-Lt”.

En el diagrama “Q-F-L” se involucra toda la población de granos; el vértice Q incluye todos los tipos de cuarzo detrítico (monocristalino Qm y policristalino Qp); el vértice F representa a todos los feldespatos presentes (plagioclasas y feldespatos potásicos) y el vértice L incluye a los granos policristalinos inestables de origen volcánico Lv y de origen sedimentario Ls, así como también las variedades metamórficas. Este diagrama tiene la función de establecer la estabilidad mineralógica de las areniscas así como también el grado de meteorización a la que fue sometida la fuente de sedimentos, el tipo de roca que generó los sedimentos del área fuente y posibles mecanismos de transporte de los granos (ASCANIO y HUNG, 1992).

En el diagrama Qm-F-Lt, donde igualmente se encuentra involucrada toda la población de granos, el vértice Qm representa sólo los cuarzos monocristalinos; el vértice F involucra a todos los feldespatos (plagioclasas y feldespatos potásicos) y el extremo Lt, además de involucrar a los fragmentos líticos Lv y Ls también toma en cuenta los fragmentos de cuarzo policristalino inestables Qp. Este diagrama trata de indicar el tamaño de grano de la roca fuente, ya que si esta es de grano fino aportará más fragmentos líticos en la fracción arena que una fuente de sedimentos de grano grueso (DICKINSON y SUCZEK, 1979).

Según DICKINSON *et al.* (1983), el tipo de fuente de sedimentos para rocas que provienen de un orógeno reciclado son secuencias de estratos y rocas volcánicas subordinadas, en parte metamorizadas, expuestas a la erosión debido al levantamiento orogénico del cinturón de plegamiento y fallamiento, y la fuente de sedimentos cuyo origen es un bloque continental provienen tanto de una plataforma y escudo estable o de levantamientos que marcan límites de placas o de deformaciones intraplacas que transectan el bloque continental.

El carácter petrológico del área fuente, la naturaleza de los procesos sedimentarios dentro de la cuenca de depositación y la trayectoria que enlaza al área fuente con la cuenca de depositación, son factores que influyen notablemente en la composición de las areniscas; de ahí que la clave que existe entre el área fuente y la cuenca de depositación está gobernada por la deformación tectónica sufrida por los terrenos involucrados en el proceso (DICKINSON y SUCZEK, 1979).

DICKINSON y SUCZEK (1979) y DICKINSON *et al.* (1983) proponen varios tipos de área fuente, las cuales son controladas por la tectónica de placas, y son agrupadas en distintos campos definidos en diagramas ternarios. Estos diagramas están caracterizados por el tipo de variables que envuelven (mencionados anteriormente). Consecuentemente, se distinguen

tres tipos de procedencia principales, las cuales a su vez se encuentran divididas en subgrupos. Los distintos tipos de procedencia se aprecian en la siguiente tabla (Tabla 3)

BLOQUE CONTINENTAL	ARCO MAGMÁTICO	ORÓGENO RECICLADO
Cratón interior	Disectado	Complejo de subducción
Transicional	Transicional	Orógeno transicional
Basamento expuesto (levantado)	No disectado	<i>Foreland</i> expuesto

Tabla 3. Procedencia de clásticos (DICKINSON *et al.*, 1983)

Los sedimentos procedentes de bloques continentales constituyen tipos de areniscas derivados de amplias zonas positivas de áreas cratónicas estables, de bloques de basamento localmente expuestos y limitados por fallas, o de áreas transicionales entre el cratón y bloques de basamento expuestos a lo largo de discontinuidades estructurales. En el primer caso, se tienen areniscas típicamente cuarzosas cuyo contenido de feldespatos aumenta a medida que disminuye la madurez mineralógica de la roca. En el segundo caso se presentan las arcosas, cuando se produce una rápida erosión de los terrenos expuestos, y las areniscas más líticas proceden de una cubierta sedimentaria o metamórfica que enmascara la litología (gnéisica o granítica) de los bloques de basamento. Por otro lado, los sedimentos derivados de arcos magmáticos constituyen areniscas principalmente procedentes de arcos magmáticos no disectados, disectados y de zonas transicionales entre los otros dos. En el primer caso se tienen areniscas líticas y volcanoclásticas, con la presencia de granos de plagioclasa. Estos últimos se pueden encontrar en mayor proporción dentro de la roca en comparación a los fragmentos líticos volcánicos, lo cual pudiese ser interpretado como un intenso retrabajo al que pueden ser sometidos los fragmentos líticos volcánicos. En el caso de los arcos disectados, las areniscas contienen una mezcla de sedimentos de origen plutónico y volcánico. Los sedimentos derivados de orógenos reciclados, proceden de terrenos plegados y fallados, constituidos principalmente por rocas de origen sedimentario y metasedimentario. DICKINSON y SUCZEK (1979) dividen la procedencia de orógeno reciclado en complejos de subducción, orógenos colisionales y cuencas *foreland* expuestas con el cinturón de corrimientos asociado. Entre las rocas asociadas al complejo de subducción, tectónicamente elevados y expuestos, se tienen areniscas con alto contenido de chert, rocas verdes, argilitas, grauwas y algunas calizas. La composición de las rocas procedentes de orógenos colisionales dependerá de la composición de los terrenos involucrados en la colisión; sin embargo, de una manera general se tienen rocas con un alto contenido de fragmentos líticos sedimentarios y rocas de composición arcósica. Finalmente, las areniscas derivadas de cuencas *foreland* expuestas, se encuentran constituidas por fragmentos líticos sedimentarios reciclados, con contenido intermedio a alto de cuarzo y menores cantidades de feldespatos.

En el trabajo de GUZMÁN (1995) se discute sobre aquellos trabajos publicados referentes a la composición de los sedimentos silicicoclásticos y su ambiente tectónico. Además, trata de una forma precisa cuales son los factores que condicionan la composición final de un sedimento detrítico.

El poder establecer como ha evolucionado un sedimento desde su producción como material proveniente de una roca preexistentes hasta su estadio final (cuena depositacional) acarrea una serie de análisis de los parámetros que intervienen en dicha evolución. El sistema que controla la composición de los sedimentos clásticos es el conjunto de parámetros y procesos que actúan sobre estos una vez incorporados a la superficie terrestre. Cualquier intento de establecer la naturaleza de la fuente de donde proceden estos sedimentos (o de los fenómenos tectónicos que la originan) debe tomar en cuenta : a) la composición mineralógica de la roca fuente ; b) la meteorización química y mecánica; c) la incorporación de minerales autigénicos e intracuena (tal es el caso de los carbonatos y la glauconita); d) el escogimiento hidrodinámico y retrabajo; e) la diagénesis. Estos parámetros son a su vez afectados por la procedencia tectónica, el clima, el relieve, la vegetación, la pendiente del terreno y la energía del sistema de transporte y sedimentación (JOHNSON, 1993; GUZMÁN, 1995)

Se discuten, a continuación, los efectos de cada parámetro que controla la composición final de los sedimentos.

- I. La composición de la roca fuente. Se encuentra controlada por su origen tectónico. Cuando actúan los medios exógenos de meteorización estas rocas son destruidas y sus componentes minerales constituyentes son entonces incorporados al medio sedimentario dependiendo de la intensidad de factores tales como el relieve y la pendiente
  
- II. Relieve, clima y vegetación. La tasa de erosión de rocas expuestas en la superficie de la tierra está relacionada al relieve y clima del área. Los efectos del relieve y del clima se encuentran también relacionados a la madurez topográfica de la región y por esto, a su origen tectónico. El clima actúa independientemente del tectonismo de la fuente. La pluviosidad y la temperatura son los agentes más importantes en el proceso de meteorización de las rocas. Estos agentes dependen de la latitud, elevación (altura), controlando además el crecimiento de la vegetación, la cual contribuye a la alteración biogénica del material original (GUZMÁN, 1995). En cualquiera de las condiciones climáticas en la superficie terrestre, los minerales máficos son destruidos más fácilmente que los silíceos, lo que resulta en una población residual de granos de arena enriquecidos en fases más estables químicamente , que es el caso del cuarzo. La meteorización promedio de una roca ígnea, por ejemplo, resulta en 11% de granos de tamaño arena, 74% de granos tamaño arcilla y limo y 15% de carbonatos (GARRELS y MACKENZIE, 1971). En el caso de una roca ígnea félsica, la producción de sedimentos tamaño arena es mayor, mientras que en las rocas máficas predomina la fracción fina. El efecto fundamental del relieve en la composición del sedimento es difícil de cuantificar, aunque está establecida su influencia en la predominancia de procesos químicos o mecánicos de desintegración. Varios trabajos mencionan que existe un efecto dual entre la procedencia tectónica y el régimen climático. DEVANEY e INGERSOLL (1993) y DUTTA y WHEAT (1993) establecen que los efectos de la intensidad del tectonismo sobre los efectos del clima son predominantes durante períodos de actividad orogénica rejuvenecida.

III. Efectos del transporte. Los procesos continuos de meteorización química, además de los procesos de abrasión, ruptura mecánica, selección hidráulica y mezcla son comunes en todo aquello que se relaciona con transporte en medios fluviales. El resultado neto de todos estos procesos es el de destruir los minerales más inestables, en particular los feldespatos y los constituyentes lábiles de fragmentos de roca (GUZMÁN, 1995).

IV. Relación entre composición y textura. Han sido muchos los autores que señalan que todas las partículas clásticas son dependientes del tamaño de grano (BLATT, 1967; BOGGS; DAVIES y ETHERIDGE, 1975; BLATT *et al.*, 1980; ZUFFA, 1985). DAVIES y ETHERIDGE (1975) demuestran estadísticamente que la composición y la textura se encuentran interrelacionadas. Debido a la dependencia de la composición respecto al tamaño de grano, el escogimiento hidrodinámico es responsable por las drásticas diferencias en composición entre la carga de fondo y la carga en suspensión de la mayoría de los ríos. La mezcla resultante de la confluencia de varios ríos es también factor perturbante de importancia en la historia composicional original del sedimento.

V. Efectos del ambiente final de sedimentación. Las partículas sedimentarias sufren importantes modificaciones al pasar por diversos ambientes de sedimentación y al llegar a su ambiente final previo al soterramiento (GUZMÁN, 1995). DAVIES y ETHERIDGE (1975) realizaron trabajos estadísticos multivariados, llegando a la conclusión que la composición de las areniscas modernas y antiguas es dependiente del ambiente de sedimentación. MACK (1978) menciona que los cambios composicionales en las unidades clásticas Cutler y Cedar, en Utah (EE.UU.) no son debidos a cambios en la fuente, ni a cambios climáticos ni a diagénesis, sino que dependen exclusivamente del ambiente de sedimentación.

VI. Efectos de soterramiento y diagénesis. Los procesos de modificación diagenética ocurren a partir del soterramiento inicial de los sedimentos. La diagénesis tiene un efecto modificador neto en la composición original y es por esta razón que es necesario reconstruirla a partir de evidencias dejadas por los procesos de alteración. Los cambios en la composición se deben a la destrucción de feldespatos y de fragmentos líticos, a la disolución de fases minerales inestables, al crecimiento de fases autigénicas y a la cementación (BJOLYKE, 1984; BOLES, 1984; FRANKS y FORESTER, 1984; MCBRIDE, 1985; HELMOD, 1985; SHANMUGAN, 1985; JOHNSON, 1993). Los principales procesos que hay que tomar en cuenta en el momento de realizar un estudio petrográfico que trate de caracterizar mineralógicamente una muestra son : disolución, reemplazo, compactación de granos dúctiles, oxidación y recristalización (GUZMAN, 1995).

Como ya se ha mencionado, las muestras estudiadas fueron graficadas en los triángulos discriminatorios utilizados por DICKINSON y SUCZEK (1979) y DICKINSON *et al.* (1983).

## 4.2 Interpretación de los triángulos de procedencia

En las Figuras 46 y 54 se muestran los triángulos utilizados por DICKINSON y SUCZEK (1979) y DICKINSON *et al.* (1983) y sobre los cuales fueron graficadas las muestras analizadas en el presente trabajo. Las Figuras 47 a la 61 representan las muestras ya graficadas sobre triángulos de procedencia. Las Figuras 47 a la 53 representan a los triángulos cuyas variables son Qt (cuarzo monocristalino + cuarzo policristalino), F (feldespatos = plagioclasas + feldespatos potásicos) y L (fragmentos líticos), mientras que las Figuras de la 55 a la 61 representan a los triángulos cuyas variables están representadas por Qm (cuarzo monocristalino), F (feldespatos = plagioclasas + feldespatos potásicos), Lt (fragmentos líticos = fragmentos de rocas + cuarzo policristalino).

La Figura 47 presenta todas las muestras estudiadas. En el análisis de este gráfico puede notarse que un gran porcentaje de los puntos establecen que los campos 2 y 3 engloban a estas muestras (continental transicional y basamento levantado respectivamente), aunque existen unas cuantas muestras que poseen un carácter de orógeno reciclado.

En la Figura 48, quedan establecidas tres poblaciones en la Formación La Sierra las cuales se relacionan con tres campos petrotectónicos diferentes. Se concentran más muestras en el campo de orógeno reciclado (campo 7), mientras que en el campo continental-transicional y el campo de basamento levantado se concentran aproximadamente el mismo número de muestras, siempre inferior al primero mencionado. Este análisis sería el mismo si sólo se tomaran las muestras del pozo Alp-2, tal como lo muestra la Figura 49.

La Figura 50 representa a las muestras correspondientes a la Formación Mirador. Prácticamente el 100% de las muestras establecen que el campo de procedencia es continental transicional (campo 2), hallándose unas pocas dentro del campo de basamento levantado y una única muestra dentro del campo del orógeno reciclado. Si se separasen las muestras tomadas por cada pozo (Alp-2 y Alt-3), podría notarse que prácticamente comparten el mismo campo (campo 2, continental transicional), por lo cual la ubicación geográfica entre estas muestras no juega un papel importante (Figuras 51 y 52).

En la Figura 53 se encuentra especificada la unidad y el sitio de donde provienen las muestras : Grupo Orocué, procedentes de superficie. En esta se muestra que el marco tectono-petroológico que caracteriza a esta unidad corresponde a un orógeno reciclado.

Las Figuras desde la 55 a la 56 representan los gráficos ternarios, donde las variables corresponden a Qm (cuarzo monocristalino), F (feldespatos = plagioclasas + feldespatos potásicos), Lt (fragmentos líticos totales = fragmentos de rocas + cuarzo policristalino).

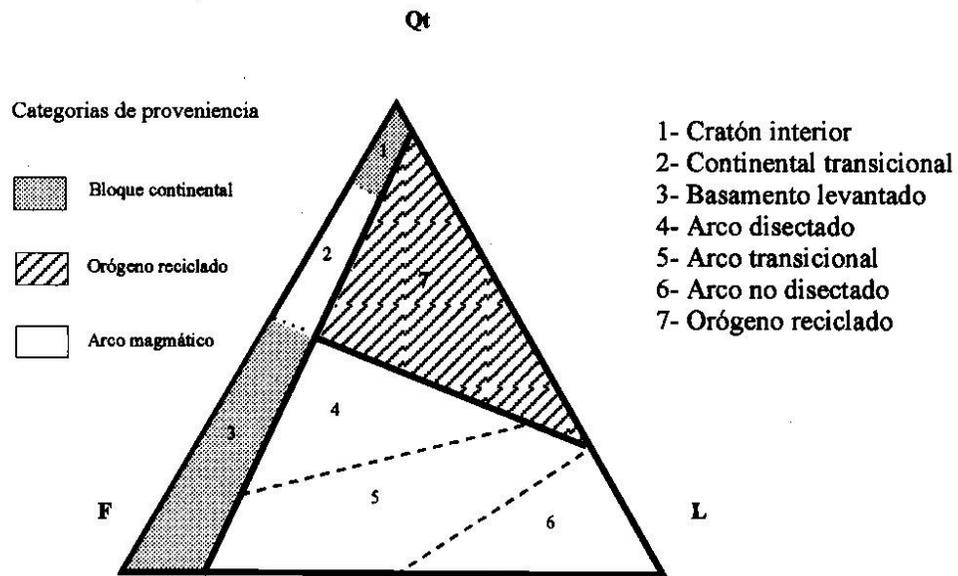


Figura 46. Triangulo Qt-F-L de procedencia segun Dickinson *et al.* (1983)

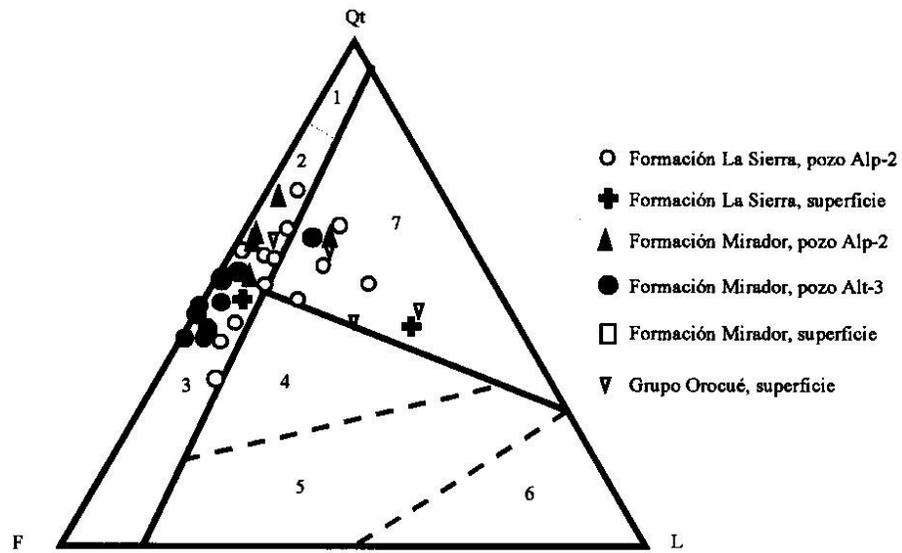


Figura 47. Triangulo Qt-F-L para todas las muestras

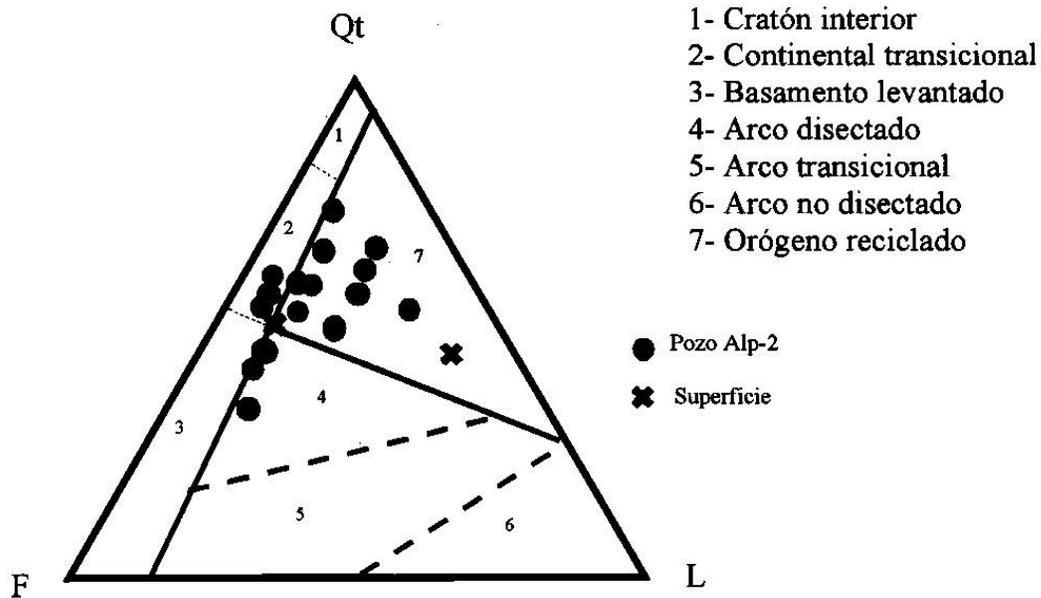


Figura 48. Triangulo Qt-F-L para todas las muestras analizadas de la Formacion La Sierra

