

# TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

## CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DEL LÍMITE EOCENO - OLIGOCENO DE LA ZONA SURCENTRAL DE LA CUENCA DE FALCÓN

Trabajo especial de grado  
presentado ante la ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar por el  
título de Ingeniero Geólogo  
por el bachiller  
**Ricardo José Vélez Lárez.**

Caracas, Febrero de 2007.

# TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

## CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DEL LÍMITE EOCENO - OLIGOCENO DE LA ZONA SURCENTRAL DE LA CUENCA DE FALCÓN

Tutor Académico:

**Ing. Ricardo Alezones**

Cotutor Académico:

**Olga Rey, Ph.D.**

Trabajo especial de grado  
presentado ante la ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar por el  
título de Ingeniero Geólogo  
por el bachiller  
**Ricardo José Vélez Lárez.**

Caracas, Febrero de 2007.

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Ricardo José Vélez Lárez, titulado:

CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DEL LÍMITE EOCENO -  
OLIGOCENO DE LA ZONA SURCENTRAL DE LA CUENCA DE FALCÓN

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

---

Prof. Rafael Falcón  
Jurado

---

Prof. Paul Romero  
Jurado

---

Prof. Ricardo Alezones  
Jurado

...agradesco a la sabiduría y  
el amor de mi madre, y al  
espíritu de mi padre...

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela, a la verdadera, a la integral e integradora, la de las posturas de vanguardia, la de significación social... a la que se reinventa a sí misma, a esa... gracias!

A la Escuela Geología, Minas y Geofísica, a sus integrantes, por enseñarme secretos de la naturaleza y otras cosas, desde la tectónica de placas hasta la responsabilidad. Por ayudarme a crecer.

A mi amigo y mentor, Ricardo Alezones, por su apoyo, su consejo y su guía, siempre. Este trabajo significa el comienzo de un trabajo de vida.

A mi familia por anclarme a un mundo sincero, humilde, amoroso, solidario, humano. Un mundo con defectos pero con esperanza. A mi familia por significar un compromiso con el bien.

A mis amigos, a los que están ahora y a los que andan de paseo.

Mucho de lo que los hombres significamos es, en realidad la suma de las voluntades de muchos. Gracias por su apoyo y sus enseñanzas, este logro es suyo también. Gracias a todos por ser tan diferentes, lo que nos hace fuertes, y por asumir el compromiso de voltear la cara y caminar hacia una ciencia social, una ciencia humana, una ciencia ecológica, una ciencia para el sostenimiento de la vida.

Finalmente, le agradezco a dios por no dejar que la guerra me sea indiferente... y le pido que eso nunca pase.

Es grande la deuda que tenemos... por eso nuestro compromiso debe ser mayor.

Ricardo José Vélez Lárez

## **Caracterización litoestratigráfica del límite Eoceno - Oligoceno de la zona surcentral de la cuenca de Falcón**

**Tutor Académico: Ing. RICARDO ALEZONES, Cotutor: Dra. OLGA REY. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2006, 142 p.**

**Palabras Claves:** Formación Jarillal, formaciones Castillo – Churugura sin diferenciar, Formación El Paraíso, cuenca de Falcón, límite Eoceno – Oligoceno, litoestratigrafía, unidades litoestratigráficas, procedencia, ambiente tectónico y correlación.

Este trabajo tuvo como finalidad la caracterización litoestratigráfica del límite Eoceno - Oligoceno en el área surcentral de la cuenca de Falcón mediante el estudio de las unidades litológicas ahí aflorantes. Para ello se realizó el levantamiento geológico y muestreo en una sección ubicada sobre el cauce de la quebrada Maica, cercana a la población de Baragua, estado Lara, en donde afloran las formaciones El Paují, Santa Rita y Jarillal del Eoceno y las formaciones Castillo – Churugura *sin diferenciar* de edad Oligoceno. Con el fin de caracterizar con mayor profundidad las rocas oligocenas, se realizó el levantamiento geológico y muestreo de la Formación El Paraíso, que aflora en el cauce del río Purureche, cercano a la población del mismo nombre, estado Falcón.

El estudio se estructuró en tres niveles. *Escala Regional*, que corresponde con la compilación de la cartografía actual, de la información paleogeográfica, y de los modelos de evolución geológica. *Escala Macroscópica*, que abarca el estudio de las características sedimentológicas y estructurales, a nivel de afloramiento, y el muestreo de las unidades correspondientes. *Escala Microscópica*, el muestreo de las unidades fue evaluado microscópicamente por método de análisis modal, usando el método propuesto por YORIS (1989).

En la sección de Baragua, se identificaron cuatro unidades litoestratigráficas, que coinciden con las definiciones formales del LEV, sin embargo se proponen nuevos límites basados en evidencias estructurales y estratigráficas. La procedencia de las unidades Santa Rita, Jarillal, El Paraíso y Churugura-Castillo *sin diferenciar*, se asocian a reciclados líticos, basamentos levantados, reciclados transicional a cuarzoso, y arcos transicionales a orógenos reciclados, respectivamente.

Mediante la comparación de los resultados obtenidos para estas unidades y la integración de estos con el marco evolutivo de la cuenca para la época en estudio, se establece un modelo regional integrado, donde se evalúan las características sedimentológicas, estructurales, paleoambientales, los resultados de procedencia, y las correlaciones entre unidades.

## ÍNDICE

	Página
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1.- ENUNCIADO DEL PROBLEMA	1
1.2.- JUSTIFICACIÓN	1
1.3.- OBJETIVOS	2
1.3.1.- OBJETIVO GENERAL	2
1.3.2. - OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
1.4.- UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	3
1.5.- METODOLOGÍA	6
1.5.1.- Fase Preliminar:	6
1.5.2.- Fase de Campo:	6
1.5.3.- Fase de Oficina:	7
1.6.- TRABAJOS PREVIOS	16
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>GEOLOGÍA REGIONAL</b>	20
2.1.- GENERALIDADES	20
2.2.- EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA CUENCA DE FALCÓN	20
2.2.1.- Estratigrafía Regional	26
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>GEOLOGÍA LOCAL</b>	
3.1- GENERALIDADES	34
3.1.- Sección A: Baragua, estado Lara	36
3.2.- Sección B: Purureche, estado Falcón	50
3.3.- Muestreo	53

**CAPÍTULO IV**

## PETROGRAFÍA Y MINERALOGÍA DESCRIPTIVA

4.1.- Generalidades	54
4.2.- Variables Estudiadas	55
4.2.1.- Cuarzo	55
4.2.2.- Feldespatos	62
4.2.3.- Fragmentos de Rocas	67
4.2.4.- Micas	74
4.2.5.- Matriz	77
4.2.6.- Minerales Autigénicos	81

**CAPÍTULO V**

## PROCEDENCIA

5.1 Generalidades	84
5.2. Consideración sobre la procedencia de los sedimentos analizados	100
5.2.1.- Sección Baragua, estado Lara	100
5.2.2.- Sección Río Purureche, estado Falcón	104

**CAPÍTULO VI**

## GEOLOGÍA HISTÓRICA

6.1. Consideraciones sobre la historia de la cuenca y la procedencia de los sedimentos para el límite Eoceno-Oligoceno	114
---	-----

**CAPÍTULO VII**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	126
--	-----

**BIBLIOGRAFIA**

129

**ANEXOS**

136

**LISTAS DE TABLAS Y FIGURAS**

	DESCRIPCIÓN	Página
1.1	Ubicación de las secciones de estudio. Tomadas y modificadas de Google-earth	3
1.2	Vía de acceso a la población de Baragua	4
1.3	Vía de acceso a la población de Baragua	4
1.4	Vía secundaria de la población de Baragua	5
1.5	. Microscopio usado en los estudios petrográficos, modelo Leitz Orthoplan, con platina graduable ajustable y graduada.	8
1.6	Modelo de planilla a llenar en el análisis petrográfico modal	9
1.7	Distribución de datos en hoja de Excel para luego poder ser exportados al programa <i>Análisis Modales</i>	10
1.8	Ventana <i>Guardar como</i> . Usada para guardar copias de las tablas de datos en archivos de texto	11
1.9	Ventanas Bloc de Notas. La ventana de la derecha muestra la manera correcta en que debe quedar el final de la lista de datos.	12
1.10	Ventana <i>Análisis Modal</i> , opción cargar datos	12
1.11	Ventana <i>Análisis Modal</i> . Opción calcular y guardar resultados.	13
1.12	Ventana <i>Análisis Modal</i> . La pestaña de resultados está marcada en la figura de la izquierda, a la derecha se muestra la ventana de resultados	13
1.13	Ventana de ingreso de datos en el programa TRIDRAW	14
1.14	Manera de cambiar los nombres de los ejes del triángulo	15
1.15	Vista de triángulo.	15
1.16	Ventana <i>Análisis Modal</i> . La pestaña de resultados está marcada en la figura de la izquierda, a la derecha se muestra la ventana de resultados	16
2.1	Evolución de las cuencas “pull-apart” Falcón y Bonaire.	21

2.2	Generación de cuencas extensionales asociadas a transcurrencia al sur del límite entre las placas del Caribe y Suramericana.	22
2.3	Marco geológico regional para la sedimentación en Venezuela occidental (cuencas de Maracaibo, Falcón, Barinas – Apure y Oriental subcuenca de Guárico) durante el Oligoceno	23
2.4	Máximo desarrollo del “pull – apart” del estado Falcón	23
2.5	Colmatación de las cuencas antepaís y levantamiento regional del norte de Venezuela, resultado de la deformación de extensas zonas asociadas al sistema de fallas de Boconó, San Sebastián y Oca; cuencas extensionales se mantienen al norte del estado Falcón	24
2.6	Modelo de orógeno de flotación para la cuenca de Falcón-Bonaire	26
2.7	Paleogeografía del Oligoceno, tomado y modificado de MACELLARI, 1995.	30
3.1	Mapa geológico y de ubicación de la sección estudiada Baragua, quebrada Maica, edo. Lara.	35
3.2	Arcillitas oscuras de la Formación El Pauj. Afloramiento PAA1. Sección de Baragua, quebrada Maica, estado Lara.	36
3.3	A) Nivel de concreciones. B) Jarosita. Ambas presentes en las lutitas de la Formación Paují. sección de Baragua	37
3.4	Distribución porcentual de los litotipos presentes en la Fm. Santa Rita en transepto estudiado sobre la quebrada Maica, Estado. Lara	38
3.5	Arcillitas de la Formación Santa Rita en contacto con un paquete de conglomerados. Afloramiento SRC1. Sección de Baragua, quebrada <i>Maica</i> , estado Lara.	39
3.6	Cantos que componen el paquete conglomerático inferior de la Fm. Santa Rita.	40
3.7	Secuencia rítmica de conglomerados, areniscas y arcillitas. Formación Sanata Rita. Sección de Baragua, quebrada <i>Maica</i> , estado Lara	41
3.8	Secuencia conglomerática de la Formación Santa Rita, con detalle.	41
3.9	Tope del afloramiento de la secuencia conglomerática SRC1. Nótese el contacto abrupto entre las secuencias conglomeráticas y las arcillitas. Sección de Baragua, quebrada <i>Maica</i> , estado Lara	42
3.10	Calizas pertenecientes a la Formación Santa Rita, sección de Baragua, Afloramiento SRC2, estado Lara.	43
3.11	Lutitas del contacto entre las formaciones Santa Rita-Jarillal, quebrada Maica, estado Lara.	44
3.12	Intercalación de areniscas y lutitas en la base de la Formación Jarillal, sección de Baragua, quebrada Maica, estado Lara.	45
3.13	Secuencia monótona de wakas y arcillitas del tope de la Formación Jarillal, sección de Baragua, quebrada Maica, estado Lara.	45

3.14	Paquete de areniscas la base de la Formación Churuhuara-Castillo <i>sin diferenciar</i> , quebrada <i>Maica</i> , vista al oeste, estado Lara.	47
3.15	Diferencia reológica entre las areniscas de las formaciones Jarillal, <b>A</b> , y Churuhuara-Castillo <i>sin diferenciar</i> , <b>B</b> , Afloramiento JW2, quebrada <i>Maica</i> , estado Lara.	47
3.16	Paquete de areniscas la base de la Formación Churuhuara-Castillo <i>sin diferenciar</i> , quebrada <i>Maica</i> , estado Lara.	48
3.17	Mapa geológico y de ubicación del transepto estudiado sobre el cause del río Purureche, estado Falcón	49
3.18	Areniscas de la Formación El Paraíso, sección del río Purureche, estado Falcón.	50
3.19	Precipitación supergénica de jarosita en las areniscas de la Formación El Paraíso, sección del río <i>Purureche</i> , estado Falcón.	51
3.20	Sección correspondiente a la Formación El Paraíso, sección del río <i>Purureche</i> , estado Falcón.	51
3.21	Detalle de la capa de lignito y azufre, pertenecientes a la Formación El Paraíso, de la Formación El Paraiso, sección del río Purureche, estado Falcón.	52
3.22	Secuencia deformada de la Formación El Paraíso, A, sección de areniscas y arcillitas rítmicas de poco espesor, B, sección del río Purureche, estado Falcón.	52
3.23	Sección correspondiente a la Formación Pecaya, sección del río Purureche, estado Falcón	53
4.1	Muestra de algunos tipos de cuarzos, presentes en las muestras de la quebrada Maica, estado Lara.	56
4.2	Gráfica de distribución de las concentraciones de Qm, con extinción recta u ondulatoria, Sección Baragua, estado Lara.	57
4.3	Gráfica de distribución de las concentraciones de Qm, con extinción recta u ondulatoria, Sección Río Purureche, estado Falcón.	58
4.4	Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de Qp, con más de 3 cristales por grano o con menos de 4, en sus formas con extinción recta u ondulatoria, Sección Baragua, estado Lara.	60
4.5	Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de Qp, con más de 3 cristales por grano o con menos de 4, en sus formas con extinción recta u ondulatoria, en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.	62
4.6	Muestra de algunos tipos de feldespatos, presentes en las muestras de la quebrada Maica, estado Lara.	63
4.7	Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de feldespatos: plagioclasa, feldespatos potásicos, feldespatos indeterminados (alterados). Sección Baragua, estado Lara.	63

4.8	Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de feldspatos: plagioclasa, feldspatos potásicos, feldspatos indeterminados (alterados). Sección Río Purureche, estado Facón.	65
4.9	Gráfica de distribución de las concentraciones de feldespato total (plagioclasa, feldspatos potásicos, feldspatos indeterminados (alterados)). Sección Baragua, estado Lara.	66
4.10	Gráfica de distribución de las concentraciones de feldespato total (plagioclasa, feldspatos potásicos, feldspatos indeterminados (alterados)). La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.	67
4.11	Muestra de algunos tipos de fragmentos de rocas, presentes en las muestras de la quebrada Maica, estado Lara.	69
4.12	Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de fragmentos de rocas: lutitas, limonitas y arcosas; volcánicas no-metamórficas; esquistos y filitas; gneis y rocas metamórficas no-foliadas; rocas ígneas félsicas, y ftanitas. Sección Baragua, estado Lara.	69
4.13	Gráfica de distribución de las concentraciones de fragmentos de rocas totales: lutitas, limonitas y arcosas + volcánicas no-metamórficas + esquistos y filitas + gneis y rocas metamórficas no-foliadas + rocas ígneas félsicas + y ftanitas. Sección Baragua, estado Lara.	71
4.14	Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de fragmentos de rocas: lutitas, limonitas y arcosas; volcánicas no-metamórficas; esquistos y filitas; gneis y rocas metamórficas no-foliadas; rocas ígneas félsicas, y ftanitas. Sección Río Purureche, estado Facón.	72
4.15	Gráfica de distribución de las concentraciones de fragmentos de rocas totales: lutitas, limonitas y arcosas + volcánicas no-metamórficas + esquistos y filitas + gneis y rocas metamórficas no-foliadas + rocas ígneas félsicas + y ftanitas. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.	73
4.16	Muestra de muscovita, presentes en la muestra L 20 de la quebrada Maica, estado Lara.	74
4.17	Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de micas detríticas: moscovita y clorita. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Lara.	75
4.18	Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de micas detríticas: moscovita y clorita. Sección Río Purureche, estado Facón.	76
4.19	Vistas de las matrices de material indeterminado, presentes en muestras de las secciones de Quebrada Maica, estado Lara, y río Purureche, estado Falcón.	77

4.20	Gráfica de distribución de las concentraciones de matriz (finos), quebrada <i>Maica</i> , estado Lara.	78
4.21	Tabla de clasificación de las muestras de la Formación Jarillal, en la sección de la quebrada Maica, estado Lara.	79
4.22	Gráfica de distribución de las concentraciones de matriz (finos), río Purureche, estado Falcón.	80
4.23	Vistas de distintos tipos de cementos, presentes en muestras de las secciones de Quebrada Maica, estado Lara, y río Purureche, estado Falcón.	81
4.24	Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de minerales autigénicos: cuarzo autigénico por trituración; limonita; moscovita; caolinita, clorita. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada Maica, estado Lara.	82
4.25	Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de minerales autigénicos: cuarzo autigénico por trituración; limonita; moscovita; caolinita, clorita. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.	83
5.1	Diagramas triangulares $Q-F-L$ y $Qm-F-Lt$ para estudios de procedencia, tomado y modificado de DICKINSON et al., 1983.	85
5.2	Diagrama triangular doble para el uso de la extinción ondulatoria y la policristalinidad del cuarzo en la interpretación de proveniencia. Tomado y modificado de BASU et al. (1975).	89
5.3	Diagrama esquemático ilustrando el proceso de evolución de la extinción del cuarzo postulado por YOUNG (1976).	90
5.4	Diagrama resumen de las propiedades de las plagioclasas en el estudio de procedencia, que pueden ser determinadas a través de petrografía convencional.	93
5.5	Minerales pesados característicos en las principales rocas fuentes.	93
5.6	Diagrama de estabilidad mecánica relativa de algunos minerales pesados.	94
5.7	Diagrama de estabilidad química relativa para algunos minerales pesados y para distintas condiciones del proceso sedimentario.	95
5.8	Distribución y Caracterización Geológica de Zonas Positivas durante el Paleoceno-Eoceno Medio Tardío.	97
5.9	Diagramas de procedencia con las gráficas de las muestras correspondientes a la sección de la quebrada Maica, estado Lara.	102
5.10	Diagrama de análisis de procedencia en función de las características de la extinción y la policristalinidad, para las muestras de la sección quebrada Maica, estado Lara.	100
5.11	Vista de las areniscas de la Formación Churuguara-Castillo <i>sin diferenciar</i> .	103

5.12	Diagrama de análisis de procedencia en función de las características de la extinción y la policristalinidad, para las muestras de la sección río Purureche, estado Falcón.	108
6.1	Cuadro de correlación general de las unidades litoestratigráficas de la cuenca de Falcón.	116
6.2	Cuadro de edades correspondientes a las formaciones del Eoceno y Oligoceno asociadas a este estudio.	117
6.3	Vista de una discordancia angular local dentro de la sección superior de la Formación Jarillal, afloramiento JW2.	118
6.4	Paleogeografía para el Oligoceno, se puede observar las áreas emergidas de Paraguaná, y las plataformas emergidas de rocas Cretácicas, y el área de Siquisique (Suite Ofiolítica).	119
6.2	Cuadro de edades correspondientes a las formaciones del Eoceno y Oligoceno asociadas a este estudio.	117
6.3	Vista de una discordancia angular local dentro de la sección superior de la Formación Jarillal, afloramiento JW2.	118
6.3	Vista de una discordancia angular local dentro de la sección superior de la Formación Jarillal, afloramiento JW2.	118

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

La cuenca de Falcón abarca una extensión geográfica de 36.000 km<sup>2</sup> aproximadamente con un volumen de sedimentos de 161.000 Km<sup>3</sup>. Posee su mayor longitud entre la Victoria y Boca Tocuyo, y su mayor anchura se ubica entre la ensenada de La Vela de Coro y Churuguara, alcanzando unos 100 Km (GONZÁLEZ DE JUANA et al., 1980)

El siguiente trabajo busca realizar la caracterización litoestratigráfica del límite Eoceno – Oligoceno. Dicho trabajo, forma parte del proyecto titulado “*Estudio de litofacies, biofacies y relación con quimiofacies en el límite Eoceno-Oligoceno, cuenca de Falcón*”, el cual trata de establecer los parámetros geológicos que prevalecieron durante la formación de la cuenca de Falcón.

#### **1.1.- ENUNCIADO DEL PROBLEMA**

Caracterizar litoestratigráficamente el intervalo de tiempo Eoceno - Oligoceno en la zona sur central de la cuenca de Falcón, período en el cual se produce la individualización de la misma de la cuenca de Bonaire. El estudio se realizará en las secciones de la río Purureche, en el estado Falcón, y de la quebrada Baragua, en el estado Lara.

#### **1.2.- JUSTIFICACIÓN**

La necesidad de adquirir datos que aporten al modelo genético de la secuencia estratigráfica correspondiente al intervalo temporal Eoceno-Oligoceno en la cuenca de Falcón.

La presencia de una discontinuidad que pone en contacto rocas pertenecientes a la Formación Jarillal (Eoceno Medio Tardío al Eoceno Tardío Temprano) con rocas pertenecientes a la Formación El Paraíso (Oligoceno Temprano a Medio) y con las formaciones Castillo (Oligoceno a Mioceno Temprano) y Churuguara (Oligoceno Temprano a Mioceno Temprano), estas últimas sin diferenciar, es

motivo suficiente para generar un trabajo de investigación donde se pretenda caracterizar dichas zonas de contacto. Dicho contacto es reportado por BERROTERÁN & ZIRITT, 2004 y ROMERO & SALAS (2004) pero no es estudiado a detalle.

Por ser éste un proyecto de carácter científico, se contará con el apoyo institucional y financiero del CDCH (Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico) del Universidad Central de Venezuela. El número de dicho proyecto es **08.00.5646.20004**.

### **1.3- OBJETIVOS**

#### **1.3.1.- OBJETIVO GENERAL**

El siguiente estudio tiene la finalidad de aportar datos geológicos que evidencien la transición Eoceno-Oligoceno en el área surcentral de la cuenca de Falcón mediante la definición y caracterización de las litofacies asociadas.

#### **1.3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Cartografiar el límite Eoceno–Oligoceno en la zona de estudio.
- Definir las litofacies asociadas.
- Caracterizar petrográficamente las litofacies asociadas.
- Establecer el ambiente tectónico asociado a los sedimentos constituyentes de las unidades correspondientes al límite por evaluar, sus fuentes de aporte, y sus relaciones con la paleogeografía.

### 1.4.- UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En la realización de este estudio se seleccionaron dos secciones estratigráficas, ver mapa de ubicación en la figura 1.1:



**Fig. 1.1.** Ubicación de las secciones de estudio. Tomadas y modificadas de Google-earth 4-0-2091 (Beta), versión 14 Septiembre, 2006.

La sección norte, se ubica cerca del poblado de Purureche, distrito Democracia, estado Falcón, y específicamente sobre el cause del río que lleva el mismo nombre, en un área comprendida entre los paralelos U.T.M. 1 190 600 N y 1 190 500 N.

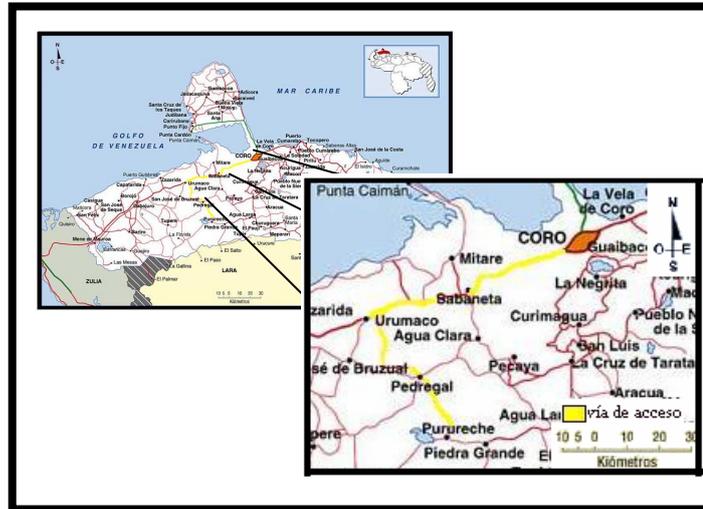
El acceso al poblado de Purureche es a través de la carretera Falcón – Zulia, tomando el desvío hacia el poblado de Pedregal, 30 minutos hacia el sur del mismo, ver figura 1.2.

La sección Sur, ubicada en las cercanías de la zona de Baragua, en el distrito Urdaneta del estado Lara, en la quebrada Maica, en un área de estudio que abarca las siguientes coordenadas:

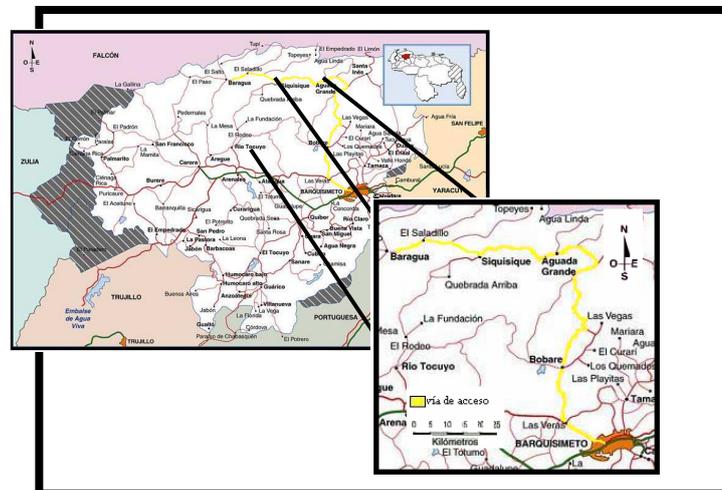
- A. N 1.190.500 – E 386.500
- B. N 1.190.500 – E 388.500
- C. N 1.189.500 – E 388.500
- D. N 1.189.500 – E 386.500

El acceso a la población de Baragua se realiza a través de la carretera que une Barquisimeto con los caseríos Bobare, Aguada Grande, Siquisique y Baragua,

este último a 1 hora de la población de Siquisique. El acceso a la quebrada se debe realizar caminando, ver Figura 1.3.



**Fig. 1.2.** Vía de acceso a la población de Baragua, tomado y modificado de <http://www.avenezuela.com/mapas/map/html/viales/falconv.html>



**Fig. 1.3.** Vía de acceso a la población de Baragua, tomado y modificado de <http://www.avenezuela.com/mapas/map/html/viales/larav.html>

El acceso hacia ambas zonas se debe hacer en un vehículo de doble tracción, debido a que la mayoría de las carreteras son de tierra y están en mal estado.



**Foto 1.4.** Vía secundaria de la población de Baragua.

## 1.5.- METODOLOGÍA

La metodología comprendió tres etapas que se describen a continuación:

### 1.5.1.- Fase Preliminar:

- Revisión y recopilación bibliográfica. Incluye la búsqueda de los trabajos que sirven de antecedentes para la elaboración del proyecto, así como también la recolección de información sobre la metodología a seguir en el desarrollo del mismo e información que abarque todo lo concerniente al manejo de la data recogida.
- Revisión de fotografías aéreas a escala 1:50.000 de la misión 0201106 que comprende las series 521-524, 1182-1187, 1205-1210. 1246-1252, con el fin de establecer las posibles vías de acceso y definir a grandes rasgos las litologías a encontrar en campo así como una interpretación estructural de la zona de estudio.
- Compilación de cartas topográficas a escalas 1:100.000 hojas 6147,6247, 6148 y 6248; y 1:25.000 hojas 6147 (I-NE), 6247 (IV-NE, IV-SO, IV-NO), 6148 (II-NE, II-SE), 6248 (III-SE, III-SO, III-NO IV-NE, IV-SO, IV-NO), 6148 (II-NE, II-SE), 6248 (III-SE, III-SO, III-NO). Revisión de la carta geológica DE CREOLE PETROLEUM CORPORATION del año 1962: C-4-D, la cual sirvió de base geológica para hacer la cartografía de unidades y estructuras geológicas presentes en la zona de estudio.
- Reconocimiento de la zona de estudio, recorriendo las quebradas tanto en sentido como norte y sur desde el punto establecido como el límite Eoceno – Oligoceno para verificar condiciones de los afloramientos y hacer el levantamiento geológico.

### 1.5.2.- Fase de Campo:

- Levantamiento geológico que incluyó:
  - Cartografía de la información geológica adquirida en el sistema CANOA.

- Definición y caracterización de los tipos litológicos presentes en las secciones a estudiar. La información se presenta en una columna estratigráfica.
- Muestreo de los litotipos asociados resistentes para soportar la realización de secciones delgadas. El levantamiento incluye a las formaciones: Santa Rita, Jarillal, Churuguara-Castillo *sin diferenciar* y El Paraíso.

### **1.5.3.- Fase de Oficina:**

Se puede dividir en tres fases: análisis petrográfico, análisis de los resultados y preparación de conclusiones del estudio, montaje del informe.

#### **1.3.3.1.- Análisis Petrográfico:**

**1.3.3.1.1.- Análisis petrográfico modal:** La petrografía modal se refiere al conteo e identificación de las características de los componentes de una sección fina de roca: granos minerales, matriz, porosidad, dimensiones de los componentes con algunos de los componentes estudiados. Los pasos seguidos para alcanzar este objetivo fueron:

- a. Selección de muestras de areniscas provenientes de las formaciones Santa Rita, Jarillal, Churugua-Castillo *sin diferenciar* y El Paraíso. Es aconsejable que dichas muestras sean de limpias, de tamaño de grano medio, y no-carbonáticas.  
Estas condiciones garantizan que las muestras posean un porcentaje de clásticos adecuado para poder obtener información precisa sobre la roca fuente.  
En el caso de la Formación Jarillal se tuvo que usar areniscas de grano fino por la ausencia de areniscas con granos de mayor tamaño.
- b. Se realizaron secciones finas a las muestras seleccionadas.
- c. Realización del análisis modal. Para ello se toma la sección fina y se ajusta sobre una platina constituida por dos ejes perpendiculares (X, Y) móviles y graduados. La sección se debe ubicar en la esquina correspondiente a las coordenadas (0, 0) de dicha platina, ver foto 1.5.



**Foto 1.5.** Microscopio usado en los estudios petrográficos, modelo Leitz Orthoplan, con platina graduable ajustable y graduada.

- d. Cuando un punto es identificado es reportado sobre una planilla diseñada por Yoris (1992) tal que al finalizar la petrografía de una sección fina se tenga toda la información necesaria y ordenada para posteriormente ingresarlos en el computador, en una hoja de cálculo. El modelo de planilla se muestra en la figura 4. En la columna PUNTO se anota la coordenada (x,y) del punto, en VARIABLE se coloca un número correspondiente al tipo identificado, por ejemplo, si se tiene caolinita autigénica en el punto en estudio se escribe en dicha columna el n° 44. En OBJETIVO se reporta el objetivo empleado para medir el diámetro mayor y menor del grano.

PLANILLA DE ANÁLISIS PETROGRÁFICOS MODALES (MÉTODO DE YORIS, 1992) HOJA N°: 1														
MUESTRA N°: D-21-12		OCULAR N°:		N° DE LECTURAS:		TIPO DE ROCA:		ANALISTA: Carab...						
FORMACIÓN:		POZO:		PROFUNDIDAD:		EDAD:		FECHA:						
LECTURA	PUNTO	VARIABLE	OBJETIVO	D	d	LECTURA	PUNTO	VARIABLE	OBJETIVO	D	d	LECTURA	PUNTO	VARIABLE
# 1						# 41						# 81		
# 2						# 42						# 82		
# 3						# 43						# 83		
# 4	(15, 6)	16	40x	6	4	# 44						# 84		
# 5						# 45						# 85		
# 6						# 46						# 86		
# 7						# 47						# 87		
# 8						# 48						# 88		
# 9						# 49						# 89		
# 10						# 50						# 90		
# 11						# 51						# 91		
# 12						# 52						# 92		
# 13						# 53						# 93		
# 14						# 54						# 94		
# 15						# 55						# 95		
# 16						# 56						# 96		
# 17						# 57						# 97		
# 18						# 58						# 98		
# 19						# 59						# 99		
# 20						# 60						# 100		
# 21						# 61						# 101		
# 22						# 62						# 102		
# 23						# 63						# 103		
# 24						# 64						# 104		
# 25						# 65						# 105		
# 26						# 66						# 106		
# 27						# 67						# 107		
# 28						# 68						# 108		
# 29						# 69						# 109		
# 30						# 70						# 110		
# 31						# 71						# 111		

Figura 1.6. Modelo de planilla a llenar en el análisis petrográfico modal. El ejemplo mostrado corresponde con el punto indicado en la figura n° 1, el cual se trataba de caolinita autigénica, con diámetros mayor y menor de 6 y 4, respectivamente.

## 2.2. Fase de oficina: Carga de datos

Luego de haber contado como mínimo 300 puntos por sección fina, se puede cargar de los datos en los programas.

- a. Para ingresar al programa indicado es necesario tenerlo en un diskette o que esté cargado al disco duro del ordenador. El procedimiento es el siguiente y es imprescindible que lea completamente:

*Instrucciones para cargar datos (puntos) en el programa Análisis Modales.*

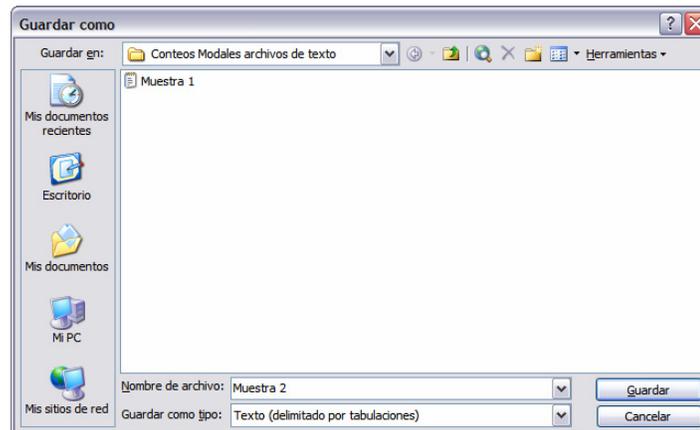
El programa *Análisis Modales* es una adaptación del programa de YORIS, 1992. Con el objetivo de adaptar a al ambiente de Windows el programa para análisis modal este proyecto financió y supervisó la adaptación realizada por el bachiller Yonel Meza Avila, estudiante de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UCV.

3. Transcriba los datos de la planilla a una hoja de Excel. Los datos se deben organizar como se muestra en la figura 5, mostrada a continuación.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Número de Ocular									
2	Número de Conteos realizados en la muestra									
3	Columna destinada para los números de las variables	Columna destinada para los números de los objetivos ópticos	Columna destinada para las magnitudes de los DIAMETROS MAYORES de cada	Columna destinada para las magnitudes de los DIAMETROS MENORES de cada grano						
14	2	40	30	10						
15	71	25	16	5						
16	2	25	45	28						
17	2	25	60	22						
18	71	40	30	10						

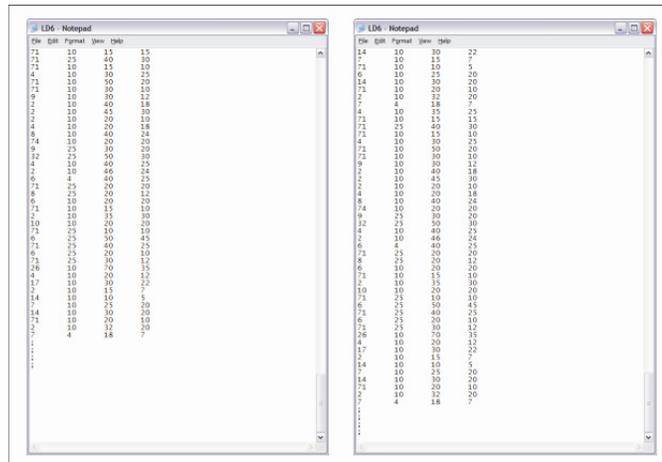
**Fig. 1.7.** Distribución de datos en hoja de Excel para luego poder ser exportados al programa *Análisis Modales*.

4. Luego de guardar la hoja de cálculo como normalmente se hace, se debe crear una copia adicional en formato *.tex*. Abra el menú de *archivo* en la pestaña superior de la ventana de Excel, y escoja la opción de *guardar como*. En la parte inferior de la ventana se encuentra la opción *Guardar como tipo*, despliegue las opciones, pulsando la flecha de la derecha que apunta hacia abajo, y escoja *Texto (delimitado por tabulaciones)*. Ver la figura 1.8, mostrada a continuación.



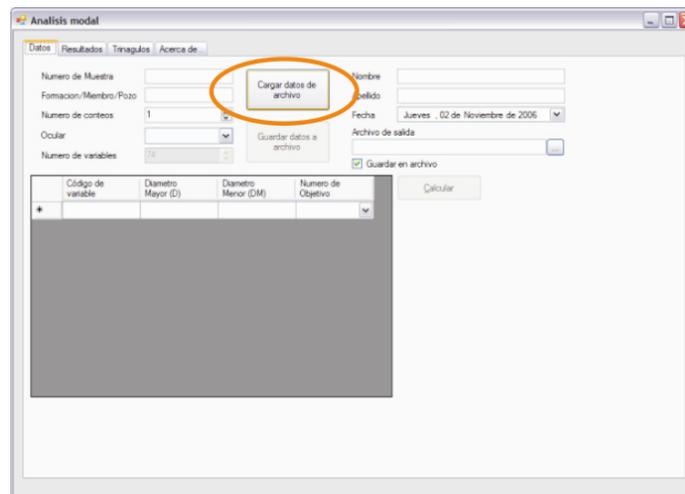
**Fig. 1.8.** Ventana *Guardar como*. Usada para guardar copias de las tablas de datos en archivos de texto.

5. Antes de importarlo al programa Análisis Modal deberá hacer ciertas modificaciones la versión tipo texto. Abra el archivo con el programa Bloc de Notas, Notepad en la versión en inglés. Asegúrese que la división entre las unidades y los decimales en los números esté hecha por puntos, ejemplo 12.5. Luego, deberá ir al final de la lista de datos y copiar un símbolo de punto y coma, ejemplo “ ; ”, en las cuatro filas siguientes. Por ultimo, deberá presionar el botón del teclado de *Supr*, ó *Del* en la versión en inglés, hasta que borre todas las filas extra que tenga en la lista, aunque estas no tengan datos. Ver figura 1.9.



**Fig. 1.9.** Ventanas *Bloc de Notas*. La ventana de la derecha muestra la manera correcta en que debe quedar el final de la lista de datos.

- Para importar los archivos de datos al programa *Análisis Modal*, deberá cerrar las ventanas de todos los programas que los tengan en uso, por ejemplo Excel. Luego abra el programa y presione el botón *Cargar datos de archivo*. Acuérdesese seleccionar la copia tipo texto. Podrá completar las casillas de la parte superior de la ventana para que se almacene información adicional, que permitirá una mejor organización.



**Fig. 1.10.** Ventana *Análisis Modal*, opción cargar datos.

7. Una vez cargados los datos solo deberá presionar el botón *Calcular*, marcado con el número 2 en la figura 1.11, para realizar los cálculos. Los resultados se presentan en una lista tipo texto. Si desea que estos se guarden a un dispositivo de almacenamiento deberá colocar el destino en la pestaña *Archivo de salida*, marcada con el número 1 en la figura 1.11, y asegurarse que esté seleccionada la opción *Guardar en archivo*, número 3 en la figura.

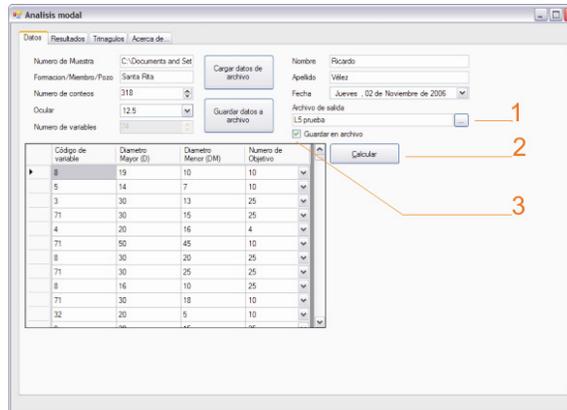


Fig. 1.11. Ventana *Análisis Modal*. Opción calcular y guardar resultados.

8. Para tener acceso a los resultados deberá presionar la pestaña *Resultados* ubicada en la parte superior izquierda, ver figura 1.12.

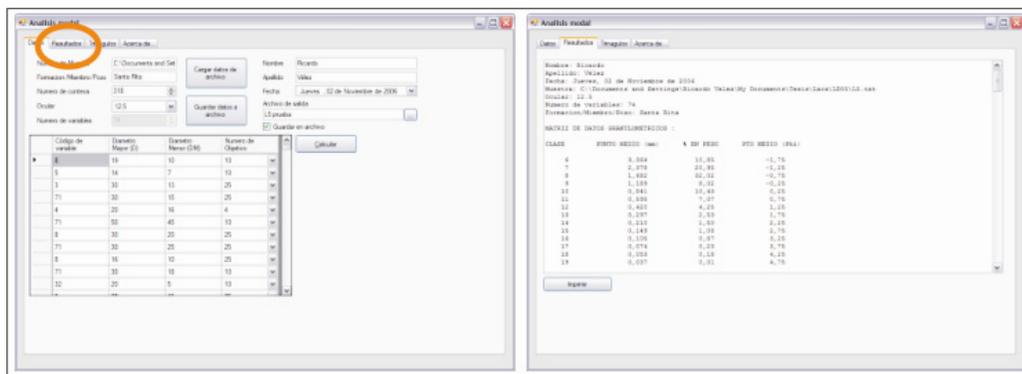
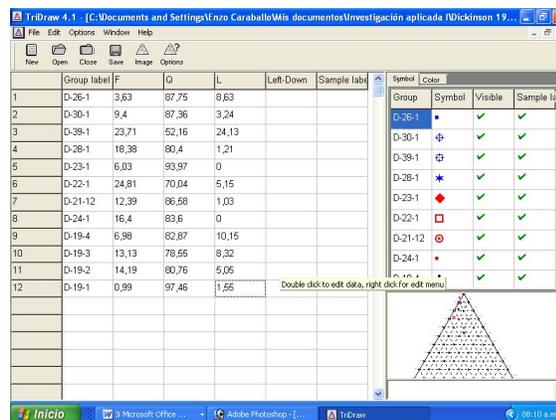


Fig. 1.12. Ventana *Análisis Modal*. La pestaña de resultados está marcada en la figura de la izquierda, a la derecha se muestra la ventana de resultados.

9. Para graficar los datos en un diagrama triangular se usó el programa *Tridraw*. El procedimiento para su uso se muestra a continuación. Esta metodología se usó tanto para la graficación en los diagramas de Dickinson y Sucek (1979), como para el de Pettijohn et al (1972).
- 9.1 Instale el programa en su computador
- 9.2 Luego abra el mismo desde INICIO y después PROGRAMAS
- 9.3 Aparecerá una ventana, en ambiente Windows, en la que ingresará los datos de nombre y porcentajes de Qm, Lt, y F para el primer triángulo y Q, L y F para el segundo triángulo, ver figura 1.13.



**Figura 1.13.** Ventana de ingreso de datos en el programa TRIDRAW.

- 9.4 Para cambiar los nombres de los ejes se hace clic en OPCIONES y luego en AXIS. BOTTOM corresponde con el vértice inferior izquierdo, LEFT UP con el superior y RIGHT con el inferior derecho. Véase la figura 1.14.

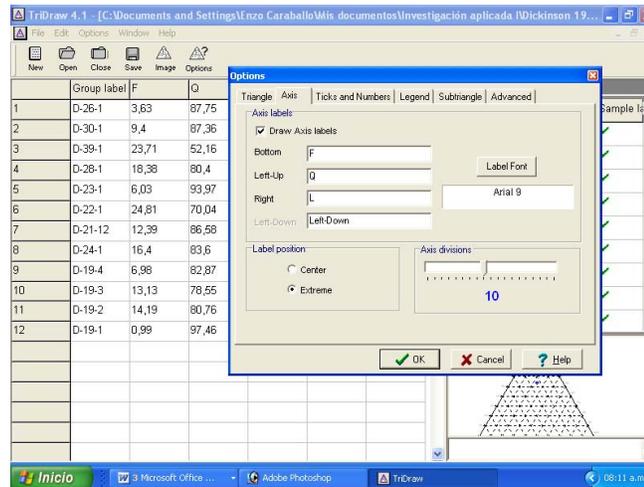


Figura 1.14. Manera de cambiar los nombres de los ejes del triángulo.

9.5 Seguidamente de ingresar los datos se hace clic en EDIT y luego UPDATE TRIANGLE para graficarlos en el triángulo, véase la figura 1.15). Para observar los puntos graficados se hace doble clic sobre el triángulo ubicado en la parte inferior derecha de la ventana.

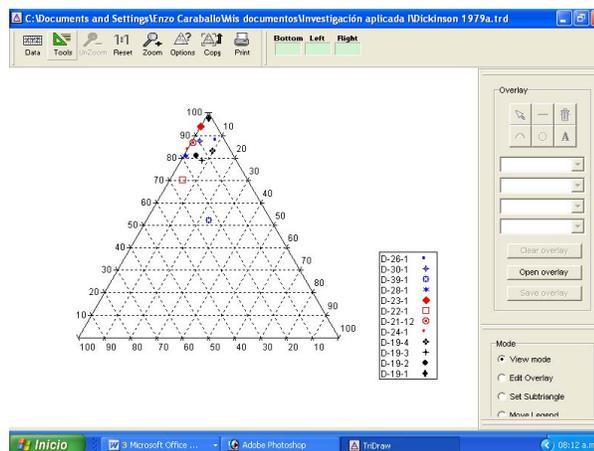
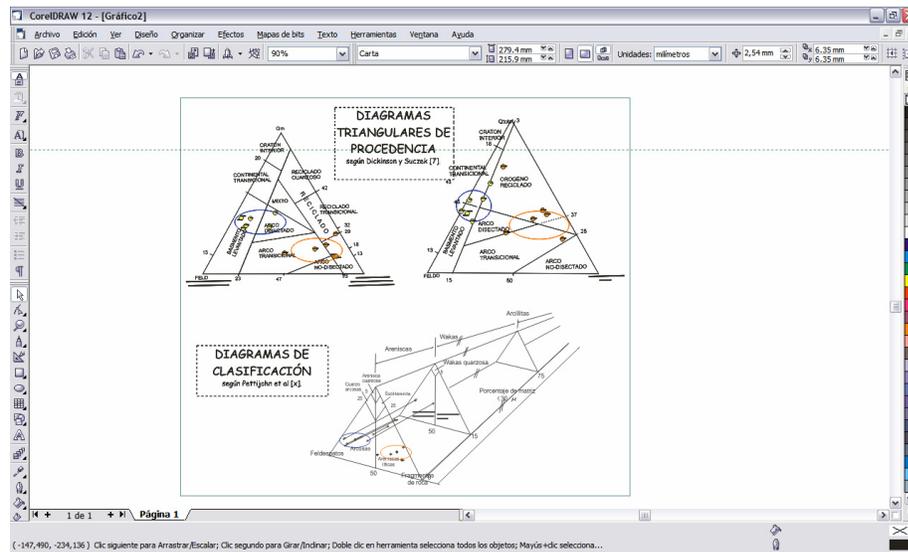


Figura 1.15. Vista de triángulo.

10. Por último, usando unas plantillas correspondientes a cada uno de los diagramas de clasificación usados, creadas en el programa *Corel Draw 12*, se ubica cada punto graficado en *Tridraw* en la zona que le corresponde. Ver figura 1.16.



**Fig. 1.16.** Ventana *Análisis Modal*. La pestaña de resultados está marcada en la figura de la izquierda, a la derecha se muestra la ventana de resultados.

## 1.6.- TRABAJOS PREVIOS

A continuación se presentan los trabajos realizados en la cuenca de Falcón, específicamente en el área que abarcan las formaciones a estudiar:

GARNER (1926) incluyó en sus localidades tipos, las descripciones originales de las formaciones El Paraíso, Guarabal y San Luis; del Oligoceno y Mioceno Inferior.

HODSON (1926) realiza un estudio de las “Lutitas de El Paraíso” y las caracteriza como lutitas negras intercaladas con capas de carbón y areniscas cuarcíticas, cuya localidad tipo corresponde a El Paraíso, quebrada El Paraíso, distrito Bolívar, estado Falcón.

LITTLE (1928) al realizar una descripción más detallada de la Formación Paraíso, la considera equivalente a la parte superior de la Formación Misoa-gTrujillo, de Venezuela occidental, de edad Eoceno.

GRAVELL (1933) le coloca a la sección la denominación de serie Paraíso y le asigna una edad Eoceno Medio y Tardío, en base a algunos foraminíferos.

SENN (1935) efectuó una correlación de los estratos de El Paraíso con la parte superior de la Formación Misoa - Trujillo, de edad Eoceno Medio-Tardío. El mismo autor en 1940, realiza una nueva correlación de El Paraíso con las cuarcitas de El Mojino y las coloca por debajo de las lutitas de Tupure.

SUTTON (1946) correlaciona a la Formación El Paraíso con las formaciones Omuquena y Mene Grande, del Eoceno Tardío.

RIVERO (1956) opina que la Formación El Paraíso, es equivalente a las cuarcitas de El Mojino de Halse (1937), y las areniscas de San Juan de la Vega de SENN (1935), con lo cual deben incluirse todas bajo el primer nombre, ya que tiene prioridad, y se considera que la edad de esta formación es Oligoceno.

WHEELER (1960, 1963) hace una descripción muy detallada de la Formación Paraíso e incluye en ella las areniscas de San Juan de La Vega, colocándola de esta forma en la parte inferior del Grupo Mitare de MENCHER *et al.* (1951).

CORONEL (1970) señala la existencia de rocas ígneas de naturaleza basáltica en la parte central de la cuenca que intrusionan a la Formación Paraíso.

HUNTER & FERRELL (1972) demuestran que no hay equivalencia alguna entre las areniscas de San Juan de La Vega y la Formación Paraíso, debido a la existencia de una gruesa sección lutítica entre ellas.

DÍAZ DE GAMERO (1976) establece las relaciones de facies en la parte central de la cuenca de Falcón durante el Oligoceno y Mioceno Temprano, en base al estudio de unidades litológicas y la microfauna que en ellas se encuentran.

DÍAZ DE GAMERO (1977) estudia detalladamente la Formación El Paraíso en todos sus aspectos, ratificando su separación de las areniscas de San Juan de la Vega y, por lo tanto, del Grupo Mitare, término que propone eliminar de la literatura estratigráfica.

MACELLARI (1995), realizó estudios en el centro de la cuenca de Falcón y en ellos habla de la Formación El Paraíso, su sedimentación y su variedad de facies litológicas.

ESCORIHUELA & RONDÓN (2002), realizaron estudios de caracterización química de los diferentes cuerpos ígneos que se encuentran en el centro de la cuenca, y nombran aquellos que se encuentran intrusionando a la Formación El Paraíso.

BERROTERÁN & ZIRITT (2004), realizaron una interpretación estructural que determina la evolución del plegamiento de la zona situada entre los poblados de Purureche, estado Falcón, y Baragua, estado Lara.

ROMERO & SALAS (2004) determinaron las litofacies de las formaciones que integran la zona de estudio que correspondía al sureste de Pedregal, así mismo los ambientes de depositación que permitieron obtener la distribución espacial de las diversas facies sedimentarias en la zona.

Los siguientes son trabajos que de caracterización petrográfica:

DICKINSON & ZUCZEK (1979) establece las relaciones existentes entre las composición de areniscas de diversas cuencas y el ambientes tectónico al se asocia su fuente.

DICKINSON *et al.* (1983) establece la procedencia de las areniscas fanerozoicas en relación al ambiente tectónico.

CARDOZO (1996) establece la procedencia de las rocas clásticas de la Formación Misoa en la costa oriental del Lago de Maracaibo, y su relación con la tectónica caribe.

ROMERO (1996) determina la procedencia de las rocas clásticas de la Formación Misoa en el sector norte de la cuenca del Lago de Maracaibo.

## CAPÍTULO II

### GEOLOGÍA REGIONAL

#### 2.1.- GENERALIDADES

La cuenca de Falcón presenta durante el Cenozoico varias fases evolutivas, ligadas estrechamente a la historia geodinámica del límite meridional de la placa Caribe (AUDEMARD, 1995).

La cuenca de Falcón tiene una extensión aproximada actualmente de 36.000 km<sup>2</sup> (AUDEMARD, 1997), y un volumen de sedimentos de 161.000 km<sup>3</sup> (MARTÍNEZ, 1976). Posee su mayor longitud entre La Victoria y Boca Tocuyo con unos 320 km, y su mayor anchura entre la ensenada de La Vela de Coro y la población de Churuguara, que alcanza unos 100 km (GONZÁLEZ DE JUANA et al., 1980).

#### 2.2.- EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA CUENCA DE FALCÓN

La cuenca de Falcón se originó durante el Eoceno Tardío - Oligoceno y abarcó una gran porción de la región noroccidental de Venezuela durante el Terciario. En este período fue principalmente una cuenca marina rodeada por zonas emergidas, excepto al este y parcialmente al norte (AUDEMARD, 1997).

Posterior a la fase de sobrecorrimiento del alóctono Caribe durante una fase de compresión de edad Cretácico Tardío - Eoceno Medio, comienza a formarse el registro sedimentario de las primeras etapas de evolución de la cuenca. GONZÁLES DE JUANA (1980) reporta un avance transgresivo que avanza desde el noroeste, y queda registrado con las unidades Paují, en la parte oriental de la cuenca de Maracaibo y Falcón sur y central, y Cerro Misión en Falcón oriental.

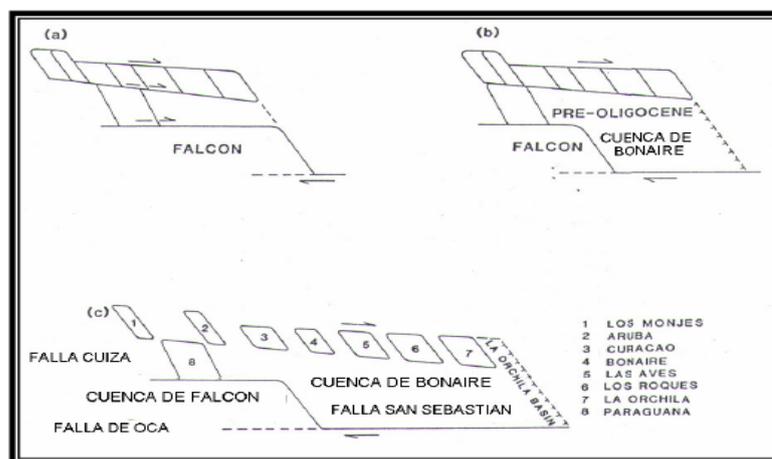
La creación del espacio en la cuenca es consecuencia de la flexura producida por una compresión de sentido norte – sur, “que genera el acoplamiento entre las placas Caribe y Suramérica, y es responsable del emplazamiento de los cuerpos alóctonos de Paraguaná” (Cretácico Superior, SUBIETA Y CASSAIGNEAU, 1980),

Napa Piemontina, y Napa de Lara, Paleógeno (STEPHAN, 1977), ver figura 2.2. En el Eoceno Medio la cuenca pasa a un régimen distensivo asociado a la reactivación de la tectónica transcurrente y de fallamiento normal (AUDEMARD Y DE NENA, 1985).

A continuación se presentan algunos de los modelos propuestos por distintos autores sobre la evolución de la cuenca de Falcón:

El modelo “*pull – apart*”, propuesto por MUESSIG (1984), establece que la cuenca de Falcón se originó en una zona transtensiva provocada por los efectos producidos por los movimientos asociados a un sistema de fallas transcurrentes, con dirección similar a las de Oca y San Sebastián, durante la era Cenozoica, véase la figura 2.1, a continuación.

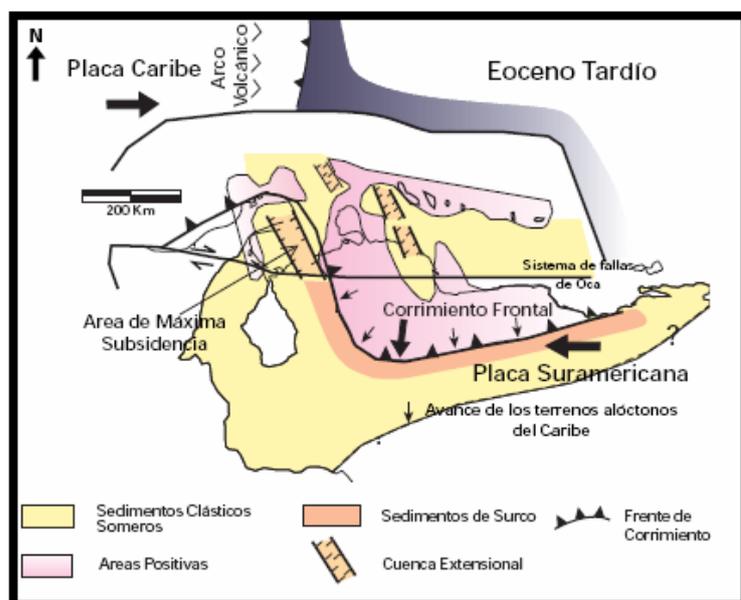
Este movimiento, originó una zona de extensión definida por fallas normales de dirección noroeste. Dicho “graben” estaba conformado por el surco de Urumaco, la Bahía de La Vela y la cuenca de Bonaire, mientras que las zonas emergidas que proporcionaban los sedimentos a la cuenca eran los altos de Paraguaná y Dabajuro, el Arco de Merida, la cadena Caribe y el sur de Siquisique (considérese este dato para los análisis posteriores de este trabajo).



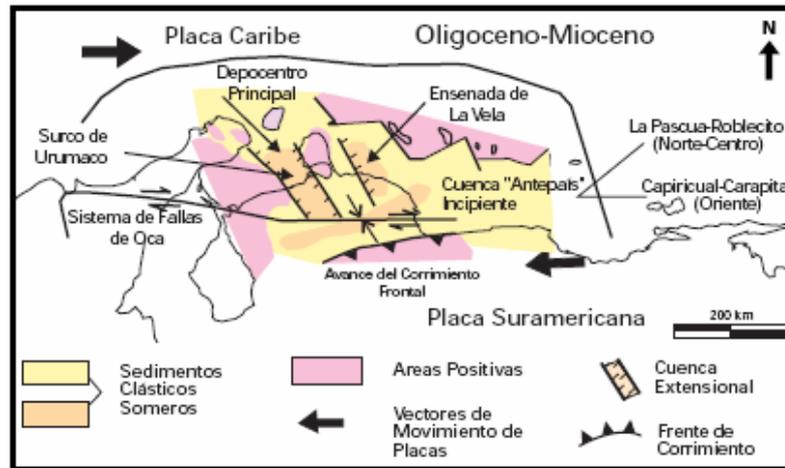
**Fig. 2.1.** Evolución de las cuencas “*pull-apart*” Falcón y Bonaire. *a* y *b* representan dos configuraciones del área anterior a la extensión Eoceno Tardío, tomado y modificado de MUESSIG (1978).

La primera de sus cuatro etapas de evolución de la cuenca de Falcón, según MUESSIG (1978), corresponde al Eoceno Tardío donde se genera el “*pull – apart*” entre el margen norte de Suramérica, el “*ridge*” de Curazao y el sistema de fallas Oca – San Sebastián. En este período de tiempo se depositan las formaciones Santa Rita, Jarillal y La Victoria, al norte de los frentes de corrimiento. Véase figura 2.2.

Es durante el Oligoceno, cuando la cuenca alcanza su máxima profundidad y desarrollo, en donde la sedimentación es distinta a la de las cuencas del Lago de Maracaibo, Barinas – Apure y la cuenca Oriental de Venezuela (Figura 2.3).

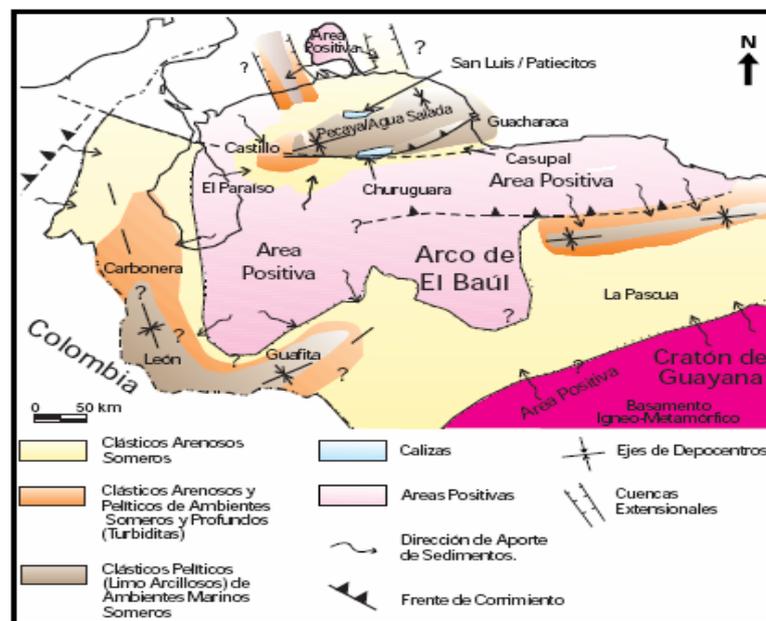


**Fig 2.2.** Generación de cuencas extensionales asociadas a transcurrencia al sur del límite entre las placas del Caribe y Suramericana; las áreas de máxima subsidencia se ubicaron al norte del estado Falcón para el Eoceno Tardío, tomado de la WEC, modificado de MACELLARI (1995).



**Fig. 2.3.** Máximo desarrollo del “pull – apart” del estado Falcón y generación de extensas áreas positivas en la cuenca de Maracaibo y norte de Falcón; hacia el sur y este, evolucionó una cuenca antepaís. Tomado de la WEC, modificado de MACELLARI (1995).

En el intervalo que comprende el Oligoceno y el Mioceno (Fig. 2.4), la cuenca sufre un estrechamiento debido al empuje del material que se está sedimentando en la cuenca, provocando de esta manera que la subsidencia migre hacia el oeste entre la zona de Urumaco y la bahía de La Vela.



**Fig. 2.4.** Marco geológico regional para la sedimentación en Venezuela Occidental (cuenas de Maracaibo, Falcón, Barinas – Apure y Oriental subcuenca de Guárico) durante el Oligoceno, tomado de la WEC, modificado de MACELLARI (1995).

Durante el Plioceno, ocurre la colmatación de la cuenca antepaís, junto con un levantamiento generalizado que ocurre sobre todo el norte del país, producto de los movimientos de las fallas de Boconó, San Sebastián y Oca. Son generadas cuencas extensionales, al sureste de la cuenca, donde se depositan secuencias discordantes, afectadas por la migración hacia el norte del frente de falla del anticlinorio de Falcón. Para esta época, la mayor parte de las zonas emergidas, de la cuenca que conocemos actualmente, ya lo estaban. La sedimentación se restringe al norte de los territorios del estado Falcón y a la cuenca de Bonaire. Véase figura 2.5.



**Fig. 2.5.** Colmatación de las cuencas antepaís y levantamiento regional del norte de Venezuela, resultado de la deformación de extensas zonas asociadas al sistema de fallas de Boconó, San Sebastián y Oca; cuencas extensionales se mantienen al norte del estado Falcón, tomado de la WEC, modificado de MACELLARI (1995).

Una propuesta parecida es la de MACELLARI (1995) el que postula que la cuenca evoluciona por el desplazamientos laterales durante el Eoceno, que dieron origen a una serie de cuencas “*pull apart*” episuturales (tomado de BERROTERAN Y ZIRRI, 2005).

AUDEMARD (1995) propone otro modelo de evolución para la cuenca, asociado a un proceso de *rifting* de edad Eoceno Tardío-Oligoceno generalizada sobre todo el margen septentrional venezolano.

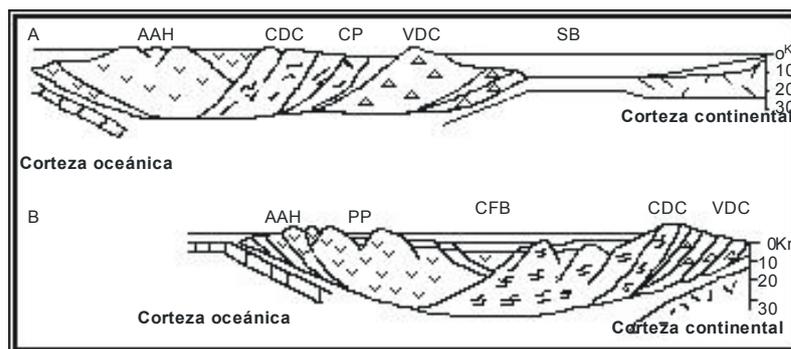
Éste evento subsidente culminó en el límite Oligoceno – Mioceno. Su punto de máxima profundización, se evidencia por un grupo de intrusiones y coladas basálticas y la colmatación sedimentaria.

El cierre de la cuenca se inicia en el Mioceno Temprano y Mioceno Medio distinguiéndose, en una primera etapa por un proceso de inversión tectónica. La compresión asociada es el motor de la formación del anticlinorio de Falcón, lo que condujo a que, en adelante, el proceso sedimentario se restringiese sólo al flanco norte de dicho anticlinorio (AUDEMARD (1997), ver figura 2.5.

Durante la segunda etapa, Mioceno – Plioceno, se produce otra fase de compresión y en el intervalo que va desde el Plioceno al Pleistoceno, donde los terrenos de la cuenca se configuran de la manera que se encuentran actualmente, representando la última fase compresiva de dicha cuenca.

PORRAS (2000) propone un modelo de colapsos extensionales internos dentro de una cuenca retroarco, en un orógeno de flotación que colisionó oblicuamente con el extremo nor-occidental de la placa Suramericana, suturándose diacrónicamente de oeste a este desde el Cretácico Tardío hasta comienzos del Mioceno Temprano (tomado de Berroteran y Zirrit (2005)).

Este modelo se basa en el propuesto por OLDOW *et al.* (1990). Como resultado de un colapso tectónico detrás de la colisión entre las placas Caribe y Suramericana, se generan las estructuras de extensión tipo graben, que ocurren durante el Eoceno Tardío hasta mediados del Mioceno Temprano, véase la figura 2.6.



**Fig. 2.6.** Modelo de orógeno de flotación para la cuenca de Falcón-Bonaire. A) Configuración tectónica para el Paleoceno-Eoceno Medio. B) Configuración tectónica para el Eoceno Tardío. SB, Surco de Barquisimeto; CP, Cuenca de retroarco de Paracotos; VDC, Arco de Islas de Villa de Cura; CDC, Terrenos de la Cordillera de la Costa; AAH, Alto de las Antillas Holandesas; PP, Alto de Paraguaná; CFB, Sedimentación Marina en el centro de la cuenca y continental a somera en los márgenes, tomado y modificado de PORRAS (2000).

Audemard (1995) define estructuralmente la cuenca de Falcón como un *graben* estrecho muy alargado limitado por fallas normales de buzamiento opuesto y centrípido. Su configuración geométrica corresponde puede definirse como una cuenca de “*fondo de saco*”, abierto hacia el noreste y restringido por zonas emergidas, es decir tiene una forma elongada con una orientación este – oeste (con cierta inclinación al noreste), aproximadamente (WHEELER, 1960; DIAZ DE GAMERO, 1977; MACELLARI, 1995; AUDEMARD, 1995).

### 2.2.1.- Estratigrafía Regional

A continuación se expone una síntesis de las unidades estratigráficas que conforman el registro sedimentario de la zona sur-central de la cuenca de Falcón, desde su formación (Eoceno Medio) hasta su periodo de máxima inundación (Mioceno Temprano), que están relacionadas con los objetivos de este trabajo, como lo son: Paují, Santa Rita, Jarillal, El Paraíso, La Victoria, Pecaya, Churuguara y Castillo.

Durante el Eoceno Tardío, en la cuenca de Falcón, se produjo un régimen erosivo intenso, por lo cual es difícil encontrar formaciones de dicha edad (HUNTER, 1974).

Después del período orogénico del Eoceno Tardío, la cuenca de Falcón se individualiza, del resto de la sedimentación del occidente de Venezuela. A ese surco se le ha referido en la bibliografía como *canal falconiano*. En la parte central de la cuenca, se desarrollaron ambientes marinos profundos debido a un régimen de subsidencia, mientras que en los bordes, se producía la sedimentación marginal con mayor influencia terrígena (GONZÁLEZ DE JUANA et al., 1980).

Por lo general la sedimentación fue continua desde el Eoceno Tardío hasta el Cuaternario, sin embargo se presentan tres discordancias angulares de significado regional, cuyas edades son: la primera del Mioceno Medio - Tardío, la segunda de edad Mioceno Tardío - Plioceno y la tercera de edad Plioceno - Cuaternario (AUDEMARD, 1993; citado de ESPARIS Y HERNÁNDEZ, 2005). La cuenca fue intensamente plegada y tectónicamente invertida durante el Mioceno Medio y Tardío, por esta razón el proceso sedimentario se restringió básicamente al flanco Norte del anticlinorio de Falcón (AUDEMARD, 1997).

Las rocas más antiguas se cree tienen una edad de Eoceno Medio, pero las relaciones de estas unidades con el comienzo de la sedimentación oligocena no han sido aún satisfactoriamente establecidas. El complejo de edad Oligoceno y Mioceno ocupa la parte central de la cuenca, mientras hacia los bordes sólo se presentan rocas miocenas o más jóvenes. Dentro de este complejo existen cambios de facies importantes, en sentido oeste – este. Se pasa de facies con predominio de clásticos gruesos a áreas constituidas casi en su totalidad por lutitas (GONZÁLEZ DE JUANA et al. 1980).

#### ***a) Eoceno Medio y Tardío***

Las rocas de esta edad afloran, sobre todo, en el Alto de Guacharaca en Falcón oriental. En dicha zona se encuentra la sección tipo de las formaciones Santa Rita y Jarillal. Durante este período de tiempo, se produjo una extensa transgresión con dirección sureste, entrando desde el surco de Urumaco, cuya mejor expresión es la

Formación Jarillal, mientras que la Formación La Victoria posee características regresivas como posible antecedente del levantamiento y erosión característicos del Eoceno Tardío, al término de las cuales cambiaron todas las condiciones paleoambientales de toda la Venezuela occidental (GONZÁLEZ DE JUANA, et al. 1980 y MACELLARI, 1995).

La Formación Santa Rita está compuesta por conglomerados de grano grueso intercalados con areniscas conglomeráticas y margas arenosas, además de esporádicos niveles calcáreos. Dentro de los conglomerados se pueden observar granos gruesos de cuarzo, ftanita negra, cuarcita, areniscas, jaspe, chert y calizas (importante para posteriores discusiones en este trabajo). Las lutitas que se encuentran son del tipo micáceas y las calizas suelen ser arenosas hacia la base de la unidad (LEV electrónico 2007, Fm. Santa Rita).

Se encuentra en contacto discordante sobre la Formación Paují o Misoa (SENN, 1935), sin embargo PITELLI & MOLINA (1989) lo reportan concordante sobre la Formación Misoa. Hacia el tope, el contacto es concordante y transicional con la Formación Jarillal.