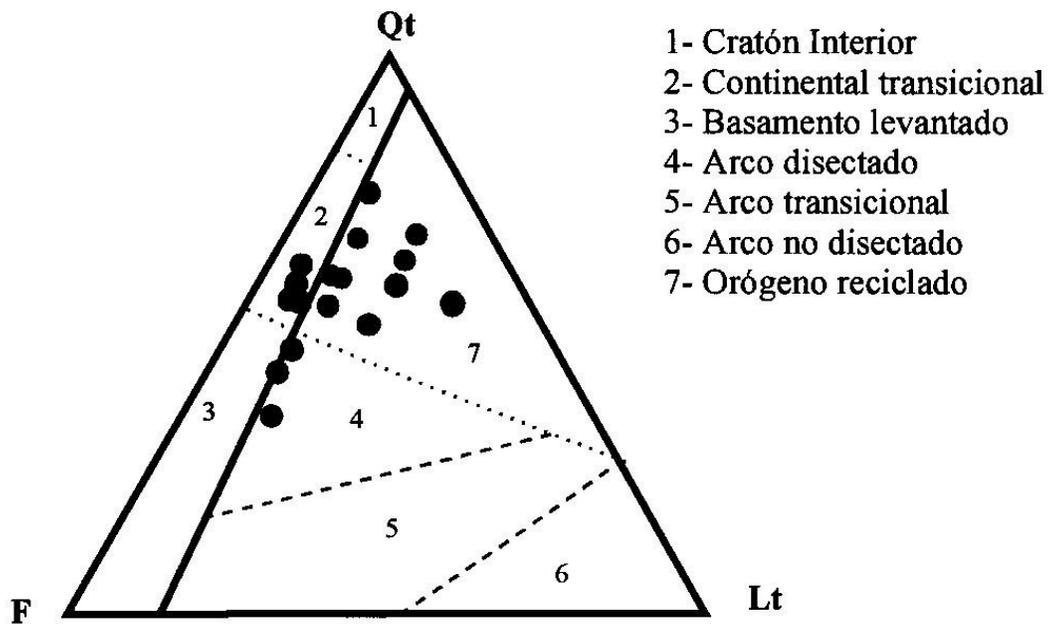


Figura 49. Triangulo Qt-F-L para las muestras analizadas de la Formacion La Sierra , pozo Alp-2

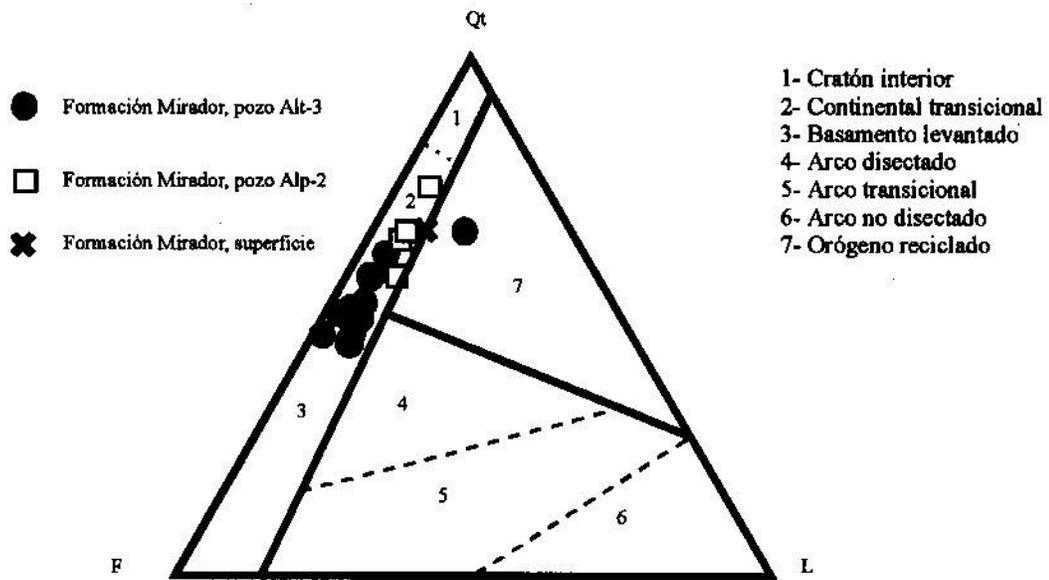


Figura 50. Triangulo Qt-F-L para la Formacion Mirador

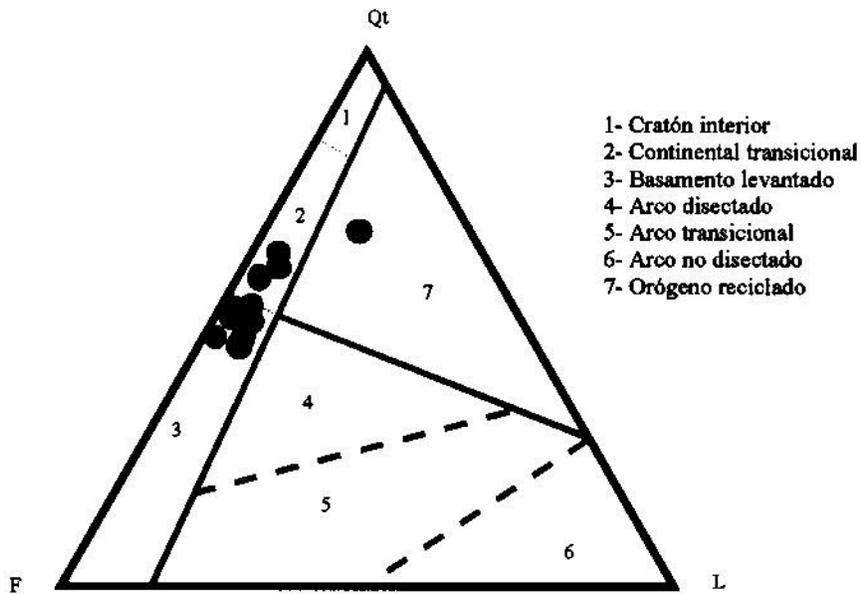


Figura 51. Triangulo Qt-F-L para la Formacion Mirador, pozo Alt-3

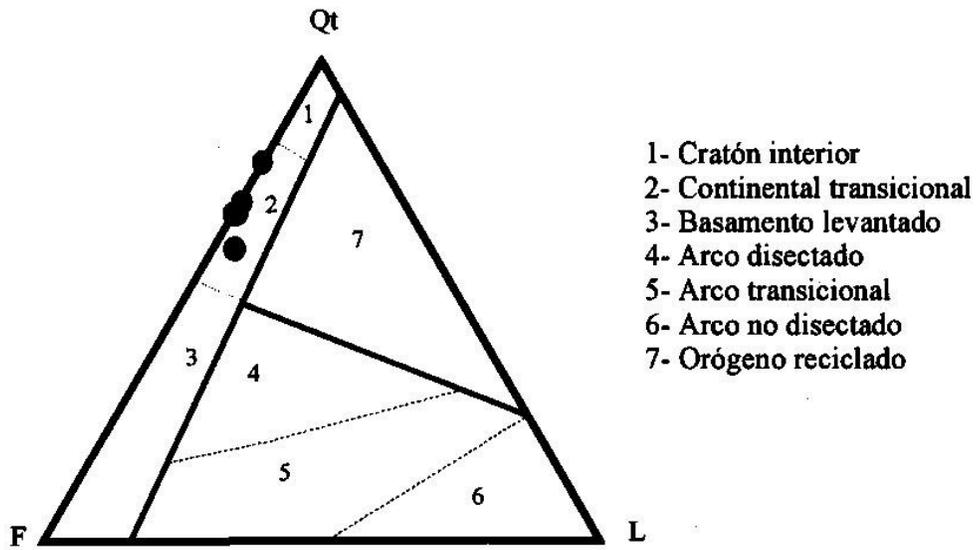


Figura 52. Triangulo Qt-F-L para la Formacion Mirador, pozo Alp-2

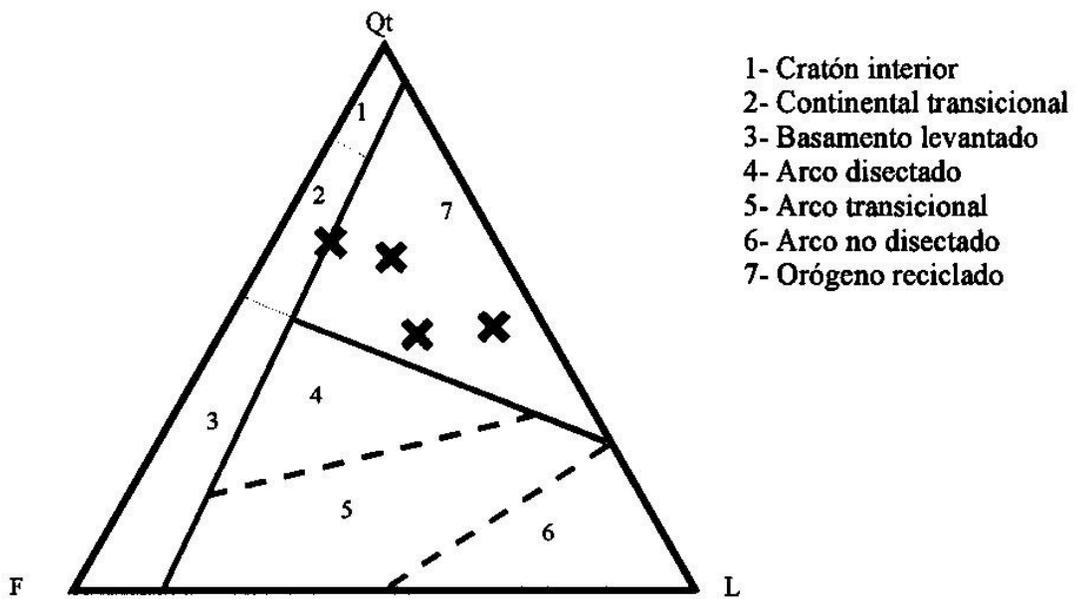


Figura 53. Triangulo Qt-F-L para las muestras del Grupo Orocué, provenientes de superficie

En la Figura 55 se encuentran graficadas todas las muestras, pudiéndose generalizar tres grandes campos : campo de basamento levantado (campo 3), campo de mezcla (campo 4), campo de arco disectado (campo 5), hallándose unas pocas muestras dentro del campo transicional reciclado (campo 9).

Discriminando por unidades, en la Figura 56 se encuentran graficadas las muestras tomadas en la Formación La Sierra. Puede observarse que existen dos poblaciones bien marcadas : una se encuentra ubicada dentro del campo de arco disectado, mientras que la otra población se encuentra dentro del campo de mezcla. Pudiese hablarse de una tercera población (pequeña en comparación frente a las dos anteriores) que estaría dentro del campo transicional reciclado. La Figura 57 muestra a aquellas pertenecientes a esta unidad pero que corresponden al pozo Alp-2, notándose que la distribución es prácticamente idéntica a la de la figura anterior.

En la Figura 58 se encuentran graficadas las muestras pertenecientes a la Formación Mirador. Puede notarse que existen dos grandes poblaciones: una población se encuentra dentro del campo de basamento levantado, mientras que la otra población se encuentra dentro del campo de mezcla. Siendo aún más específicos, en las figuras 59 y 60 se discriminan por ubicación geográfica y pozo donde fueron tomadas, pudiéndose observar que las muestras tomadas en el pozo Alt-3 caen prácticamente todas dentro del campo de basamento levantado, mientras que aquellas tomadas en el pozo Alp-2 están dentro del campo de mezcla.

En la Figura 61 pueden observarse graficadas las muestras pertenecientes al Grupo Orocué, las cuales abarcan los campos de mezcla y de arco disectado, con una muestra que cae dentro del campo transicional reciclado.

DICKINSON y SUCZEK (1979) trabajan en función de los fragmentos policristalinos estables (cuarzo policristalino) y los fragmentos inestables (fragmentos volcánicos Lv, sedimentarios y metasedimentarios Ls) y a partir de sus múltiples ensayos generaron un diagrama ternario con estas variables, determinando tres zonas o áreas de procedencia tectónica : una zona de complejo de subducción, una zona de arco orogénico y una zona de orógeno colisional (Figura 62).

Las muestras analizadas en este trabajo también fueron graficadas en este diagrama (Figura 63). En esta figura puede notarse que existe una gran dispersión, aunque pueden puntualizarse algunas cosas: a) un alto porcentaje de las muestras pertenecientes a la Formación Mirador se encuentran dentro del campo de orógeno colisional; b) el mayor porcentaje de todas las muestras analizadas no se encuentra en un campo específico (a lo sumo tres muestras de unidades estratigráficas diferentes se encuentran dentro del campo de complejo de subducción y dos muestras, también de unidades diferentes, se encuentran en el campo de arco orogénico). De esto, lo único concluyente que pudiese extraerse es que existen importantes indicios que mencionan que la Formación Mirador posee como fuente un orógeno colisional.

Revisando trabajos realizados en las áreas del centro-lago de Maracaibo y del área de Barinas, puede hallarse una base más para sostener las ideas propuestas dentro del actual informe. NÚÑEZ (1998) basado en la composición mineralógica de las rocas por él estudiadas (borde oriental del Lago de Maracaibo) por petrografía microscópica, los diagramas de procedencia y análisis de secciones sísmicas concluye que las arenas C inferior, C superior y B (todas incluidas dentro de la Formación Misoa) tienen procedencias distintas. Para las arenas C inferior, la procedencia es una combinación de terrenos característicos de bloque continental y de orógeno reciclado. NÚÑEZ (1998) propone que la fuente se encontraba localizada al sur (existe la presencia del mineral cloritoide, característico de las rocas expuestas en la Cordillera Central Colombiana) con muy poca influencia de terrenos Caribe. Las arenas comprendidas entre los niveles C3 a B4 proceden de un orógeno reciclado con una pequeña influencia de cratón interior por lo cual este último autor propone una procedencia de los terrenos caribes con cierta influencia granítica (Complejo de Sebastopol). La depositación de las rocas pertenecientes a la Formación Misoa se produjo bajo el control de una cuenca *foreland* (antepaís). Según las etapas de desarrollo de esta cuenca antepaís (ver tabla 4), las arenas C inferiores se depositaron a partir de terrenos característicos de bloque continental con muy poca influencia de la primera etapa *flysch* (Formación Trujillo). De igual modo, las arenas C superiores y B pertenecen al complejo deltaico de grano grueso de una zona distal en una cuenca *foreland*, por lo que se observan sedimentos de facies transicional entre continentales y marinos; la procedencia de estas rocas se asocia a la combinación entre una cuenca antepaís expuesta y un orógeno colisional producidos por el emplazamiento de las napas de Lara en su avance hacia el sur-sureste (NÚÑEZ, 1998).

MILIÁN (1998) en su trabajo concluye que la procedencia de las rocas correspondientes a la Formación Misoa en la zona central del lago de Maracaibo, se encuentra ubicada principalmente al suroeste (Cordillera Central Colombiana) para los niveles inferiores; para los niveles medios y superiores éstos presentan una procedencia del noreste (Cadena Caribe). Esto se explica por un cambio en los patrones de drenaje a consecuencia del emplazamiento al norte de los terrenos Caribe. Los resultados del análisis petrográfico realizado en el estudio de MILIÁN (1998) indican claramente una diferencia en cuanto a las características texturales y mineralógicas, entre los niveles inferiores y superiores de la Formación Misoa. Se hace evidente que posterior a la depositación de la secuencia Misoa inferior, la colisión de los terrenos Caribe alcanza la parte norte de la cuenca. La influencia de este proceso fue importante durante la sedimentación de los niveles medios y superiores correspondientes a la Formación Misoa. La aparición del mineral cloritoide, el cual se asocia con la Cordillera Central Colombiana, en los niveles inferiores de la Formación Misoa indicaría una procedencia desde el suroeste, pero sin descartar una influencia proveniente desde el noreste; estas serían las primeras manifestaciones del emplazamiento de los terrenos Caribe (esto último se afirmaría en base a la presencia de fragmentos volcánicos sedimentarios característicos de estos terrenos en las muestras estudiadas en estos niveles). La presencia del cloritoide podría afirmar la existencia de un sistema de drenaje proveniente del sur que a su vez finalizaría en un sistema deltaico ubicado al oeste de la cuenca (MILIÁN, 1998). Los análisis petrográficos para los niveles medio y superior de la Formación Misoa muestran un aumento notable en las fracciones correspondientes a fragmentos

volcánicos y sedimentarios, lo cual posiblemente se relaciona con un aumento en el aporte sedimentario de los terrenos Caribe.

En el área de Barinas, QUINTERO (1998) en un excelente trabajo, establece que a partir de los resultados basados en diagramas de clasificación y análisis petrográficos de minerales pesados y fragmentos líticos permiten diferenciar dos tipos de procedencia, las cuales son cratón interior y cratón interior con influencia de orógeno reciclado. En el Eoceno medio, la dirección y el avance del frente de deformación Caribe sobre el occidente del país fue controlado por el arco de Mérida y el escudo de Guayana, y más al este por El arco de El Baúl, sirviendo de contrafuerte tectónico en esta estructura. La Figura 63 muestra un esquema del avance del frente de deformación Caribe en el noroccidente de Venezuela y los terrenos que aportaron clásticos en la sedimentación en la cuenca de Barinas. A partir de las interpretaciones realizadas por QUINTERO (1998) basadas en los análisis mineralógicos y la geología regional, además de la ausencia de una secuencia turbidítica en la cuenca de Barinas, se enfatiza el hecho de que la sedimentación de la Formación Gobernador se desarrolló en la zona distal de una cuenca *foreland* donde la mayor parte de sus sedimentos provenían de los terrenos ubicados al sur, representados por el escudo de Guayana, con cierta influencia al norte de los terrenos Caribe, al noreste por el arco de El Baúl y al noroeste por el arco de Mérida.

<b>Zonas de una cuenca <i>Foreland</i> y facies asociadas</b>			
<b>ZONA PROXIMAL</b>		<b>ZONA DISTAL</b>	
Se caracteriza por: <ul style="list-style-type: none"> <li>Alta tasa de subsidencia tectónica, y como consecuencia, mucho espacio para la sedimentación</li> <li>Ligera subsidencia isostática, generando una cuenca estrecha y alargada</li> <li>Secuencia de sedimentos no marinos</li> </ul>		Se caracteriza por: <ul style="list-style-type: none"> <li>Baja subsidencia tectónica pero alta sedimentación por lo cual se observa progradación</li> <li>Subsidencia isostática importante, por lo cual la configuración de la cuenca es irregular</li> <li>Una secuencia de sedimentos de facies transicional (marino-continental)</li> </ul>	
Componentes de las facies asociadas de la zona proximal: Existen cuatro (4) componentes en una cuenca <i>foreland</i> en la zona proximal		Componentes de las facies asociadas de la zona proximal: Existen tres (3) componentes en una cuenca <i>foreland</i> en la zona distal	
COMPONENTES		COMPONENTES	
Depósitos de bloques y cantos rodados	<ol style="list-style-type: none"> <li>Acumulación horizontal de una secuencia conglomerática de bloques</li> <li>Comienzo de una depositación turbidítica</li> </ol>	Dominio fluvial (depósitos de línea de costa)	<p>Complejo deltaico de grano grueso</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Láminas de arenisca de grano grueso con estratificación cruzada de ángulo alto</li> <li>Lutitas y limolitas calcáreas, fosilíferas</li> </ol> <p>Complejo deltaico de grano fino</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Depósitos de barras y areniscas con estratificación flaser</li> <li>Intercalaciones delgadas de calizas</li> <li>Intervalos gruesos de limolitas y lutitas</li> </ol>
Conglomerados y areniscas laminadas	Laminación de conglomerados y areniscas, depósitos de barras y canales	Dominio de oleaje (depósitos de línea de costa)	<ol style="list-style-type: none"> <li>Parasecuencias de limolitas y lutitas con gradación ascendente, rizaduras y estratificación "Hummocky" intercaladas con areniscas con estratificación cruzada</li> <li>Canales rellenos de guijarros y areniscas con laminación y bioturbaciones</li> </ol>
Formación de depósitos de canal	<ol style="list-style-type: none"> <li>Canales de areniscas con estratificación cruzada de alto ángulo</li> <li>Láminas delgadas de areniscas de grano fino con rizaduras</li> </ol>	Marino abierto, acumulación de sedimentos finos	<ol style="list-style-type: none"> <li>Intervalos gruesos de lutitas laminadas</li> <li>Capas finas de areniscas con rizaduras de olas</li> </ol>
Acumulación de sedimentos finos	<ol style="list-style-type: none"> <li>Láminas de limolitas con rizaduras y estratificación paralela</li> <li>Lutitas masivas con horizontes carbonosos</li> <li>Capas gruesas de carbón</li> </ol>		

Tabla 4. La tabla muestra las características de los depósitos y sus facies asociadas como consecuencia de la generación de una cuenca *foreland* (Tomado y modificado de Van Wagoneer, 1995 en Quintero, 1998).