GUEVARA (1967), relaciona esta formación con un ambiente litoral a nerítico interno mientras que PITELLI & MOLINA (1989) proponen un ambiente marino lejos de la costa con alta energía.

La Formación Jarillal está definida como una secuencia lutítica, limosa y calcárea, más o menos arenosa y fosilífera. Sin embargo, el tope de la misma se vuelve estéril. Se pueden encontrar calizas lodosas ricas en macroforaminíferos y ocasionalmente areniscas del tipo conglomeráticas y calcáreas.

Los contactos de esta formación son concordantes y transicionales tanto el inferior (Formación Santa Rita) como el superior (Formación La Victoria al oeste y la Formación Churuguara a centro de la cuenca) (GUEVARA, 1967).

En cuanto al ambiente de depositación, PITELLI Y MOLINA (1989) *“la describen como una formación depositada en ambiente marino, a una paleoprofundidad entre 100 y 200 m, representando un máximo transgresivo y el inicio de un ciclo regresivo”*.

En orden estratigráfico ascendente, el registro continúa con la Formación La Victoria que está compuesta por calizas asociadas con arcillitas, lutitas

intercaladas con areniscas calcáreas y micáceas, en ocasiones calizas con fragmentos de corales y materia orgánica (PITTELLI Y MOLINA, 1997, tomado de LEV electrónico, 2007).

El contacto inferior de esta formación es corcondante y transicional con la Formación Jarillal, mientras que el contacto superior, dependiendo de la localidad puede ser discordante con la Formación Santa Rosa al igual que con la Formación Castillo o discordante y angular con el Grupo La Puerta (LEV, 2005).

Para la Formación La Victoria, PITTELLI Y MOLINA (1989) proponen un ambiente de *“sedimentación marina cercano a la costa con influencia de agua dulce, representando una fase regresiva a final del Eoceno Medio Tardío a Eoceno Tardío”, “el cual representa la fase regresiva del ciclo sedimentario iniciado con la transgresión de las formaciones Santa Rita y Jarillal”* (GUEVARA, 1967).

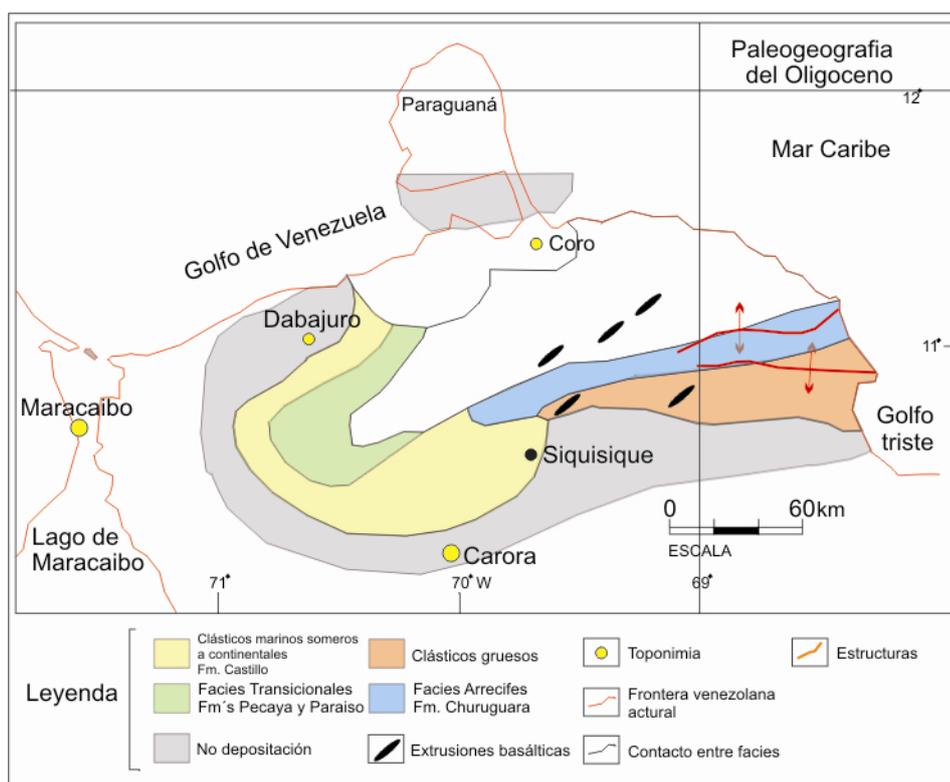
Hacia el este de Falcón, aflora la Formación Cerro Misión, que parecen suprayacer transgresivamente sobre formaciones más antiguas de edad desconocida (RENZ, 1948). Dicha formación se caracteriza por ser una secuencia lutítica marina rica en microfósiles, que se encuentra discordante por debajo de la Formación Guacharaca (Wheeler, 1960 y 1963, y SUTER, 1974). En cuanto al ambiente de sedimentación, el mismo es asociado a profundidades batiales, Camacho et al. (1989).

### ***b) Oligoceno – Mioceno Temprano***

El movimiento transcurrente de la falla de Oca y las fases de *“rifting”* originan condiciones tensionales y el hundimiento progresivo de esta cuenca durante todo el Oligoceno de forma constante. El depocentro es lo que se conoce como *“Canal Falconiano”*, en donde prevalecieron ambientes marinos representados por las formaciones El Paraíso – Pecaya, (MACELLARI, 1995) (ver figura 2.7).

Durante la transgresión marina del Oligoceno Temprano fue interrumpida por la regresión que se produjo en el límite Oligoceno – Mioceno (MACELLARI, 1995). Este mismo autor refiere que el episodio regresivo se encuentra representado por

un piso extendido de clastos granulares. Estas rocas se encuentran bien expuestas en el anticlinorio de Falcón, y se depositaron al oeste sobre estratos del Eoceno, en rocas metamórficas cretáceas al este, y sobre las turbiditas del Paleoceno – Eoceno de la cuenca.



**Fig. 2.7.** Paleogeografía del Oligoceno, tomado y modificado de MACELLARI, 1995.

Durante este período, Falcón nor-occidental no muestra sedimentación marina, mientras que el centro de la cuenca se consideró una zona subsidente, donde se desarrollaron ambientes marinos profundos, sin embargo en los bordes se observa una sedimentación marginal con mayor influencia terrígena (GONZÁLEZ DE JUANA et. al., 1980).

Las unidades que componen el período que comprende el Oligoceno y Mioceno Temprano (El Paraíso, Pecaya y Pedregoso en Falcón oeste – central) representan facies de aguas profundas, hacia el sureste se mantiene una similitud en cuanto a la litología y recibe el nombre de Formación Guacharaca, equivalente lateral a las formaciones El Paraíso y Pecaya, mientras que la arenisca El Salto se usa para el equivalente de la Formación Pedregoso (LEV, 2005).

En general, la secuencia no varía notablemente en el centro de la cuenca, sin embargo se usan distintos nombres para definir el complejo de facies del Oligoceno – Mioceno. Hacia los márgenes de la cuenca, se pasa a facies de aguas someras, que incluyen las formaciones San Luís, Patiecitos y Guarabal, en la parte central del flanco norte, la Formación Castillo al extremo oeste de la cuenca, la Formación Churuguara en el flanco Sur, y la Formación Casupal en el borde Sureste de la cuenca (MACELLARI, 1995).

La Formación El Paraíso está constituida por dos miembros. El inferior está constituido por *“lutitas oscuras con capas delgadas y nódulos de ferrolita que meteorizan marrón rojizo a oscuro, areniscas “sal y pimienta” calcáreas, moderadamente endurecidas, con granos de fñanita negra, que meteorizan a gris-marrón en una matriz calcárea blanca y blanda”* (LEV, 2005), y es de tipo local. Por su parte, el superior Wheeler (1960, 1963) lo define por *lutitas no calcáreas gris violáceas oscuras, con areniscas cuarzosas muy endurecidas, de colores diversos y ocasionales carbones además se reconoce en ella una marcada variación lateral, en la cual se reportan niveles carbonosos.*

HUNTER (1974) propone una concordancia basandose en evidencias de campo, pero resalta que existe un hiato (*las separa un lapso relativamente grande*), entre la sedimentación de las formaciones El Paraíso y Jarillal, en base a las edades postuladas para ellas.

El contacto superior es concordante y generalmente transicional con la Formación Pecaya. Hacia el sur de Falcón este contacto es con la Formación Churuguara, y es del tipo concordante (WHEELER, 1960, 1963; DÍAZ DE GAMERO, 1977).

La mayor parte de la Formación El Paraíso es de tipo regresivo, asociado al levantamiento de terrenos al sur, en donde la costa avanzó desde el suroeste hacia el norte y noreste (DÍAZ DE GAMERO, 1997).

La Formación Pecaya está caracterizada por tener entre sus constituyentes litológicos principalmente lutitas limolíticas, que se vuelven localmente calcáreas y se intercalan con calizas, areniscas y limolitas. Se puede distinguir dentro de esta unidad un miembro arenoso llamado San Juan de La Vega y además en una franja lateral, cuerpos ígneos de origen basáltico (DÍAZ DE GAMERO, 1977).

El contacto inferior con la Formación El Paraíso es del tipo concordante y transicional al igual que el superior con la Formación Pedregoso, sin embargo hacia el sur se intercala con la Formación Churuguara (WHEELER, 1960, 1963; DÍAZ DE GAMERO, 1977).

El ambiente sedimentario corresponde a condiciones marinas profundas, que marcan el periodo de máxima subsidencia de la cuenca (DÍAZ DE GAMERO, 1977).

A continuación se depositó La Formación Castillo, la cual, se caracteriza por ser una secuencia muy variable tanto lateral como verticalmente. Está constituida en su mayor parte, por areniscas de grano fino, lutitas limosas y carbonosas con intercalaciones esporádicas de calizas arenosas. Sin embargo hacia el oeste, se generaliza como una intercalación de areniscas que forman gruesos espesores y conglomerados. A detalle, se observa hacia la parte inferior una intercalación de limos, arcillas y carbón, mientras que hacia la parte superior las arcillas se vuelven carbonosas (WHEELER, 1960).

Los contactos de esta formación son variados, mostrándose un contacto lateral entre las formaciones Pecaya y El Paraíso, que pueden llegar a formar la parte inferior de Castillo o puede estar en contacto con las formaciones Santa Rita, Paují, Misoa y Trujillo. La unidad también es discordante sobre las ofiolitas que afloran cerca del cerro Algodones al noroeste de Siquisique. El contacto superior es concordante con la Formación Agua Clara (WHEELER, 1960).

Está relacionada con diferentes ambientes de depositación que van desde facies de aguas someras y salobres hasta facies más marinas, y en algunas localidades se puede relacionar con facies de ambientes de llanura costera (WHEELER, 1960).

Hacia el flanco sur – central aflora la *Formación Churuguara*, que presenta una serie variable de intercalaciones de calizas que gradan a areniscas calcáreas, calizas arrecifales y arcillosas además de areniscas. Sin embargo, DÍAZ DE GAMERO (1977) definió tres miembros: una faja arenosa, otra lutítico - calcárea y la última de tipo arrecifal. Se definen los contactos de esta formación del tipo concordante, el inferior con la Formación Jarillal y el superior con la Formación Agua Clara. Además hacia el norte es concordante sobre la Formación Paraíso y se interdigita con la Formación Castillo. Su ambiente de sedimentación

corresponde a facies carbonáticas en ambiente marino de aguas claras, tranquilas y oxigenadas.

## CAPÍTULO III

### GEOLOGÍA LOCAL

#### 3.1.- GENERALIDADES

Para el estudio del límite Eoceno-Oligoceno en la cuenca de Falcón se escogieron dos secciones ubicadas en su borde sur-central.

Una se encuentra en el estado Lara, específicamente en la quebrada Maica tributario del Río Baragua, a la altura de la intersección de ésta con la quebrada Tusilla, 387 693E, 1 176 382N, ubicada aproximadamente a 9 Km al NO del poblado de Baragua y a 2 Km al sur de la frontera Falcón-Lara. Aquí afloran los contactos entre las formaciones Santa Rita, Jarillal y la Formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar*.

La otra se encuentra sobre la quebrada Purureche, aproximadamente a 10 Km S 30 E desde el poblado que lleva el mismo nombre, sector aldeaño a la coordenada 387 791E, 1 190 528N. En esta sección aflora una sección de la Formación El Paraíso.

La ubicación de los afloramientos y la cartografía de los contactos mencionados pueden ser vistas en las figuras 3.1 y 3.17, y en los anexos 3 y 4.

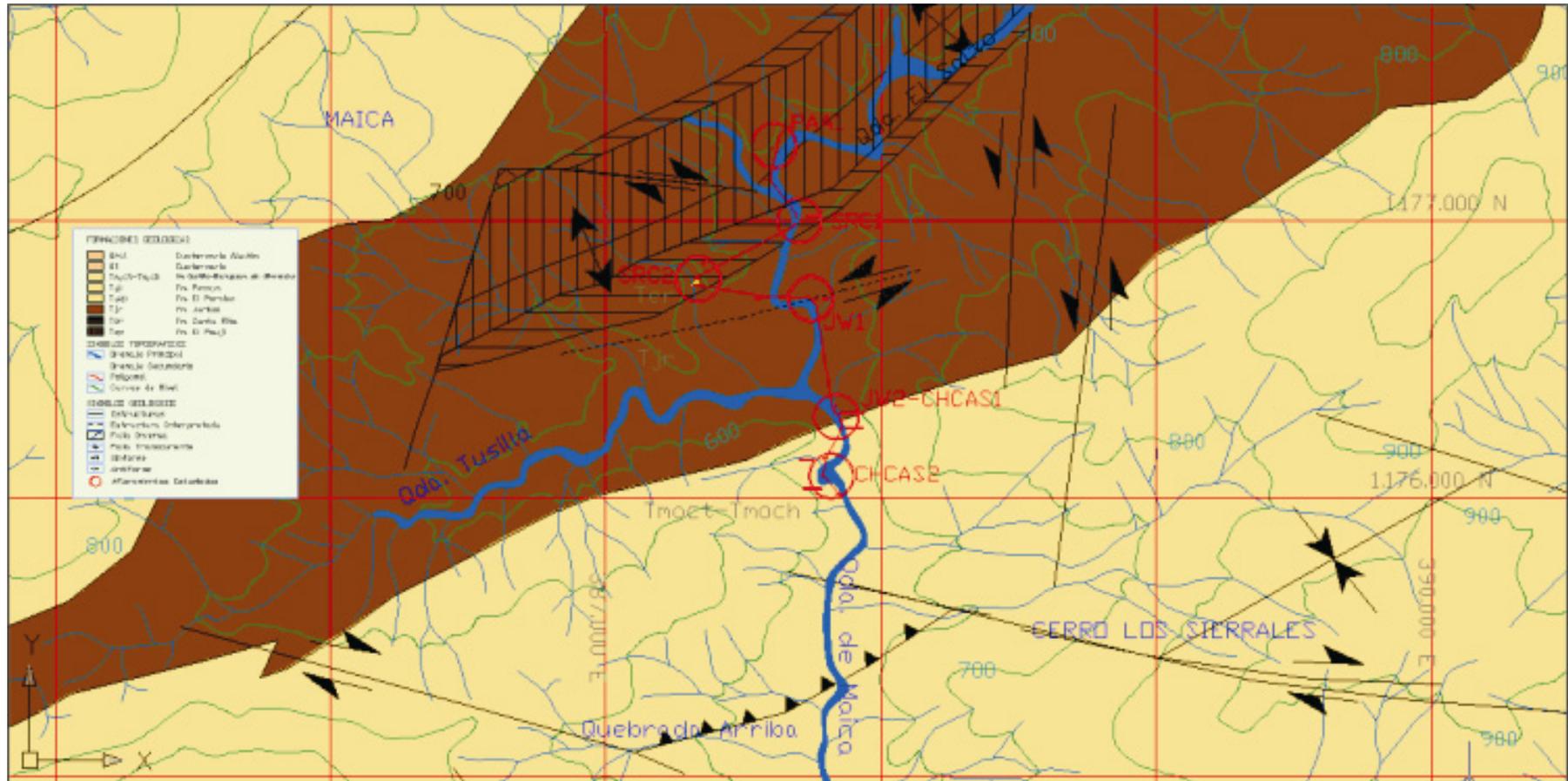


Fig. 3.1. Mapa geológico y de ubicación del transecto estudiado sobre la quebrada Maica, estado Lara.

### 3.1.- Sección A: Baragua, estado Lara

En esta sección estudiada de la quebrada Maica se pudieron identificar las formaciones: El Paují, Santa Rita, Jarillal y Churuguara-Castillo *sin diferenciar*. La sección estudiada es prácticamente perpendicular con respecto el flanco sur un antiforme-anticlinal paralelo a la quebrada El Salto, véase figura 3.1.

#### 3.1.1.- Descripción litológica

**Formación El Paují:** la sección estudiada que corresponde a esta unidad se caracteriza litológicamente por arcillitas no-calcáreas, marrón rojizo, ver foto 3.1. Localmente, se encuentran intercaladas con unas areniscas muy ferruginosas delgadas, no mayores a cinco centímetros de espesor.



**Foto 3.2.** Arcillitas oscuras de la Formación El Paují. Afloramiento PAA1. Sección de la quebrada *Maica*, estado Lara.

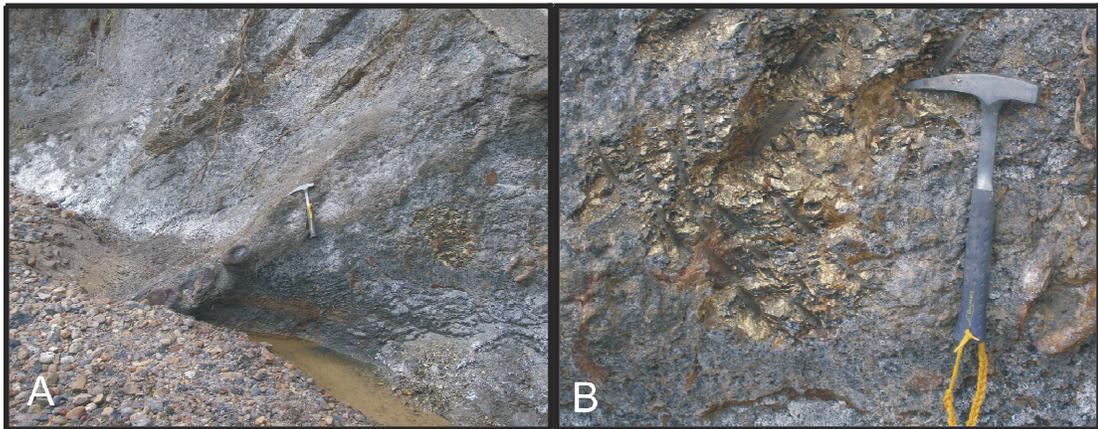
En este trabajo verificamos la presencia de esta unidad desde el paralelo UTM 1 177 334 N hacia el sur, muy cercano al contacto El Paují-Santa Rita al norte de la

quebrada El Salto, reportado por CREOLE PETROLEUM CORPORATION en la Hoja C-4-D. Se estudió con detalle el afloramiento PAA1.

El límite sur de esta unidad con la Formación Santa Rita es un contacto de falla. Se ubica aproximadamente en la intersección de la quebrada con el paralelo UTM 1 177 165N.

Una fuerte laminación y alto grado de fracturamiento imponen una textura muy fisil a las rocas de esta sección. Esto ha creado los espacios para la recristalización de minerales como *yeso*, y menos frecuente *calcita*. También se puede observar la presencia de *jarosita*.

Cercano al punto 387 630E, 1 177 249N existe la presencia de un nivel de concreciones importante alineadas con el plano N 70 O 40S, llegando a tener dimensiones de hasta diez centímetros, ver fotografía 3.2.



**Foto 3.3.** A) Nivel de concreciones. B) Jarosita. Ambas presentes en las lutitas de la Formación Paují. Sección de Baragua, quebrada *Maica*, estado Lara.

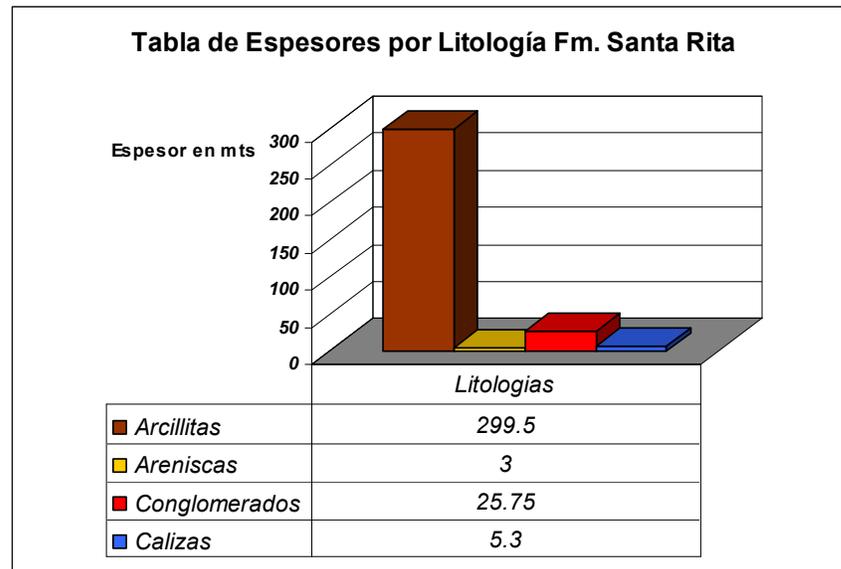
**Formación Santa Rita:** esta unidad se caracteriza litológicamente por una secuencia espesa de arcillitas que sólo es interrumpida por dos niveles conglomeráticos que se presenta hacia la base y hacia el tope de la sección.

El área correspondiente a esta unidad está fuertemente deformada. Los contactos con las unidades, inferior, El Paují, y superior, Jarillal, son contactos de falla. Así

como hacia el primer tercio del transecto estudiado, se encuentra afectado por una falla dextral.

Debido a la incidencia que tiene la deformación estructural en el cálculo de espesores de sección estratigráfica, se separó el transecto estudiado por bloques separados por fallas, calculándolos como secciones estratigráficas independientes.

Se muestra a continuación un gráfico de distribución porcentual de los litotipos presentes, figura 3.3.



**Fig. 3.4.** Distribución porcentual de los litotipos presentes en la Formación Santa Rita en transecto estudiado sobre la quebrada *Maica*, estado Lara.

Las arcillitas que conforman esta unidad son de colores grises con tonos oscuros y meteorizan a marrón rojizo, se presentan en masas disgregables en fragmentos angulosos y muy compactos, no son calcáreas. Presentan estructuras de flujo, principalmente laminación, véase Foto 3.4. Localmente, contienen granos de cuarzo de forma elipsoidal cuyo diámetro mayor varía entre 0,5 y 1 centímetro.



**Foto 3.5.** Arcillitas de la Formación Santa Rita en contacto con un paquete de conglomerados. Afloramiento SRC1. Sección de Baragua, quebrada *Maica*, estado Lara.

La secuencia de conglomerados que se encuentra hacia la base de la unidad, referida en la figura 22 como SRC1, se ubica a partir a partir del punto 387 701E, 1 177 004N sobre la quebrada *Maica*.

Este paquete de unos dieciséis metros de espesor está compuesto principalmente de fragmentos de roca metamórfica como esquistos y filitas, rocas verdes con textura granular (referidos en la bibliografía como jaspe verde), rodados de cuarzo blanco, chert negro y gris, y fragmentos de rocas ígneas. En el próximo capítulo se muestran los resultados de un conteo modal que se realizó al conglomerado para su caracterización. Véase Foto 3.5.

La angularidad de los clastos varía con el tipo de fragmento, los fragmentos de roca mecánicamente más inestables tienden a ser semi-angulosos, mientras que los fragmentos de chert y la mayoría de los cuarzos son semi-redondeados a redondeados.



**Foto 3.6.** Cantos que componen el paquete conglomerático inferior de la Fm. Santa Rita. **Foto A**, de izquierda a derecha se observa: arenisca ferruginosa, arenisca verdosa o jaspe, cuarcita gris. **Foto B**, cantos redondeados en matriz fina, el conglomerado está soportado por matriz hacia la parte media de la secuencia. **Foto C**, canto de conglomerado cuarzoso. Afloramiento SRC1. Sección de Baragua, quebrada *Maica*, estado Lara.

La matriz es fundamentalmente arenosa fina, mal escogida. Hay laminación paralela pero está restringida a pequeños puntos en dentro de las capas.

La disposición espacial de los ejes mayores de los cantos tiende a ser paralela a la estratificación. En cuanto al tamaño de los cantos, estos varían desde menos de un centímetro hasta superar los diez centímetros. Existe granocrecencia en este paquete, a medida que se sube en el orden estratigráfico en la sección conglomerática el tamaño promedio de los clastos aumenta, y el arreglo de estos dentro de las capas se hace mas caótico. Véase fotos 3.6 y 3.7.



**Foto 3.7.** Secuencia rítmica de conglomerados, areniscas y arcillitas. Formación Santa Rita. Sección de Baragua, quebrada *Maica*, estado Lara.



**Foto 3.8.** Secuencia conglomerática de la Formación Santa Rita, con detalle. **A)** Detalle de la capa de conglomerado en el que se observa el acomodo de los granos. **B)** Se observa la matriz arenosa que sostiene los clastos de cuarzo, arenisca y rocas tanto sedimentarias como metamórficas. Sección de Baragua, quebrada *Maica*, estado Lara.

Un grueso paquete arcillítico separa a esta sección conglomerática de la presente hacia el tope. Véase en la foto 3.9. el contacto abrupto entre los conglomerados de la

base, SRC1, y estas arcillitas. Las características de estas arcillitas coinciden con la descripción típica para esta unidad, excepto que éstas no presentan yeso ni jarosita.



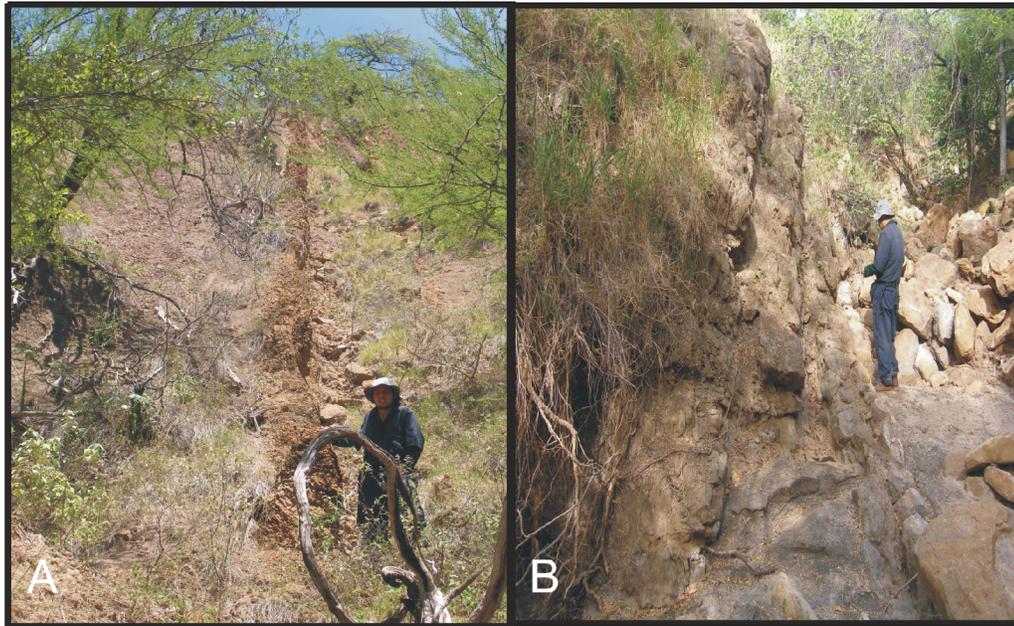
**Foto 3.9.** Tope del afloramiento de la secuencia conglomerática SRC1. Nótese el contacto abrupto entre las secuencias conglomeráticas y las arcillitas. Sección de Baragua, quebrada *Maica*, estado Lara.

El afloramiento referido como SRC2, correspondiente a las secuencia conglomerática-carbonática, se encuentra cerca del punto 387 332E, 1 176 779N, en una quebrada afluyente de la quebrada *Maica*, ver figura 3.1.

La presencia de una intercalación de dos capas de caliza lodosa, macrofossilífera con arcillitas, seguido de una secuencia conglomerática, marca el fin de la sección arcillítica. Véase fotografía 3.10.

Estas calizas tienen un espesor de pocos decímetros, son de color gris y meteorizan a anaranjado.

El contenido fosilífero está muy bien preservado, y se distinguen *Turritella maiquetiana weisbord*, gasterópodos y bivalvos. El porcentaje de fósiles aumenta hacia el tope, de un veinte a un ochenta por ciento, llegando los fósiles a ser el soporte de la roca.



**Foto 3.10.** A) Caliza macrofossilífera. B) Calizas, ambas pertenecientes a la Formación Santa Rita, sección de Baragua, Afloramiento SRC2, estado Lara.

La composición petrológica de los conglomerados de esta secuencia es similar a la presente en la base, tanto la composición de los cantos como en su distribución porcentual. De igual manera, las arcillitas presentes corresponden con las que caracterizan a esta unidad, descritas previamente.

Solo las diferencia el porcentaje de arcillitas con las que están intercaladas. En el caso de la sección superior es mayor al 75 %, de un espesor un poco mayor a los treinta metros.

Las capas de conglomerado varían, estratocrecientes, entre pocos decímetros y un metro.

En la sección de estudio, el límite sur de esta unidad se define por el contacto con una falla dextral. Litológicamente se caracteriza este contacto por la presencia de unas arcillitas negras muy fracturadas y con gran cantidad de yeso, que se pueden observar como una pared con vista al norte sobre la quebrada *Maica*, en el área cercana al punto 387 332E, 1 176 683N, ver foto 3.11.



**Foto 3.11.** Lutitas del contacto entre las formaciones Santa Rita-Jarillal, quebrada Maica, estado Lara.

### ***Formación Jarillal:***

Esta unidad se caracteriza litológicamente por un gran espesor de arcillitas grises con presencia de concreciones ferruginosas de pocos centímetros de diámetro. Se encuentran muy fracturadas, lo que les impone una textura físil. Estas fracturas están rellenas por minerales supergénicos como yeso y calcita. El afloramiento JW1 se muestra en la foto 3.12.

El espesor de esta secuencia es cercano a los 350 metros, en esta sección.

La base y el tope de esta unidad, en esta sección, está definida por una secuencia de wacas intercaladas con arcillitas grises.

Las wacas son gris verdoso y meteorizan a marrón verdoso, mal escogidas, presentan fragmentos de chert, micas, y óxido de hierro, una laminación incipiente y pequeños *Thalassinoides*.



**Foto 3.12.** Intercalación de areniscas y lutitas en la base de la Formación Jarillal, sección de Baragua, quebrada Maica, estado Lara.

La secuencia se caracteriza por ciclos de sedimentación, rítmica, estrato creciente.

Las arcillitas se presentan como horizontes o lentes delgadas dentro de la secuencia, que varían en porcentaje dentro de la secuencia.

Esta unidad limita en su base a través de un contacto de falla con arcillitas de la Formación Santa Rita, ver foto 3.11. En su tope, el contacto es transicional con las areniscas potentes de la Formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar*. En la foto 3.13. se observa una vista de la sección superior de la Formación Jarillal, afloramiento JW2.



**Foto 3.13.** Secuencia monótona de wakas y arcillitas del tope de la Formación Jarillal, sección de Baragua, quebrada Maica, estado Lara.

Las areniscas fueron definidas como wakas, cuyo rumbo y buzamiento son N60°E 65°S, presentan granulometría variable de media a fina de base a tope, color meteorizado marrón rojizo y cloro fresco gris claro se encuentra intercaladas con unas limolitas de espesores muy delgados.

### ***Formación Churuguara-Castillo:***

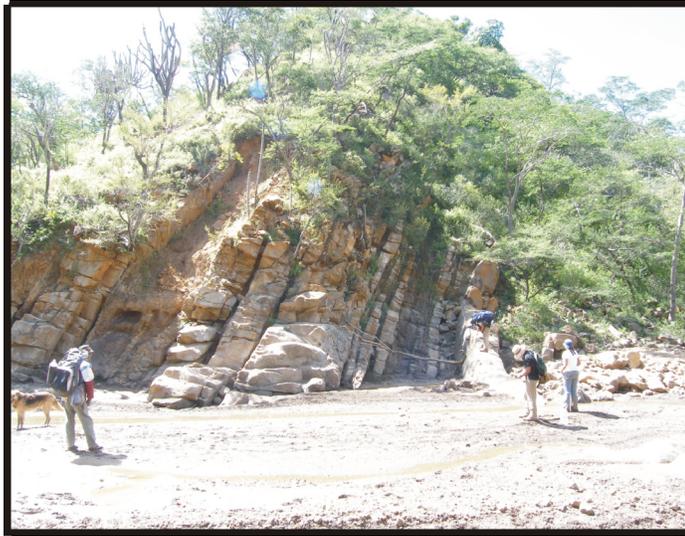
La sección corresponde a el límite sur de la sección estudiada, por debajo del paralelo 387 867E, 1 176 262N, sobre la quebrada *Maica*. Esta unidad se caracteriza por la presencia dos paquetes de areniscas potentes que contrastan con el resto de las rocas presentes en el resto del transepto estudiado. Estos están separados por un paquete espeso de arcillitas negras. Ver la sección estratigráfica de Formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar*, figura 3.11.

El paquete de areniscas resistentes de la base contrasta por erosión diferencial con las wakas del tope de la Fm. Jarillal, con las que están en contacto sobre la quebrada en el paralelo 1 176 262 N. Su espesor es de 23 metros.

Litológicamente estas areniscas se caracterizan por tender a colores grises que meteorizan a tonos pardos rojizos, con una granulometría variada que va de fino-medio a granos gruesos, con un mal escogimiento. Véase foto 3.14.

El paquete de arcillitas negras tiene un espesor de 72 m de espesor de lutitas negras muy fracturadas, que se disgrega en fragmentos de pocos centímetros, con vetas de yeso.

El paquete litológico del tope de la sección de estudio se caracteriza de las areniscas de la base por un aumento en el tamaño de grano, llegando a definir lentes conglomeráticos, y por la presencia de algunas capa de caliza gris, que es el límite sur del levantamiento.

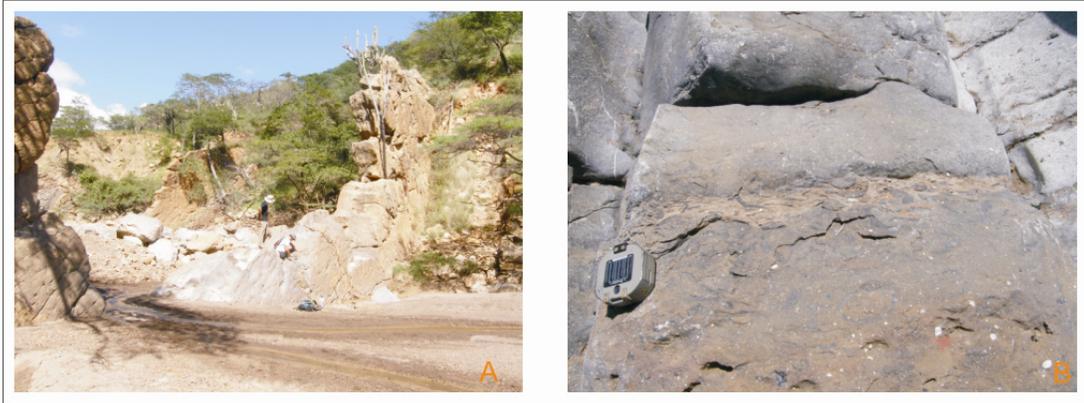


**Foto 3.14.** Paquete de areniscas la base de la Formación Churuhuara-Castillo *sin diferenciar*, quebrada *Maica*, vista al oeste, estado Lara.



**Foto 3.15.** Diferencia reológica entre las areniscas de las formaciones Jarillal, **A**, y Churuhuara-Castillo *sin diferenciar*, **B**, Afloramiento JW2, quebrada *Maica*, estado Lara.

Las calizas son grises, muy resistentes y presentan niveles de *ostreas*. Su espesor mayor a dos metros. Su expresión topográfica es la formación de gargantas en la quebrada. Véase foto 3.15.



**Foto 3.16.** Paquete de areniscas la base de la Formación Churuhuara-Castillo *sin diferenciar*, quebrada *Maica*, vista al oeste, estado Lara.

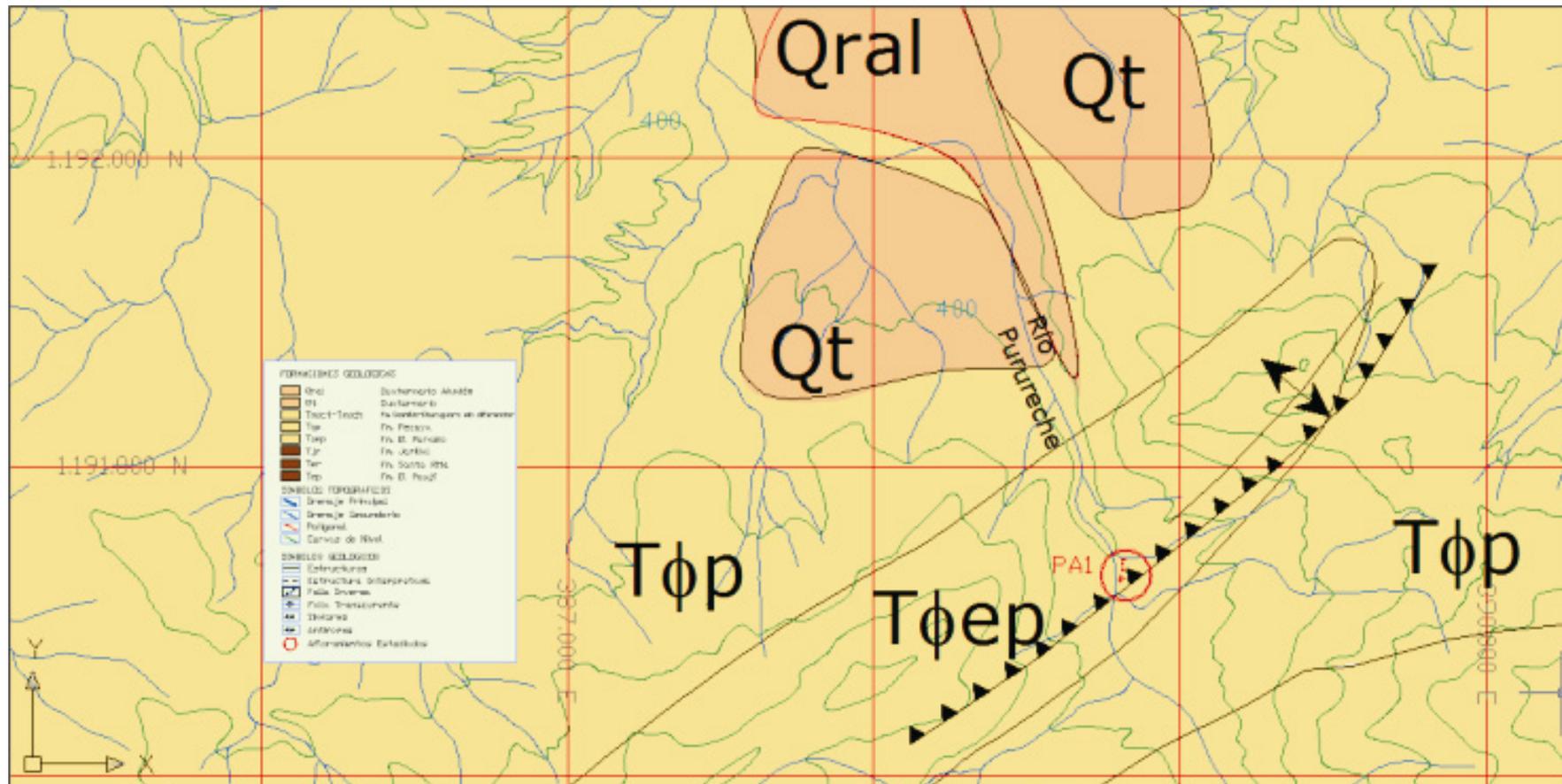


Fig. 3.17. Mapa geológico y de ubicación del transecto estudiado sobre el cause del río Purureche, estado Falcón

### 3.2.- Sección B: Purureche, estado Falcón

El transepto estudiado en el río *Purureche* corresponde a una sección de las formaciones El Paraíso y Pecaya. Este se desarrolla hacia el sur, a partir del eje del anticlinal de Taparoy, ubicado en 387 800E, 1 190 600N. El límite sur del transepto es 387 690E, 1 190 240N, aproximadamente. Véase figura 3.17.

#### 3.1.1.- Descripción litológica

**Formación El Paraíso:** consiste en una intercalación de areniscas y arcillitas. Las areniscas de grano grueso, mal escogida, con granos semi-angulosos, con niveles conglomeráticos, de pocos centímetros de espesor, hacia el tope de la sección, de color gris con variación en su tonalidad, meteorizan a pardo rojizo-naranja, son muy resistentes, son no-calcáreas. El paquete se caracteriza por la estratocrecencia de estas areniscas y la disminución en el porcentaje de arcillitas a medida que subimos en la secuencia. Algunas presentan una cantidad importante de *Thalassinoides* aunque estos son de pocos centímetros de longitud. También presentan horizontes y concreciones ferruginosas. A continuación se presenta una vista del afloramiento PA1, foto 3.18.



**Foto 3.18.** Areniscas de la Formación El Paraíso, sección del río Purureche, estado Falcón.

Las arcillitas que componen esta sección son gris oscuro y meteorizan a pardo rojizo oscuro, resistentes y laminadas. En estas, así como en las areniscas, se observa localmente jarosita, supergénica, como se puede observar en la foto 3.19.



**Foto 3.19.** Precipitación supergénica de jarosita en las areniscas de la Formación El Paraíso, sección del río *Purureche*, estado Falcón.

La sección estudiada a detalle de esta formación tiene un espesor de 37 metros y se define desde el eje del anticlinal de Taparoy hasta el tope de un paquete potente de areniscas que se encuentra hacia el sur, ver foto 3.20.

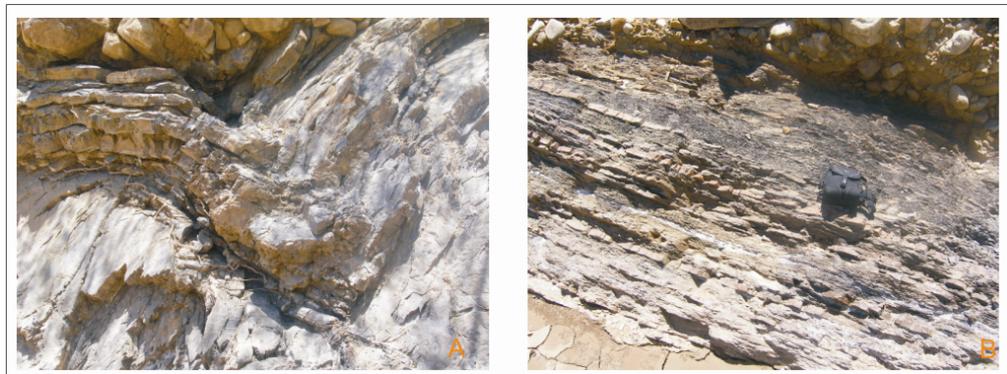
La orientación de la capas es aproximadamente N 75 E con una fuerte variación en la inclinación entre los 22° y 69° al sur, debido a la estructura antiforme.



**Foto 3.20.** Sección correspondiente a la Formación El Paraíso, sección del río *Purureche*, estado Falcón.

En la parte norte del anticlinal aflora una sección muy deformada de rocas de El Paraíso. La textura de estas rocas varía con respecto a las del anticlinal, siendo

una secuencia rítmica de areniscas y lutitas de poco espesor, ver foto 3.21. Se presentan pequeños lentes de carbón, véase foto 3.22.

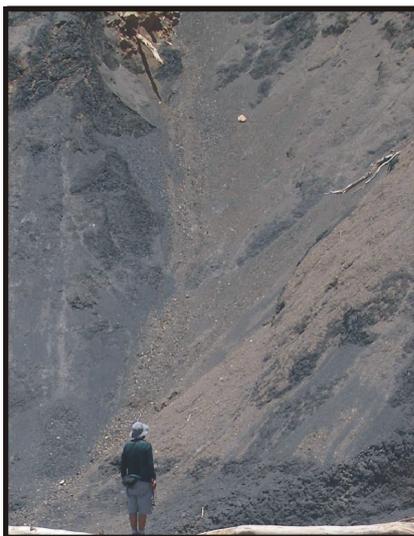


**Foto 3.21.** Secuencia deformada de la Formación El Paraíso, A, sección de areniscas y arcillitas rítmicas de poco espesor, B, sección del río Purureche, estado Falcón.



**Foto 3.22.** Detalle de la capa de lignito y azufre, pertenecientes a la Formación El Paraíso, de la Formación El Paraíso, sección del río Purureche, estado Falcón.

**Formación Pecaya:** se encontró por encima de la secuencia descrita anteriormente, y está constituida por una secuencia muy monótona de lutitas negras, de textura fúsil. En esta litología se pudo observar la presencia de una lámina de yeso en la cual se podían observar estrías de falla suponiéndose que la misma es una superficie de despegue. Véase foto 3.23.



**Foto 3.23.** Sección correspondiente a la Formación Pecaya, sección del río Purureche, estado Falcón.

### 3.3. Muestreo

Cada una de las muestras de las distintas capas involucradas en el estudio fue cartografiada con el objetivo de precisar su orden estratigráfico, y permitir que estudios a detalle cuenten con información precisa.

En el anexo 4 se muestran las imágenes de cada uno de los afloramientos muestreados, con los puntos de ubicación por muestra, tanto en los afloramientos de la quebrada *Maica*, en el estado Lara, como en la sección del río *Purureche* en el de Falcón. Además, se ubica el nivel estratigráfico al que corresponden en la columna estratigráfica.

Por otro lado, la ubicación cartográfica precisa la puede obtener en el mapa geológico, la versión digital de este mapa está georeferenciada. Ver anexo 3.

## CAPÍTULO IV

### PETROGRAFÍA Y MINERALOGÍA DESCRIPTIVA

#### 4.1.- GENERALIDADES

El estudio de la estratigrafía de las secciones correspondientes a la quebrada *Maica* y al río *Purureche* fue complementado con un análisis petrográfico detallado de las capas resistentes existentes. Las características macróscopicas de las litologías involucradas fueron presentadas en el capítulo anterior.

El estudio petrográfico consiste en la realización de análisis modales a un total de veintiséis muestras, de las cuales 16 corresponden a la sección *Maica* y las restantes a la sección *Purureche*. El alcance del estudio petrográfico abarca todas las clases minerales y otras características petrográficas incluidas dentro de la metodología propuesta por YORIS (1992).

El análisis sistematizado en función de la estratigrafía permite construir gráficos de la evolución porcentual de las diferentes variables, las cuales se muestran en este capítulo: Cuarzo, Feldespatos, Fragmentos de Rocas, Micas, Óxidos, Fragmentos Finos, Carbonatos, Minerales Autigénicos, Porosidad.

A continuación se presentan una serie de gráficos que muestran la variación porcentual de estas variables en función del orden estratigráfico. Para cada gráfico se agrupan por grupos de minerales con características comunes. Se debe estar atento con la escala de los diferentes gráficos debido a que estas fueron ajustadas en función de las magnitudes correspondientes a las diferentes variables.

## **4.2.- Variables Estudiadas**

### **4.2.1.- Cuarzo**

En el estudio petrográfico se contabilizaron todos los tipos de cuarzos establecidos entre las variables que propone YORIS, (1992). Los tipos propuestos se basan en la cristalinidad y en la extinción.

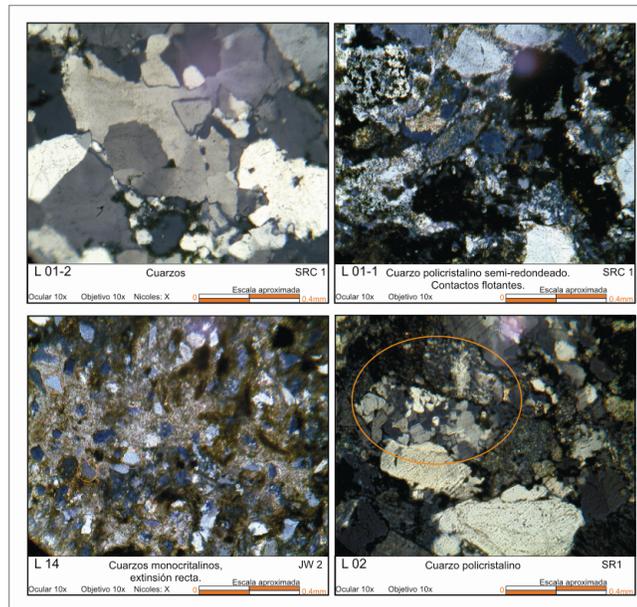
Algunos cuarzos presentan la propiedad de presentar una textura tipo vitral, es decir un grano puede encerrar varios cristales en su interior, a esta propiedad se le llama policristalinidad. Se identificaron cuarzos monocristalinos y policristalinos, estos últimos, en arreglos con menos de cuatro granos y con más de tres granos, con extinción ondulatoria o recta.

La diferenciación entre los cuarzos con extinción recta y ondulatoria se realizó según el criterio postulado por ROMERO (1996), p. 35. Se consideran cuarzos con extinción ondulatoria a aquellos cristales que requieren más de cinco grados para extinguir toda su área y cuarzos con extinción recta todos aquellos que lo hacen con menos de este ángulo.

Las variables para estudios de procedencia propuestas por YORIS, (1992), incluyen también la clase de los cuarzos antigénicos. Los porcentajes para esta variable en ambas secciones son muy bajos. Por eso no se incluyen en las curvas, pero pueden ser consultados en los anexos “Datos de Análisis Modales”.

Para cada clase mineral, petrológica o característica litológica particular de las que se muestran a continuación, se incluyen graficas de distribución de los valores porcentuales que se obtuvieron a través del análisis modal con respecto a la estratigrafía. Los porcentajes se obtuvieron en función de las dimensiones de las áreas ocupadas por cada elemento evaluado. Las tablas muestran los valores porcentuales para cada muestra, marcada con su número e identificadas con los afloramientos a los que corresponden, a través de esos valores se pueden ubicar dentro de las columnas estratigráficas, las cuales están anexas al final de este tomo.

Ver algunos tipos de cuarzo en la figura 4.1, que se presenta a continuación.

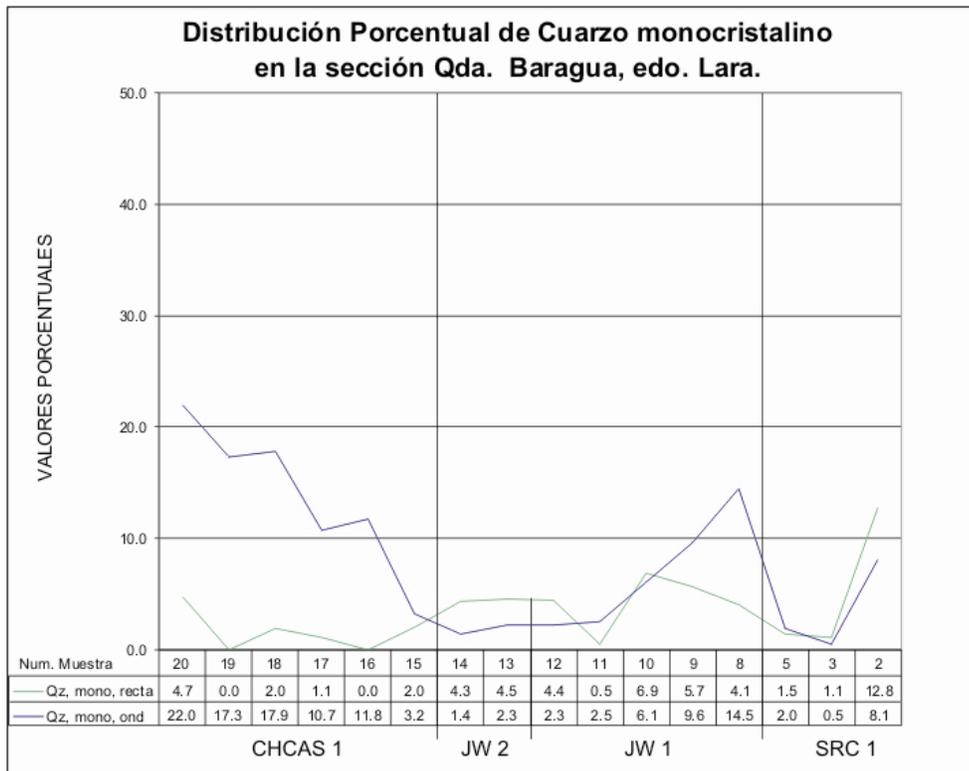


**Fig. 4.1.** Muestra de algunos tipos de cuarzos, presentes en las muestras de la quebrada Maica, estado Lara.

#### 4.2.1.1.- Cuarzo monocristalino (Qm)

En la sección de la quebrada Maica del estado Lara, el comportamiento de los valores de cuarzos monocristalinos pueden separarse en dos sectores, el correspondiente a las formaciones Santa Rita y Jarillal, y el de la Formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar*, como se puede ver en la figura 4.2.

En lo que respecta a las dos formaciones inferiores, Santa Rita y Jarillal, las concentraciones se ubican por debajo de 5 %, por lo que se considera una clase mineral accesorio.



**Fig. 4.2.** Gráfica de distribución de las concentraciones de Qm, con extinción recta u ondulatoria, en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada Maica, estado Lara.

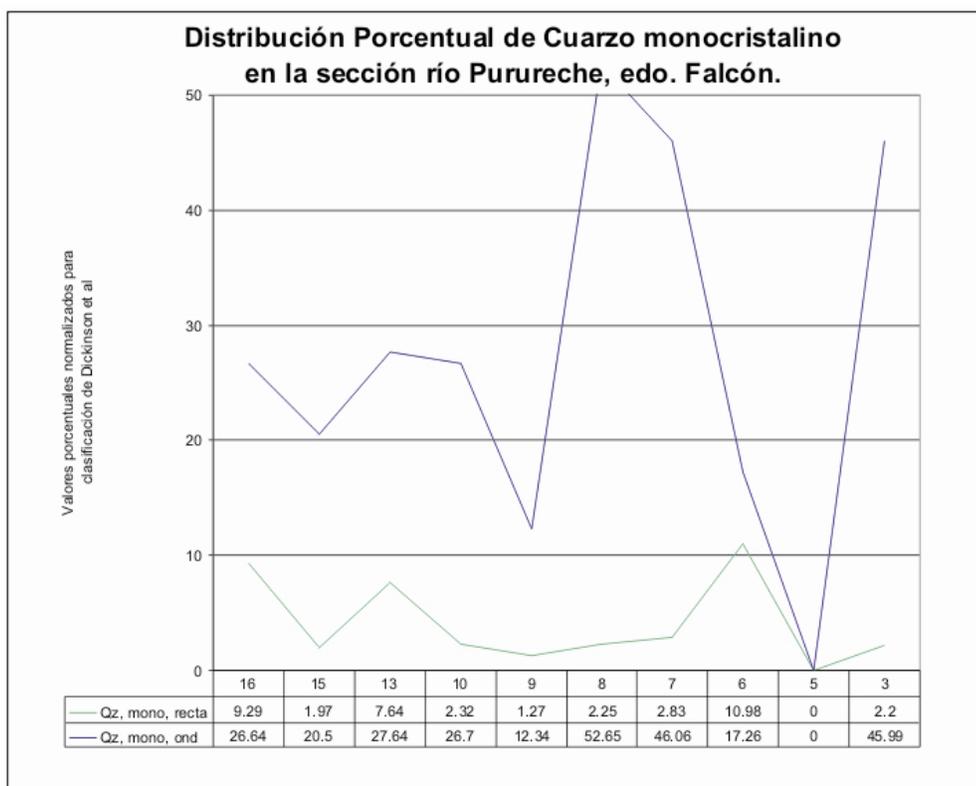
Los valores en la Formación Santa Rita y la parte inferior de Jarillal tienen una distribución caótica, lo que se evidencia con la forma aserrada de la curva, pero si se eliminaran los valores extremos de la muestra 8, puede inferirse que el comportamiento de estos cuarzos en sus dos tipos tienen una relación directamente proporcional.

En lo que respecta a la sección superior de la Formación Jarillal, los valores de Qm con extinción recta se superan a los de los Qm con extinción ondulatoria, a lo largo de la sección, sin embargo la diferencia entre ellos no supera los 3 puntos porcentuales.

El comportamiento de los Qm, en sus dos tipos, en la formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar* está bien definido. El Qm con extinción ondulatoria tiende a crecer a una tasa constante, de aproximadamente 6 puntos por muestra, interrumpida por ligeras disminuciones intermitentes. Se pudiera definir como un comportamiento

rítmico creciente. Por otro lado, los Qm con extinción recta están presentes como clase mineral accesorio.

Para el caso de la sección del Río Purureche, las concentraciones ambos tipos de Qm están muy separadas, viéndose favorecidos los Qm con extinción recta, en promedio, por más de veinte puntos, llegando en los casos de las muestras 7 y 8 a una concentración mayor de más de cuarenta por ciento. Véase la figura 4.3, mostrada a continuación.



**Fig. 4.3.** Gráfica de distribución de las concentraciones de Qm, con extinción recta u ondulatoria, en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.

La tendencia de las curvas muestra que las concentraciones de Qm con extinción ondulatoria son mayores en la parte inferior de la sección, hasta la muestra 9, registrando un promedio por encima de 30 por ciento. A partir de ese nivel el promedio baja hasta los 26 puntos.

En lo que respecta al Qm con extinción recta, su tendencia es bastante uniforme a lo largo de la sección, y presenta un comportamiento proporcional con las concentraciones de la clase ondulatoria. Aunque su promedio es de 4 por ciento, considerándose como un mineral accesorio.

Se debe hacer notar que en la muestra 5 no existen concentraciones de Qm.

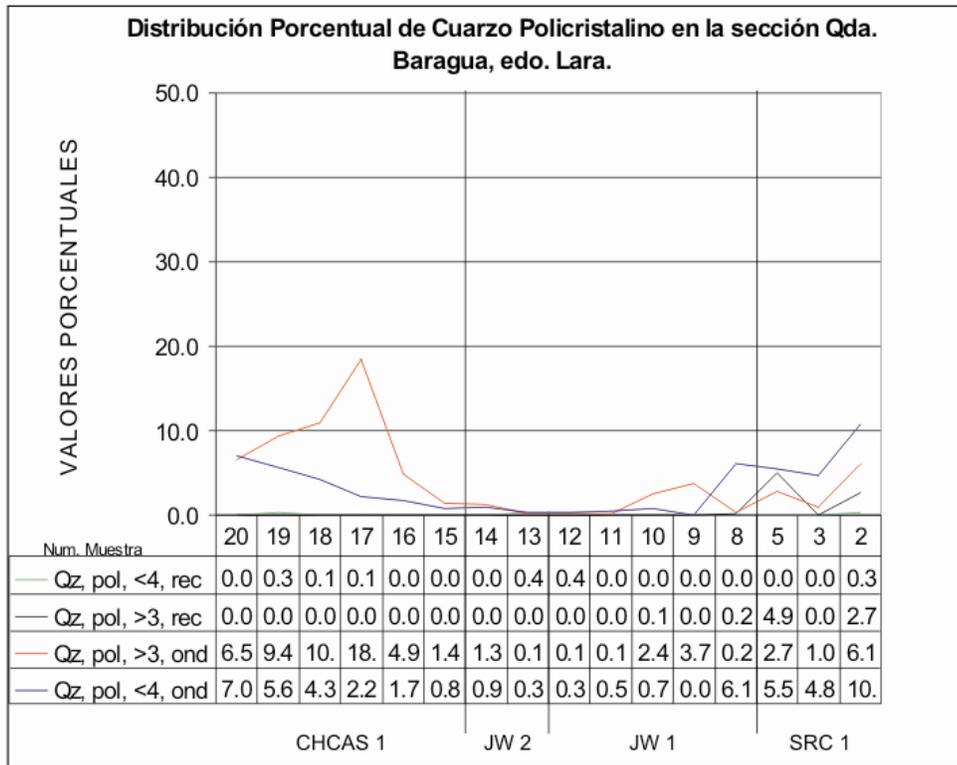
#### **4.2.1.2.- Cuarzo policristalino (Qp)**

El estudio de los cuarzos policristalinos se divide dos campos. Por un lado, el que corresponde a la cuantificación de su concentración, y en segundo lugar la evaluación cualitativa de las características petrográficas de estos cuarzos.

En cuanto al análisis modal, obsérvese, en los gráficos adjuntos, que para este estudio el cuarzo policristalino se subclasificó en cuatro categorías, en función de la cantidad de cristales dentro de cada grano y del tipo de extinción. Las categorías son las siguientes:

1. Qp con menos de cuatro granos y extinción recta.
2. Qp con más de tres granos y extinción recta.
3. Qp con menos de 4 granos y extinción ondulatoria.
4. Qp con más de 3 granos y extinción ondulatoria.

Las concentraciones de los Qp de la sección de Maica se pueden clasificar en tres grupos en función del comportamiento de las curvas de distribución. Como se puede ver en la figura 4.4, los cambios en los patrones de concentración están relacionados con las unidades litoestratigráficas.



**Fig. 4.4.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de Qp, con más de 3 cristales por grano o con menos de 4, en sus formas con extinción recta u ondulatoria, en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada *Maica*, estado Lara.

Las concentraciones de Qp en para la Formación Santa Rita tienden a mantenerse por debajo del cinco por ciento, sin embargo se puede decir que, con respecto a las otras formaciones, estos niveles de concentración son medios. Los cuarzos con extinción ondulatoria representan más del doble de la totalidad de los Qp, aunque se debe hacer referencia a que los niveles de los Qp con extinción recta en esta formación son los más altos de la sección, en la cual las concentraciones son casi nulas.

La Formación Jarillal presenta una caída en las concentraciones de cuarzo, siendo sus valores casi nulos. Salvo los valores menores a 5 por ciento en la parte inferior de la unidad, su característica general es la ausencia de cuarzo policristalino.

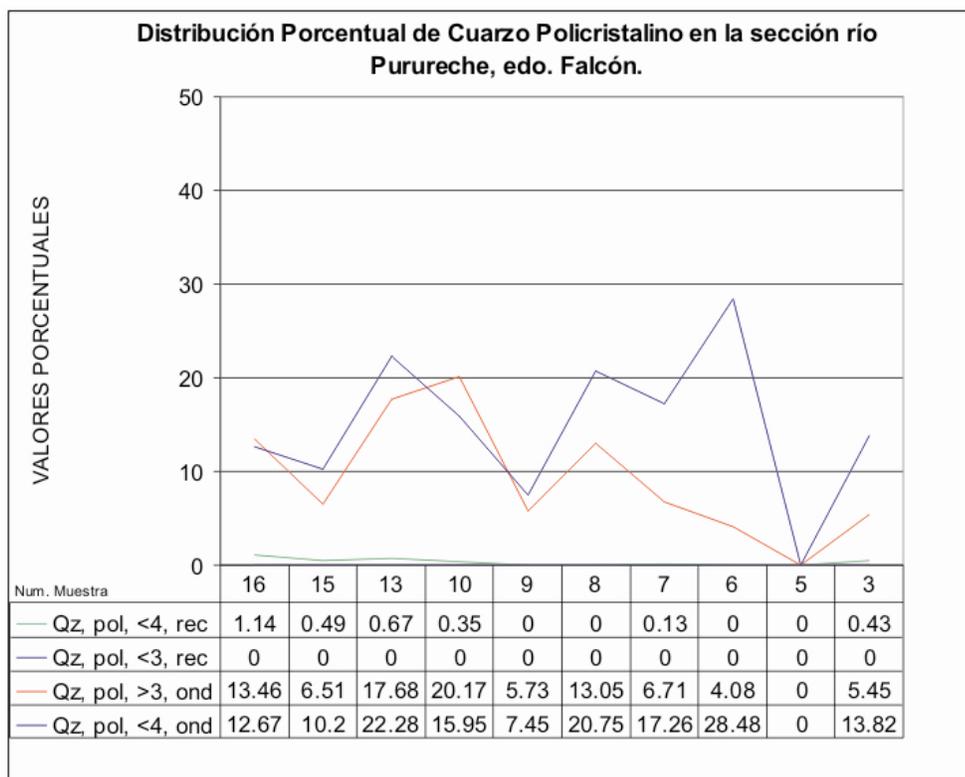
Las concentraciones de Qp en la Formación Churuguara-Castillo, son las más altas de la sección. El comportamiento de las líneas de los dos tipos de Qp es

diferente. Los granos con más de 3 cristales tienen crecimiento de sus concentraciones desde la base de la formación que va de prácticamente cero en el tope de Jarillal hasta los 18 puntos en la muestra 18, a partir de allí sus concentraciones descienden hasta igualarse a las de los granos con menos de 4 cristales. Estos últimos muestras un crecimiento sostenido a través de la formación que llega a tener un 7 por ciento al final de la sección.

En la sección del río Pururehe las concentraciones de estos tipos de cuarzo son mayores. Los cuarzos con extinción ondulatoria, en sus dos tipos, con menos de 4 cristales y con más de 3, llegan a contabilizar en la muestra 13, más del 40 por ciento del total de la muestra.

A pesar de excepciones puntuales, los granos con menos de 3 cristales son los más comunes, lo que da indicios de que a pesar de que estas muestras con mineralógicamente muy maduras, la madurez textural está en una etapa intermedia.

La muestra 5 no presenta cuarzo alguno debido a que junto con la 3, se ubican dentro de un intervalo de lodolitas calcáreas con presencia de algunas conchas y algas.



**Fig. 4.5.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de Qp, con más de 3 cristales por grano o con menos de 4, en sus formas con extinción recta u ondulatoria, en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.

#### 4.2.2.- Feldespatos

En el estudio petrográfico se contabilizaron todos los tipos de feldespatos establecidos entre las variables que propone YORIS (1992). Las categorías son las siguientes: plagioclasas (7), feldespatos potásicos (8), feldespatos indeterminados, alterados (9). Los números encerrados en paréntesis son los que YORIS (1992), establece a esas variables.

Las diferencias petrográficas entre las distintas clases de feldespatos en este estudio constituyen las siguientes:

Los feldespatos potásicos presentes son del tipo Ortosa, su diferenciación se hizo a través de la determinación de las figuras de interferencia. También en muchas de las muestras, se logró diferenciar entre los cuarzos con extinción recta y las ortosas

por el grado de alteración, parte de los granos de ortosas se encuentran alterando a arcillas.

El límite entre los granos alterados y los no alterados, que corresponden a categorías diferentes según YORIS (1992), se estableció en función de las características del grano. En los casos que, a pesar de que existiese algo de alteración pero todavía la forma del grano está bien definida, se observan los patrones de extinción de manera clara, es decir no se considerase el grano alterado completamente, se incluye dentro de la categoría de los feldespatos que le correspondiese.

Las plagioclasas se diferenciaron principalmente por la zonación, solo en unos pocos casos se presentaron macladas. Con la medición de los ángulos de extinción se pudo determinar que las plagioclasas de las formaciones Santa Rita y Jarillal corresponden a las de tipo andesina-oligoclasa y oligoclasa-albita, respectivamente. Aunque la escasez de cristales maclados solo permitió caracterizar las plagioclasas en un reducido número de muestras.

En lo que respecta a la sección de la quebrada Maica, en el estado Lara, los feldespatos alterados son la clase con mayor porcentaje sobre toda la sección, presentando un comportamiento sinusoidal comparado con la Formación Santa Rita y la mitad inferior de Jarillal, donde los valores máximos se ubican entre los 12 y 14 puntos, para luego estabilizarse aproximadamente en los 6 puntos casi hasta el final de la sección.

Véase a continuación, imágenes de algunos tipos de feldespato, Figura 4.6.

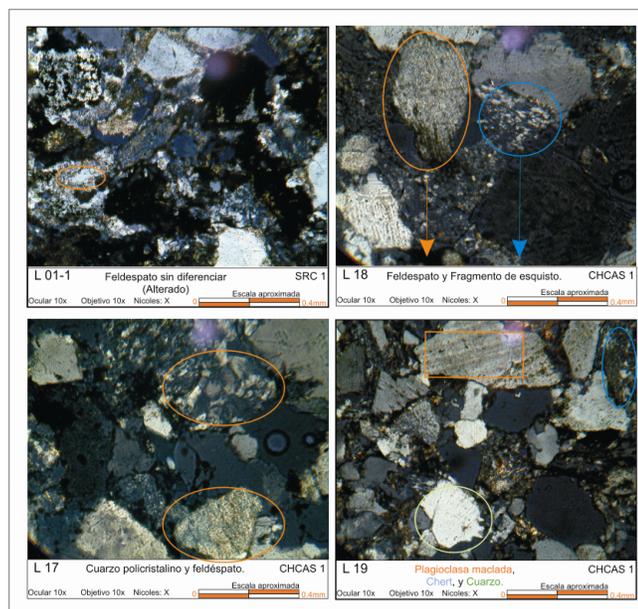


Fig. 4.6. Muestra de algunos tipos de feldspatos, presentes en las muestras de la quebrada Maica, estado Lara.