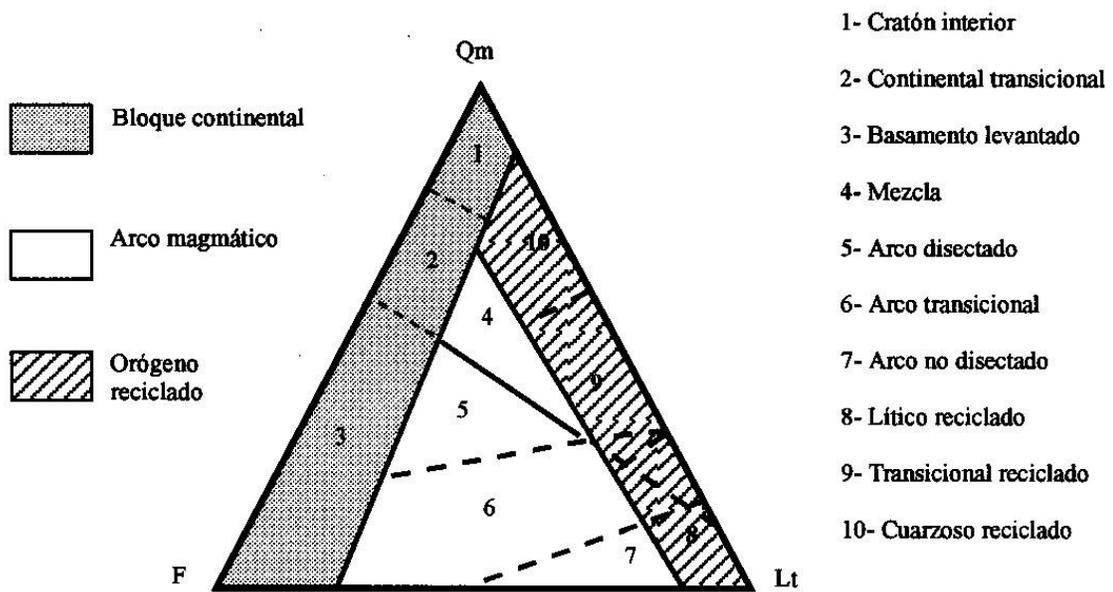


Figura 54. Triangulo de Dickinson et al. (1983) Qm-F-Lt utilizado para estudiar la procedencia de los sedimentos

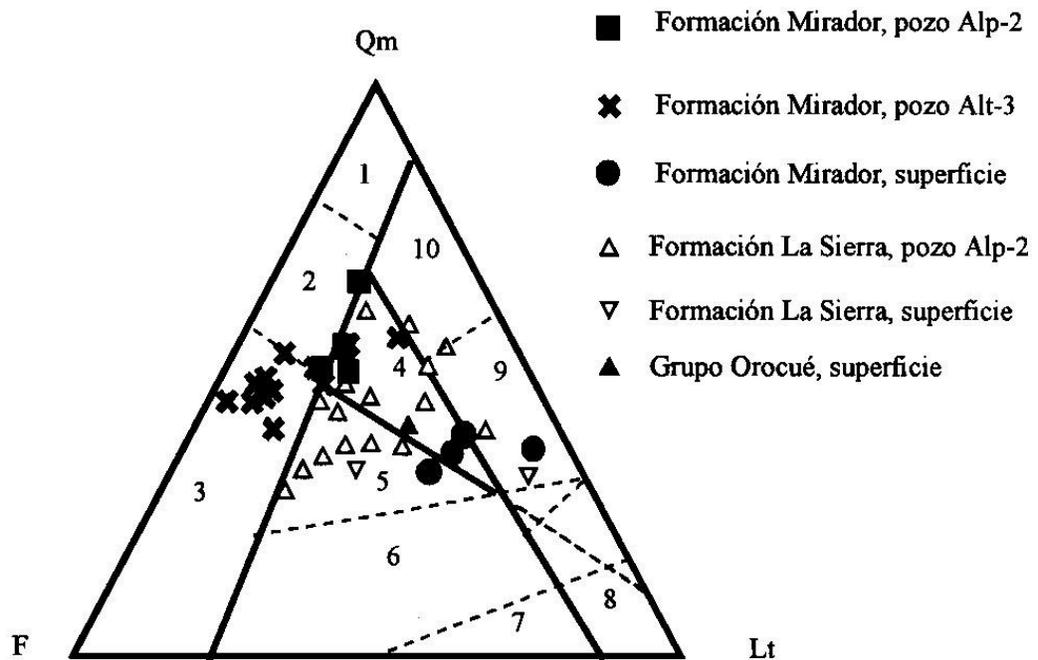


Figura 55. Triangulo Qm-F-Lt para todas las muestras de las unidades estudiadas

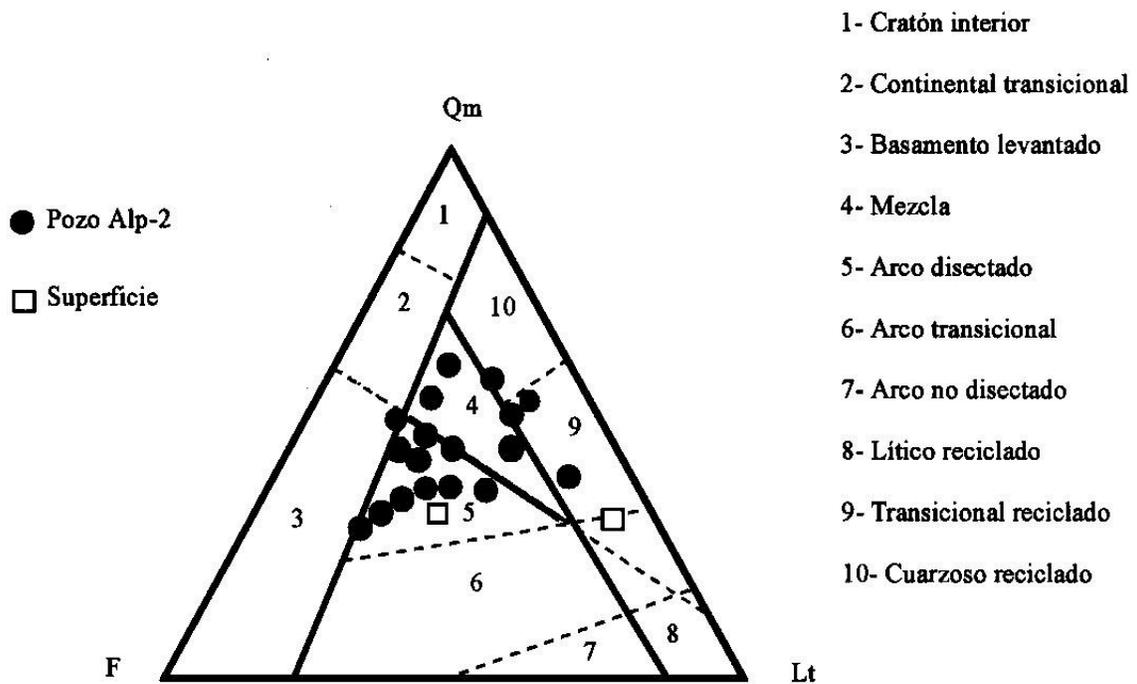


Figura 56. Triangulo Qm-F-Lt para todas las muestras de la Formacion La Sierra

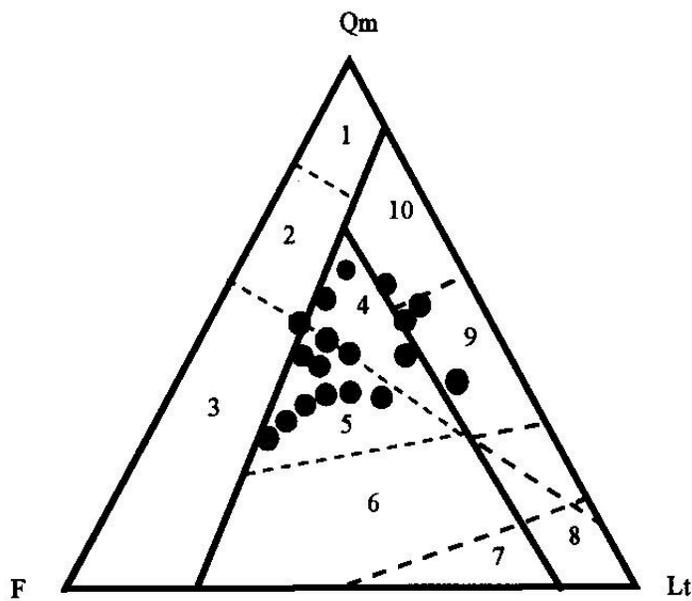


Figura 57. Triangulo Qm-F-Lt para las muestras de la Formacion La Sierra, pozo Alp-2

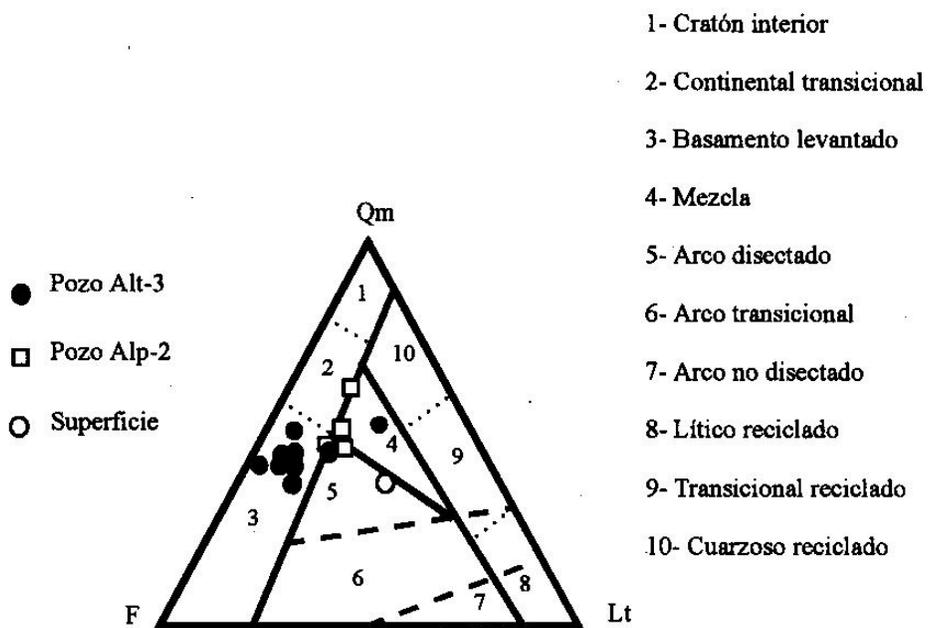


Figura 45. Triángulo Qm-F-Lt para todas las muestras de la Formación Mirador

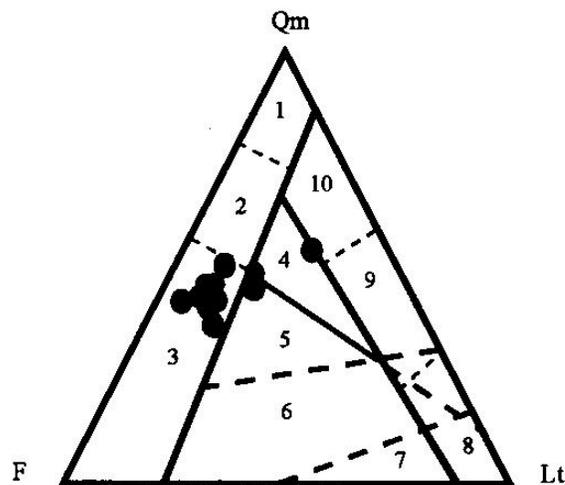


Figura 46. Triángulo Qm-F-Lt para las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3

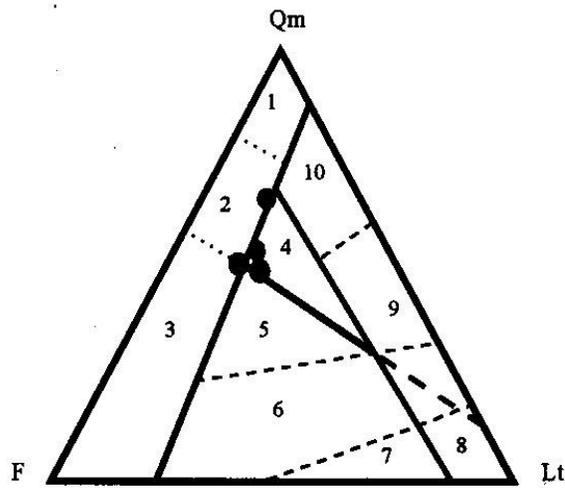
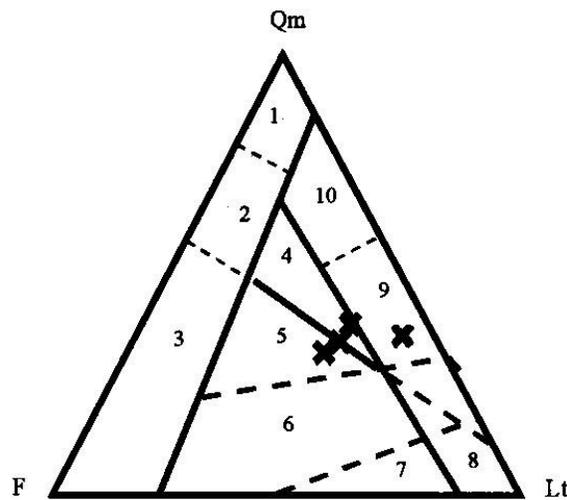


Figura 60. triangulo Qm-F-Lt para las muestras de la Formacion Mirador, pozo Alp-2



- 1- Cratón interior
- 2- Continental transicional
- 3- Basamento levantado
- 4- Mezcla
- 5- Arco disectado
- 6- Arco transicional
- 7- Arco no disectado
- 8- Lítico reciclado
- 9- Transicional reciclado
- 10- Cuarzoso reciclado

Figura 61. Triangulo Qm-F-Lt para el Grupo Orocué, muestras tomadas en superficie

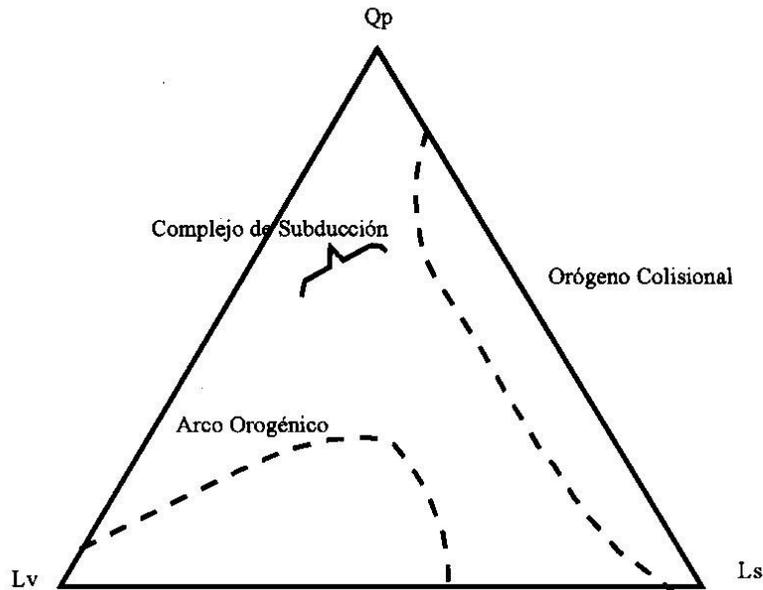


Figura 62. Triángulo Qp-Lv-Ls utilizado para determinar marco dominante en la fuente de sedimentos. Modificado de Dickinson y Suczek (1979)

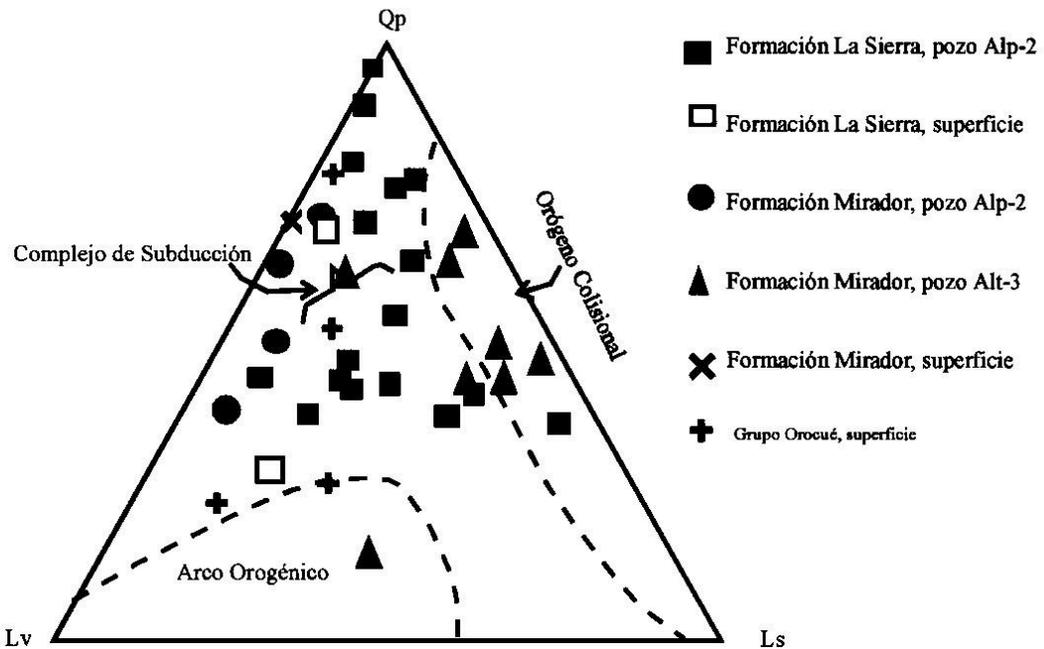


Figura 63. Triángulo Qp-Lv-Ls para todas las muestras analizadas

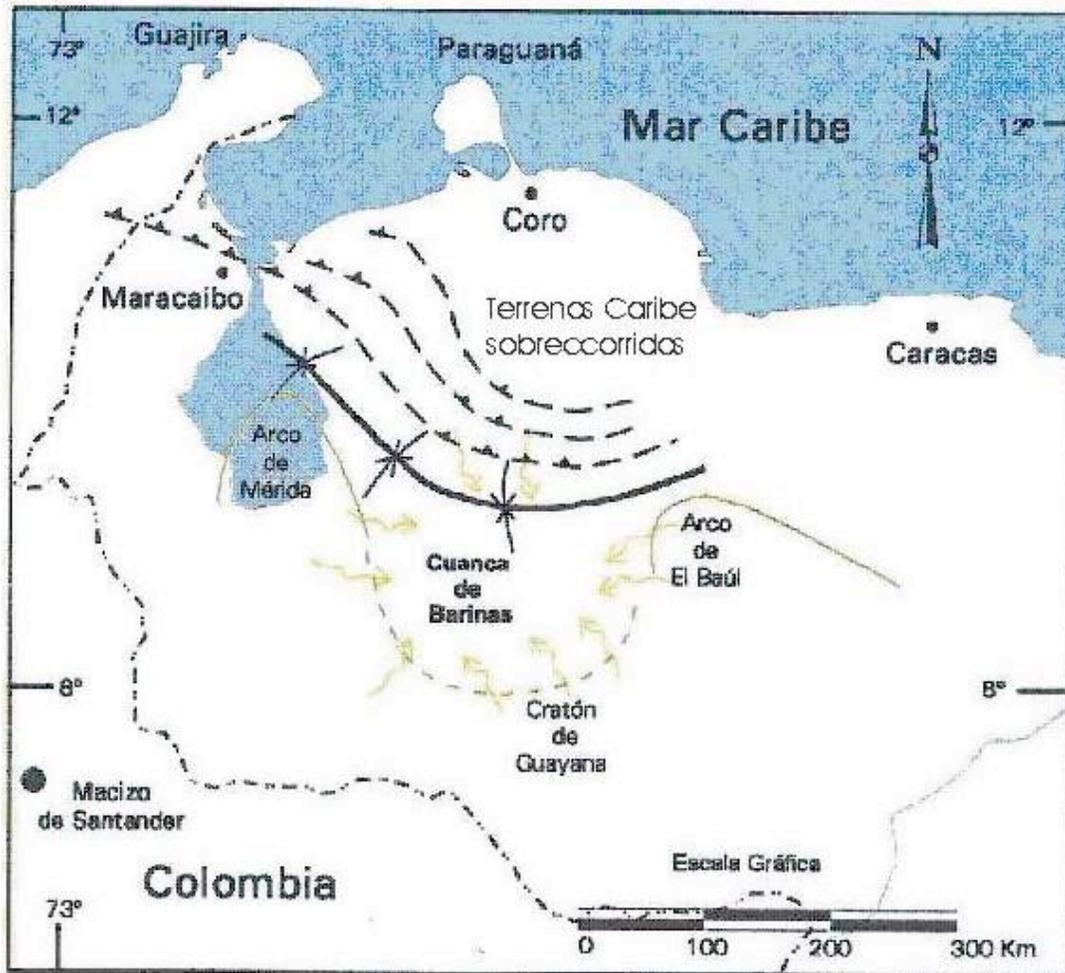


Figura 49. Esquema que muestra el avance de los terrenos Caribe en el occidente de Venezuela, cuenca de Barinas. Estos terrenos aportaron sedimentos a la cuenca durante el Eoceno medio (las flechas indican la dirección de aporte). Modificado de Quintero, 1998.

## 5. Geología Estructural del área

### 5.1 Descripción de las líneas sísmicas analizadas

Una de las herramientas utilizadas en el desarrollo del presente informe fue el de la descripción e interpretación de las líneas sísmicas disponibles en el área de trabajo. La descripción de las líneas está orientada hacia las estructuras mayores observadas, así como (basada en los datos de pozos) la identificación de los topes más significativos del registro estratigráfico de la zona abarcada por las líneas. Ya localizados estos topes pueden ser ubicadas las secuencias estratigráficas mayores según su posición estratigráfica (la sección cretácica, la sección paleocena-eocena inferior, la sección eocena inferior-eocena superior, la sección post-eocena), donde se analizan las posibles direcciones de las terminaciones de los reflectores que puedan ayudar a interpretar las direcciones de aporte sedimentario. Esto último es esencial, y que al ser integrado a la descripción y análisis de datos estadísticos mineralógicos y el establecimiento del marco geológico regional, servirá para poder situar la dirección y procedencia de los sedimentos del área de trabajo.

Se estudiaron aproximadamente 520 km lineales de secciones sísmicas. Las líneas sísmicas fueron divididas en grupos según la orientación geográfica que estas presentan, Figura 50. De esta manera, fueron discriminadas cuatro grupos de orientaciones de líneas sísmicas, las cuales son : Grupo de orientación WNW-ESE; Grupo de orientación ENE-WSW; Grupo de orientación N-S; Grupo de orientación E-W. Las estructuras geológicas mayores, así como el patrón de las terminaciones laterales de los reflectores (*onlap* y *downlap*) es común en cada uno de los grupos hallados, lo cual se interpreta como una correspondencia entre la ubicación geográfica y la estructura geológica dominante. Se describirán a continuación algunas líneas representativas del trabajo.

#### Grupo de orientación WNW-ESE

##### **Línea 1**

La línea se presenta como un gran monoclinial con inclinación al SE. En profundidad (donde se encuentran las unidades cretácicas) pueden observarse una serie de fallamientos, los cuales se presume que eran originalmente normales (una serie de semigrabenes) que luego fueron reactivados como fallas inversas; estas estructuras son reconocidas en el área de Perijá y Flanco norandino por varios autores (ALEZONES y PADRÓN, 1992; MENÉNDEZ y PÉREZ, 1992; RODRÍGUEZ, 1992; DUERTO, 1998; GONZÁLEZ, 1999; GUERRA, 1999). La estructura responsable de generar la morfología del monoclinial es una falla de corrimiento que afecta la secuencia cretácica y pliega el tope de esta secuencia y la secuencia Paleocena-Eocena (sería un *fault-propagation fold* a profundidad). Por esta misma morfología, el extremo noroccidental de la línea, para el post-Eoceno, presenta un menor espesor, mientras que el extremo suroriental muestra un incremento considerable en el espesor de la misma secuencia (esto pudiese indicar que la actividad de la falla se produjo simultáneamente a la sedimentación. Ha de recordarse que

para el Neogeno comienza a levantarse La Sierra de Perijá, por lo tanto este efecto se observa claramente en la sección (Figura 51).

Sismoestratigráficamente la línea puede dividirse en :

- ⇒ una secuencia Cretácico-Paleoceno inferior; el patrón general teórico debería corresponder a una morfología de canales, ya que la orientación geográfica de la línea es muy angular respecto a la dirección que se ha establecido como “patrón” para la sedimentación para esa época (dirección SSW-NNE). En la Figura 51, aunque no se observa completamente, al NW el patrón de espesores de esta secuencia se hace más grueso, por lo cual se interpreta que la fuente de sedimentos pudo estar asociada con un alto estructural localizado al sureste.
- ⇒ una secuencia Paleoceno inferior-Eoceno inferior; esta secuencia tiende a presentar un engrosamiento hacia el SE, por lo que pudiese pensarse en un alto o fuente colocado al noroeste; pudiese pensarse también de la migración del depocentro (*foredeep*) del sistema sedimentario (Figura 52). Esta Figura es un acercamiento del extremo occidental de la línea 1.
- ⇒ una secuencia Eoceno inferior- Eoceno superior; a lo largo de la línea interpretada puede establecerse un patrón de engrosamiento en dirección noroeste. En la Figura 52 pueden observarse las terminaciones laterales, tanto en *onlap* como en *downlap* que ayudan también a interpretar que posiblemente se hallase la fuente, para ese momento, hacia el sureste del área estudiada.
- ⇒ una secuencia post-Eoceno; por efectos del levantamiento de la Sierra de Perijá durante el Neógeno, la configuración de la morfología de la estructura muestra un gran sinforme con inclinación al sureste. De esta forma queda evidenciado que el depocentro ahora se halla al sureste (respecto a esta sección sísmica), por lo que el patrón de engrosamiento aumenta en esta última dirección.

## **Línea 2**

La línea presenta morfología de un gran sinforme asimétrico, donde el flanco más largo se orienta hacia el SE (Figura 53).

Estructuralmente esta línea se caracteriza por la presencia de fallamientos de carácter inverso. Podrían interpretarse como fallamientos muy antiguos, posiblemente relacionados con el Surco de Machiques, que fueron reactivados como inversas para el momento del levantamiento de la Sierra de Perijá. Como consecuencia de este fenómeno orogénico, se logra la configuración mostrada en la línea (sinforme de inclinación al SE). Una estructura que puede interpretarse para tratar de explicar la configuración estructural es la de un corrimiento pasivo (*passive thrusting*) dentro de la secuencia cretácica, probablemente por encima o dentro de la Formación Colón, unidad donde este tipo de

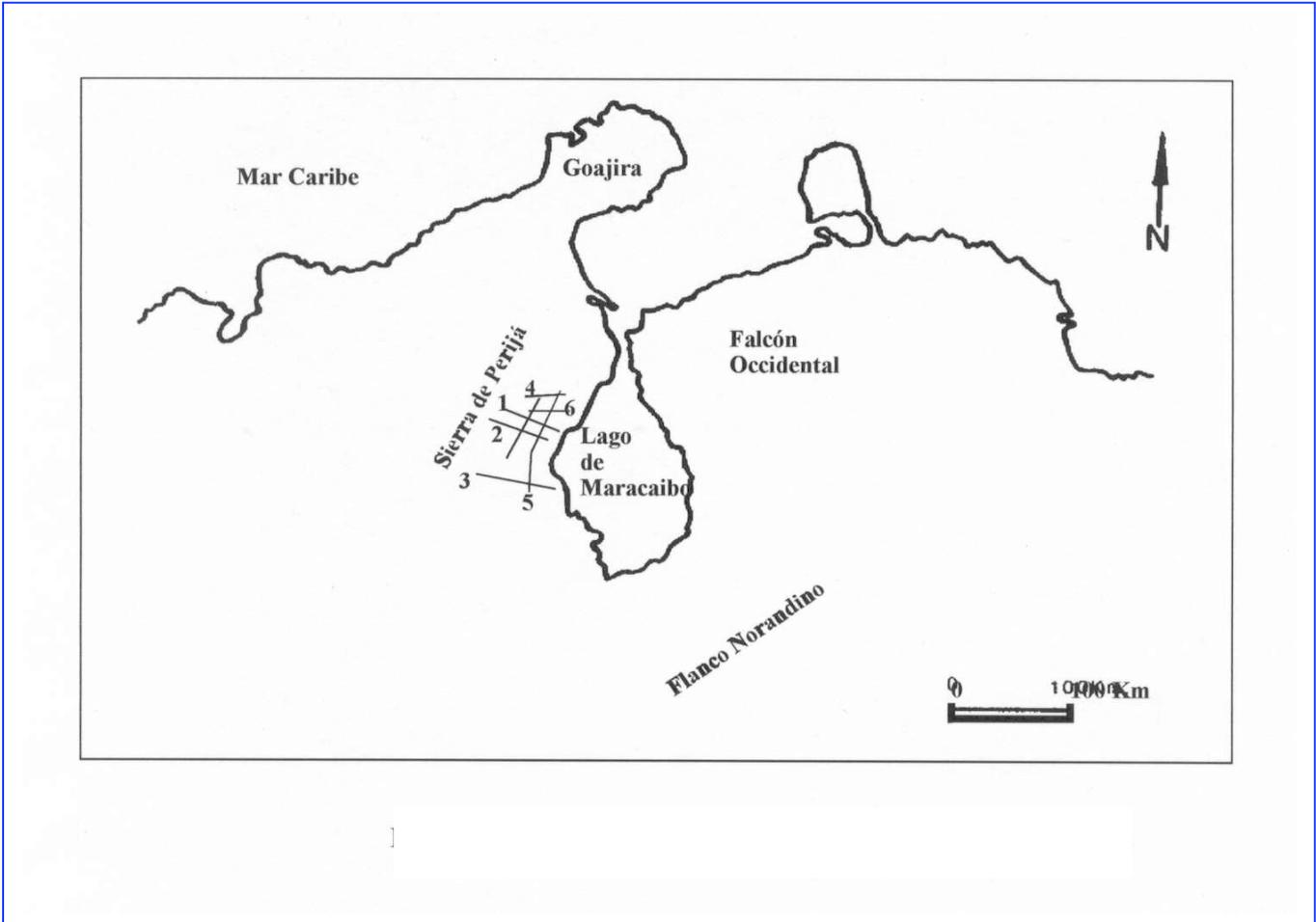


Figura 50. Mapa de ubicación de las líneas sísmicas analizadas

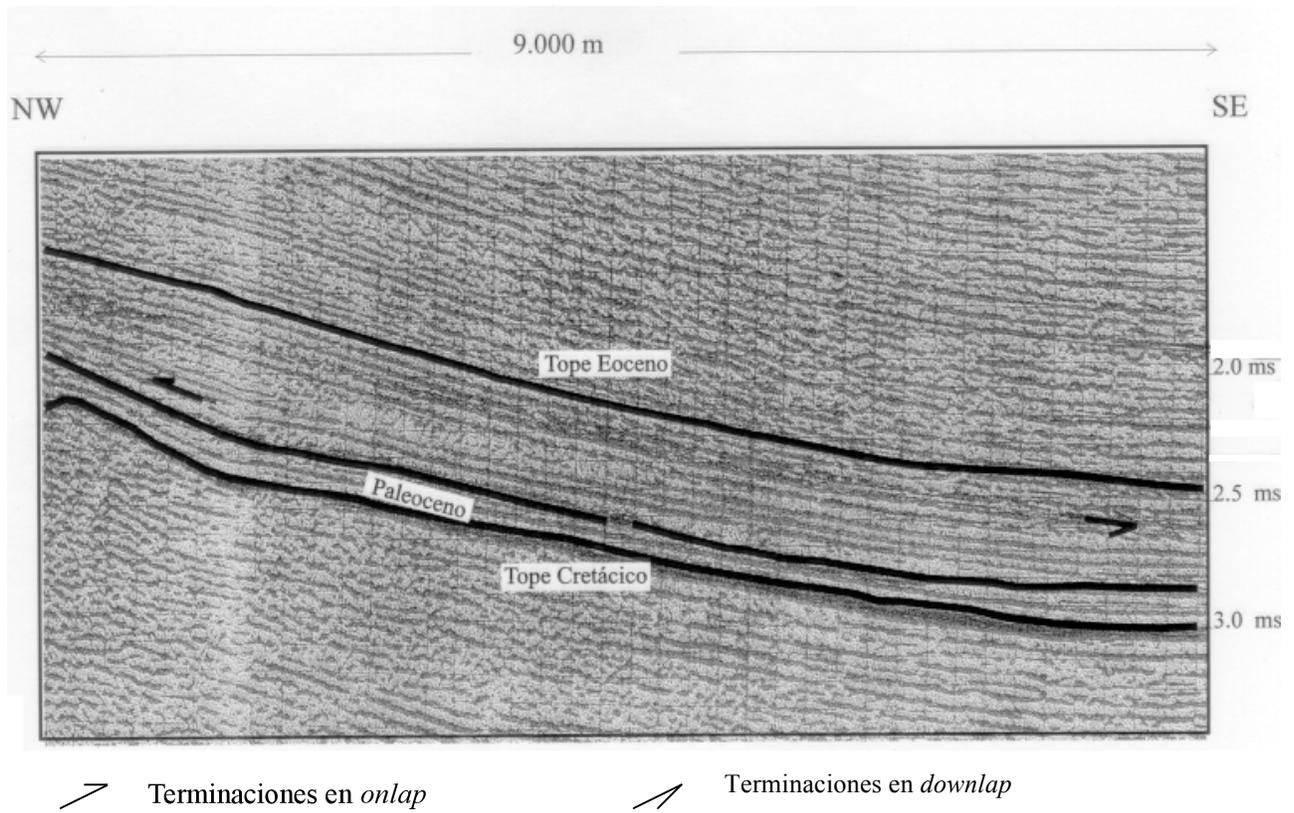
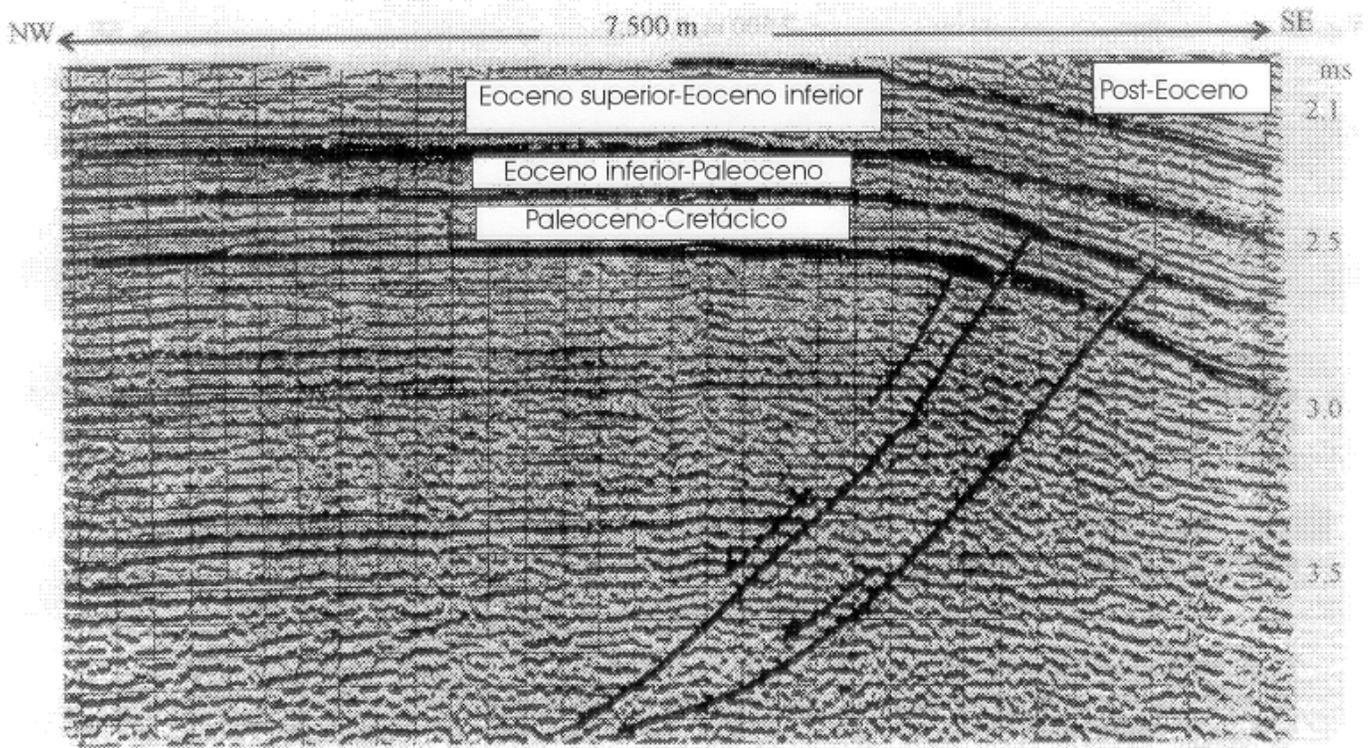


Figura 51. Línea sísmica 1. En esta se muestran las tres secuencias interpretadas, así como las terminaciones laterales



*Figura 52. Línea sísmica 1, parte oeste de la mostrada en la Figura 44. En esta sección pueden observarse las estructuras de deformación dominantes en el área. Son fallas normales las cuales afectan el basamento*

estructuras es común (ALEZONES y PADRÓN, 1992; MENÉNDEZ y PÉREZ, 1992; RODRÍGUEZ, 1992; DUERTO, 1998; GONZÁLEZ, 1999; GUERRA, 1999), y de esta forma generar el alto estructural que se observa al NW de la línea.