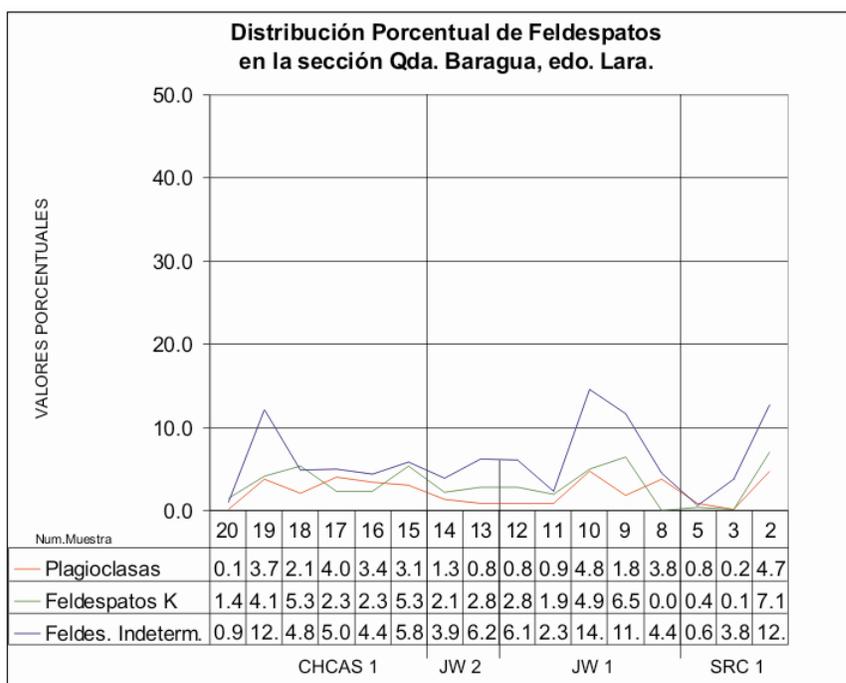


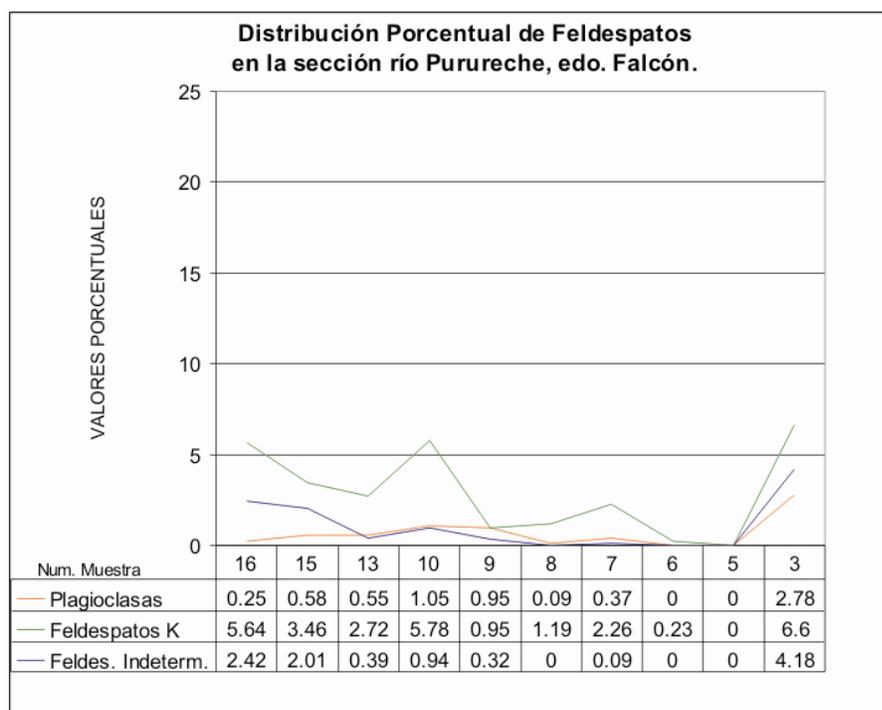
Fig. 4.7. Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de feldspatos: plagioclasa, feldspatos potásicos, feldspatos indeterminados (alterados). La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada Maica, estado Lara.

Los valores de los otros tipos de feldespatos presentan un comportamiento proporcional con el descrito para los feldespatos indeterminados.

El porcentaje total de feldespatos en las rocas de la sección llega a tener valores de hasta 24 puntos en la parte media de la Formación Jarillal y los valores mínimos corresponden a la muestra 5 de la Formación Santa Rita con poco menos que 2 por ciento.

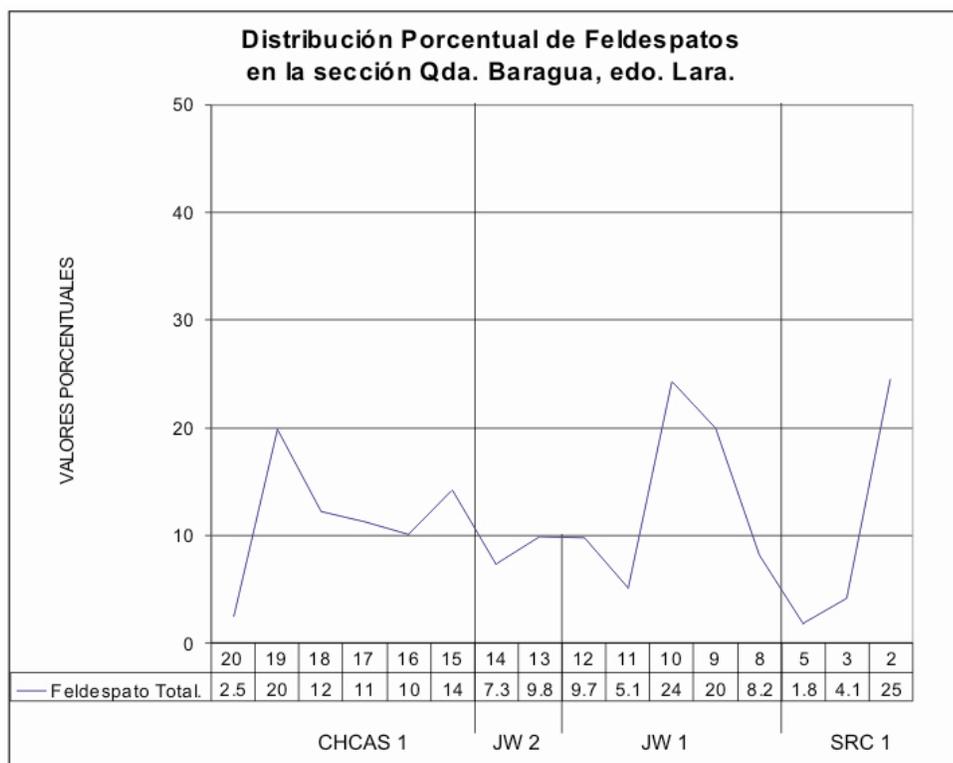
Con base a la distribución de los feldespatos sobre la sección no se presentan características que correspondan a las unidades litoestratigráficas presentes.

En la sección del río Purureche, se puede ver que apartando los valores de la muestra 3, la primera de la sección, el comportamiento de los valores de feldespatos es creciente. Diferente a los que ocurre en la sección de Maica, en esta sección el feldespato potásico es la clase mayoritaria.

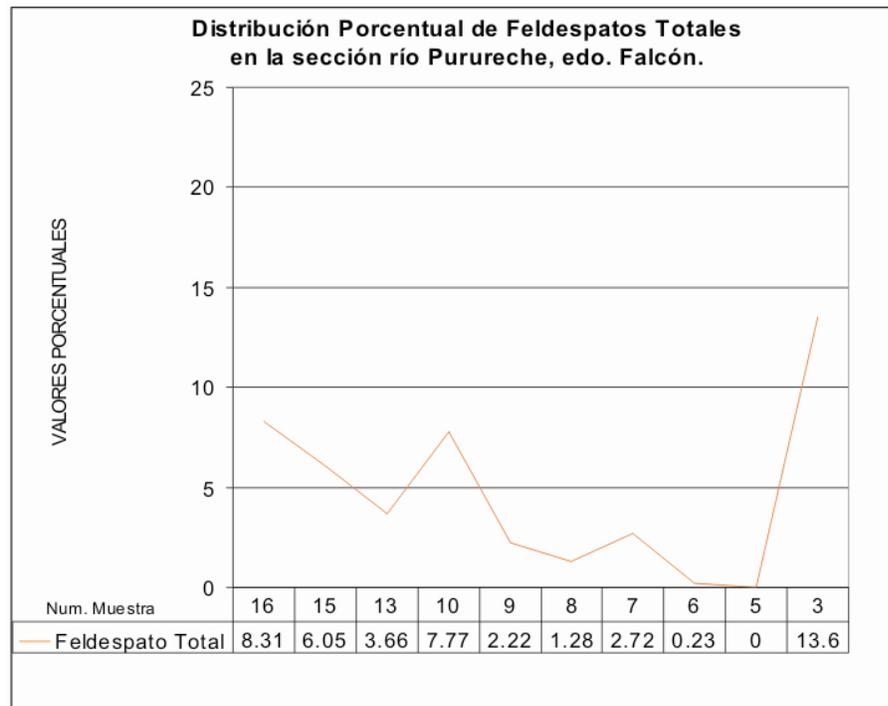


**Fig. 4.8.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de feldespatos: plagioclasa, feldespatos potásicos, feldespatos indeterminados (alterados). La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Facón.

Los valores de feldespatos para esta sección son muy bajos, manteniéndose como mineral accesorio, y en el 70 % de los casos por debajo del uno por ciento.



**Fig. 4.9.** Gráfica de distribución de las concentraciones de feldespato total (plagioclasa, feldespatos potásicos, feldespatos indeterminados (alterados)). La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada *Maica*, estado Lara.



**Fig. 4.10.** Gráfica de distribución de las concentraciones de feldespato total (plagioclasa, feldespatos potásicos, feldespatos indeterminados (alterados)). La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.

#### 4.2.3.- Fragmentos de Roca

Los fragmentos de rocas son clasificados en las siguientes categorías, según YORIS (1992):

1. Fragmentos de lutitas-limolita arcillosas (10)
2. Fragmentos volcánicos no-metamórficos (11)
3. Fragmentos de esquistos y filitas (12)
4. Fragmentos de gneises y/o filitas (13)
5. Fragmentos de rocas ígneas félsicas (14)
6. Fragmentos de rocas ígneas máficas (15)
7. Fragmentos de rocas ígneas ultramáficas (16)
8. Fragmentos de ftanita y/o meta-ftanita (17)

Los números entre paréntesis corresponden a los asignados en la clasificación, de esa manera están identificados en la *tabla de resultados composicionales*, anexo 1.

La caracterización petrográfica se puede dividir en cuatro áreas en cuanto a la dificultad para diferenciar entre las clases.

La caracterización entre las rocas sedimentarias de granos finos, lutitas, limonitas y arcillitas, y las rocas volcánicas no-metamórficas, para las rocas de este estudio, se realizó basándose en la configuración interna de los cristales y la forma de los granos. Mientras las arcillitas se presentan como masas alargadas generalmente color marrón con distintas tonalidades, en algunas ocasiones con micas. Por su parte, los clastos de rocas volcánicas se caracterizaron por presentar mosaicos de cristales de feldespatos y micas, embebidos en una matriz fina de color marrón de distintas tonalidades. La caracterización entre estos dos tipos de fragmentos de rocas es difícil, y en muchos momentos sus características se solapan, aunque esto no representa un problema para el alcance de este estudio.

Los esquistos y filitas presentan la misma textura que caracteriza a estas rocas a nivel macroscópico.

Las diferencias entre los gneises y las rocas ígneas félsicas no-foliadas se basó en las texturas presentes en los granos, la extinción de los cuarzos, deformaciones en los filosilicatos, alineación en la textura general en el interior de los granos.

La distribución de los porcentajes de los distintos fragmentos sobre la estratigrafía marca familias distintivas para cada unidad litoestratigráfica de la sección de la quebrada Maica. Véase las figuras 4.12. y 4.13.

A continuación se muestran algunas imágenes microscópicas de varios tipos de fragmentos de rocas, figura 4.11.

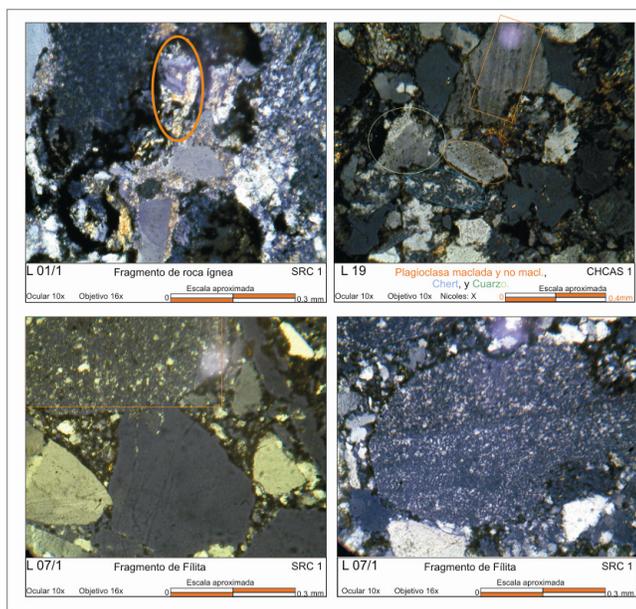


Fig. 4.11. Muestra de algunos tipos de fragmentos de rocas, presentes en las muestras de la quebrada Maica, estado Lara.

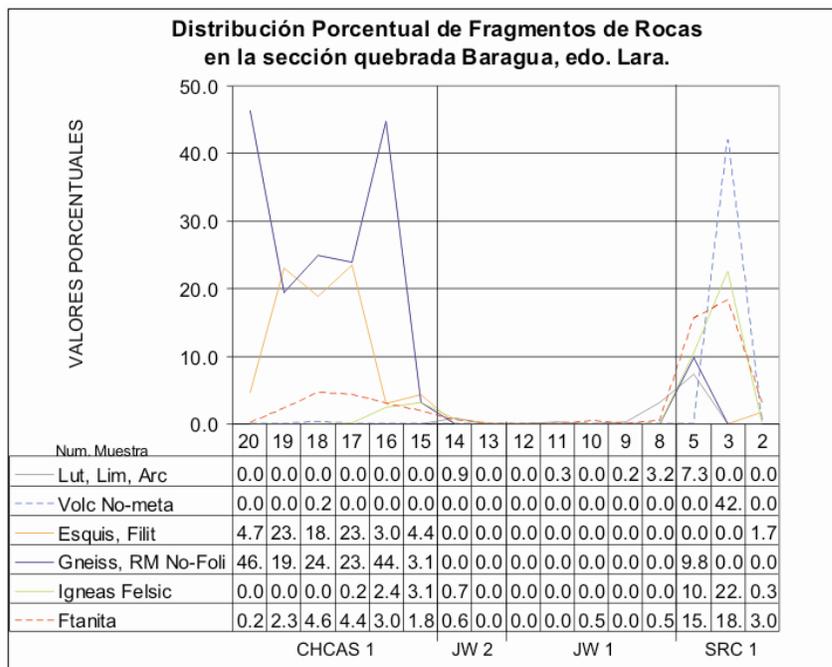
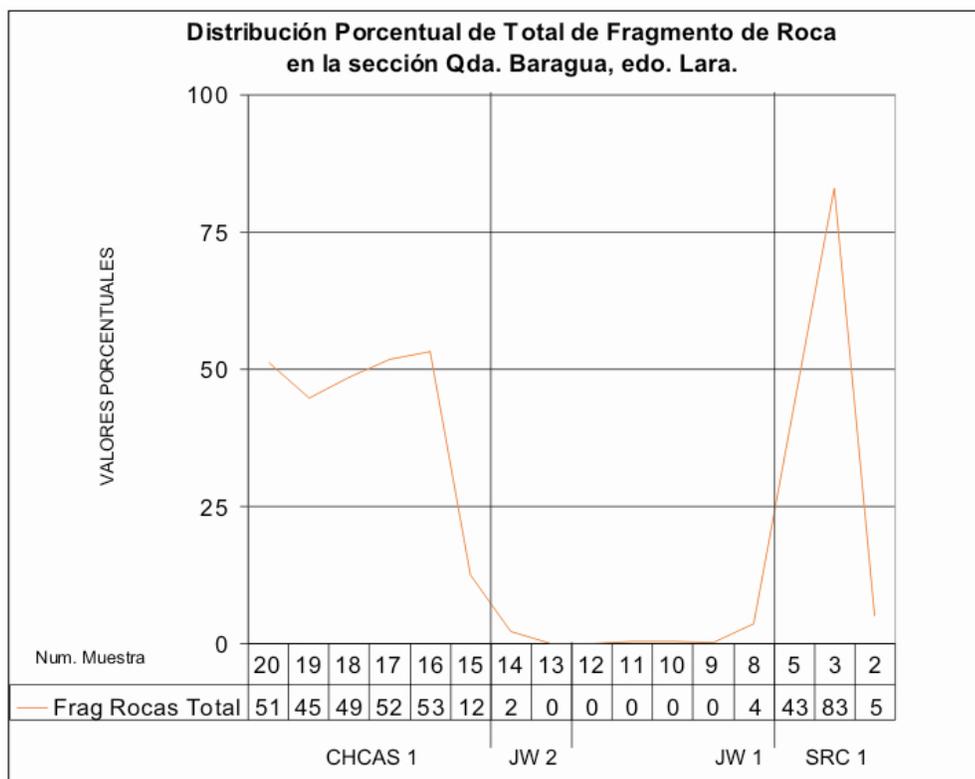


Fig. 4.12. Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de fragmentos de rocas: lutitas, limonitas y arcasas; volcánicas no-metamórficas; esquistos y filitas; gneis y rocas metamórficas no-foliadas; rocas ígneas félsicas, y ftanitas. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada Maica, estado Lara.

La Formación Santa Rita muestra concentraciones importantes de rocas volcánicas, ígneas félsicas, y ftanitas. Los porcentajes se distribuyen en forma de pico con su máximo en la muestra 3, donde el total de fragmentos de roca alcanza más del 80 por ciento de la roca, su gran mayoría volcánicas. La concentración de los gneises, por su parte, tiene un pico en la muestra 5.

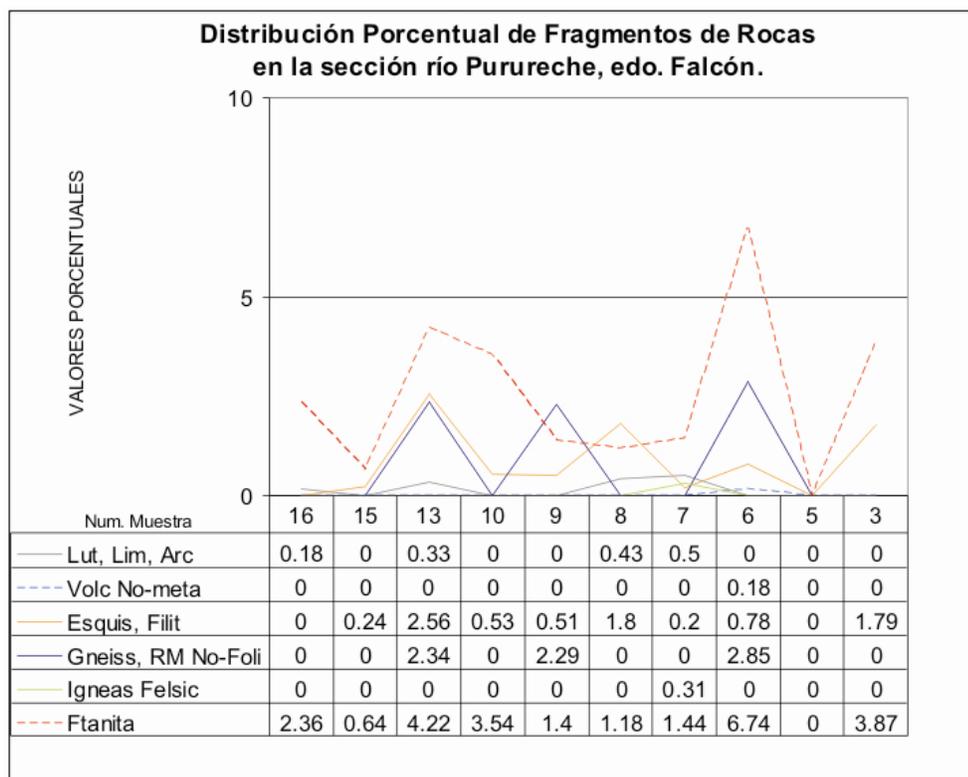
La Formación Jarillal se caracteriza por la ausencia casi completa de los fragmentos de roca. Solo una pequeña concentración de esta clase en la sección superior de la formación, que corresponde al afloramiento JW2.

Los valores para la formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar* forman una curva de distribución amesetada, donde los valores se mantienen sobre los 50 puntos de fragmentos de rocas totales. A diferencia de los fragmentos de roca que se asocian con la unidad inferior de la sección, Santa Rita, la mayor parte de estos los constituyen rocas metamórficas, del tipo gneises o rocas metamórficas no-foliadas, y esquistos y filitas. Las ftanitas se presentan también pero en un porcentaje mucho menor, manteniéndose cerca del límite de mineral accesorio.

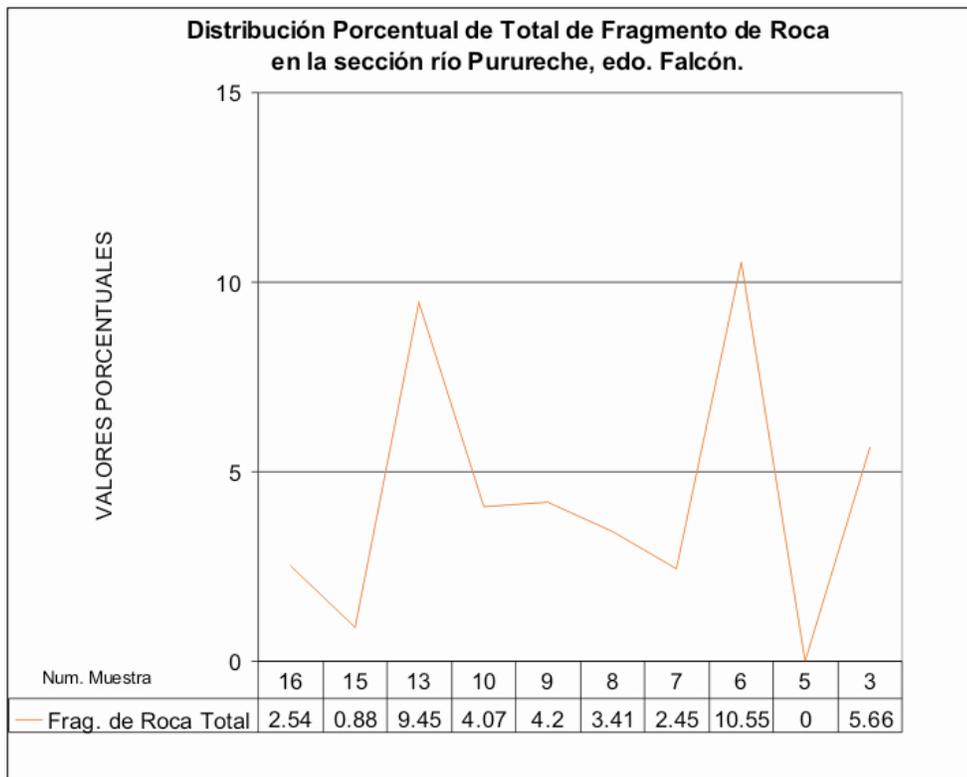


**Fig. 4.13.** Gráfica de distribución de las concentraciones de fragmentos de rocas totales: lutitas, limonitas y arcosas + volcánicas no-metamórficas + esquistos y filitas + gneis y rocas metamórficas no-foliadas + rocas ígneas félsicas + y ftanitas. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada Maica, estado Lara.

Los porcentajes de fragmentos de rocas en la sección correspondiente al río Purureche son muy bajos, ninguna de las clases sobrepasa el cinco por ciento, y su distribución es caótica, generándose curvas de distribución de forma aserrada. La clase que muestra una distribución más ordenada es la ftanita, que a pesar de presentar enriquecimientos puntuales se mantiene en casi toda la sección sobre el 1,5 por ciento.



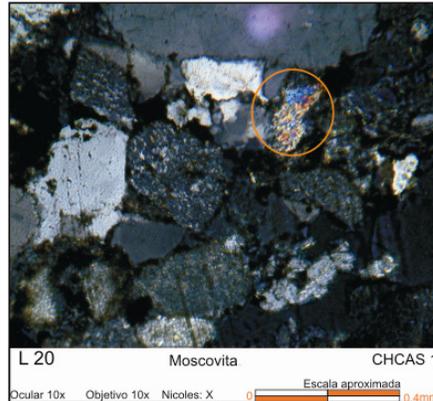
**Fig. 4.14.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de fragmentos de rocas: lutitas, limonitas y arcasos; volcánicas no-metamórficas; esquistos y fílitas; gneis y rocas metamórficas no-foliadas; rocas ígneas félsicas, y ftanitas. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.



**Fig. 4.15.** Gráfica de distribución de las concentraciones de fragmentos de rocas totales: lutitas, limonitas y arcosas + volcánicas no-metamórficas + esquistos y filitas + gneis y rocas metamórficas no-foliadas + rocas ígneas félsicas + y ftanitas. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.

#### 4.2.4.- Micas

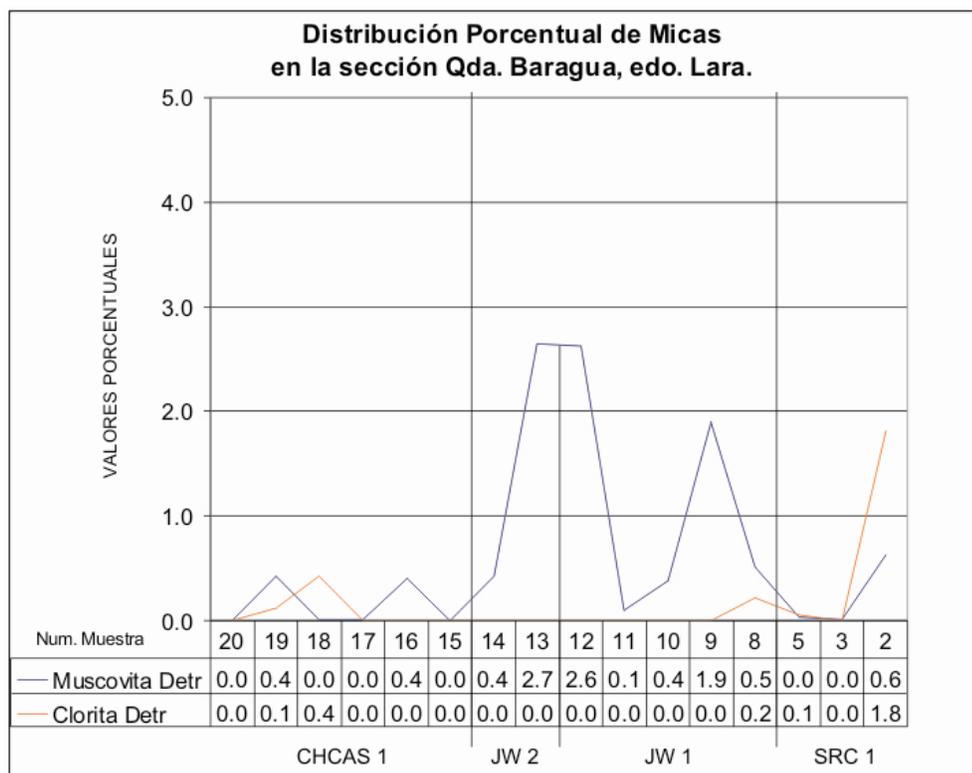
En el estudio petrográfico se identificaron micas de los tipos moscovitas y cloritas. Véase figura 4.16.



**Fig. 4.16.** Muestra de muscovita, presentes en la muestra L 20 de la quebrada Maica, estado Lara.

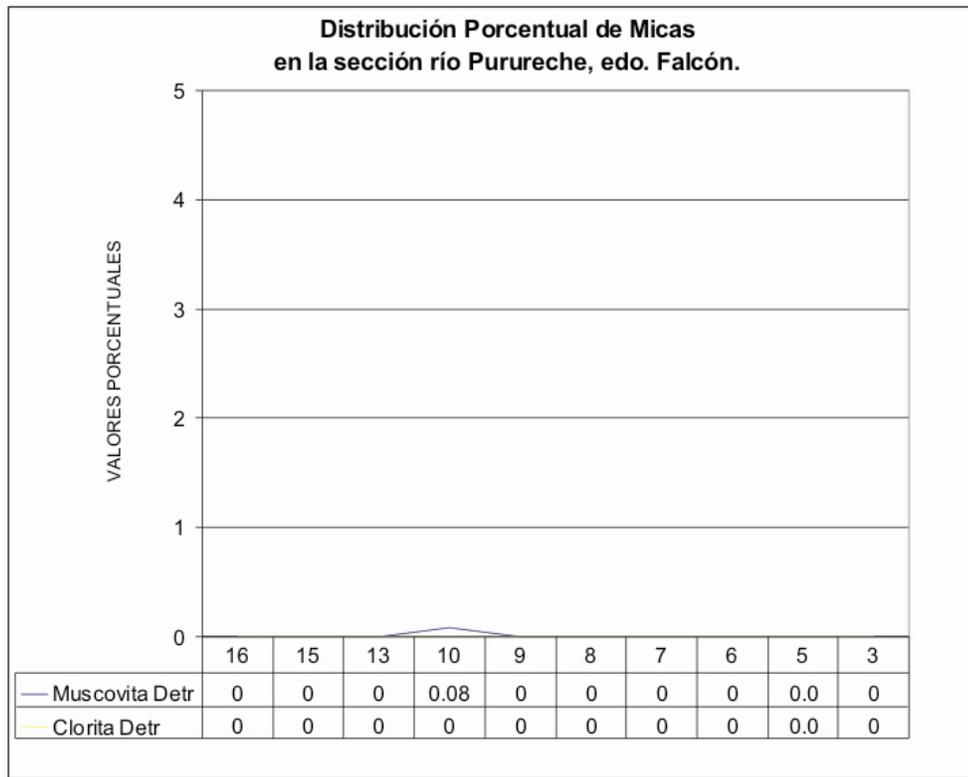
En la sección de la quebrada Maica la presencia de mica es muy escasa. Los valores máximos son menores a los 3 puntos, estos se presentan hacia el tope de la sección inferior de la Formación Jarillal (JW1), seguidos de una concentración de casi 2 puntos, hacia la base de la misma sección. Estos valores corresponden con moscovitas. El comportamiento de la curva de concentraciones tiene un incremento evidente en la sección mencionada, mientras que fuera de ella la curva se deprime a valores menores al 1 por ciento. Véase figura 4.17.

En lo que respecta a las cloritas, éstas muestran un pequeño incremento dentro de la Formación Santa Rita, llegando al 1,8 puntos en la muestra número 2. Véase figura 4.17.



**Fig. 4.17.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de micas detríticas: moscovita y clorita. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Lara.

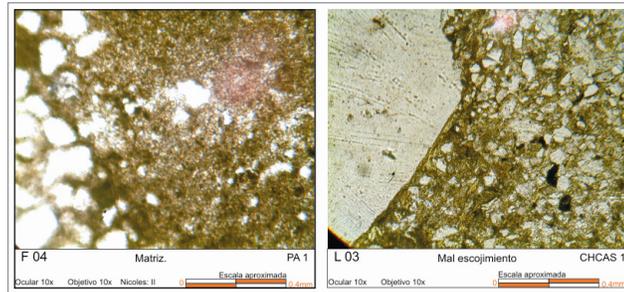
Como puede observarse en la gráfica adjunta, en la sección de la Formación El Paraiso en el río Purureche las concentraciones de micas son nulas, como se puede ver en la figura 4.18.



**Fig. 4.18.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de micas detríticas: moscovita y clorita. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.

#### 4.2.6.- Matriz

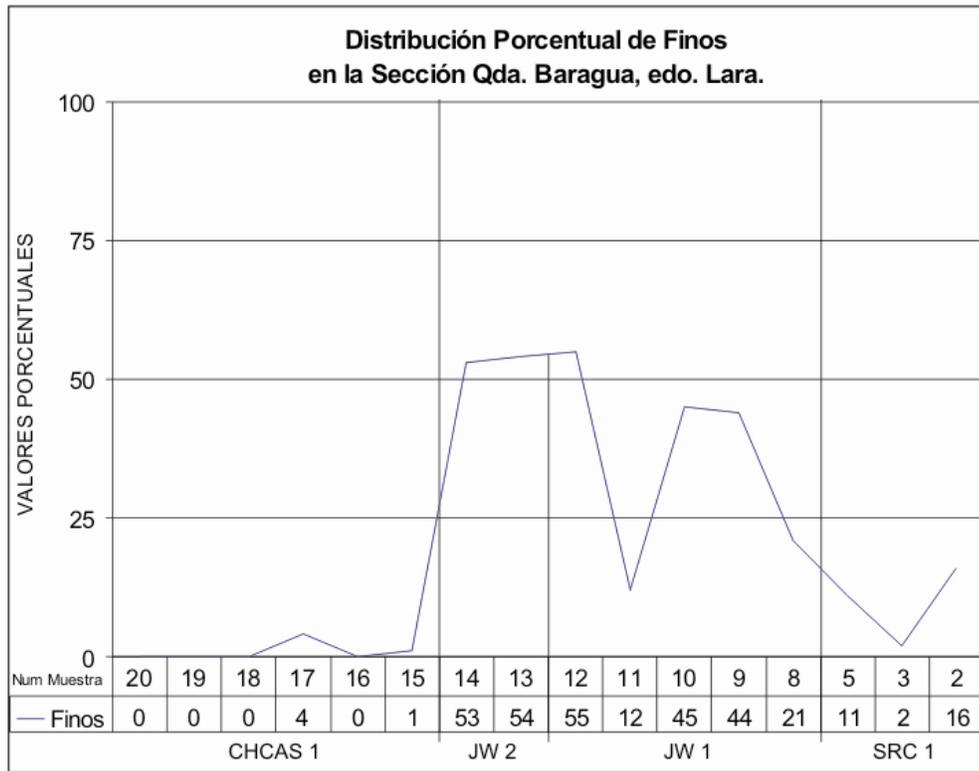
La mayor parte de los materiales finos que componen las rocas estudiadas corresponden con la definición que hace YORIS, 1992 de matriz limo-arcillosa indeterminada. Véase figura 4.19.



**Fig. 4.19.** Vistas de las matrices de material indeterminado, presentes en muestras de las secciones de Quebrada Maica, estado Lara, y río Purureche, estado Falcón.

Petrográficamente estos materiales se identifican como unas masas de colores terrosos mezclados, en muchas ocasiones con motas o bandas de óxidos de hierro. Dependiendo del empaquetamiento de la muestra los materiales finos se presentan en diferentes configuraciones espaciales: rellenando poros, como soporte del empaquetamiento, de forma dispersa en acumulaciones homogéneas sobre toda la sección o en acumulaciones locales.

La curva de distribución de porcentajes de finos en función de la estratigrafía, en la sección de la quebrada Maica, muestra un comportamiento distinto para cada unidad lito-estratigráfica, muy bien definida. Véase la figura 4.20.



**Fig. 4.20.** Gráfica de distribución de las concentraciones de matriz (finos), de granulometría menor a 1/64 mm. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada *Maica*, estado Lara.

La Formación Santa Rita presenta una concentración promedio de finos de poco menos de 10 puntos. La curva está definida como una punta apuntando hacia abajo con su pico en la muestra 3. A partir de la muestra 3 el porcentaje de finos aumenta con un crecimiento sostenido hasta la muestra 9. Notese que en la muestra 8, primera de la Formación Jarillal, existe una pequeña inflexión en la curva de crecimiento, que separa el comportamiento de ambas formaciones.

En la Formación Jarillal la curva de distribución forma dos mesetas. La primera en la parte inferior de la formación JW1, con una concentración promedio de 44 puntos, y la segunda a partir de la muestra 12, se puede decir que caracteriza la sección JW2, con un promedio de 54 puntos. Éstas se encuentran separadas por una caída en la mitad de la sección, muestra 10, hasta los 12 puntos.