Sismoestratigráficamente la línea puede dividirse en

- ⇒ una secuencia Cretácico superior-Paleoceno, la cual presenta forma de canales en gran parte de su extensión, aunque existe la tendencia de engrosar la secuencia hacia el NW (Figura 54).
- ⇒ una secuencia Paleoceno-Eoceno, la cual también presenta algunos canales, pero se nota aún más la tendencia a presentar terminaciones tipo *onlap* en dirección SE haciendo presumir que la fuente se encuentra al este de la línea (Figura 54).
- ⇒ una secuencia Eoceno-Eoceno superior, que muestra terminaciones en *onlap* hacia el sureste, lo cual también hace pensar que la fuente se encontraba al este del área (Figura 54).
- ⇒ una secuencia post-Eoceno, mostrando la típica morfología en la cual el levantamiento de La Sierra de Perijá condiciona la dirección de la sedimentación (hacia el este) por lo tanto la fuente se encontraba al oeste (Figura 54).

### ***Línea 3***

La sección muestra una configuración de un pliegue sinforme asimétrico generando por fallamiento inverso de vergencia SE, el cual afecta la secuencia desde el Cretácico hasta el Oligoceno (inclusive algo del Mioceno pudiese estar afectado).

Sismoestratigráficamente la sección puede dividirse en:

- ⇒ una secuencia Cretácico-Paleoceno, en la cual pueden notarse algunas terminaciones en *downlap* hacia el NW (Figura 55).
- ⇒ una secuencia Paleoceno-Eoceno, donde las terminaciones en *downlap* hacia el NW hacen suponer que la fuente de sedimentos o un alto estructural se encuentra localizado al E-SE de la sección; otra interpretación sería pensar que la cuenca se profundiza hacia Perijá, pero no hay datos sobre esto último (Figura 55).
- ⇒ una secuencia post-Eoceno, la cual se encuentra plegada y con terminaciones en *downlap* hacia el SE, lo cual sugiere una fuente de sedimentación hacia el NW o la presencia de un alto en esa misma dirección que puede asociarse con el levantamiento de La Sierra de Perijá, Figura 55.

## Grupo de orientación ENE-WSW

### **Línea 4**

Presenta una forma de secuencias horizontales (reflectores horizontales) que a profundidad (secuencia del Eoceno) muestra un ligero plegamiento con vergencia al SW que afecta a toda la secuencia Paleogena (Figura 56). La secuencia cretácica se encuentra afectada por un fallamiento inverso de vergencia suroeste.

Sismoestratigráficamente, la línea puede dividirse en:

- ⇒ una secuencia Cretácico Superior-Paleoceno; en esta se puede notar un engrosamiento de secuencias al NE, deduciéndose de esta forma una fuente o un alto estructural/topográfico al suroeste (Figura 56).
- ⇒ una secuencia Paleoceno-Eoceno medio, la cual presenta engrosamiento de secuencia al SW y terminaciones en onlap al NE, de lo cual puede deducirse que la fuente de sedimentación o el alto estructural/topográfico se encontraba al noreste de la línea (Figura 56).
- ⇒ una secuencia post-Eoceno, que muestra morfología de canales, lo que de alguna forma presenta un cambio en la dirección del aporte, ya que la línea se encuentra ubicada prácticamente perpendicular a la dirección de aporte generado por el levantamiento de La Sierra Perijá (esto quiere decir que la línea se encuentra casi que paralela a la dirección de la serranía perijanera), Figura 56.

## Grupo de orientación E-W

### **Línea 5**

Esta línea presenta una orientación SSW-NNE y se encuentra cercana al pozo ALT 003, el cual fue utilizado para calibrar los reflectores/unidades sísmicas.

La línea muestra una configuración de reflectores prácticamente horizontales que hacia el extremo NNE presenta una deformación representada por una falla de buzamiento muy alto (prácticamente vertical).

Este fallamiento genera hacia la parte más somera un sinforme asimétrico donde el flanco más inclinado se encuentra al SSW, mientras que el flanco más plano se encuentra al ENE. El salto de la falla es realmente importante en las secuencias cretácicas-oligocenas la estructura presente es el sinforme asimétrico.

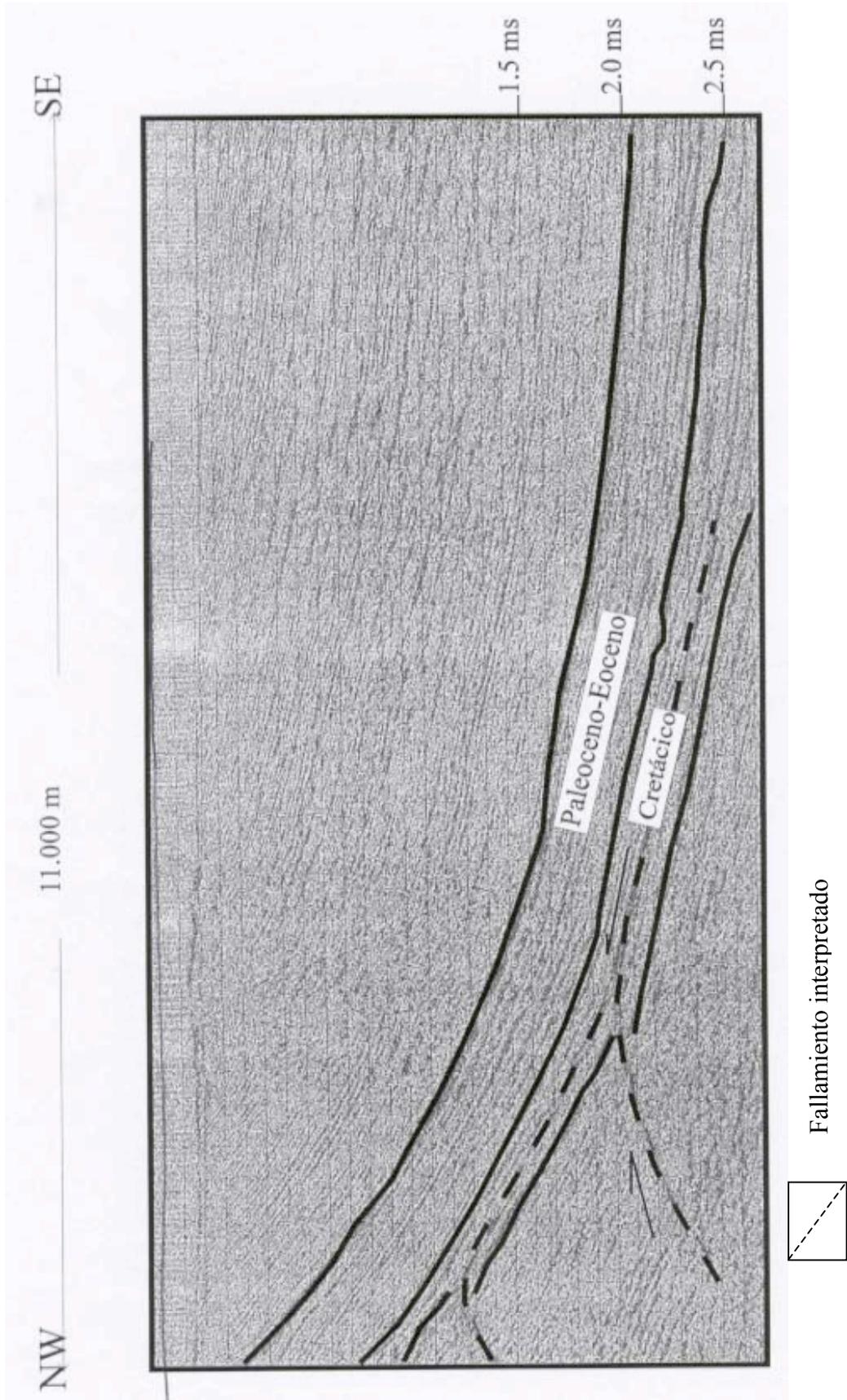
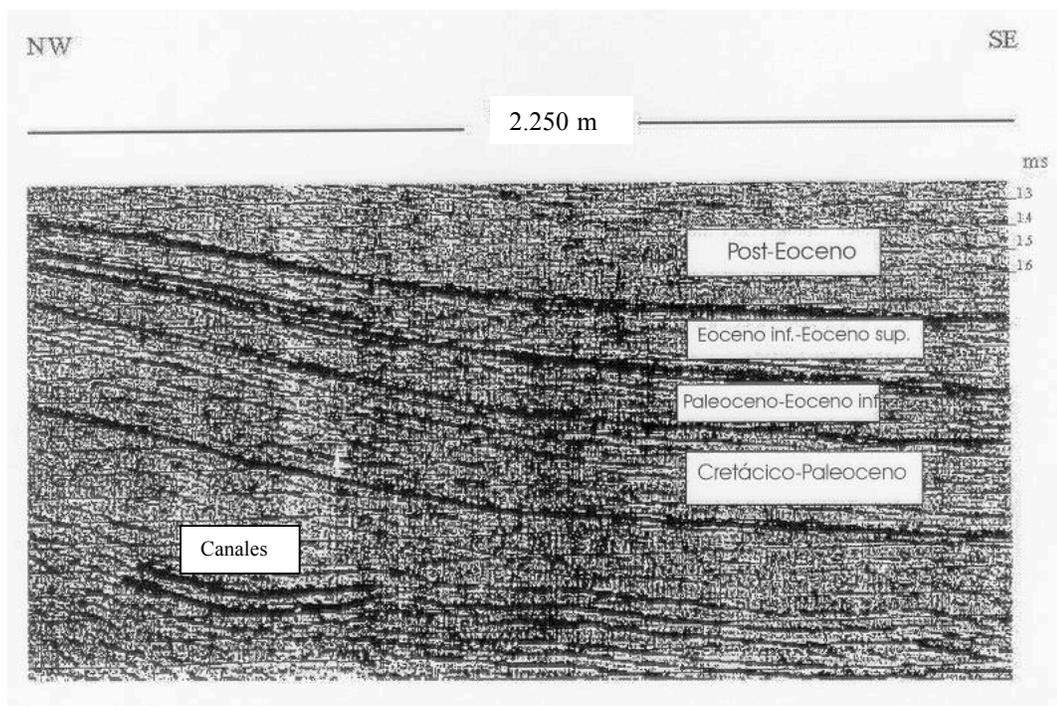


Figura 53. Sección sísmica 2. Se muestra la configuración estructural interpretada, en la cual puede notarse una falla de corrimiento intra-Cretácico. La estructura corresponde a un *passive thrusting* el cual se desplaza casi seguramente dentro de la unidad más lutítica del tope del Cretácico, es decir, la Formación Colón.



*Figura 54. Línea sísmica 2, igual a la mostrada en la Figura 67, sólo que esta sección se encuentra más al SE. Se muestran las diferentes configuraciones de las unidades involucradas en el área.*

Sismoestratigráficamente la línea puede subdividirse en

- ⇒ una secuencia pre-Paleoceno (cretácica), afectada por una serie de fallamientos inversos de vergencia al NNE, interpretados como fallamientos normales, que han sido posteriormente reactivados (Figura 57).
- ⇒ una secuencia paleocena que muestra engrosamiento de la secuencia en dirección al WNW norte, lo cual hace pensar que la fuente de aporte o el alto estructural/topográfico se encontraba al ESE (Figura 57).
- ⇒ una secuencia Paleoceno-Eoceno, la cual muestra terminaciones en *downlap* en dirección al sur, lo cual hace suponer que la fuente de aporte se encontraba en dirección E-NE (Figura 57).
- ⇒ una secuencia post-Eoceno, la cual muestra morfología de canales; esto quiere decir que la dirección de aporte cambió drásticamente (la dirección de aporte es NNE-SSW), Figura 57.

#### **Grupo de orientación N-S**

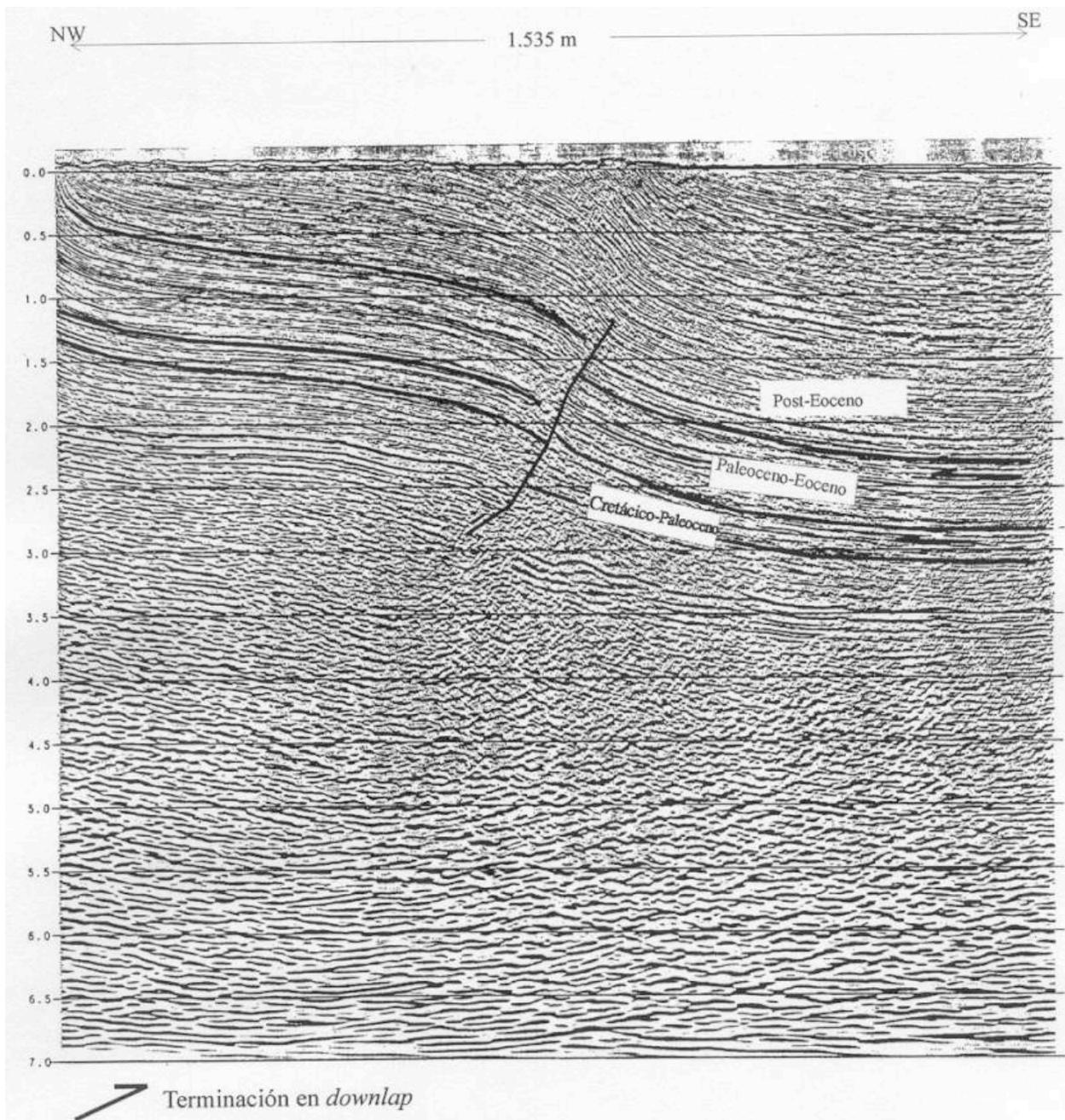
#### **Línea 6**

Presenta reflectores prácticamente horizontales hacia la parte más joven, mientras que a medida que se baja en sección estratigráfica, los reflectores tienden a “plegarse” en forma de sinforme muy suave

A profundidad pueden observarse una serie de fallamientos que originalmente pueden interpretarse como normales y que fueron reactivados (reactivación eocena) como fallamientos inversos, afectando prácticamente solo a la secuencia Cretácico-Paleoceno.

Sismoestratigráficamente la sección puede dividirse en:

- ⇒ una secuencia Cretácico-Eoceno inferior, donde pueden notarse una serie de terminaciones en *onlap* hacia el norte, con un engrosamiento de sección hacia el sur, lo que haría suponer la presencia de una fuente de sedimentos y de un alto estructural al NE de la sección (Figura 58).
- ⇒ una secuencia Eoceno inferior- Eoceno superior, donde se pueden observar al menos 2 unidades donde el engrosamiento de esta es hacia el sur, con terminaciones en *onlap* hacia el norte, sugiriendo esto la presencia de un alto estructural o de la fuente de sedimentos al NE de la sección (Figura 58).
- ⇒ una sección post-Eoceno superior, donde, por la posición especial y geográfica de la línea, muestra una morfología de canales ya que se encuentra prácticamente perpendicular a la dirección de aporte, representado por el levantamiento de La Sierra de Perijá (Figura 58).



*Figura 55. Línea sísmica 3. Se muestran las terminaciones en downlap de las diferentes secuencias. Puede interpretarse que para el Paleoceno-Eoceno existe un alto estructural al este del área o que la cuenca se profundiza al oeste de la sección sísmica.*

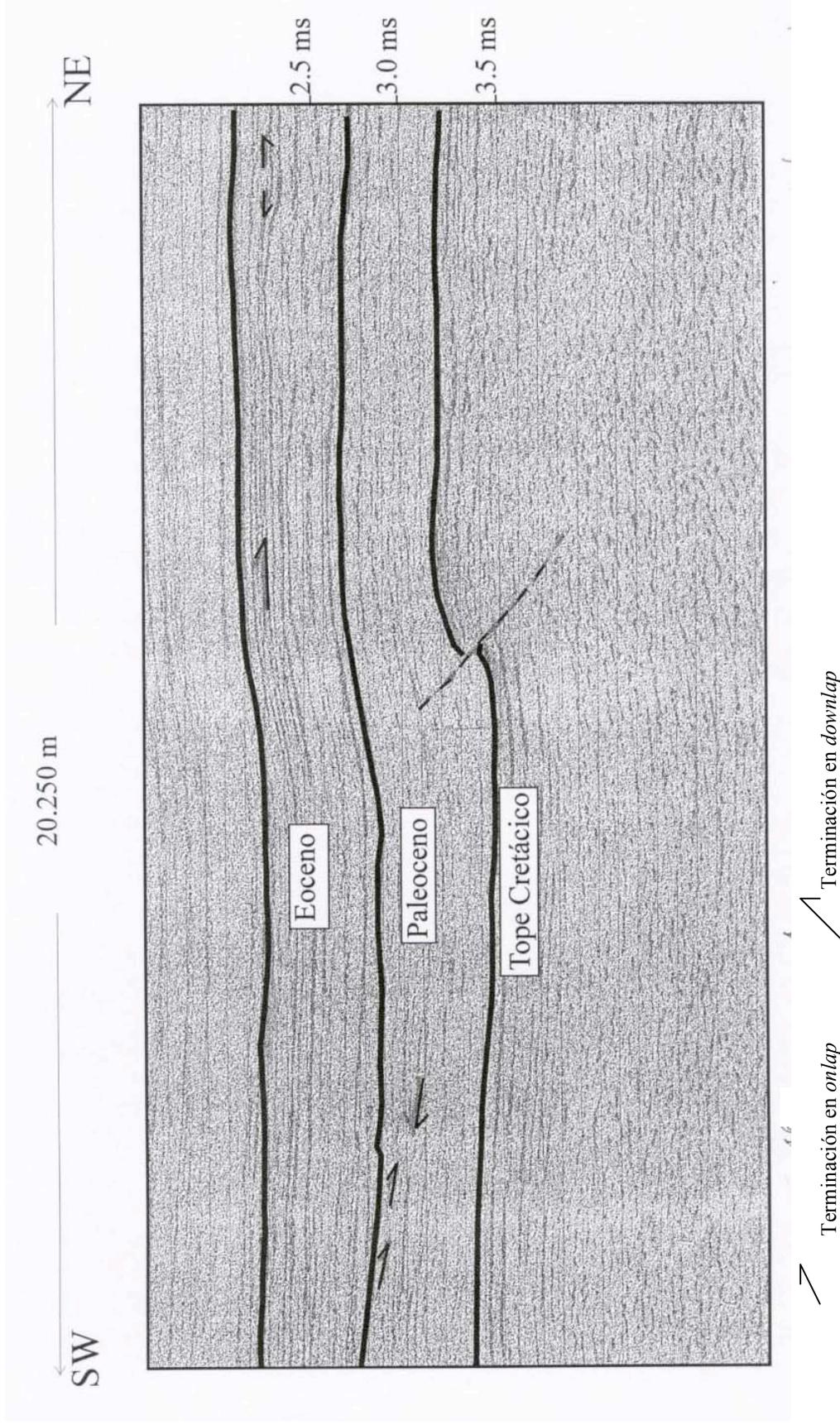


Figura 56. Línea sísmica 4. Se muestran las unidades interpretadas, así como las terminaciones laterales. Obsérvese la falla normal reactivada como inversa; véase que al noreste, en la sección paleocena, el espesor es menor que al oeste. Puede interpretarse la presencia de un alto estructural al este del área.

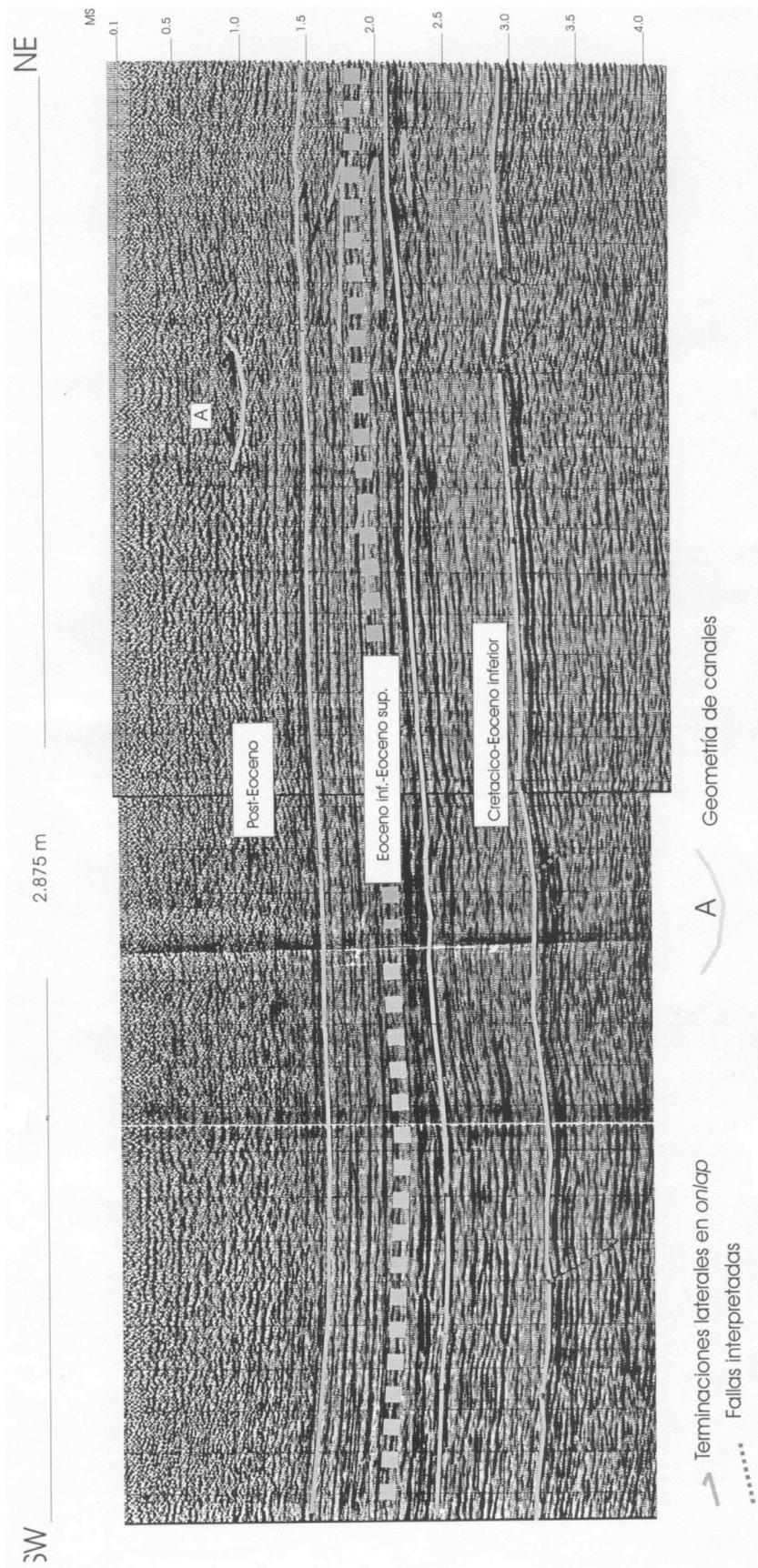


Figura 57. Línea sísmica 5. Obsérvese la disposición de las tres grandes secuencias (Cretácico-Eoceno inferior; Eoceno inferior-Eoceno superior; post-Eoceno). También pueden notarse las terminaciones laterales en onlap en dirección NW, lo que puede interpretarse como que hacia esa dirección se encuentra un alto estructural. Las estructuras marcadas con la letra A, en la sección post-eoceno se interpretan como canales.

## ***Línea 7***

La sección muestra una morfología de reflectores horizontales, muy continuos. Estructuralmente no resaltan elementos geológicos de importancia.

Sismoestratigráficamente la línea puede dividirse en:

- ⇒ una secuencia cretácico-paleocena, donde se nota un engrosamiento en dirección NE y terminaciones en *downlap* al NE, sugiriendo un alto estructural o presencia de la fuente de sedimentos al SW de la sección (Figura 59) .
- ⇒ una secuencia Paleoceno-Eoceno Inferior, con una descripción, idéntica a la secuencia Cretácico-Paleoceno (Figura 59).
- ⇒ una secuencia Eoceno Inferior-Eoceno Superior, donde existe una tendencia de terminaciones en *downlap* al SW y terminaciones en *onlap* al NE, permitiendo esto sugerir que la dirección de aporte proviene del NE al SW de la sección (Figura 59).
- ⇒ una secuencia post-Eoceno Superior, en la cual pueden observarse la morfología de “canales” producido por el hecho de estar la línea en dirección prácticamente perpendicular a la fuente de aporte, representado por el levantamiento de La Sierra de Perijá (Figura 59).

La Figura 60 muestra un mapa esquemático donde se dibujan las posibles direcciones de aporte de sedimentos basados en la información obtenida de la descripción y análisis de las secciones sísmicas. La tabla 5 muestra un resumen de las direcciones aportadas por estas mismas secciones sísmicas.

La secuencia Cretácico-Paleoceno en la orientación geográfica WNW-ESE muestra la presencia de engrosamiento de secuencias al oeste, así como terminaciones en *downlap* al noroeste, lo cual pudiese interpretarse como que la fuente de aporte se encontrase al NW y al sur; esto también puede observarse en la Figura 46. Esta misma secuencia, en la orientación ENE-WSW muestra engrosamientos de sección al SW, interpretándose como que la dirección de aporte fuese paralela a esta última dirección. En la dirección geográfica N-S pueden observarse terminaciones en *onlap* al norte, engrosamiento de sección hacia el sur, aunque también pueden observarse terminaciones en *downlap* y engrosamientos al NE, proponiéndose una dirección de aporte SW.

En la secuencia Paleoceno-Eoceno inferior en la dirección WNW-ESE se interpretaron terminaciones en *onlap* en dirección SE, así como terminaciones en *downlap* en dirección NW; se interpretó también un engrosamiento de la secuencia hacia el SE. Todas estas evidencias llevan a interpretar que la dirección de aporte probablemente sea E-SE y NW. En la dirección N-S se observan terminaciones en *onlap* hacia el norte, engrosamiento de la secuencia hacia el sur, aunque también hay engrosamiento de la secuencia al NE, por lo cual se propone una dirección de aporte al NE y al SW.

La secuencia Eoceno inferior-Eoceno superior, en la dirección E-W muestra terminaciones en *downlap* al SW, por lo que se sugiere que la dirección de aporte se al NE, mientras que en la dirección WNW-ESE se interpreta un engrosamiento de la secuencia hacia el SE y terminaciones en *downlap* al SE, por lo que se interpreta que la dirección de aporte es W-NW. Esto también puede observarse en el mapa mostrado en la Figura 60.

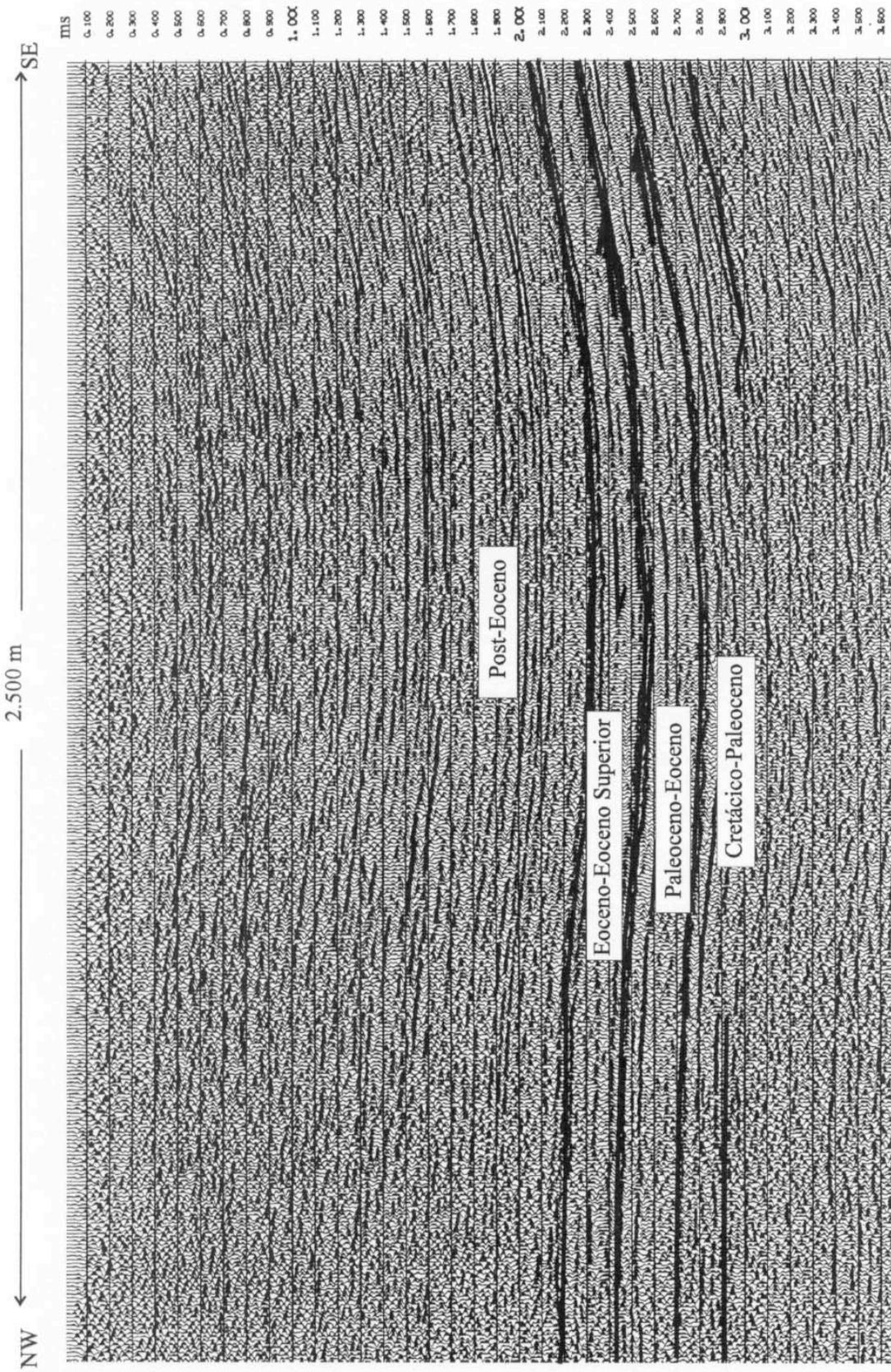
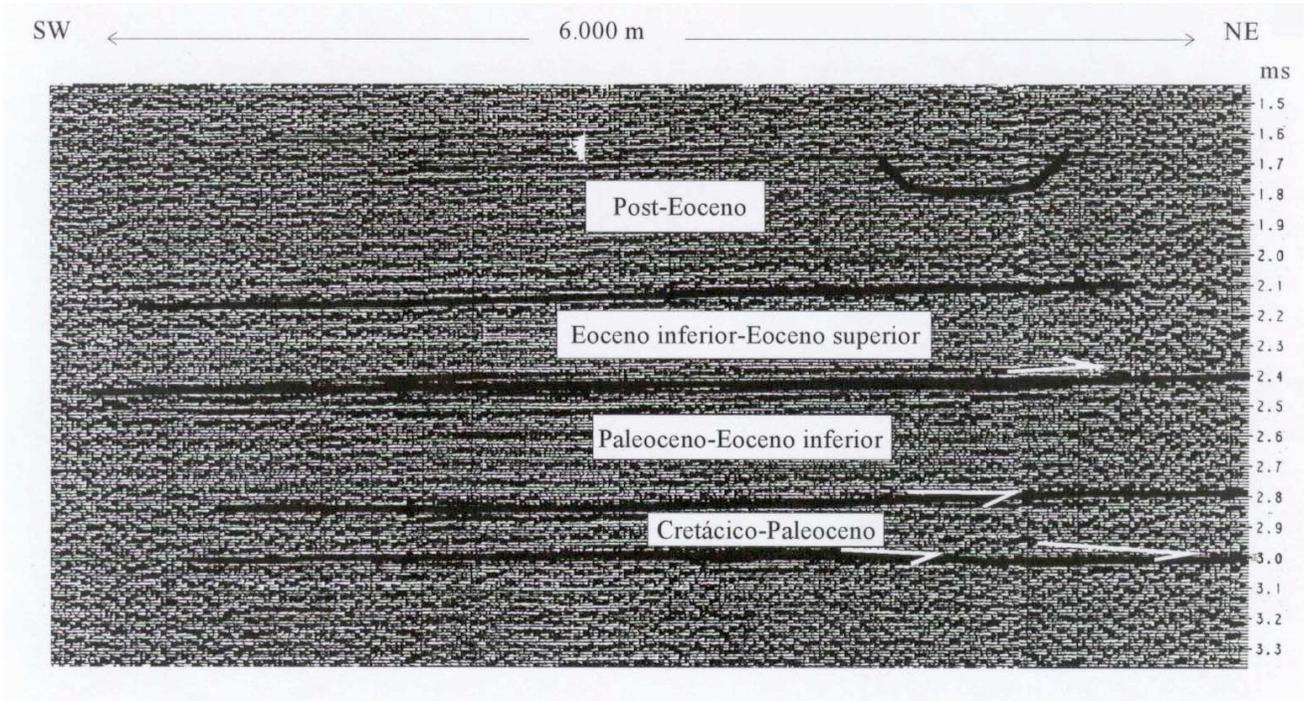


Figura 58. Línea sísmica 6. Se muestra la disposición geométrica de las unidades desde el Cretácico hasta el post-Eoceno.



 Terminaciones en *downlap*

 Terminaciones en *onlap*

 Canales

*Figura 59. Línea 7. Se muestra la configuración de las diferentes unidades presentes. En esta Figura pueden notarse las secuencias Cretácico-Paleoceno; Paleoceno-Eoceno inferior; Eoceno inferior-Eoceno superior y post-Eoceno. En esta última pueden detallarse "canales".*

Secuencia	Orientación Geográfica	Características	Dirección de aporte
Cretácico-Paleoceno	WNW-ESE	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Engrosamiento de la secuencia al W (líneas 1 y 2)</li> <li>* Terminaciones en <i>downlap</i> al NW (línea 3)</li> <li>* Geometría de plegamiento sinforme por efectos de fallas de corrimiento de vergencia SE (línea 3)</li> <li>* En algunos casos, morfología de canales (línea 1)</li> </ul>	SE-N
	ENE-WSW	<ul style="list-style-type: none"> <li>* La secuencia se encuentra afectada por fallamientos inversos de vergencia SW (línea 4)</li> <li>* Engrosamiento de la secuencia en dirección SW (línea 4)</li> </ul>	SW
	E-W	* Secuencia afectada por fallamientos inversos de vergencia NNE	
	N-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Fallamientos normales reactivados como inversos, afectando la secuencia (línea 6)</li> <li>* Terminaciones en <i>onlap</i> hacia el norte (línea 6)</li> <li>* Engrosamiento de la sección hacia el sur (línea 6)</li> <li>* Engrosamiento de la sección en dirección NE y terminaciones en <i>downlap</i> al NE (línea 7)</li> </ul>	NE (línea 6) SW (línea 7)
Paleoceno-Eoceno inferior	WNW-ESE	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Plegamiento por efecto de falla de corrimiento</li> <li>* Engrosamiento de la secuencia hacia el SE (línea 1)</li> <li>* Forma de canales</li> <li>* Terminaciones en <i>onlap</i> en dirección SE (línea 2)</li> <li>* Terminaciones en <i>downlap</i> en dirección NW (línea 3)</li> </ul>	NW (línea 1) E-SE
	E-W	Engrosamiento de la secuencia en dirección WNW	ESE
	N-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Terminaciones en <i>onlap</i> hacia el norte (línea 6)</li> <li>* Engrosamiento de la secuencia hacia el sur (línea 6)</li> <li>* Engrosamiento de la sección al NE (línea 7)</li> <li>* Terminaciones en <i>downlap</i> al</li> </ul>	NE (línea 6) SW (línea 7)

Tabla5. Resumen de las características de las unidades observadas en las líneas sísmicas analizadas

		NE (línea 7)	
	WNW-ESE	* Engrosamiento de secuencia al NW (línea 1) * Terminaciones en <i>onlap</i> al sureste (línea 2) * Terminaciones en <i>downlap</i> al NW (líneas 3 y 4)	SE
Eoceno inferior- Eoceno superior	E-W	Terminaciones en <i>downlap</i> al SW	NE
	N-S	* Engrosamiento de secuencia hacia el sur * Terminaciones en <i>onlap</i> al norte * Terminaciones en <i>downlap</i> al SW	NE
	WNW-ESE	* Morfología de un gran monoclinado originado por falla de corrimiento. El fallamiento es contemporáneo con la sedimentación * Engrosamiento de secuencia al SE * Terminaciones en <i>downlap</i> al SE	W-NW
Post-Eoceno	ENE-WSW	Presenta morfología de canales	
	E-W	Presenta morfología de canales	
	N-S	Presenta morfología de canales	