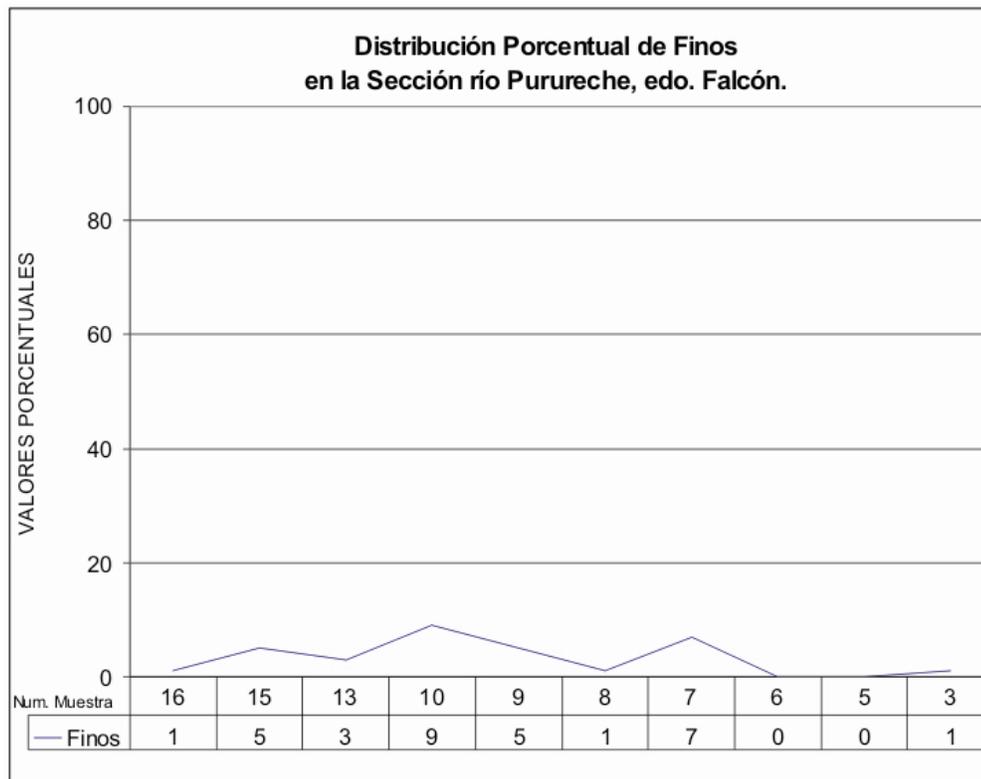
A continuación se presenta la clasificación de las muestras correspondientes a esta formación, los nombres de cada muestra se colocaron a partir de la clasificación de PETTIJOHN et al. (1976).

Formación	Afloramiento	Muestra	Descripción
<b>Formación Jarillal</b>	JW2	14	Waca pardo claro
		13	Waca pardo claro
	JW1	12	Waca marrón grisáceo que meteorizan a pardo rojizo con laminación incipiente con costras de óxido
		11	Arenisca de grano fino a medio gris que meteoriza a pardo claro
		10	Waca gris oscura que meteoriza marrón grisáceo con laminación incipiente
		9	Waca marrón que meteoriza a tonos rojizos
		8	Waca marrón claro que meteoriza pardo con laminación incipiente

**Tabla 4.21.** Tabla de clasificación de las muestras de la Formación Jarillal, en la sección de la quebrada Maica, estado Lara.

Por su parte, la Formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar* presenta los valores mínimos de porcentajes de finos con respecto a toda la sección. Con la excepción de las muestras 17 y 15, las areniscas de esta formación son completamente limpias.

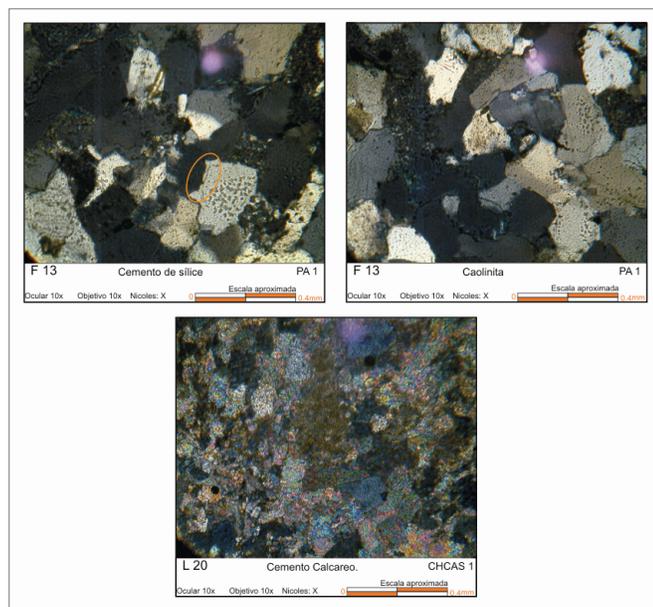
Las areniscas de la Formación El Paraiso, en la sección del río Purureche, presentan bajas concentraciones de finos. La curva de distribución porcentual tiene una forma acerrada, que tiene su valor máximo en la muestra 9, con 9 puntos, como se muestra en la figura 4.22.



**Fig. 4.22.** Gráfica de distribución de las concentraciones de sedimentos finos, de granulometría menor a 1/64 mm. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.

#### 4.2.6.- Minerales Autigénicos

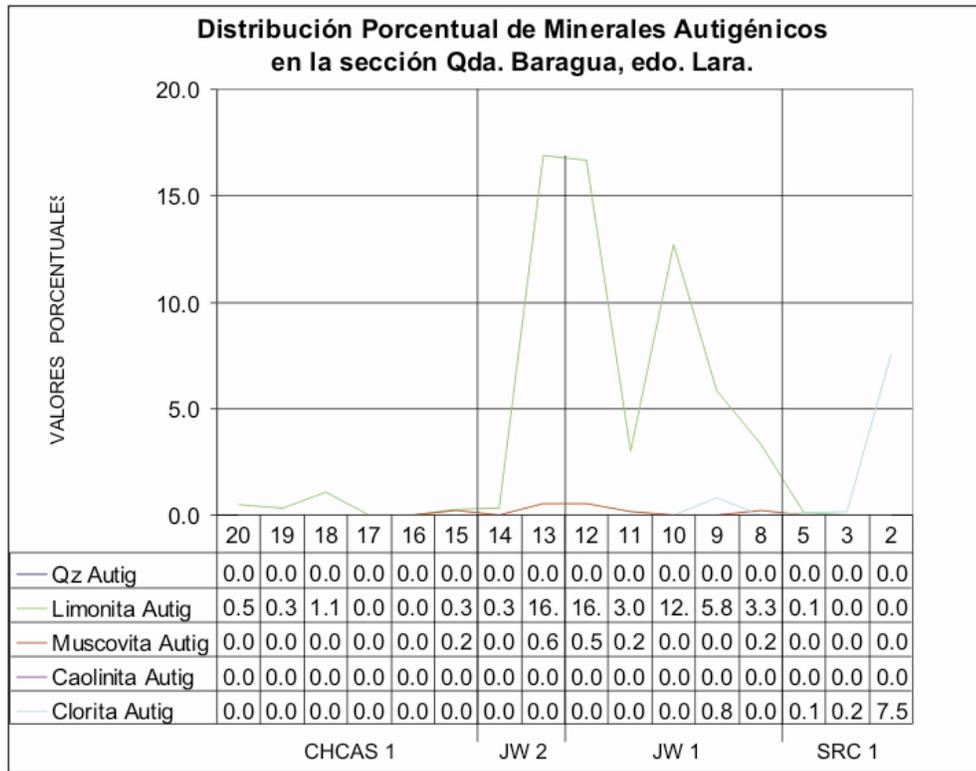
Los minerales autigénicos evaluados fueron: Cuarzo autigénico por tripuración, Limonita, Moscovita, Caolinita y Clorita. A continuación se presentan imágenes de algunos tipos de cementos. Véase figura 4.23.



**Fig. 4.23.** Vistas de distintos tipos de cementos, presentes en muestras de las secciones de Quebrada Maica, estado Lara, y río Purureche, estado Falcón.

La calidad de autigénico se determinó en función de las texturas, los hábitos y/o los espacios ocupados dentro del empaquetamiento, presentados por estas clases minerales.

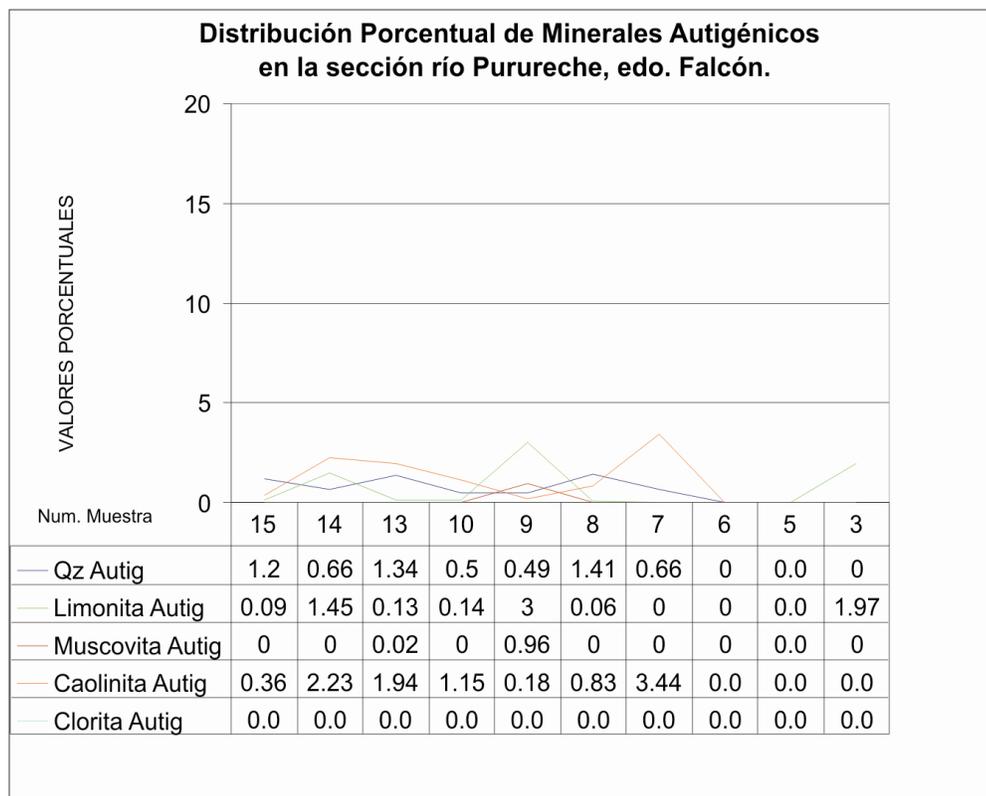
En la sección de la quebrada Maica, sólo la limonita autigénica, de este grupo de minerales, se presenta en una concentración importante, específicamente en la sección JW1, correspondiente a la parte inferior de la Formación Jarillal. La curva de distribución de las concentraciones crece desde la base de la formación hasta alcanzar un 16 por ciento en la muestra 12 y mantenerse hasta la muestra 13, en el tope de JW1.



**Fig. 4.24.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de minerales autigénicos: cuarzo autigénico por trituración; limonita; moscovita; caolinita, clorita. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada Maica, estado Lara.

A pesar de que la clorita autigénica se observa solo presente en la muestra 2, de la Formación Santa Rita, es posible que esté contenida en mayor porcentaje dentro de esta unidad, debido a la coloración general de la sección SRC1 (como puede verse en las imágenes correspondientes a este afloramiento del anexo 4), y a la cantidad de rocas verdes contenidas en ella, como se observó en los conteos modales macroscópicos realizados al conglomerado, SRC1, ver capítulo 11.

Con respecto a la sección del río Purureche, los minerales autigénicos se presentan en muy bajo porcentaje, siendo el porcentaje máximo correspondiente a la caolinita de la muestra 14 con 3,44 puntos.



**Fig. 4.25.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de minerales autigénicos: cuarzo autigénico por trituración; limonita; moscovita; caolinita, clorita. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.

A pesar de esto, se puede destacar que los valores de caolinita se sostienen a través de la sección, a partir de la muestra 14. La caolinita se encuentra como material de relleno de poros, sus cristales característicos, tipo hojas de libros, muestran un gran desarrollo. En segundo lugar de importancia, se presenta el cuarzo autigénico que tiene un porcentaje promedio menor al 0,6 por ciento. Las rocas de esta sección son muy cuarzosas, como puede verse en la sección de este capítulo dedicada al cuarzo, la presencia del cuarzo como cemento es producto de la diagénesis de estos materiales que las componen.



## CAPÍTULO V

### PROCEDENCIA

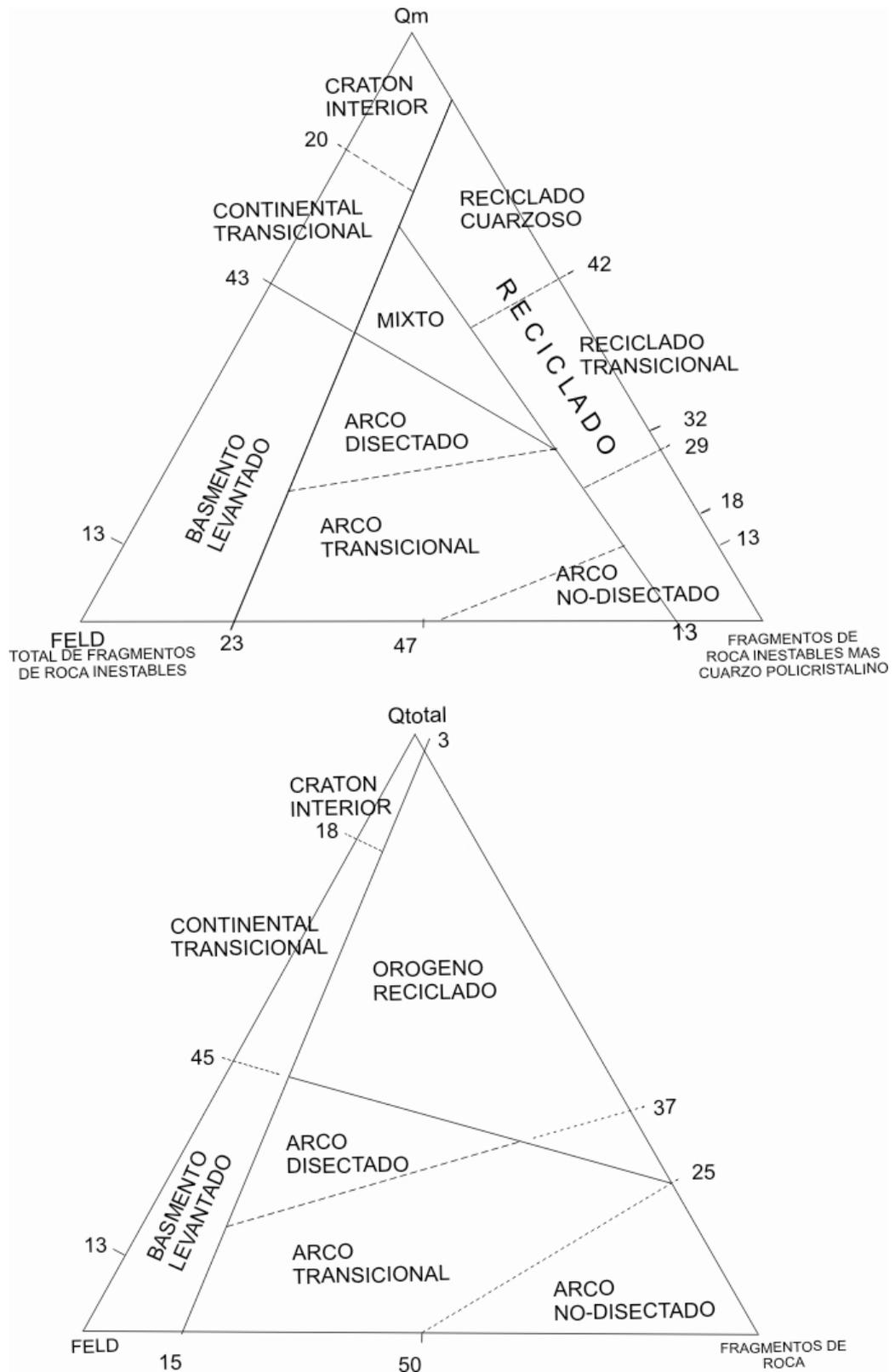
#### 5.1.- GENERALIDADES

Unas de las características más importantes dentro de los estudios de procedencia en rocas clásticas es la composición modal las partículas que las forman, así como las características particulares de los clastos de algunas clases minerales. Éstas, junto a las características químicas, permiten establecer la roca fuente y los ambientes tectónicos asociados a la sedimentación.

En una roca clástica, su mineralogía es el vínculo más estrecho que se tiene con la litología de la(s) roca(s) fuente(s), así como también es la evidencia más contundente para la interpretación de ambientes tectónicos. Esta es la tesis fundamental en los trabajos de DICKINSON Y SUCZEC (1979), y DICKINSON et al., (1983), los cuales son marco teórico para el análisis de procedencia que se presenta en este trabajo.

Los trabajos mencionados muestran que la composición de las areniscas obedece fundamentalmente a dos factores: (1) la naturaleza de los procesos sedimentarios dentro de la cuenca depositacional, (2) los diferentes tipos de vínculos que enlazan la fuente con la cuenca. Esta última relación tiene como controlador clave a la tectónica de placas, quien funge de motor en la distribución de los diferentes tipos de areniscas.

Como el carácter y la magnitud de los cementos y las matrices son en gran parte función de la diagénesis, el modelo para la determinación de procedencia que presentan estos autores se enfoca en la fracción detrítica, específicamente en las concentraciones de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos. A través de la utilización de dos diagramas ternarios, Cuarzo total-Feldespatos-Fragmentos líticos y Cuarzo-Feldespatos-Fragmentos líticos totales, ver figura 5.1, se pueden discriminar las distintas areniscas, al graficar los valores recalculados al 100% de las concentraciones de cada clase.



**Fig. 5.1.** Diagramas triangulares  $Q-F-L$  y  $Q_m-F-L_t$  para estudios de procedencia, tomado y modificado de DICKINSON et al. (1983).

Como se puede ver las diferentes áreas dentro de los diagramas corresponden a ambientes tectónicos asociados a la procedencia de los sedimentos. Estas áreas fueron definidas por DICKINSON Y SUZEC (1983), empíricamente, a través de la graficación de un gran número de muestras con procedencias conocidas. El diagrama superior, en la figura 5.1, que incluye el cuarzo monocristalino enfatiza en la estabilidad de los granos al incluir el resto de las variaciones de cuarzo y la ftanita dentro de los fragmentos líticos. Mientras que el diagrama de cuarzo total enfatiza sobre el tamaño de grano de la fuente, al incluir solo los fragmentos de rocas inestables dentro de los fragmentos líticos e incluir todas las variables de cuarzos como cuarzo total.

Los campos descritos en los diagramas pueden separarse en tres procedencias principales:

**1.- BLOQUE CONTINENTAL:** detritos que provienen de bloques continentales no-orogénicos, desde extensas áreas positivas de cratones estables hasta basamentos localmente levantados por la acción de fallas compresivas “*push-ups*”, lo que genera subdivisiones dentro de este tipo de procedencia (DICKINSON Y SUCZEK, 1979).

1.1.- Cratón Interior: areniscas típicamente cuarzosa con bajos porcentajes de feldespato que disminuye en función del aumento de la madures mineralógica de las sedimentos, lo que está muy vinculado con el ambiente de depositación y los mecanismos de transporte (DICKINSON Y SUCZEK, 1979).

1.2.- Transicional entre Cratón Interior y Basamento Levantado: areniscas derivadas tanto de elementos positivos a lo largo de los flancos de fallas transformantes, u otras discontinuidades estructurales que quiebran la trinchera de los flancos de un *rift* continental, o de fuentes locales en el flanco de un cratón en complejas cuencas ante-país (DICKINSON Y SUCZEK, 1979).

1.3.- Basamento Levantado: capas de arenas provenientes de bloques continentales limitados por fallas se acumulan sin mucho transporte. El ambiente tectónico incluye cinturones *rift* incipientes, rupturas transformantes de bloques continentales, y zonas afectadas por tectónismo en el interior de los continentes.

El porcentaje de líticos en estas arenas están relacionados con la cobertura metamórfica y/o sedimentaria asociada (DICKINSON Y SUCZEK, 1979).

**2.- ARCO MAGMÁTICO:** Los detritos provenientes de orógenos forman tipos de areniscas que van desde las rocas en ricas en fragmentos volcanoclásticos a unas más ricas en detritos cuarzo-feldespáticos (DICKINSON Y SUCZEK, 1979).

2.1.- Arcos No-disectados: los detritos proceden de áreas positivas volcanogénicas, asociadas a arcos de islas y a arcos volcánicos en márgenes continentales que no han sido poco afectados por la erosión. Los constituyentes característicos de estas areniscas son plagioclasas y fragmentos líticos volcánicos, muchos de los cuales presentan fenocristales de plagioclasas. Los cuarzos presentes en bajo porcentaje son volcánicos y sin inclusiones o vacuolas (DICKINSON Y SUCZEK, 1979).

2.2.- Transicional entre Arcos No-disectados y Arcos Disectados: rocas caracterizadas por contener una porción principal de clastos de volcánicos junto a una pequeña de detritos plutónicos. Contribuciones de las raíces subvolcánicas del arco se reflejan como un aumento en la concentración de cuarzo (DICKINSON Y SUCZEK, 1979).

2.3.- Arcos Disectados: corresponde con rocas formadas por sedimentos provenientes de arcos más maduros y erosionados, especialmente los asociados a márgenes continentales, sedimentos mixtos de detritos volcánicos y plutónicos que alimentan las cuencas ante-arco y retro-arco. La composición de las areniscas derivada de estos tipos de arcos es compleja y menos lítica que las volcanoclásticas. Los diferentes feldespatos están presentes en proporciones significativas, y las concentraciones de los fragmentos líticos no-volcánicos varían (DICKINSON Y SUCZEK, 1979).

**3.- OROGENO RECICLADO:** la fuente de aporte fundamental de las rocas de categoría son áreas levantadas de rocas plegadas y falladas desde donde se reciclan detritos de rocas sedimentarias y meta-sedimentarias en su mayoría (DICKINSON Y SUCZEK, 1979).

3.1.- Complejo de Subducción: corresponde con complejos de subducción obducidos, compuestos por ofiolitas y otros materiales oceánicos deformados que

forman un alto estructural junto a quiebre entre el talud de frente del complejo y a la trinchera. En algunos casos estas fuentes se presentan aisladas junto al llamado arco sedimentario externo donde se exponen proporciones variables de rocas verdes, chert, argilitas, graywacas, y algunas limonitas expuestas como parte del melange, capas sobre corridas, y los isoclinales formados por la deformación in la zona de subducción(DICKINSON Y SUCZEK, 1979).

3.2.- Orógeno Colisional: compuesto principalmente por napas, y rocas sedimentarias sobre corridas y rocas meta-sedimentarias de secuencias presentes a lo largo y cerca del margen continental precedente. Areniscas principalmente compuestas por fragmentos de rocas sedimentarias y meta-sedimentarias, con porcentajes medios de cuarzo, y una relación alta de cuarzo-feldespato.(DICKINSON Y SUCZEK, 1979).

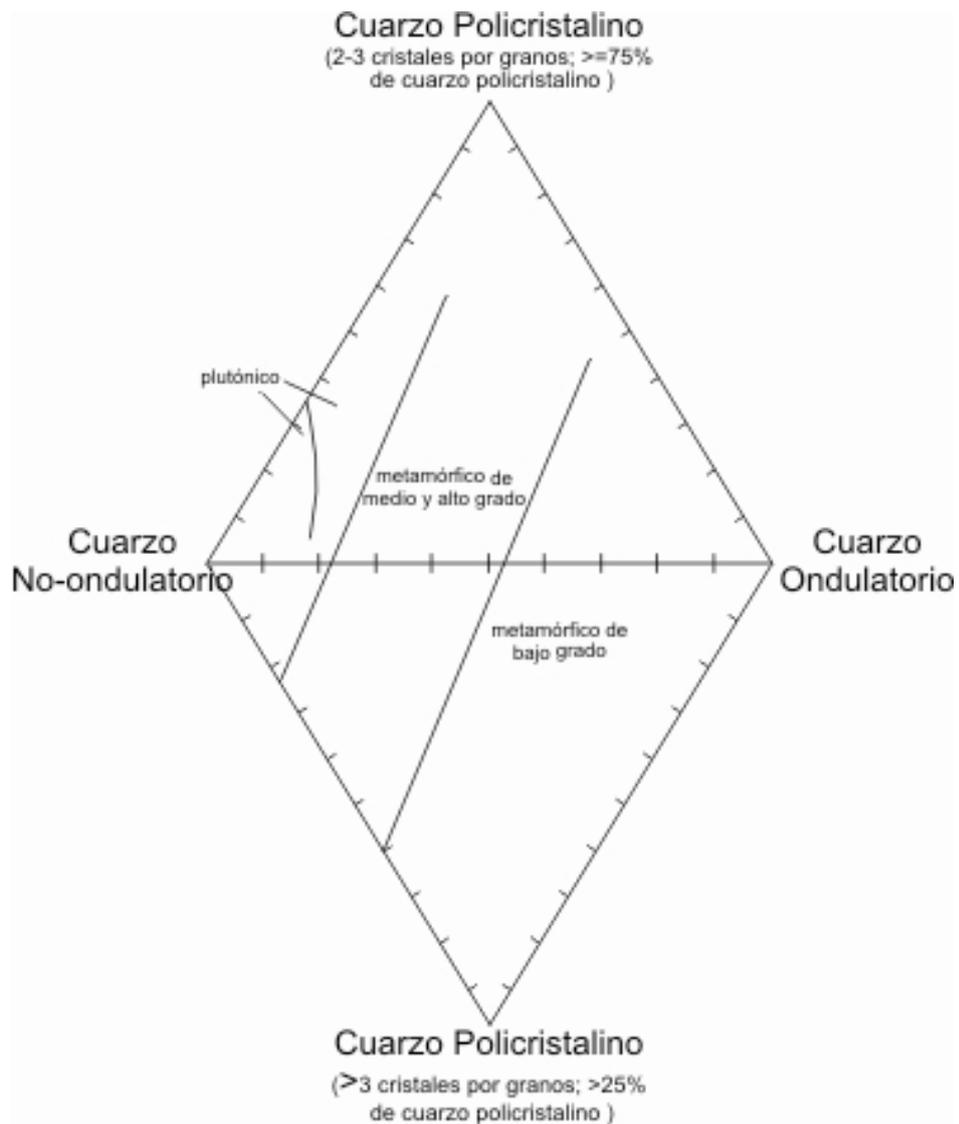
3.3.- Ante-país Expuesto: los terrenos ante país expuestos sirven de material de aporte a la cuenca ante-país adyacente, junto a sedimentos provenientes del cratón asociado. Los sedimentos asociados a este ambiente corresponden a secuencias sedimentarias del cinturón de plegamiento. Variaciones en la concentración de chert, cuarzo y feldespato están vinculadas con características particulares de cada cuenca (DICKINSON Y SUCZEK, 1979).

Por otro lado, el estudio petrográfico de propiedades particulares de las clases minerales como cuarzo, feldespatos, micas, minerales pesados, y fragmentos de rocas tienen un aporte importante en los estudios de procedencia.

El **cuarzo** es el principal constituyente de las areniscas por lo cual su potencial como indicador de procedencia ha sido ampliamente estudiado. Actualmente se usan dentro de estos estudios propiedades como: las inclusiones, la extinción, la policristalinidad, la naturaleza de los contactos de los subgranos, la forma de los granos o los cristales, la composición de los elementos traza, y los colores de catodoluminiscencia. Se profundizará en el tema de la extinción y la policristalinidad, las cuales son variables que fueron estudiadas en el presente trabajo. Si se quiere profundizar en el estudio de estas variables el lector puede consultar los trabajos de Boggs (2005) (p. 314).

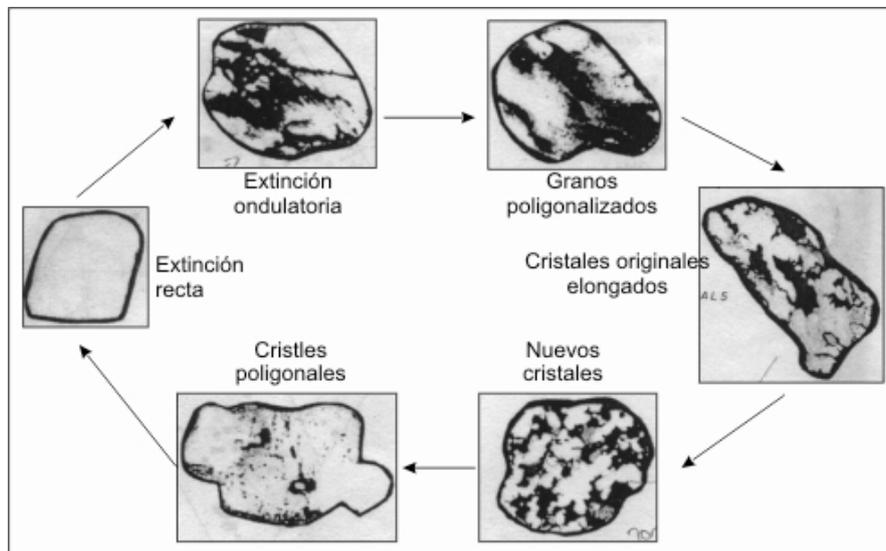
**Extinción Ondulatoria y Policristalinidad:** en el presente trabajo se analizaron los datos obtenidos bajo el modelo establecido por BASU *ET AL.* (1975),

el que se propone que la extinción ondulatoria y la policristalinidad pueden ser usadas para distinguir cuarzo plutónico de cuarzo con bajo metamorfismo, en areniscas de primer ciclo de sedimentación, no-recicladas. La figura que se muestra a continuación, Fig. 5.2, consiste en un diagrama ternario doble donde se muestran los campos de las condiciones genéticas de los cuarzos, en función de la extinción y la policristalinidad, debidos en el trabajo mencionado.



**Fig. 5.2.** Diagrama triangular doble para el uso de la extinción ondulatoria y la policristalinidad del cuarzo en la interpretación de procedencia. Tomado y modificado de BASU et al. (1975).

La textura interna del cuarzo detrítico policristalino, según YOUNG (1976) puede ser un vínculo con la roca fuente. Durante el metamorfismo los granos de cuarzo sufren deformación, la cual con el aumento de la presión y la temperatura evoluciona progresivamente. El cuarzo monocristalino y con extinción recta, en un primer nivel, pasa a tener una extinción ondulatoria, para luego pasar a cuarzo poligonalizado (cuarzo con diferentes zonas de ondulación limitadas entre sí con bordes aserrados). Seguidamente se forman agregados policristalinos con cristales elongados originales, seguidos por una recrystalización primaria que produce, en primer lugar, un agregado policristalino con pequeños cristales con extinción recta, y, finalmente, recrystalización secundaria de la que resulta en grandes cristales de cuarzo poligonalizado con extinción recta (ver la figura 5.3, mostrada a continuación). El autor sugiere que los granos policristalinos producidos en la recrystalización secundaria ocurren en rocas metamórficas de grado medio a alto, y rocas intrusivas, y que otros tipos de granos policristalinos son indicadores de rocas de metamorfismo de bajo grado. Se resalta, de todas formas, que los granos de cuarzo policristalino reciclados a partir de chert no pueden ser diferenciados de los derivados de rocas con un medio-alto grado de metamorfismo.



**Fig. 5.3.** Diagrama esquemático ilustrando el proceso de evolución de la extinción del cuarzo postulado por YOUNG (1976).

En el diagrama se grafican los valores porcentuales de cuarzo con extinción recta, ondulatoria y policristalinidad. Si más del 75 por ciento de los granos de cuarzo policristalino están compuestos por dos o tres cristales, se debe graficar en el triángulo superior. Si más del 25 por ciento de los granos de cuarzo policristalino están compuestos por tres o más cristales, se debe graficar en el triángulo inferior.

Los **feldespatos** por su parte tienen varias características útiles para la determinación de procedencia. Debido a las características físico-químicas de los feldespatos es más difícil que sean reciclados, pero en condiciones particulares esto puede ocurrir. Así, la presencia moderada de feldespato en areniscas sugiere un vínculo de sus sedimentos con rocas cristalinas o sus equivalentes metamórficos. Por ello, los feldespatos tienden a aportar más información que el cuarzo sobre roca fuente de primera generación.

Los problemas con el uso de feldespatos en los estudios de procedencia deviene del hecho de que un mismo tipo de feldespato puede ser generado como fuente a partir de más de un tipo de roca ígnea o metamórfica. A pesar de ello existe ciertos vínculos entre la mineralogía de los feldespatos y la fuente, algunas se describen brevemente a continuación:

Los **feldespatos potásico-sódicos** son constituyentes esenciales de las rocas ígneas félsicas, pegmatitas, y muchas rocas metamórficas félsicas e intermedias (DEER et al., 1963). El feldespato común en rocas plutónicas félsicas y metamórficas de alto grado es la ortoclasa y el microclino. Mientras en rocas volcánicas es la sanidina y la anortoclasa. El hábito varía de fenocristales a masas amorfas.

Las **plagioclasas** son muy comunes en rocas volcánicas donde se presentan como fenocristales y en masas amorfas. Además, son muy abundantes en rocas plutónicas y metamórficas. Los fenocristales de plagioclasa en rocas volcánicas tienen una composición promedio de  $An_{70}$  en basaltos y  $An_{25}$  en riolitas silíceas. Los fenocristales de plagioclasa ricos en sodio sobre la  $An_{20}$  no son comunes (DEER et al., 1963). La albita es el mineral más distintivo de las lavas básicas espiliticas. La composición de las plagioclasas en rocas plutónicas calcoalcalinas abarca casi todo el rango de composiciones posibles para esta clase mineral. En

las rocas plutónicas básicas, la plagioclasa tiende a ser rica en calcio, a pesar de que hay excepciones a esta regla. Las plagioclasa en pegmatitas es generalmente albita u oligoclasa, y en las anortositas son comunes las del rango andesina-labradorita. En cuanto al hábito, éstas se presentan en porfidoblastos y como pequeños cristales en las áreas de grano fino de rocas metamórficas (DEER et al., 1963). La albita se presenta en rocas metamórficas de bajo grado como los esquistos verdes y los aules, prehnita-pumpelita, y las rocas de la facies zeolitas. En rocas metamórficas de mayor grado, las plagioclasas tienen un amplio rango composicional, desde  $An_{22}$  hasta variedades cálcicas. Se debe tener muy en cuenta que las plagioclasas pueden ser albitizadas durante la diagénesis, lo cual elimina el vínculo composicional con la roca fuente.

A pesar de que la **zonación** en los feldespatos puede estar presente en porfidoblastos de rocas metamórficas (DEER et al., 1963), la mayoría están en rocas ígneas. Tanto las plagioclasas como los feldespatos sódico-potásicos pueden estar zonados (SMITH, 1974); a pesar que en más común en las primeras.

PITTMAN (1963) presenta consideraciones interesantes sobre este particular, a continuación se muestran las conclusiones del trabajo:

1.- La presencia de cualquier tipo de zonación en granos de plagioclasa es un fuerte indicador de rocas ígneas.

2.- La zonación oscilatoria en granos de plagioclasa detrítica indica una fuente volcánica o hipoabisal.

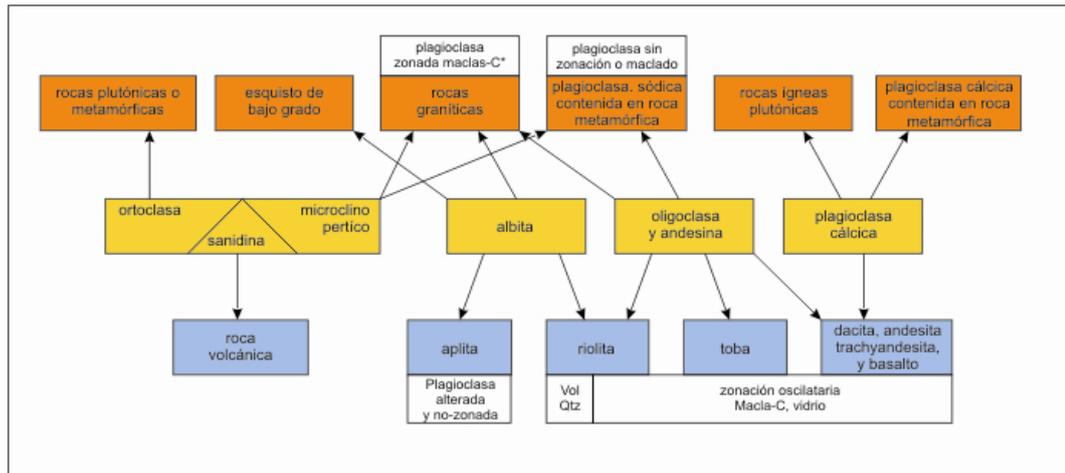
3.- La zonación progresiva no sirve para diferenciar entre una fuente volcánica-hipoabisal y una plutónica.