Tabla 5. ...Continuación

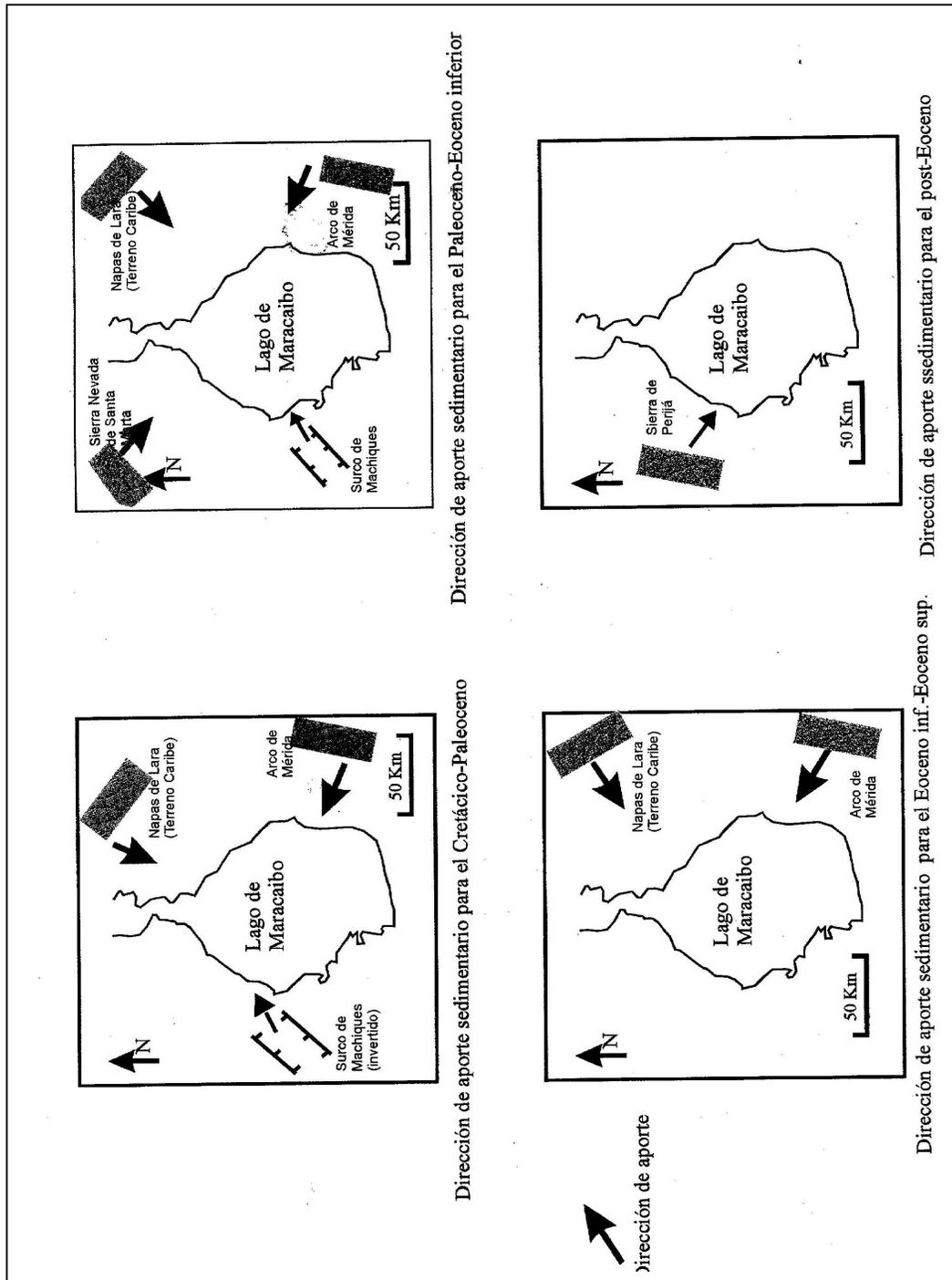


Figura 60. Mapa esquemático donde se muestran las direcciones de aporte sedimentario interpretadas a partir de la descripción y análisis de las secciones sísmicas.

## 6- Evolución Paleogeográfica

En base a toda la información obtenida en el trabajo, se puede establecer para los diferentes tiempos geológicos, la siguiente evolución paleogeográfica :

-a) Paleoceno-Eoceno inferior, momento en el cual se deposita el Grupo Orocué. Las muestras presentan afinidad con un orógeno reciclado y una dirección ENE a ESE (datos obtenidos a partir de líneas sísmicas). Esto pudiese interpretarse como que la fuente de aporte provendría principalmente del Arco de Mérida, aunque también existe algo de aporte en la dirección SW probablemente como parte de los grábenes andinos invertidos (por ejemplo. el graben de Machiques), ver Figura 60 y Tabla 6.

-b) Eoceno inferior-Eoceno medio, depositación de la Formación Mirador. Las muestras analizadas presentan una tendencia de proveniencia continental-transicional-orógeno colisional, mientras que las líneas sísmicas presentan como dirección de aporte E-NE-SE. De acuerdo a los modelos existentes, el emplazamiento de las napas de Lara y la Formación de la cadena o Sistema Caribe estaba ya en apogeo, además de la reactivación del Arco de Mérida como alto estructural, ver Figura 60 y Tabla 6.

-c) Eoceno superior-Oligoceno inferior, sedimentación de la Formación La Sierra. Las muestras analizadas tienen afinidad de fuente de sedimentación con un orógeno reciclado-continental transicional-basamento levantado, y la dirección de aporte (según las interpretaciones de las líneas sísmicas) es NW, bajo la influencia del levantamiento de La Sierra de Perijá, fenómeno que comienza para finales del Eoceno y se extiende hasta el Plioceno (ver Figura 60 y Tabla 6).

Unidad	Edad	Procedencia (sísmica)	Procedencia (petrológica)
Grupo Orocué	Paleoceno-Eoceno	NW; NE; SE	E-NE a E-SE, posiblemente corresponda al Arco de Mérida, pudiéndose incluir los grábenes andinos invertidos (incluyendo al Surco de Machiques). Orógeno Reciclado
Formación Mirador	Eoceno inf.- Eoceno medio	NE-SE	Procedencia continental transicional-orógeno colisional. ENE-SE. Emplazamiento de las napas de Lara, Formación de la Cadena Caribe, al igual que la reactivación del Arco de Mérida
Formación La Sierra	Eoceno superior- Oligoceno inferior	NW	Procedencia : orógeno reciclado-continental transicional-basamento levantado. Dirección NW

*Tabla 6. Resumen de los datos de procedencia tanto a nivel de interpretación de líneas sísmicas como por datos de análisis petrotectónicos*

## 7- Sumario y Conclusiones

Luego de la obtención de los resultados y los análisis e interpretaciones de estos últimos, se puede sumarizar y concluir lo siguiente:

- Del total de muestras analizadas y estudiadas de la Formación La Sierra, un 60% corresponde a arenitas arcóscicas, un 35% a arenitas líticas y un 5% a subarcosas

Para las muestras de la Formación Mirador, se tiene que un 83% corresponde a arenitas arcóscicas, un 11% a arenitas líticas y un 6% a subarcosas

Para las muestras correspondientes al Grupo Orocué, el 100% corresponde a arenitas líticas

- Las variables petrográficas de mayor peso dentro de las estudiadas por muestra dentro de la Formación La Sierra son el cuarzo monocristalino (con un promedio de 35%), el cuarzo policristalino (10%), los feldespatos (25%), los fragmentos líticos (15%), mientras que el 15% restante corresponde a otros fragmentos minerales más porosidad

Para la Formación Mirador, las variables más importantes son El cuarzo monocristalino (40%), cuarzo policristalino (5%), los feldespatos (45%), los fragmentos líticos (3%) y el 7% restante corresponde a otros fragmentos minerales y a porosidad.

Para el Grupo Orocué, y recordando que en su totalidad estas muestras fueron tomadas en superficie, las variables más importantes son el cuarzo monocristalino (10%), el cuarzo policristalino (4%), los feldespatos (6%), los fragmentos líticos (10%), mientras que El mayor peso se concentra en otras especies minerales tales como filosilicatos (básicamente arcillas) y óxidos.

- La representación de las variables petrográficas cuarzo (mono y policristalino), feldespatos y fragmentos líticos en los diagramas de Dickinson y Suczek (1979) y Dickinson et al. (1983) muestra la afinidad y el posible ambiente tectónico presente para el momento en el cual fueron depositadas estas secuencias clásticas. De estas representaciones se interpreta que:
  - i. las muestras analizadas, y que corresponden al Grupo Orocué muestran una procedencia de orógeno reciclado (según el diagrama Qt-F-L), una procedencia de origen de mezcla y de arco disectado (según el diagrama Qm-F-Lt), y una procedencia de arco orogénico (según el diagrama Qp-Lv-Ls)
  - ii. las muestras analizadas y que corresponden a la Formación Mirador muestran una procedencia continental transicional (según el diagrama Qt-F-L), una procedencia de basamento levantado (según el diagrama Qm-F-Lt), y una procedencia de orógeno colisional (según el diagrama Qp-Lv-Ls)

- iii. las muestras analizadas y que corresponden a la Formación La Sierra, muestran una procedencia de orógeno reciclado (según el diagrama Qt-F-L), una procedencia de arco disectado y de mezcla (según el diagrama Qm-F-Lt). El diagrama Qp-Lv-Ls no reveló nada concluyente para esta unidad
- Utilizando la información que se obtuvo de la interpretación de los diagramas ternarios para procedencia, se tiene que :
  - a) para el Grupo Orocué (Paleoceno), la fuente de sedimentos está determinada como de orógeno reciclado. Este orógeno reciclado puede interpretarse como procedente mayoritariamente del E-NE a E-SE, interpretándose como correspondiente al Arco de Mérida e inclusive a algunos de los grábenes andinos ya invertidos (incluyendo al surco de Machiques), así como se interpreta también, ya que para ese momento actúa de manera importante (aunque con los datos obtenidos de la información interpretada no hay datos claros) la acción de la Sierra Nevada de Santa Marta.
  - b) la Formación Mirador (Eoceno Inferior) presenta una fuente de sedimentación de procedencia continental transicional-orógeno colisional. Esta fuente se interpreta, debido a su composición y a la afinidad petrológica, de acuerdo a los modelos existentes, como las napas de Lara o Sistema Caribe; también se interpreta como parte de la fuente que aporta a este sistema para este tiempo la reactivación del Arco de Mérida como alto estructural importante, al SE del Flanco Perijanero. El marco petrogenético continental-transicional-orógeno colisional coincide con la ubicación geográfica de la dirección de paleocorrientes medidas en superficie que coinciden con esta dirección de aporte sedimentario
  - c) en la Formación La Sierra (Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano) los datos correspondientes a la fuente de sedimentación establecen que ésta se relaciona a un orógeno reciclado-continental transicional-basamento levantado, pudiéndose interpretar que esta unidad se encontraba todavía bajo la influencia tectono-sedimentaria del paso de las napas que se emplazaron y chocaron con el borde noroccidental de Sudamérica, aunque existen datos que señalan el principio de la acción del levantamiento de la Sierra de Perijá.
- Los datos obtenidos del análisis de las secciones sísmicas muestran que, estructuralmente la procedencia está condicionada a una dirección
  - I. Para el Paleoceno-Eoceno (Grupo Orocué), la dirección interpretada corresponde a NW; NE y SE; estas direcciones corresponden al surco de Machiques invertido (dirección NW), al terreno Caribe o Napas de Lara (dirección NE) y al Arco de Mérida (dirección SE)
  - II. Para el Eoceno inferior-Eoceno medio (Formación Mirador), la dirección interpretada es NE-SE, relacionándose estas direcciones al Terreno

Caribe o Napas de Lara (dirección NE) y la dirección SE correspondería al Arco de Mérida

- III. Para el Eoceno superior-Oligoceno inferior (Formación La Sierra), la dirección interpretada es NW, la cual correspondería con el levantamiento de la Sierra de Perijá

## 8- Recomendaciones

1-Para completar los datos del presente trabajo sería altamente recomendable realizar un estudio de paleocorrientes para las unidades Orocué, Mirador y La Sierra, o en su defecto a sus equivalentes para añadir más certeza a las direcciones de sedimentación propuestas

2- Desde el punto de vista del análisis petrográfico, sería importante determinar la influencia de la diagénesis en todos los valores reportados dentro de las gráficas de procedencia. Aunque el autor considera que la variación no debe ser importante (y por lo tanto, los resultados e interpretación no variarán) no estaría de más realizar esta cuantificación

3- Si bien se analizaron 30 secciones sísmicas en diferentes direcciones, sería recomendable tratar de hallar nuevos levantamientos sísmicos (posiblemente 3D) que mejorasen la interpretación tanto estructural como sismoestratigráfica

4-Para mejorar tanto la interpretación como el control del trabajo, sería recomendable realizar un trabajo con esta misma visión, al este de la zona de estudio. Esto significaría realizar una labor de caracterización petrográfica de unidades como las formaciones Trujillo, Misoa y Paují e inclusive Matatere y El Paraíso en Falcón central y establecer la procedencia a partir de los gráficos de Dickinson y Suczek (1979) y Dickinson *et al.* (1983); realizar la medición de paleocorrientes en estas unidades y, si existe la posibilidad, poder estudiar información sísmica que permita determinar la paleogeografía y dirección de aporte sedimentario. De esta manera podría tenerse todo el marco evolutivo tectonosedimentario para el Paleogeno del noroccidente de Venezuela

## 9- Bibliografía

- ALEZONES, R. y PADRÓN, S. (1992). Modelo tectónico del Flanco Norandino entre las poblaciones de Boconó y Mucujepe, estados Táchira y Mérida. Trabajo Especial de Grado, Inédito, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V.; 131 pp.
- ASCANIO, E. y HUNG, O. (1992). Ambientes sedimentarios y tectónicos de la secuencia Cretácico-Terciaria en la región de Zea-Mesa Bolívar-El Vigía-Estánquez, estado Mérida. Trabajo Especial de Grado, Inédito, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V.; 181 pp.
- AUDEMARD, F. (1991). Tectonics of Western Venezuela. Rice University, Texas. Ph.D. Thesis. Inédito; 245 p.
- AZPIRITXAGA, I. (1985). Recuperación mejorada de crudos pesados del campo Boscán. Reporte interno, Intevep s.a., INT-01208; 76 pp.
- BALLY, A.W. and SNELSON, S. (1980). Realms of subsidence. In : Miall A.D. de., Facts and Principles of World Petroleum Occurrence, Canadian Society of Petroleum Geologist Memoir #6; p.1-94.
- BARBEITO,P.; PITELLI,R. Y EVANS, M.(1985). Estudio estratigráfico del Eoceno en el area de Maracaibo, Venezuela occidental, basado en interpretaciones paleontológicas y palinológicas. En: VI Congreso Geológico Venezolano (Caracas, Venezuela); pp. 109-136
- BJORLYKKE, K. (1984). Formation of secondary porosity : How important is it? In : Mc Donald, D. and R. Surdam, clastic diagenesis; pp 277-286.
- BLATT, H. (1967). Provenance determinations and recycling of sediments. Journal of Sedimentary Petrology, 37(4); pp 1031-1044.
- BLATT, H.; MIDDLETON, G. and MURRAY, R. (1980). Origin of sedimentary rocks. Prentice-Hall, New Jersey; 782 p.
- BOGGS, S. JR (1968). Experimental study of rocks particles. Journal of Sedimentary Petrology (38); pp 1326-1339.
- BOLES, JR.(1984). Secondary porosity reactions in the Stevens Sandstone, San Joaquin Valley, California. In : Mc Donald, D. and R. Surdam, clastic diagenesis; pp 217-224.
- BUCHER, W. (1952). Geologic structure and orogenic history of Venezuela. In : Geological Society of America Memoir 49, New York; 113 pp.

- CARDOZO, L. (1996) Procedencia de las rocas clásticas de la Formación Misoa en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo y su relación con la tectónica Caribe. Trabajo Especial de Grado, Inédito, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V.; 264 p.
- CASTILLO, M. (1995). Procedencia de las rocas clásticas del Eoceno en el sector oriental de la cuenca de Maracaibo y su relación con la tectónica Caribe y Andina. Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Caracas. Inédito; 141 p.
- CASTRO, M. (1982). Estudio paleogeográfico de algunas areniscas en el contacto La Sierra-Mirador del pozo Alturitas-11 (Perijá). Reporte interno, Lagoven s.a. 4834-228; 13 pp.
- DAVIES, D. and ETHRIDGE, F. (1975). Sandstone compositions and depositional environment. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 59(2); pp 239-264.
- DEVANEY, K. and INGERSOLL, R. (1993). Provenance evolution of Upper Paleozoic Sandstones of North-Central New Mexico. In : Johnsson, M.J. and Basu, A. (eds): Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Geol. Soc. Amer. Special Paper 284, Boulder, Colorado; pp 91-108.
- DICKINSON, W. y SUCZEK, C. (1979). Plate tectonics and sandstone composition In : A.A.P.G. Bull. 63 (12); pp 2164-2182.
- DICKINSON, W.; BEARD, L.; BRAKENRIDGE, J.; ERJAVEC, R.; FERGUNSON, R.; INMAN, K.; KNEPP, R.; LINDBERG, L. and RIBERG, P. (1983). Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. In : G.S.A. Bull. 94 (2); pp 222-235.
- DIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA NACIONAL (1976). Mapa del estado Zulia, escala 1: 250.000. Caracas, Venezuela.
- DUERTO, L. (1998). Principales zonas triangulares del occidente de Venezuela. Trabajo Especial de Grado, Magíster Scientiarum en Ciencias Geológicas. UCV, Departamento de Geología. Inédito; 179 pp.
- DUTTA, P. and WHEAT, R. (1993). Climate and tectonic control on sandstone composition in the Permo-Triassic Sydney foreland basin, eastern Australia. In: Johnsson, M.J. and Basu, A. (eds): Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Geol. Soc. Amer. Special Paper 284, Boulder, Colorado; pp 187-202.
- FRANKS, S. and FORESTER, R. (1984). Relationships among secondary porosity, pore fluid chemistry and carbon dioxide, Texas Gulf Coast. In : Mc Donald, D. and R. Surdam, clastic diagenesis; pp 63-79.

- GALLOWAY, W. (1989). Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I : Architecture and genesis of flooding surface bounded depositional units. En : A.A.P.G. Bull. 73 (2); pp. 125-142.
- GARNER, A. (1926). Suggested Nomenclature and correlation of the geological formations in Venezuela. In : American Institute Mining and Metalurgy Engineers Transactions; pp 677-684.
- GARRELS, R. and MACKENZIE, F. (1971). Evolution of Sedimentary Rocks. W.W. Norton, New York; 397 p.
- GONZÁLEZ, R. (1999). Interpretación de un área y balanceo de una sección regional del Flanco suroriental de Perijá (Sierra de Perijá, costa occidental del lago de Maracaibo). Trabajo Especial de Grado, Inédito, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V.; 146 pp.
- GUERRA, D. (1999). Interpretación y balanceo de un Transecto Estructural Regional Flanco Sur Occidental de Perijá, costa suroccidental del lago de Maracaibo (área río Tucuco-río Aricuaizá). Trabajo Especial de Grado, Inédito, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V.; 115 pp.
- GUZMÁN, J. (1995). Procedencia de los sedimentos entre el Cretácico Tardío y el Mioceno Temprano, Flanco Norte de la cuenca Oriental de Venezuela. Tesis de Magister Scientiarum en Ciencias Geológicas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Dpto. de Geología, U.C.V. Inédito; 261 pp.
- HAQ, B.; JERVEY, M and VAIL, P. (1988). Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and eustatic cycles. En : SEPM, Sea-level changes : an integrated approach. Special publication, 42; pp. 71-108.
- HEDBERG, H. y SASS, L. (1937). Sinopsis de las formaciones geológicas de la parte occidental de la cuenca de Maracaibo. Boletín de Geología y Minería, Caracas, v 1(2-4); pp 77-120.
- HELMOD, K. (1985). Provenance of feldspathic sandstones. The effect of diagenesis on provenance determinations: A review. In : Zuffa, G.G. (de). Provenance of Arenite. Reidel Publishing Company; pp 139-163.
- JOHNSON, M.J. (1993). The system controlling the composition of clastic sediments. In : Johnson, M.J. and Basu, A. (eds): Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Geol. Soc. Amer. Special Paper 284, Boulder, Colorado; pp 1-19.
- LUGO, J. and MANN, P. (1995). Jurassic-Eocene Tectonic Evolution of Maracaibo Basin, Venezuela. In : A. J. Tankard, R.; Suárez, S. and Welsink, H., Petroleum basins of South America : A.A.P.G. Memoir 62; pp 699-725.