4.- Las plagioclasas metamórficas tienden a no ser zonadas; a pesar que la ausencia de zonación no indica necesariamente un origen metamórfico debido a que muchas de las plagioclasas volcánico-hipoabisales y plutónicas no son zonadas.

Existen otros métodos aplicados a distintas características de los feldespatos en los estudios de procedencia que sólo se mencionarán porque no se usaron en el desarrollo de este trabajo, si el lector requiere profundizar podrá revisar el capítulo 8 de BOGGS (2005). De esta manera, se tiene el maclado de las plagioclasas, el ordenamiento estructural cristalino, el cual es determinado por el grado de

ordenamiento de Al-Si en la estructura cristalina (tetraedros). El grado de ordenamiento está relacionado con factores genéticos, así este es un posible indicador de procedencia. Y finalmente, la química de los feldespatos.

Por ultimo, para cerrar lo expuesto respecto a los feldespatos, se muestra la figura 5.4.



**Fig. 5.4.** Diagrama resumen de las propiedades de las plagioclasas en el estudio de procedencia, que pueden ser determinadas a través de petrografía convencional.

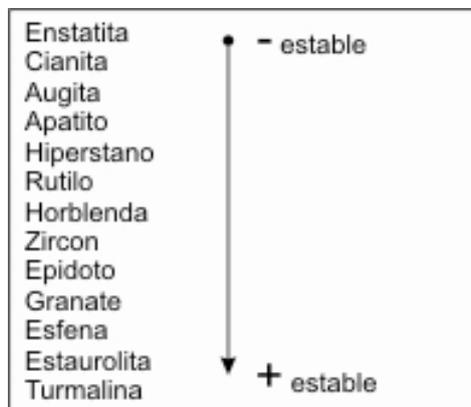
El uso de los **minerales pesados** como herramienta en los análisis de procedencia es una de las técnicas más usadas en la sedimentología, basándose en que cada uno de los principales tipos de rocas fuentes favorece una combinación especial de minerales pesados dentro de los sedimentos. Esto se resume en la tabla 5.5, mostrada a continuación.

Asociación	Fuente
Apatito, biotita, brooquita, horblenda, monazita, moscovita, rutilo, titanita, turmalina (variedad rozada), zircón.	Rocas ígneas félsicas
Casiterita, dumortierita, fluorita, granate, monazita, moscovita, topacio, turmalina (variedad azul), wolframita, xenotime.	Pegmatitas
Augita, cromita, diópsido, hipersteno,	Rocas ígneas máficas

ilmenita, magnetita, olivino, picotita, aleonaste.	
Andalusita, condromita, corindón, granate, flogopita, estaurolita, topacio, vesuviana, wollastonita, zoisita.	Rocas metamórficas de contacto (metamorfismo de contacto)
Adalusita, cloritoide, epidoto, granate, glaucofano, cianita, sillimanita, estaurolita, titanita, zoisita-clinozoisita.	Rocas metamórficas dimamotermiales
Barita, minerales de hierro, leucoxeno, rutilo, turmalina (granos restadondeados), zircón (granos restadondeados).	Sedimentos retrabajados

**Tabla 5.5.** Minerales pesados característicos en las principales rocas fuentes. Sacada y modificada de PETTIJOHN ET AL. 1987, p. 261 que la tomó a su vez del trabajo de FEO-CODECIDO (1956) "HEAVY MINERAL TECHNIQUES AND THEIR APPLICATION TO VENEZUELAN STRATIGRAPHY": AM. ASSOC. PETROLEUM GEOLOGISTS BULL., v. 40, p. 979.

Se debe tener en cuenta que la presencia en el registro sedimentario de las distintas clases de minerales pesados y sus combinaciones es una función no sólo de la fuente, sino que interviene los agentes de transporte y meteorización. A continuación se muestra una lista de minerales pesados ordenados en función de su estabilidad mecánica y química, presentadas en las tablas 5.6. y 5.7.



**Fig. 5.6.** Diagrama de estabilidad mecánica relativa de algunos minerales pesados. Tomado y modificado de THIEL (1940).

Alteración en Superficie (A)	Solución intra-estrato	
	Epidiagénesis (zona meteórica) (B)	Anadiagénesis (enterramiento profundo) (C)
Olivino	Olivino, piroxeno	Olivino, piroxeno
Apatito	Anfibol	Andalusita, silimanita
Piroxeno	Esfena	Anfibol
Granate	Apatito	Epidoto
Anfibolita	Epidoto, granate	Esfena
Cianita	Cloritoide, espinela	Cianita
Estaurolita	Estaurolita	Estaurolita
Monacita	Cianita	Granate
Estaurolita	Andalusita, silimanita, turmalina	Apatito, cloritoide, espinela
Turmalina	Rutilo, zircón	Rutilo, turmalina, zircón
Rutilo		
Zircon		

**Fig. 5.7.** Diagrama de estabilidad química relativa para algunos minerales pesados y para distintas condiciones del proceso sedimentario. La Columna A es tomada y modificada de GOLDICH, 1938, DRYDEN (1946), Y SINDOWSKI (1949). Información de las columnas B y C son tomadas de MORTON (1985).

Los porcentajes de minerales pesados en las rocas involucradas en este estudio son muy bajos, como se puede ver en el capítulo anterior. Por lo cual no se profundizará en esta compilación sobre las características particulares de cada clase de minerales pesados. Sólo se hará referencia a las micas, pero si el lector desea mayor información puede consultar BOGGS (2005) ahí encontrará información y referencias para la investigación.

Las micas como indicadores de procedencia tienen la ventaja de ser muy comunes dentro de las areniscas, aunque se presentan como minerales accesorios. Generalmente, las moscovitas abundan en muchas rocas metamórficas, sobre todo en las de alto grado. En las rocas félsicas ocurre lo inverso, las biotitas son más comunes, aunque las moscovitas se presentan en algunos gránitos, aplitas, y riolitas porfídicas. Las biotitas son comunes tanto en rocas metamórficas y rocas ígneas plutónicas, y volcánicas. Las moscovitas son las micas más abundantes dentro de las areniscas debido probablemente a su mayor estabilidad y abundancia en rocas metamórficas.

Los **fragmentos de rocas** proporcionan las evidencias más certeras de procedencia. Sobre todo, en areniscas líticas y feldespáticas. Se recomienda

graficar juntos los porcentajes de fragmentos de las diferentes rocas para evaluar relaciones dentro de las distintas clases.

A pesar de la utilidad que tienen los fragmentos de rocas en este tipo de estudios, una complicación de su uso se presenta en la identificación del tipo de roca. La diferenciación entre el chert y algunos fragmentos de rocas félsicas o de rocas volcánicas silicizadas puede presentar dificultades, o la diferenciación entre los cuarzos policristalinos y los fragmentos de rocas félsicas. Por otro lado, se presentan problemas en la estabilidad mecánica y química de las distintas clases de fragmentos que puede provocar cambios en las concentraciones relativas entre los fragmentos. A pesar de que no existe clasificación de los fragmentos de roca en función de su estabilidad, empíricamente se han determinado ciertos postulados: fragmentos de rocas carbonáticas son muy afectadas por soluciones ácidas de aguas meteóricas o formacionales. En cuanto al reemplazo, hasta los fragmentos de rocas siliciclásticas lo pueden ser, y hasta ser destruidos durante la diagénesis. Fragmentos de arcillitas, pizarra y filitas pueden ser mecánicamente destruidos por abrasión e impacto durante el transporte y depositación al menos que estén bien cementados. Se debe tener en cuenta que estos factores alteran la composición final de la roca y limitan el vínculo composición-roca fuente, es decir, los fragmentos de roca inestables se ven desfavorecidos mientras fragmentos de chert o cuarcitas pueden sobrevivir al transporte a través de largas distancias en la cuenca.

Además del uso de la mineralogía como herramienta para determinar procedencia hay otras que están dentro del alcance de este trabajo pero que es importante destacarlas, con el objeto de apuntar líneas para próximos estudios. Entre las más importantes están la composición química y los estudios de paleo-corrientes, el primero siendo otra herramienta de enlace con la composición de la roca fuente, y el segundo, sirviendo vínculo paleogeográfico. Otras características útiles para estos estudios son el paleo-magnetismo que ayuda a establecer la paleo-latitud del área de aporte, las relaciones verticales y laterales de facies en las unidades estratigráficas, que están relacionadas con la dirección de aporte de los sedimentos, y los espesores y volúmenes de las unidades clásticas, que reflejan en cierto modo el tamaño del área fuente.

PARTE DEL TEXTO ANTERIOR FUE TOMADO Y MODIFICADO DE  
BOGGS (1987)

La tabla que se presenta a continuación compila las áreas positivas existentes en el norte de la placa Suramericana para el Paleoceno-Eoceno Medio Tardío, las cuales pudieron servir de aporte de clastos para el relleno de la cuenca de Falcón. En ella se presenta el nombre del elemento geográfico, su ubicación con respecto a la cuenca de Falcón, la asociación petrológica que la compone, y una lista de sus minerales característicos. Véase Tabla 5.8.

**Tabla 5.8.** Distribución y Caracterización Geológica de Zonas Positivas durante el Paleoceno-Eoceno Medio Tardío. Tomada y modificada de CARDOZO, 1996. Pagina 1/3.

Nombre	Ubicación con respecto de la cuenca de Falcón	Asociación Petrológica	Mineralogía Diagnóstica
Escudo de Guayana	Sur-Sureste	<p><b>1.-Provincia de Imataca:</b> Gneises graníticos migmatíticos y no migmatíticos. Granulitas félsicas rojas y verdes. Gneises oligoclásicos-cuarzo-biotítico. Gneises Graníticos.</p> <p><b>2.-Provincia de Pastora:</b> Complejo Supamo: metalimolitas volcánicas, metareniscas feldestáticas, tronjhemitas, granodioritas, cuarzo-dioritas. Grupo Carichapo: anfibolitas, esquistos anfibolíticos-biotíticos-epidóticos-albítico.</p> <p><b>3.-Provincia Cuchivero:</b> Rocas Plutónicas: Granitos alcalinos, granitos y cuarzo-monzonitas, granodioritas, tonalitas, dioritas. Rocas Volcánicas: tobas de composición riolítica alcalina, riolita, dacita, y</p>	Circón Turmalina Epidoto Apatito

		latita cuarcífera.	
Arco de Mérida y Rocas de la plataforma cretácica	Sur-Suroeste	<p>1.-<b>Fm. Mucuchachi</b>: pizarras-filitas negras a gris verdoso, intercaladas metareniscas, laminadas, de color claro.</p> <p>2.-<b>Fm. El Aguila</b>: prestadominantemente filitas y metalimolitas del litodemo El Balcón. Además, presenta cuarcitas de color blanco o amarillo pálido, de grano muy fino (Litodemo El Gavilán), y mármoles silíceos que grada a filitas calcáreas (Litodemo Calizas de Cebolleta). Kovisars (1972).</p> <p>3.-<b>Fm. Río Momboy</b>: filitas biotíticas carbonáticas de color gris plomo que meteorizan a colores verdosos y pardo amarillentos intercaladas con cuarcitas gris verdosas, de grano fino y calizas arenosas fosilíferas. <i>O. Odreman, 1997.</i></p> <p>4.-<b>Intrusiones Graníticas.</b></p> <p>5.-Rocas Sedimentarias de las <b>formaciones La Luna, Colón y parte del grupo Cogollo.</b></p>	Granate Micas Clorita Estaurolita
Cadena Caribe y Península de Paraguaná	Nor-Noroeste	<p>A.-<b>Cadena Caribe.</b></p> <p>1.-<b>Cinturón Cordillera de la Costa:</b> <b>Complejo Sebastopol</b>: gneis granítico. <b>Fase Tacagua</b>: esquisto albitico - calcítico de color gris oscuro, intercalados con esquisto de color verde claro, constituido por cuarzo, albita, minerales del grupo del epidoto, así como clorita y moscovita.</p> <p>2.-<b>Cinturón Caucagua-El Tinaco</b>: gneis horbléndico-cuarzoso, gneis plagioclásico cuarzoso, anfibolitas, matavolcánicas alcalinas, intrusiones de metadioritas y metatronjhemitas.</p> <p>3.-<b>Cinturón Paracotos:</b> Napas Ofiolíticas: hazburguitas, serpentinitas y gabros (Peridotitas de Loma de Hierro). Fm. Tiara: Lavas intrusionadas por diques gabroides Fm. Dos Hermanas: volcánicas sin</p>	Granate



## 5.2.- Consideración sobre la procedencia de los sedimentos analizados

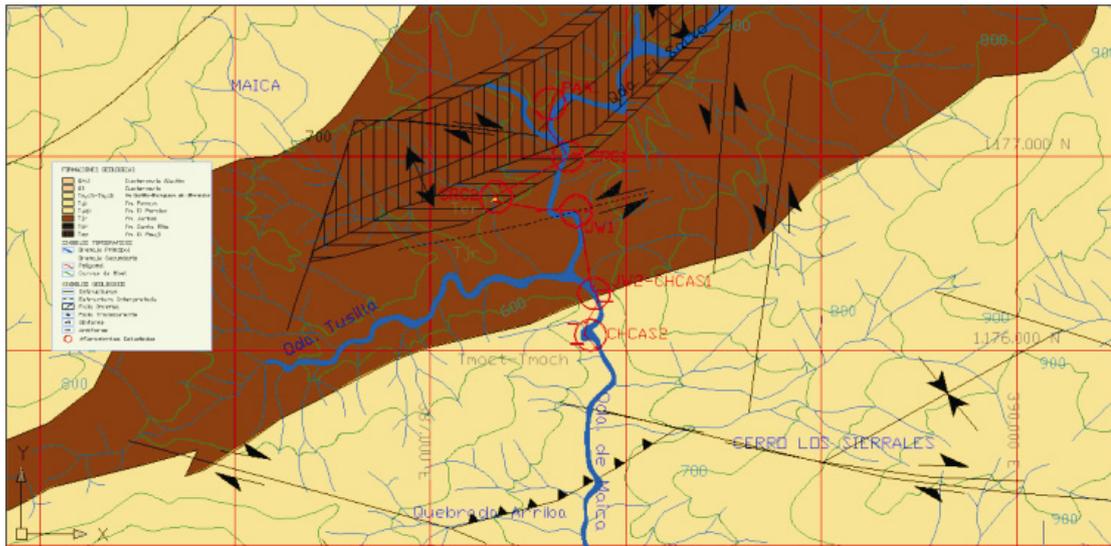
Con el uso de los datos obtenidos en los estudios petrográficos modales, según el modelo propuesto por YORIS (1992), se logró establecer los ambientes tectónicos asociados a los sedimentos de las formaciones estudiadas en las secciones de la quebrada Maica, en el estado Lara, y el río Purureche, en el estado Falcón. Este estudio se complementa con la evaluación de algunas características particulares de los sedimentos de cada muestra analizada, como las relaciones entre los fragmentos de rocas, propiedades de los cuarzos y feldespatos, y sus características macroscópicas. Además, estas consideraciones se complementan con información sobre la estratigrafía de la cuenca y paleogeografía de la región.

A continuación se muestran los diagramas de procedencia obtenidos a partir de los datos recopilados a través del análisis modal, con sus respectivas consideraciones, de las muestras recolectadas en las secciones de la quebrada *Maica*, en el estado Lara, y del río *Purureche*, en el estado Falcón, figuras 5.9 y 5.10., respectivamente. Los diagramas, así como otras consideraciones particulares referentes al comportamiento de algunas clases minerales en función de la estratigrafía son el soporte del análisis que aquí se expone.

Se anexa a continuación una imagen de la paleogeografía para el Eoceno-Oligoceno que seguramente será de utilidad al lector, figura 5.8.

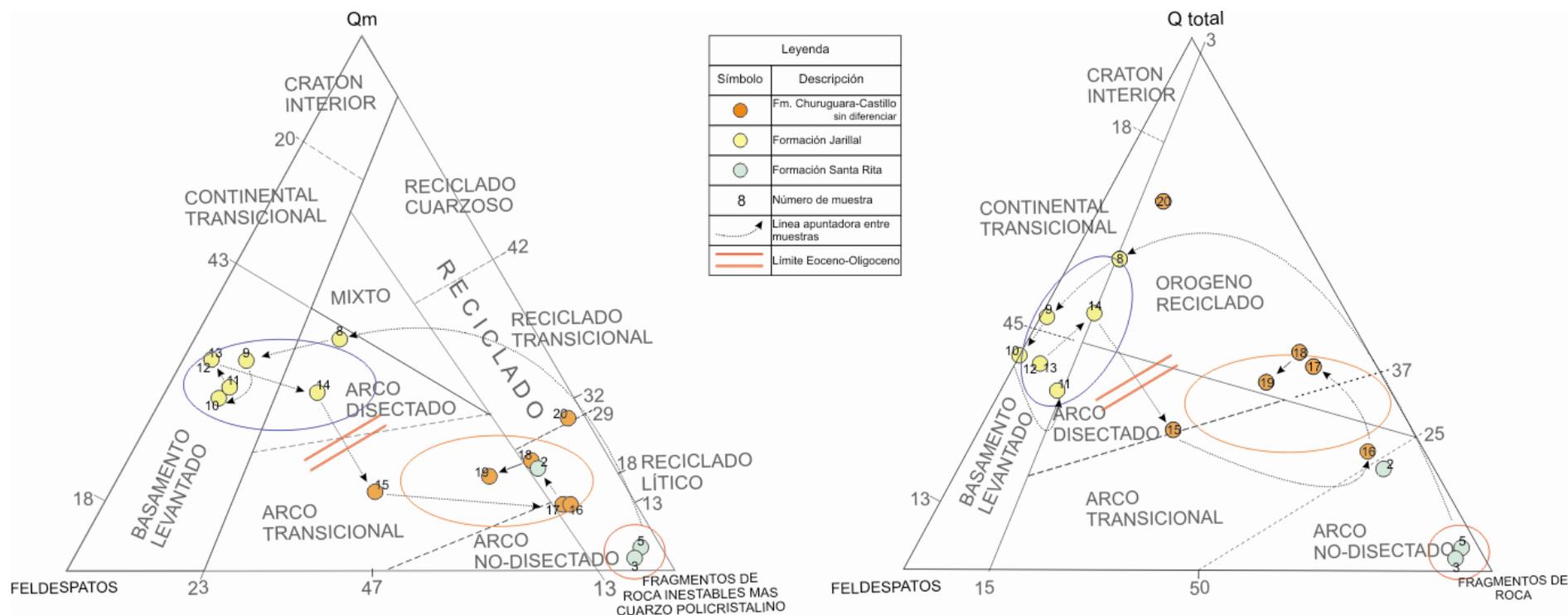
### 5.2.1.- Sección Quebrada *Maica*, Estado Lara.

La sección estratigráfica estudiada en la quebrada *Maica* corresponde al límite temporal Eoceno-Oligoceno, el cual está representado en esta parte de la Cuenca de Falcón por rocas de las formaciones Jarillal y Churuguara-Castillo *sin diferenciar*, aunque se incluyeron rocas de la Formación Santa Rita (Eoceno medio) en el estudio. La cartografía correspondiente puede ser consultada en el extracto del mapa que se presenta a continuación, figura 5.9, o en el mapa regional, anexo 3.



**Tabla 3.1.** Extracto del mapa de la sección estudiada en la quebrada Maica, estado Lara. El contacto entre los marrones representa el límite Eoceno-Oligoceno, entre las formaciones Jarillal y Churuguara-Castillo *sin diferenciar*. La base estructural fue tomada y modificada de BERROTERAN Y ZIRRI (2004) y la cartografía geológica de la carta C-4-D de CREOLE PETROLEUM CORPORATION (1962).

Partiendo de la composición porcentual de las clases: cuarzo, feldespatos, y fragmentos de rocas, contenidas en las muestras analizadas para cada sección, se determina la procedencia y el marco tectónico asociado a sus sedimentos, usando los diagramas de procedencia propuestos por DICKINSON et al, (1983). Las tablas contentivas de los datos mineralógicos se encuentran en el anexo 4, junto a las columnas estratigráficas.



**Fig. 5.9.** Diagramas de procedencia con las gráficas de las muestras correspondientes a la sección de la quebrada Maica, estado Lara. Están presentes muestras de las formaciones Santa Rita, Eoceno Medio Tardío (azul claro), Jarillal Eoceno Medio Tardío a Eoceno Tardío Temprano (amarillo), y Churuguara-Castillo *sin diferenciar*, Oligoceno Temprano a Mioceno Temprano (anaranjado). Las líneas son una ayuda para que el lector siga la continuidad estratigráfica entre las muestras. La base de los diagramas ha sido tomada y modificada de DICKINSON *ET AL*, (1983).

En la sección de la quebrada *Maica* se estudiaron petrográficamente las formaciones de Santa Rita, Jarillal y Churuguara-Catillo *sin diferenciar*, nombradas de más antigua a más joven. Los gráficos de procedencia muestran claras diferencias entre estas formaciones.

En lo que respecta a la **Formación Santa Rita** (Eoceno Medio), las muestras de esta formación se ubican en los diagramas de procedencia dentro de las categorías **Arco No-Disectado** (Qt-F-L) y un **Reciclado Lítico** (Qm-F-Lt), como se puede ver en la figura 5.10. La posición de las muestras dentro de los triángulos no es afectada, prácticamente, por la distribución de concentraciones entre un triángulo y otro, más si por las categorías que se definen en cada uno.

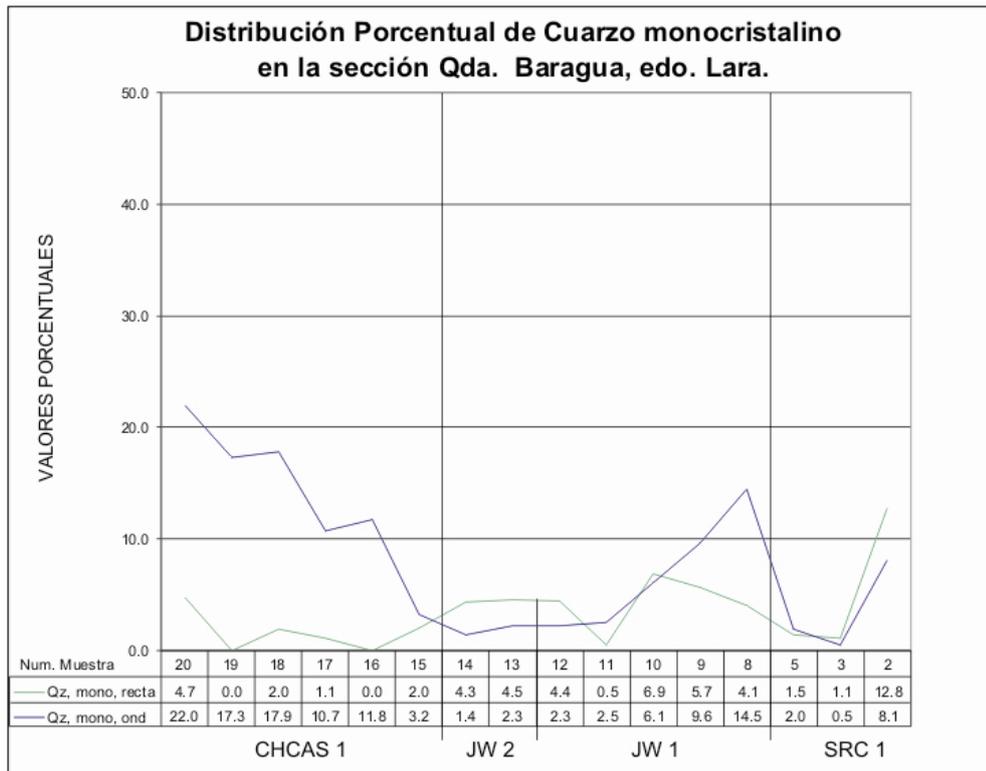
Los fragmentos de roca dominan la composición de los sedimentos de la matriz de los conglomerados de esta formación, principalmente: rocas volcánicas, plutónicas félsicas, y ftanitas. Es muy probable que la fracción plutónica félsica esté metamorfozada pero la foliación no se evidenció a escala microscópica.

Por su parte, la **Formación Jarillal** está asociada a un marco tectónico de **Basamento Levantado-(Arco Disectado-Continental Transicional)**. Las variaciones en la ubicación de las diferentes muestras dentro de los diagramas, ocurre de manera notable sólo en las muestras 8 y 14, que pasan de estar en el campo de arco disectado en Qm-F-Lt al de Continental Transicional en Qt-F-L, lo cual se relaciona con sus contenidos de cuarzo policristalino, que aunque bajos el hecho de que sumen para una u otra punta del triángulo desplaza las muestras. El resto de las muestras sólo evidencian pequeñas variaciones en la relación cuarzo-feldespatos.

Esta unidad sufre una pérdida de las concentraciones de fragmentos de rocas. Salvo concentraciones un poco mayores presentes en las muestras 8 y 14, las cuales coinciden con los extremos inferior y superior de la sección, como puede verse en la figura 4.12, expuesta a continuación, los sedimentos de esta formación se colocan cercanos al eje cuarzo-feldespatos de los diagramas de procedencia, véase figura 5.10.

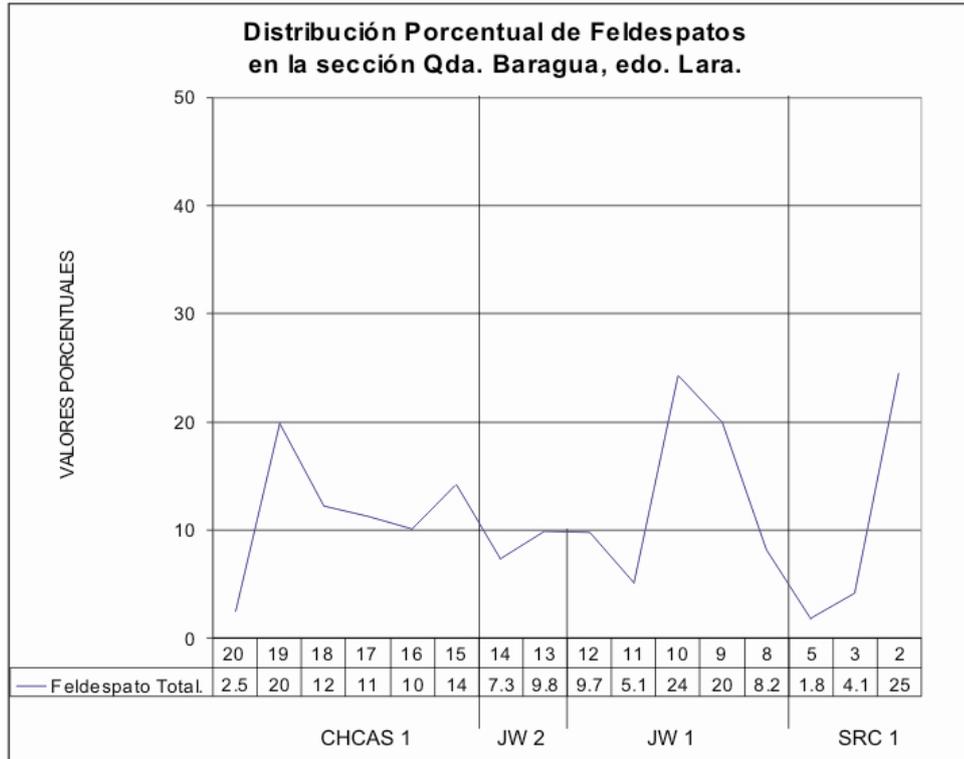
Existe una tendencia a la caída en la concentración del cuarzo y el enriquecimiento en feldespatos como condición general en la sección. A pesar de estos bajos porcentajes de cuarzo, se puede extraer información importante. El

diagrama 5.11 vincula los cuarzos de la Formación Jarillal con rocas metamórficas que van de bajo a alto grado de metamorfismo. La dispersión de las muestras en el diagrama evidencia un aumento de la influencia de rocas más cristalinas. Además, la concentración de cuarzos monocristalinos con extinción recta, en esta unidad, tiene un aumento tanto nominal como relativo, respecto de la clase ondulatoria. Como se expone en la figura 4.1, mostrada a continuación.



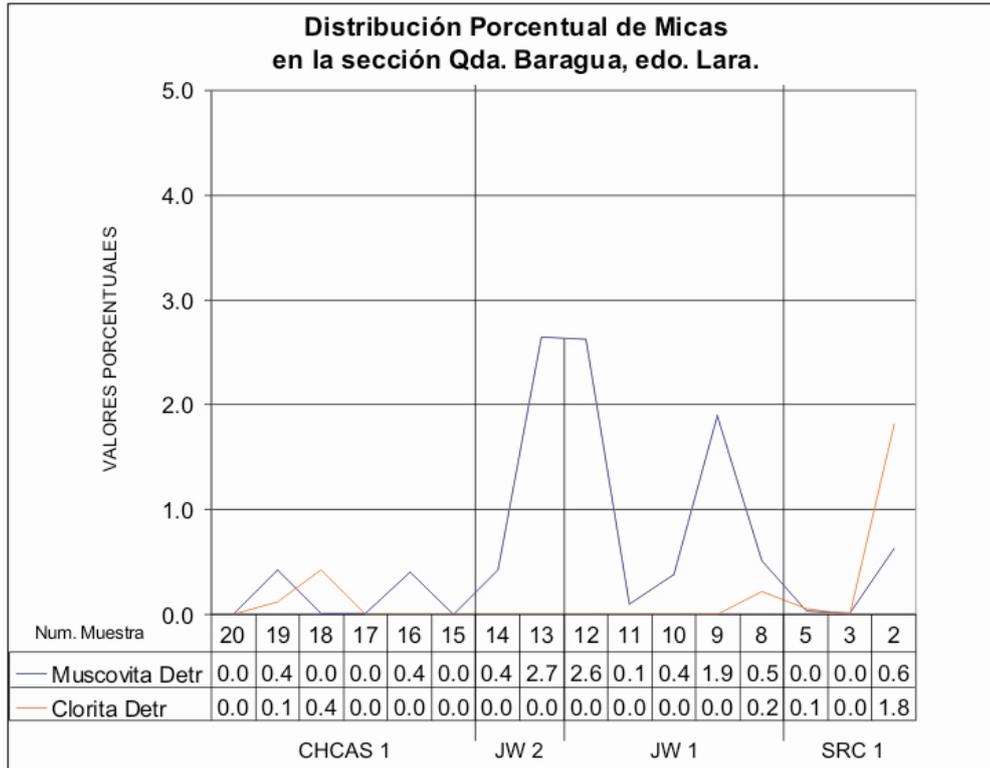
**Fig. 4.2.** Gráfica de distribución de las concentraciones de Qm, con extinción recta u ondulatoria, en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada Maica, estado Lara.

Los feldespatos de la unidad también testifican el aumento de la influencia de rocas cristalinas. La sección inferior de la unidad, hasta la muestra 10, presenta un aumento en la concentración de feldespatos, o que influye en el acercamiento al campo *Basamento Levantado* dentro de los diagramas, para luego mantener estas condiciones hasta la muestra 14, como se puede ver en la figura 4.9. En la figura 5.10 se puede seguir el patrón referido.



**Fig. 4.9.** Gráfica de distribución de las concentraciones de feldespato total (plagioclasa, feldespatos potásicos, feldespatos indeterminados (alterados)). La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada *Maica*, estado Lara.

Existe un marcado aumento de las concentraciones de moscovita en la sección de la Formación Jarillal, sobre todo en las muestras de a parte superior de la sección, lo que coincide con los datos aportados por el cuarzo en los diagrama de BASU et al (1975), discutidos anteriormente. Como se puede ver en la tabla 5.8, la presencia de moscovita se asocia dentro del marco paleogeográfico de la época con las rocas del Arco de Mérida y de la plataforma cretácica expuesta.



**Fig. 4.17.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de micas detríticas: moscovita y clorita. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada Maica, estado Lara.

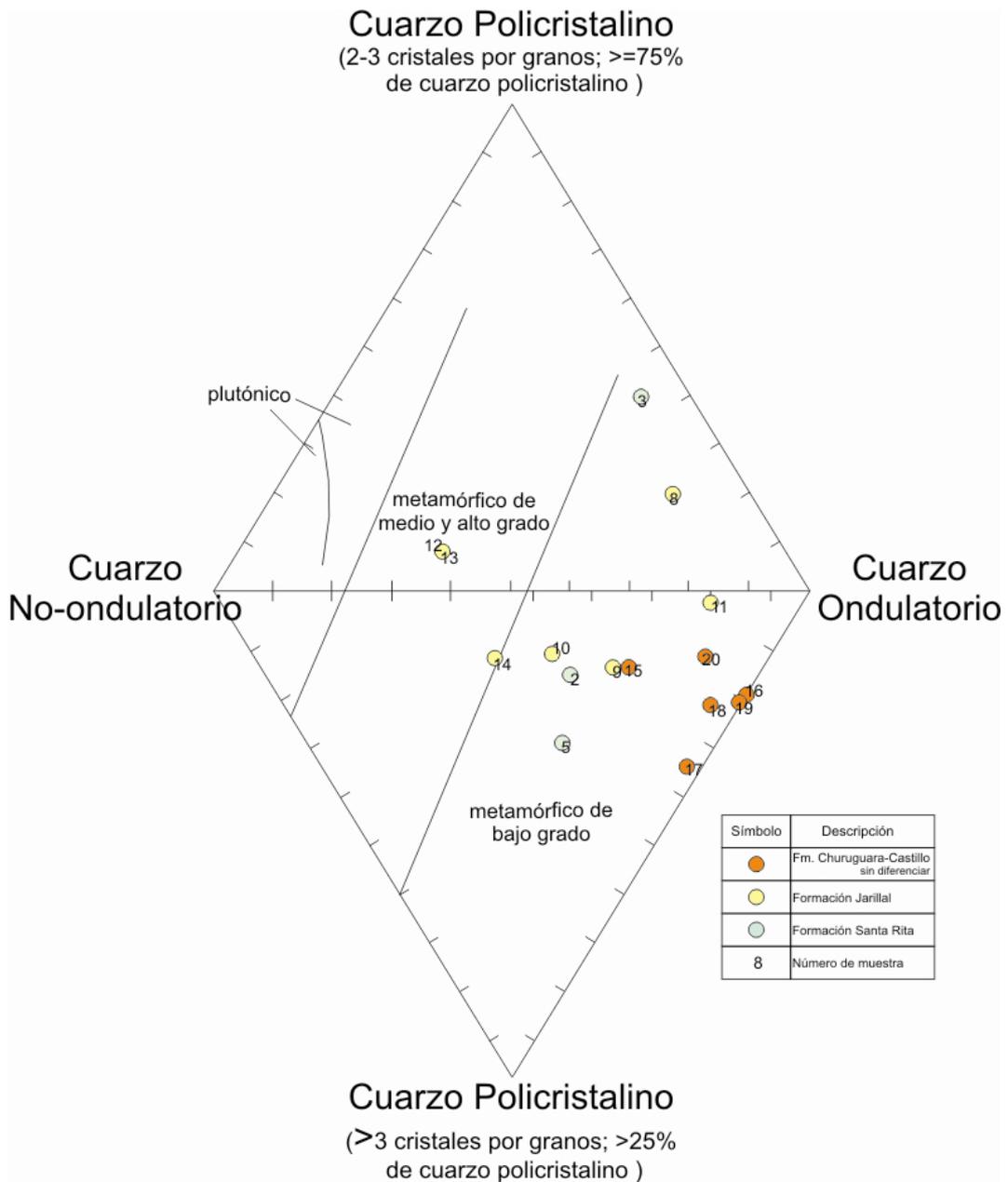
El límite Eoceno-Oligoceno se encuentra entre las formaciones Jarillal y Churuguara-Castillo *sin diferenciar*. Éste está representado, simbólicamente, en los diagramas de procedencia con unas líneas rojas, de manera de representar en cierto modo la separación de los ambientes tectónicos asociados a los sedimentos de cada una de estas unidades. Véase figura 5.9.