- LUGO, J. (1991). Tectonics and Stratigraphic History of the Maracaibo Basin. Austin University, Texas. PhD thesis. Inédito; 142 p.
- LUGO, J. (1992). Historia tectónica a lo largo de los sistemas de falla de Icofea y Pueblo Viejo, Cuenca de Maracaibo. En: VI Congreso Venezolano de Geofísica. Caracas, 1992.; pp. 118-124
- MACK, G. (1978). The survivability of labile light-mineral grains in fluvial, aeolian and litoral-marine environments: the Permian Cutler and Cedar Mesa formations, Moab, Utah. *Sedimentology* 25; pp 587-604.
- MATHIEU, X. (1989). La Serranía de Trujillo-Ziruma aux confins du bassins du Maracaibo, de La Sierra du Falcon et de la Chaine Caribe. L'Université de Bretagne Occidentale. Ph.D. Tesis. Inédito; 264 p.
- MCBRIDE, E. (1985). Diagenetic processes that affect provenance determinations in sandstone. In : Zuffa, G.G. (de). *Provenance of Arenite*. Reidel Publishing Company; pp 95-113.
- MENÉNDEZ, F. y PÉREZ, J. (1992). Modelo estructural del Flanco Norandino entre las poblaciones La Fría-Boconó-Sabana Grande-El Cobre, estado Táchira. Trabajo Especial de Grado, Inédito, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V.; 201 pp.
- MILIÁN, C. (1998). Procedencia de las rocas clásticas del Paleogeno en los bloques V, IX y VI del lago de Maracaibo y su relación con la tectónica Caribe. Trabajo Especial de Grado. U.C.V., Departamento de Geología. Inédito; 156 pp.
- MILLER, J. (1962). Tectonics trend in Sierra de Perijá and adjacents parts of Venezuela and Colombia. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull, Tulsa*, v 46(9); pp 1565-1595.
- NOTESTAIN, F.; HUBMAN, C. and BOWLER, J. (1944). Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America. *Geol. Soc. Amer. Bull.*v 55(9); pp 1165-1216.
- NÚÑEZ, M. (1998). Procedencia de las rocas clásticas del Eoceno en la costa suroriental del lago de Maracaibo (bloques I, III, IV y Ceuta) y su relación con la tectónica Caribe. Trabajo Especial de Grado. U.C.V., Departamento de Geología. Inédito; 180 pp.
- ORTEGA, O. (1990). Sistema para el modelaje de la subsidencia de columnas estratigráficas. Implementación y análisis en el área de Alturitas (estado Zulia). Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Departamento de Geología. Inédito; 306 pp.
- OSTOS, M. (1990). Evolución Tectónica Sur -Central del Caribe basado en datos geoquímicos. En : GEOS #30, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V., Caracas; pp 1-294.

- PARNAUD, F; GOU, Y.; PASCUAL, J.; CAPELLO, M.; TRUSKOWSKI, I. and PASSALACQUA, H. (1995). Stratigraphic Synthesis of Western Venezuela. In : A. J. Tankard, R.; Suárez, S. and Welsink, H., Petroleum basins of South America : A.A.P.G. Memoir 62; pp 681-698.
- PETTIJOHN, E.; POTTER, P. AND SIEVER, R. (1973). Sand and Sandstone. Springer-Verlag; 618 pp.
- QUINTERO, J. (1998). Significado tectónico y procedencia mineralógica de las rocas clásticas de la Formación Gobernador, flanco surandino, Barinas tradicional. Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Departamento de Geología. Inédito; 165 pp.
- RODRÍGUEZ, J. (1992). Análisis estructural de una zona al Norte de Agua Viva, estado Trujillo. Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Departamento de Geología. Inédito ; 228 pp.
- ROJAS, A. (2000). Caracterización de Trampas para la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, estado Zulia. Tesis de Magister Scientiarum en Ciencias Geológicas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Dpto. de Geología, U.C.V. Inédito; 237 pp.
- ROJAS, O. (1988). Composición de las areniscas del Cretáceo Tardío-Terciario Temprano del oriente de Venezuela y sus relaciones con la tectónica. Tesis de Magister Scientiarum en Ciencias Geológicas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Dpto. de Geología, U.C.V. Inédito; 204 pp.
- ROMERO, P. (1996). Significado tectónico y procedencia de las rocas de la Formación Misoa en el sector norte del lago de Maracaibo. Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Departamento de Geología. Inédito ; 187 pp.
- SHANMUGAM, G. (1985). Significance of secondary porosity in interpreting sandstone composition. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 69(3); pp 378-384.
- SUTTON, F. (1946). Geology of Maracaibo basin, Venezuela. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 30(10); pp 1621-1741.
- VAN ANDEL, T. (1958). Origin and classification of Cretaceous, Paleocene and Eocene sandstones of western Venezuela. In : Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 42(4); p. 734-763.
- VAN VEEN, F. (1972). Ambientes sedimentarios de las formaciones Mirador y Misoa del Eoceno Inferior y Medio en la cuenca del lago de Maracaibo. En : Mem. IV Cong. Geol. Venez. Caracas, Publ. Esp. #5, Tomo II; p. 1074-1104.

- VAN WAGONEER (1995). Secuence stratigraphy and marine to nonmarine facies architecture of Foreland Basin strata. In: Secuence Stratigraphy of Foreland Basins deposits. Amer. Ass. Petrol. Geol. Memoir 64
- VILLAMIL, T. (1999). Campanian-Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela. In: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 153; Elsevier; pp 239-275.
- YORIS, F. (1984) Revisión de la estratigrafía del Cretácico Inferior en la franja de San Antonio de Maturín-Caripito-Bolivita-Campo Alegre (edos. Monagas y Sucre), y análisis petrográfico-estadístico de areniscas al oeste del río San Juan. Departamento de Geología, U.C.V. Tesis de Magister Scientiarum en Ciencias Geológicas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Inédito; 420 pp
- YORIS, F. (1989). Proposición y desarrollo de un método para el análisis modal petrográfico. Trabajo de Ascenso a la categoría de Profesor Asociado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Depto. de Geología, U.C.V. Inédito; 173 p.
- YORIS, F. (1992). Análisis de secuencias clásticas por métodos gráficos y estadísticos. Tesis Doctoral en Ciencias Geológicas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Dpto. de Geología, U.C.V. Inédito; 1052 p.
- ZUFFA, G. (1985). Optical analysis of arenites: Influence of methodology on compositional results. In: Zuffa, G.G. (de). Provenance of Arenite. Reidel Publishing Company; pp 165-189.

# ÍNDICE

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo y alcance del trabajo.....	5
1.2. Localización del área de estudio .....	6
1.3. Metodología de la investigación.....	6
1.3.1 Recopilación de información existente.....	6
1.3.2 Etapa de oficina y laboratorio.....	6
1.4. Geología del área de estudio .....	11
1.4.1 Marco Geológico.....	11
1.4.2 Trabajos Previos .....	14
1.4.3 Estratigrafía del área .....	16
<b>2. Marco Estratigráfico Regional .....</b>	<b>21</b>
2.1 Generalidades.....	21
2.2 Ciclos depositacionales del occidente de Venezuela.....	21
<b>3. Petrografía Sedimentaria y Análisis Modal.....</b>	<b>39</b>
<b>FORMACIÓN LA SIERRA .....</b>	<b>39</b>
<b>FORMACIÓN MIRADOR .....</b>	<b>48</b>
<b>4. Procedencia. Diagramas Ternarios de procedencia .....</b>	<b>77</b>
4.1 Generalidades.....	77
4.2 Interpretación de los triángulos de procedencia .....	81
<b>5. Geología Estructural del área.....</b>	<b>96</b>
<b>5.1 Descripción de las líneas sísmicas analizadas.....</b>	<b>96</b>
Grupo de orientación WNW-ESE .....	96
<i>Línea 1</i> .....	96
<i>Línea 2</i> .....	97
<i>Línea 3</i> .....	101
Grupo de orientación ENE-WSW .....	102
Grupo de orientación ENE-WSW .....	102
<i>Línea 4</i> .....	102
Grupo de orientación E-W .....	102
<i>Línea 5</i> .....	102
Grupo de orientación N-S.....	105
<i>Línea 6</i> .....	105
<i>Línea 7</i> .....	109
<b>6- Evolución Paleogeográfica .....</b>	<b>116</b>
<b>7- Sumario y Conclusiones.....</b>	<b>118</b>
<b>8- Recomendaciones.....</b>	<b>120</b>
<b>9- Bibliografía .....</b>	<b>121</b>



que muestra la relación porcentual entre el cuarzo monocristalino y el cuarzo policristalino en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3	62
Figura 22. a) Gráfico de barras que muestra la relación porcentual entre feldespatos potásicos, plagioclasas y feldespatos indeterminados en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3	
b) Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre feldespatos potásicos, plagioclasas y feldespatos indeterminados en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3	63
Figura 23. a) Gráfico de barras que muestra la relación porcentual entre los diferentes fragmentos líticos observados en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3	
b) Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre los diferentes fragmentos líticos observados en las muestras de la Formación Mirador, pozo Alt-3	64
Figura 24. a) Gráfico de barras que muestra la distribución porcentual de las variables Cuarzo monocristalino y Cuarzo policristalino, Formación La Sierra, pozo Alp-2	
b) Gráfico de torta que muestra la distribución porcentual de las variables Cuarzo monocristalino y Cuarzo policristalino, Formación La Sierra, pozo Alp-2	65
Figura 25. a) Gráfico de barras que muestran la relación porcentual entre feldespatos potásicos, plagioclasa y feldespatos indeterminados en las muestras de la Formación La Sierra, pozo Alp-2	
b) Gráfico de torta que muestran la relación porcentual entre feldespatos potásicos, plagioclasa y feldespatos indeterminados en las muestras de la Formación La Sierra, pozo Alp-2	66
Figura 26. a) Gráfico de barras que muestra la relación porcentual entre los diferentes fragmentos líticos observados en las muestras de la Formación La Sierra, pozo Alp-2	
b) Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre los diferentes fragmentos líticos observados en las muestras de la Formación La Sierra, pozo Alp-2	67
Figura 27. a) Gráfico de barras que muestra la relación porcentual entre las diferentes variables observadas en las muestras del Grupo Orocué, superficie	68
b) Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre las diferentes variables observadas en las muestras del Grupo Orocué, superficie	68
Figura 28. Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre el cuarzo monocristalino y el cuarzo policristalino en las muestras del Grupo Orocué, superficie	69
Figura 29. Gráfico de torta que muestra la relación porcentual entre los feldespatos K, las plagioclasas y los feldespatos indeterminados en las muestras del Grupo Orocué, superficie	69
Figura 30. Gráfico que muestra la relación porcentual entre los diferentes fragmentos líticos observados en las muestras del Grupo Orocué, superficie	70
Figura 31. Triángulo Qt-F-L de procedencia según Dickinson et al., 1983	82
Figura 32. Triángulo Qt-F-L para todas las muestras	82
Figura 33. Triángulo Qt-F-L para la Formación La Sierra	83
Figura 34. Triángulo Qt-F-L para la Formación La Sierra, pozo Alp-2	83
Figura 35. Triángulo Qt-F-L para la Formación Mirador	84
Figura 36. Triángulo Qt-F-L para la Formación Mirador, pozo Alt-3	84
Figura 37. Triángulo Qt-F-L para el Grupo Orocué, superficie	85
Figura 38. Triángulo de Dickinson et al. (1983), Qm-F-Lt utilizado para establecer proveniencia de sedimentos	85
Figura 39. Triángulo Qm-F-Lt para todas las muestras estudiadas	90
Figura 40. Triángulo Qm-F-Lt para la Formación La Sierra	90
Figura 41. Triángulo Qm-F-Lt para la Formación La Sierra, pozo Alp-2	91
Figura 42. Triángulo Qm-F-Lt para la Formación Mirador	91
Figura 43. Triángulo Qm-F-Lt para la Formación Mirador, pozo Alt-3	92
Figura 44. Triángulo Qm-F-Lt para la Formación Mirador, pozo Alp-2	92
Figura 45. Triángulo Qm-F-Lt para el Grupo Orocué, superficie	
Figura 46. Triángulo Qp-Lv-Ls para determinar marco dominante en la fuente de sedimentos Modificado de Dickinson y Suczek (1979)	93
Figura 47. Triángulo Qp-Lv-Ls para todas las muestras analizadas	
Tabla 2. Tabla donde se muestra la composición de las diferentes fuentes de aporte en el occidente de Venezuela. Tomado y modificado de Cardozo (1996)	76

<i>Tabla 4. La tabla muestra las características de los depósitos y sus facies asociadas como consecuencia de la generación de una cuenca foreland (Tomado y modificado de Van Wagoneer, 1995 en Quintero, 1998).</i>	89
<i>Figura 49. Esquema que muestra el avance de los terrenos Caribe en el occidente de Venezuela, cuenca de Barinas. Estos terrenos aportaron sedimentos a la cuenca durante el Eoceno medio (las flechas indican la dirección de aporte). Modificado de Quintero, 1998.</i>	95
<i>Figura 50. Mapa de ubicación de las líneas sísmicas analizadas</i>	98
<i>Figura 51. Línea sísmica 1. En esta se muestran las tres secuencias interpretadas, así como las terminaciones laterales</i>	99
<i>Figura 52. Línea sísmica 1, parte oeste de la mostrada en la Figura 44. En esta sección pueden observarse las estructuras de deformación dominantes en el área. Son fallas normales las cuales afectan el basamento</i>	100
<i>Figura 53. Sección sísmica 2. Se muestra la configuración estructural interpretada, en la cual puede notarse una falla de corrimiento intra-Cretácico. La estructura corresponde a un passive thrusting el cual se desplaza casi seguramente dentro de la unidad más lutítica del tope del Cretácico, es decir, la Formación Colón.</i>	103
<i>Figura 54. Línea sísmica 2, igual a la mostrada en la Figura 67, sólo que esta sección se encuentra más al SE. Se muestran las diferentes configuraciones de las unidades involucradas en el área.</i>	104
<i>Figura 55. Línea sísmica 3. Se muestran las terminaciones en downlap de las diferentes secuencias. Puede interpretarse que para el Paleoceno-Eoceno existe un alto estructural al este del área o que la cuenca se profundiza al oeste de la sección sísmica.</i>	106
<i>Figura 56. Línea sísmica 4. Se muestran las unidades interpretadas, así como las terminaciones laterales. Observese la falla normal reactivada como inversa; véase que al noreste, en la sección paleocena, el espesor es menor que al oeste. Puede interpretarse la presencia de un alto estructural al este del área.</i>	107
<i>Figura 57. Línea sísmica 5. Obsérvese la disposición de las tres grandes secuencias (Cretácico-Eoceno inferior; Eoceno inferior-Eoceno superior; post-Eoceno). También pueden notarse las terminaciones laterales en onlap en dirección NW, lo que puede interpretarse como que hacia esa dirección se encuentra un alto estructural. Las estructuras marcadas con la letra A, en la sección post-eoceno se interpretan como canales.</i>	108
<i>Figura 58. Línea sísmica 6. Se muestra la disposición geométrica de las unidades desde el Cretácico hasta el post-Eoceno.</i>	111
<i>Figura 59. Línea 7. Se muestra la configuración de las diferentes unidades presentes. En esta Figura pueden notarse las secuencias Cretácico-Paleoceno; Paleoceno-Eoceno inferior; Eoceno inferior-Eoceno superior y post-Eoceno. En esta última pueden detallarse "canales".</i>	112
<i>Tabla 5. Resumen de las características de las unidades observadas en las líneas sísmicas analizadas</i>	113
<i>Figura 60. Mapa esquemático donde se muestran las direcciones de aporte sedimentario interpretadas a partir de la descripción y análisis de las secciones sísmicas.</i>	115
<i>Tabla 6. Resumen de los datos de procedencia tanto a nivel de interpretación de líneas sísmicas como por datos de análisis petrotectónicos</i>	117

## ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFÍAS

<i>Fotomicrografía 1. Muestra 005.dat Formación Mirador. Vista general de arenita arcósica Pozo Alt-3</i>	42
<i>Fotomicrografía 2. Muestra 016.dat. Formación Mirador. Vista general de arenita lítica*/ Subarcosa**, pozo Alt-3</i>	42
<i>Fotomicrografía 3. Muestra 019.dat. Formación Mirador. Vista general de arenita arcósica Pozo Alt-3</i>	42
<i>Fotomicrografía 4. Muestra 10.853'9''.dat. Formación Mirador. Vista general de subarcosa, pozo Alp-2</i>	42
<i>Fotomicrografía 5. Muestra 10.533'4''. Formación La Sierra. Vista general de arenita lítica*/ Sublitaranita, pozo Alp-2</i>	43
<i>Fotomicrografía 6. Muestra 10.756'6''. Formación La Sierra. Vista general de arenita arcósica</i>	43
<i>Fotomicrografía 7. Muestra 10.785'6''. Formación La Sierra. Vista general de arenita lítica*/subarcosa**, pozo Alp-2</i>	43
<i>Fotomicrografía 8. Muestra tk-022<sup>a</sup>. Grupo Orocué. Vista general de arenita lítica Superficie.</i>	43
<i>Fotomicrografía 9. Obsérvense las bandas de óxido de hierro, feldespatos, micas, (muscovita) Formación La Sierra, muestra 10668'11''. Objetivo 2,5/0,8. Ocular 12,5X. Arenita arcósica</i>	46
<i>Fotomicrografía 10. Pueden observarse fragmentos de roca, filosilicatos (muscovita en su Mayoría), cuarzo y algunos granos de feldespatos. Formación La Sierra. Muestra 10673'8''- Objetivo 2,50/0,8. Ocular 12,5X. Arenita lítica</i>	47
<i>Fotomicrografía 11. Pueden notarse los fragmentos de rocas sedimentarias (lutitas), así como Granos de chert, feldespatos y fragmentos de rocas ígneas volcánicas. Objetivo 2,5/0,8. Ocular 12,5X. Muestra 10792'7''. Formación La Sierra. Arenita lítica/subarcosa</i>	47
<i>Fotomicrografía 12. En esta foto se pueden observar fragmentos de feldespatos alterados, granos De chert, cuarzo, fragmentos de rocas ígneas volcánicas y fragmentos de rocas sedimentarias (lutitas). Objetivo 10/0,25. Ocular 12,5X. Muestra 9.dat. Formación Mirador. Arenita arcósica</i>	49
<i>Fotomicrografía 13. Pueden notarse cristales de cuarzo, feldespatos, fragmentos de filosilicatos, así como fragmentos de rocas metamórficas. Objetivo 1/0,25. Ocular 12,5X. Muestra 10770'5''. Formación La Sierra. Subarcosa.</i>	49
<i>Fotomicrografía 14. Detalle de cristales de feldespatos y fragmentos de rocas metamórficas y Sedimentarias (lutitas). Objetivo 10/0,25. Ocular 12,5X. Muestra 10770'5''. Formación La Sierra. Subarcosa.</i>	49
<i>Fotomicrografía 15. Pueden notarse los granos de feldespatos, de chert, filosilicatos (muscovita Principalmente) y cristales de cuarzo. Objetivo 2,5/0,8. Ocular 12,5X Muestra 10853'9''. Formación Mirador. Subarcosa</i>	51
<i>Fotomicrografía 16. En esta foto pueden observarse fragmentos de rocas metamórfica, ígneas volcánicas y sedimentarias (lutita). Objetivo 2,5/0,12. Ocular 12,5X. Muestra 10833'9''. Formación Mirador. Arenita arcósica</i>	51