Los sedimentos de la **Formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar*** se asocian con un **Orógeno Reciclado Lítico** y con un **Arco de Transición**. La distribución de las muestras sobre el diagrama evidencia como la sedimentación pasa progresivamente desde la franja de Bloque Continental hacia la de Orógeno Reciclado, ver muestra 15 y la posición cercana a la frontera donde se ubica el resto de ellas.

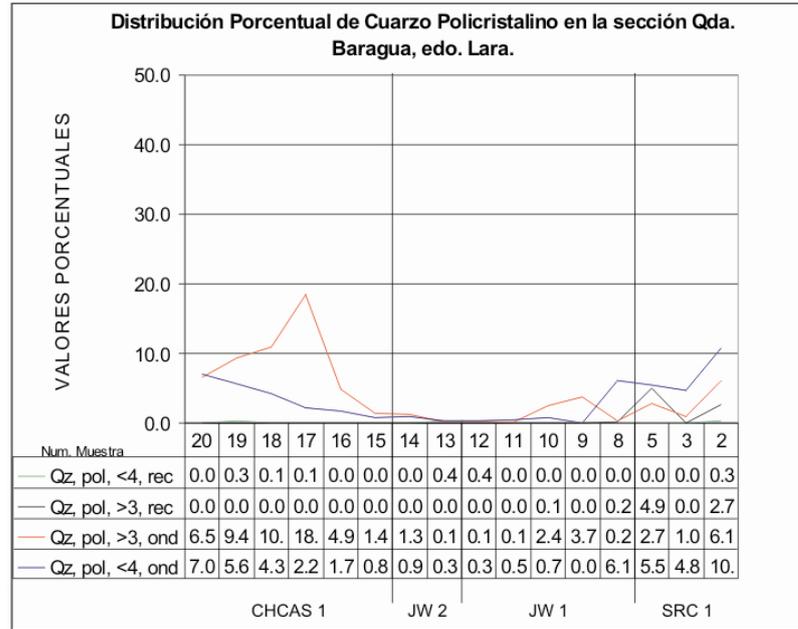
En cuanto a los fragmentos de roca, a pesar de que ocurre un acercamiento al área ocupada por las rocas de la Formación Santa Rita, lo que podría indicar un regreso a condiciones sedimentarias anteriores, si se analizan los tipos de

fragmentos de rocas involucrados con cada unidad es evidente que existe una clara diferencia. Mientras la Formación Santa Rita tiene sus más altas concentraciones en rocas volcánicas, rocas sedimentarias y chert, en la Formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar* dominan los gneises o rocas metamórficas no foliadas y los esquistos. Véase figura 4.11, presentada con anterioridad en este capítulo.

Según la clasificación de BASU et al. (1975), los cuarzos de esta formación tienen su origen en rocas metamórficas de bajo grado (ver figura 5.10), dato que cobra mayor credibilidad en el hecho que la clase cuarzo sufre un aumento en esta unidad. Como se puede ver en las figuras 4.1, presentada en este capítulo con anterioridad, y 4.3, que se muestran a continuación. Este aumento se sustenta en un crecimiento porcentual del tipo cuarzo monocristalino con extinción ondulatoria, además de aumentos menores o progresivos en el resto de los tipos.

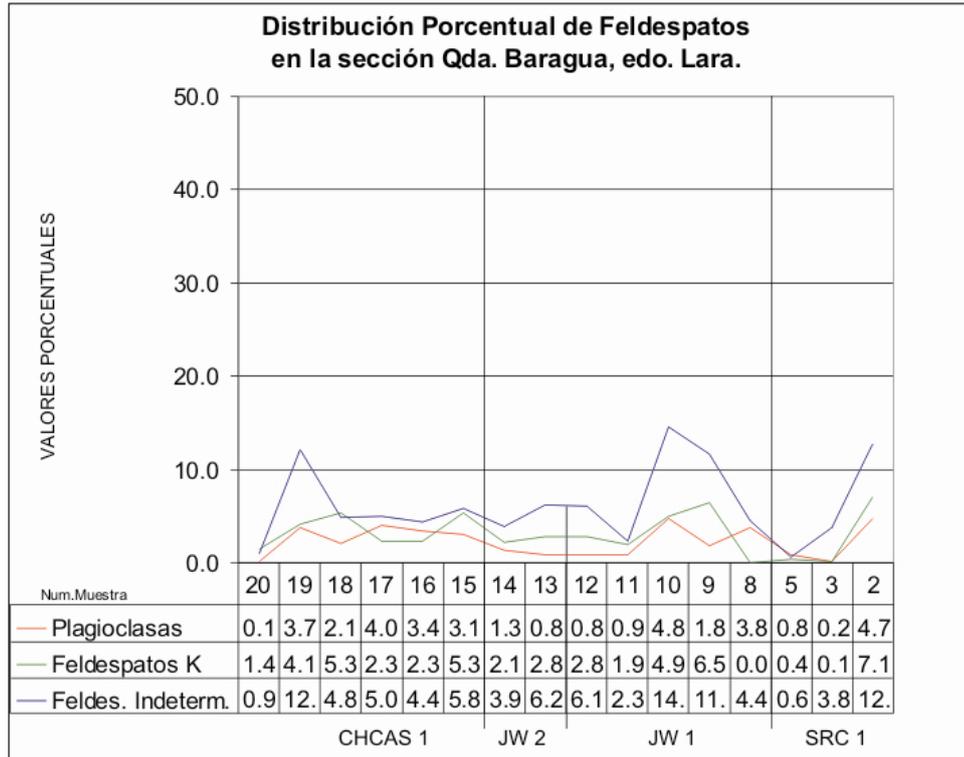


**Fig. 5.10.** Diagrama de análisis de procedencia en función de las características de la extinción y la policristalinidad, para las muestras de la sección quebrada Maica, estado Lara. Diagrama base tomado y modificado de BASU et al. (1975).



**Fig. 4.4.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de Qp, con más de 3 cristales por grano o con menos de 4, en sus formas con extinción recta u ondulatoria, en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada *Maica*, estado Lara.

Como se dijo con anterioridad, la tendencia de las curvas de feldespatos se mantiene estable desde la base de la Formación Jarillal, como se expone en las figuras 4.9 (ver en páginas anteriores), y 4.7 mostrada a continuación. En esta última figura, se debe resaltar que en las muestras 16 y 17 ocurre un cruce de las líneas de tendencia de plagioclasa y los feldespatos potásicos, detalle que a pesar de ser puntual se interpreta como otra evidencia del aumento de la influencia de rocas cristalinas en la sedimentación de esta unidad.

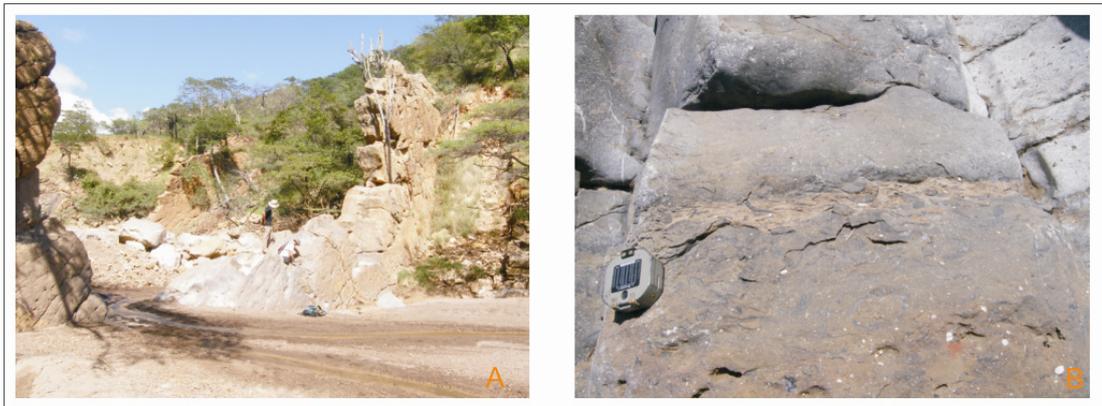


**Fig. 4.7.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de feldespatos: plagioclasa, feldespatos potásicos, feldespatos indeterminados (alterados). La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en la quebrada *Maica*, estado Lara.

En cuanto a las micas en la Formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar*, su concentración en esta unidad es muy baja, lo cual revela un las repercusiones que tiene la variación de facies para los sedimentos involucrados en los estudios de procedencia. Es decir, tomando en cuenta que los sedimentos de esta unidad tienen una fuerte aporte de rocas metamórficas no-foliadas (félsicas) y esquistos, sólo se puede justificar la ausencia de micas como producto de la separación mecánica de los sedimentos realizada por los medios de transporte. La presencia de rizaduras, *thallasinoides* y niveles de *ostreas*, y la distribución granulométrica de esta unidad (ver anexo 1) son evidencias de que su sedimentación ocurrió en un ambiente litoral a nerítico interno. Ver las fotografías 5.12 y 3.16 que se presentan a continuación.



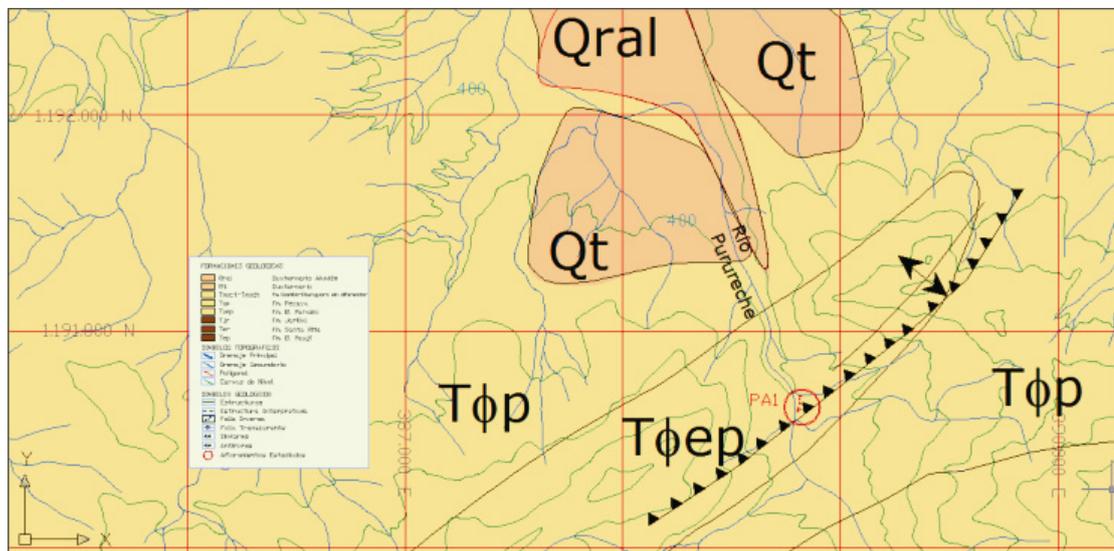
**Fig. 5.11.** Vista de las areniscas de la Formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar*. Vista A: rizaduras en el tope de una capa. Vista B: textura de grano medio a grueso, llegando a conglomerática en pequeños intervalos.



**Foto 3.16.** Paquete de areniscas la base de la Formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar*, quebrada Maica, vista al oeste, estado Lara.

### 5.2.2.- Sección Río Purureche, estado Falcón.

La sección estratigráfica estudiada en el río Purureche corresponde a las rocas de la Formación El Paraiso, al lado norte de la sierra de Baragua, que temporalmente corresponde con el Oligoceno Temprano a Medio, y se sitúa estratigráficamente sobre la secuencia de la Formación Jarillal. Por lo cual, representa, en cierto modo, un equivalente a Churuguara-Castillo *sin diferenciar*, estudiado en la sección de la quebrada Baragua, al sur de la sierra (Baragua). La cartografía correspondiente puede ser consultada en el extracto del mapa que se presenta a continuación, figura 5.13, o en el mapa regional, anexo 3.



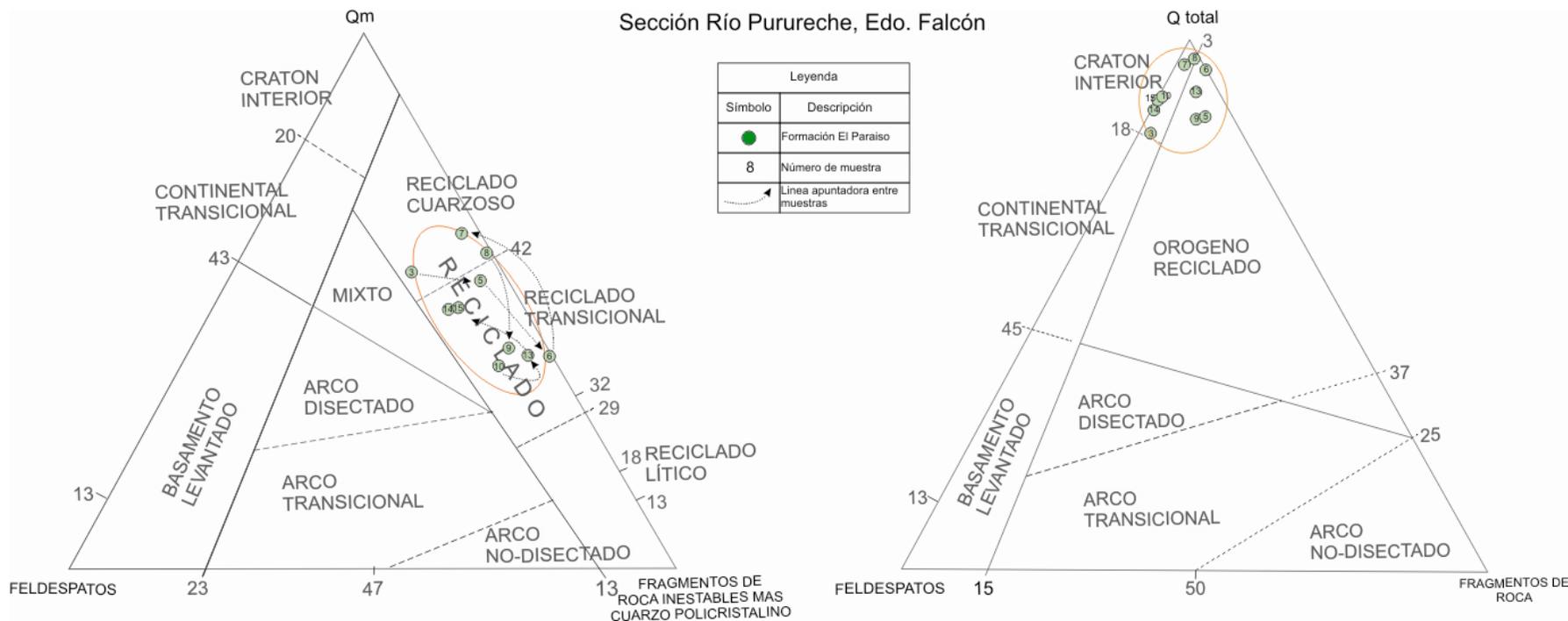
**Tabla 3.17.** Extracto del mapa de la sección estudiada el río Purureche, estado Falcón. El marrón claro representa a las Formaciones El Paraíso, Oligoceno Temprano a Medio, y Pecaya, Oligoceno medio a Mioceno Temprano. El círculo rojo representa el área de levantamiento. Los parques color carne son depósitos cuaternarios. La base estructural fue tomada y modificada de BERROTERAN Y ZIRRI (2004) y la cartografía geológica de la carta C-4-D de CREOLE PETROLEUM CORPORATION (1962).

Partiendo de la composición porcentual de las clases: cuarzo, feldespatos, y fragmentos de rocas, contenidas en las muestras analizadas para cada sección, se determina la procedencia y el marco tectónico asociado a sus sedimentos, usando los diagramas de procedencia propuestos por DICKINSON et al, (1983). Las tablas contentivas de los datos mineralógicos se encuentran en el anexo 4, junto a las columnas estratigráficas.

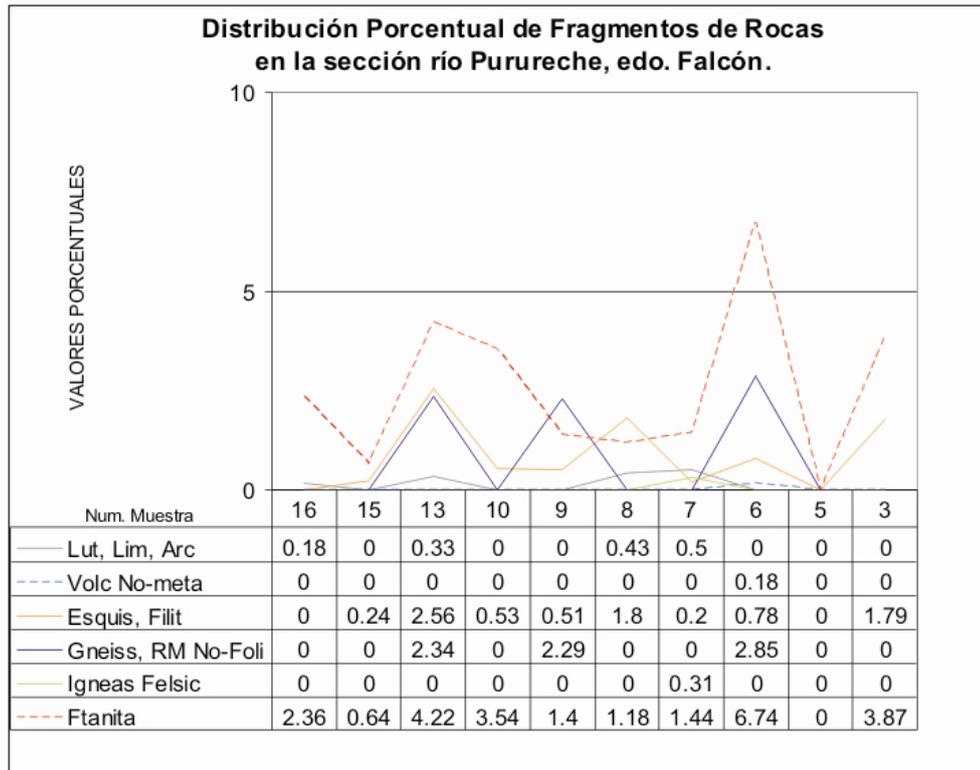
Las muestras de la **Formación El Paraíso**, en su sección del río Purureche, se distribuyen fundamentalmente dentro de los diagramas de procedencia, sobre la zona de los Orógenos Reciclados, específicamente, **Reciclados Transicional** y **Reciclado Cuarzoso**, en el diagrama Qm-F-Lt, y entre **Orógeno Reciclado** y **Cratón Interior**, en el diagrama Qt-F-L. Véase figura 5.14 en la página anterior.

En lo que se refiere a los **fragmentos de roca**, se observa que en el gráfico de procedencia Qm-F-Lt, las muestras se distribuyen de sobre la franja de los orógenos reciclados entre los 40 y 60 % Lt, aproximadamente. Las concentraciones de líticos se mantienen intermedias. La clase de fragmento predominante es la ftanita, seguida por el gneiss y las rocas metamórficas no foliadas, y los esquistos y las filitas. Véase la figura 4.13, mostrada a continuación.

La tendencia general es a mantener bajas concentraciones, sólo la ftanita en la muestra 6 supera el 5 por ciento. Además, las curvas de concentración tienen un comportamiento irregular, es decir, el aporte no es constante o las clases están afectadas por otras variables relacionadas con el ambiente sedimentario. Es evidente que en los sedimentos de esta sección fueron beneficiadas las clases de fragmentos con mayor estabilidad, la madures mineralógica es alta, lo cual es un factor que desmejora la potencia del análisis de procedencia.



**Fig. 5.12.** Diagramas de procedencia con las gráficas de las muestras correspondientes a la sección del río Purureche, estado Falcón. La sección corresponde con un transecto de la Formación El Paraíso, Oligoceno Temprano a Medio (verde). Las líneas son una ayuda para que el lector siga la continuidad estratigráfica entre las muestras. La base de los diagramas ha sido tomada y modificada de DICKINSON *ET AL*, (1983).



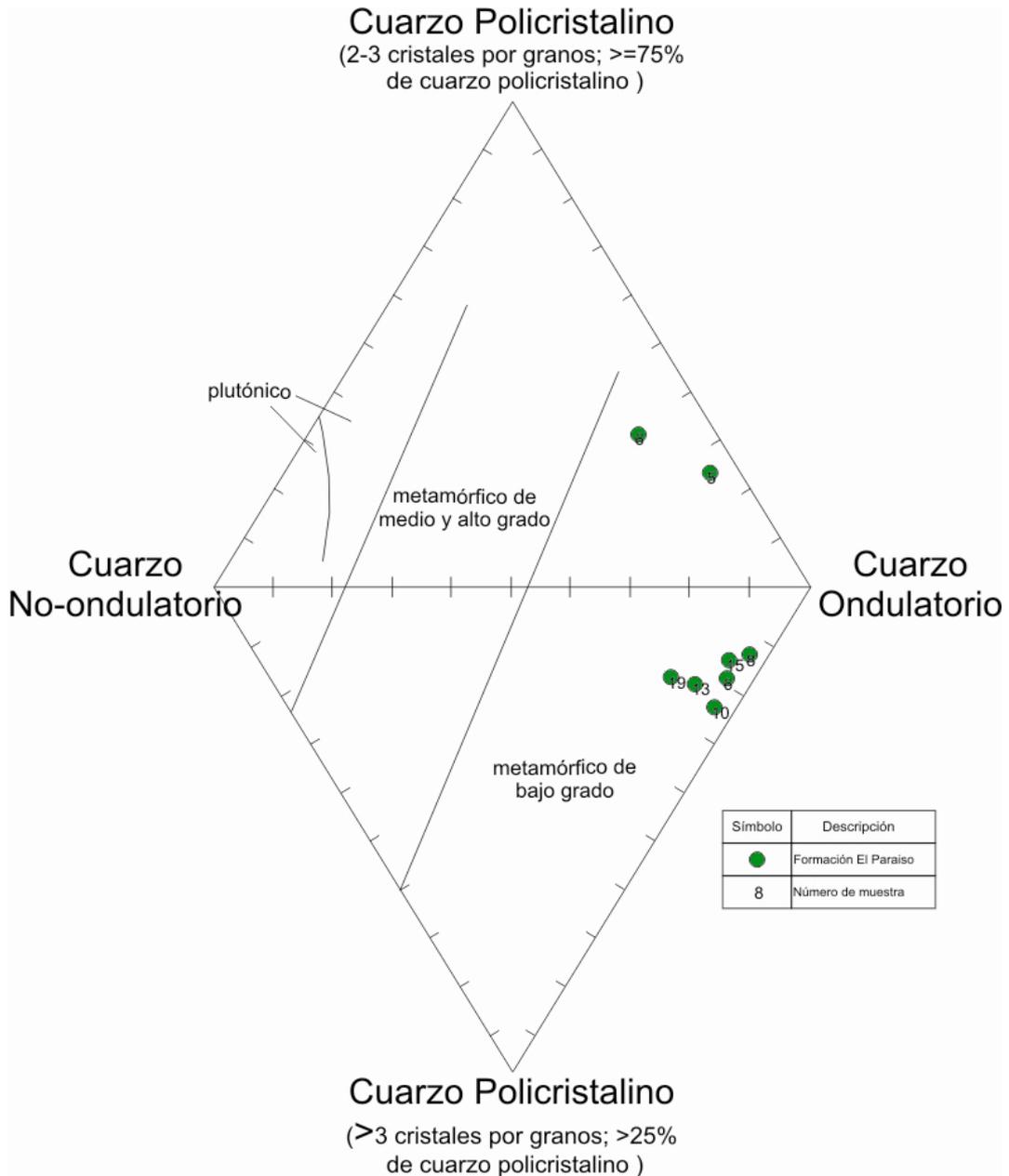
**Fig. 4.14.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de fragmentos de rocas: lutitas, limonitas y arcosas; volcánicas no-metamórficas; esquistos y filitas; gneis y rocas metamórficas no-foliadas; rocas ígneas félsicas, y ftanitas. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.

Los **cuarzos** de esta unidad se ubican, en el diagrama de procedencia propuesto por BASU *et al.* (1975), en la zona del **cuarzo metamórfico de bajo grado**, cerca al eje Cuarzo Ondulatorio-Cuarzo Policristalino (>3 cristales por grano; >25% de cuarzo policristalino), como se observa en la figura 5.15.

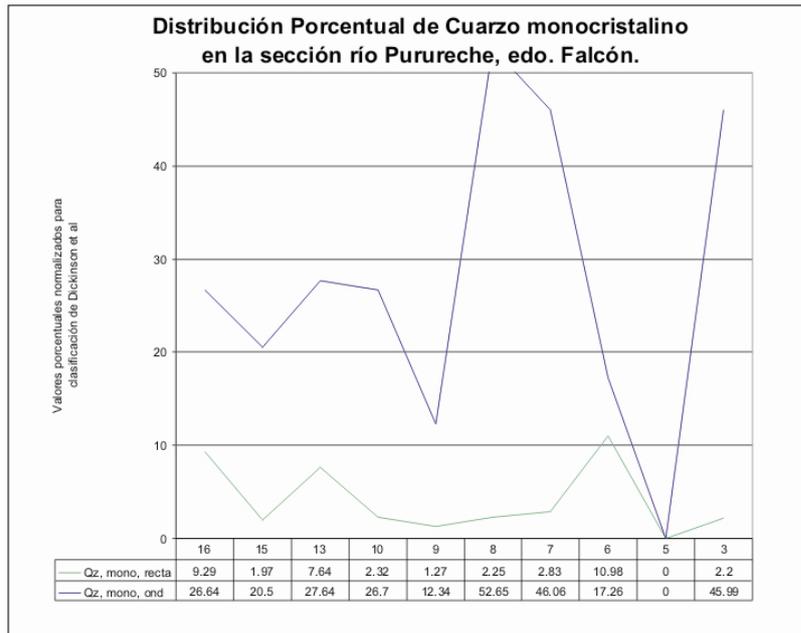
Por otro lado, los tipos de cuarzo predominantes son: el monocristalino con extinción ondulatoria, que llega a representar el 52 por ciento del universo de la muestra 8, y los tipos policristalinos, también ondulatorios. De los cuarzos con extinción recta, sólo los monocristalinos tienen alguna presencia, a pesar de que se mantienen como accesorios en casi toda la sección de estudio. Véanse las figuras

Los dos argumentos anteriores evidencian la fuerte **asociación metamórfica** que tienen estos sedimentos, por un lado, que se deduce de la gran cantidad de

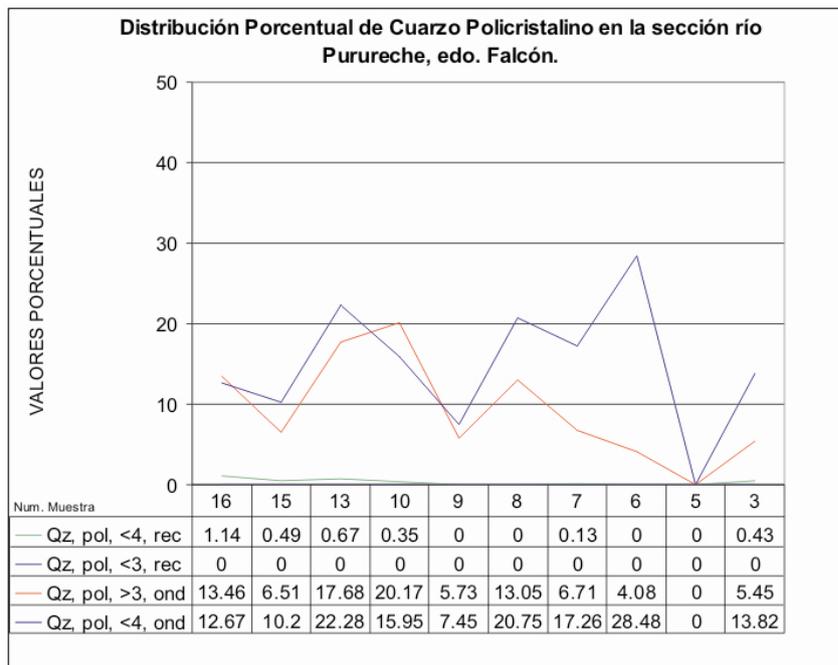
cuarzo ondulatorio y, en segundo lugar, de la madures mineralógica de las muestras.



**Fig. 5.12.** Diagrama de análisis de procedencia en función de las características de la extinción y la policristalinidad, para las muestras de la sección río Purureche, estado Falcón. Diagrama base tomado y modificado de BASU et al. (1975).



**Fig. 4.3.** Gráfica de distribución de las concentraciones de Qm, con extinción recta u ondulatoria, en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.

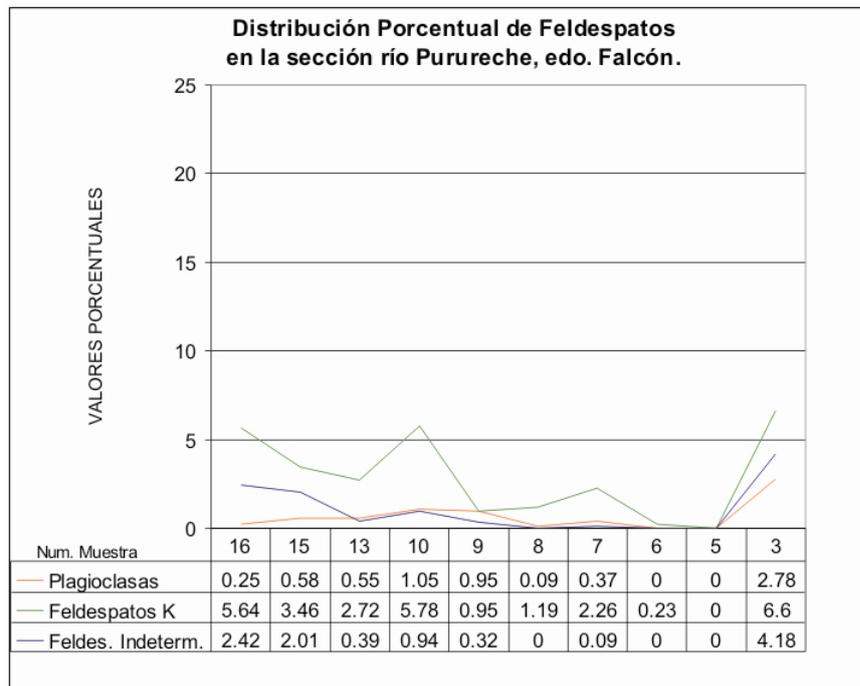


**Fig. 4.5.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de cuarzo policristalino, con más de 3 cristales por grano o con menos de 4, en sus formas con extinción recta u ondulatoria, en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.

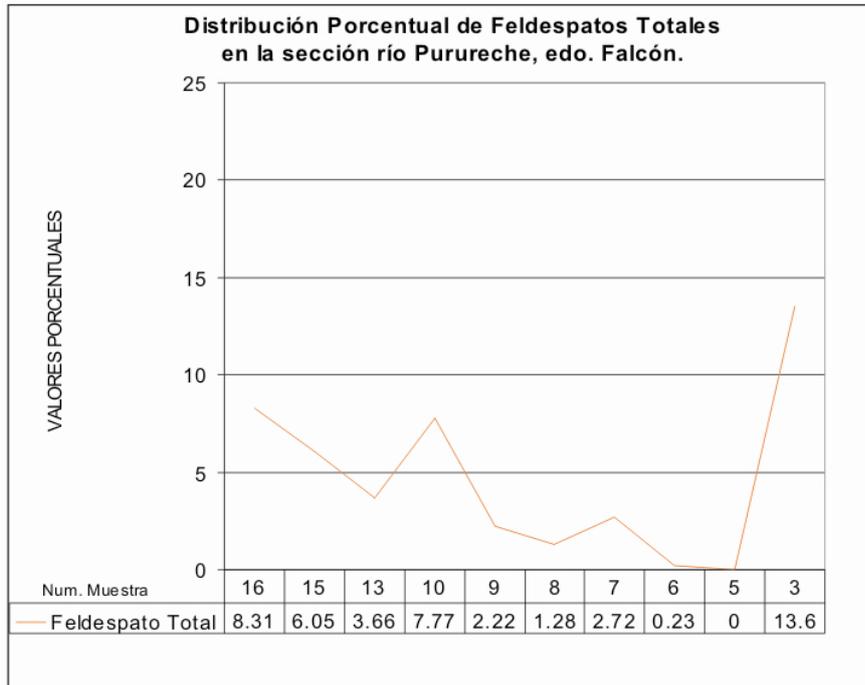
Como se observa en los diagramas de procedencia, figura 5.14, la variación de las concentraciones de las muestras, en el sentido de los **feldespatos**, no es muy marcada, todas se mantienen por debajo de la franja del 20% feldespato.

Por su parte, en los gráficos de concentración se puede observar como las distintas clases de feldespatos se presentan como elementos traza (por debajo del 5 por ciento). Así, la suma de estos tipos, Feldespatos total alcanza en el mejor de los casos un 9 por ciento. El tipo de feldespato preponderante es el potásico, seguido por el indeterminado (Alterado), presentándose las plagioclasas como elemento traza. Véase las figuras 4.8 y 4.10.

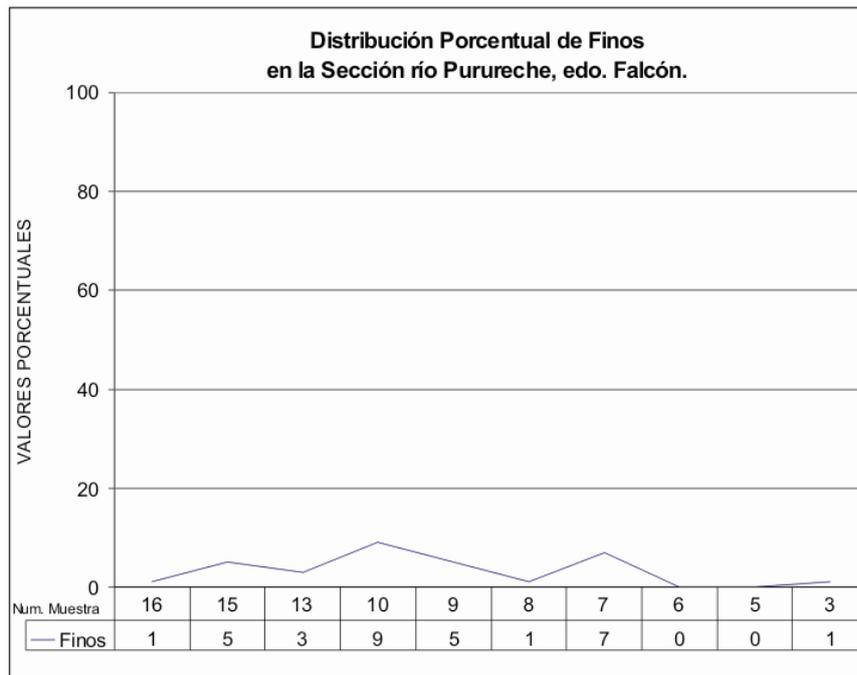
Estos valores pueden estar relacionados con los procesos sedimentarios que afectaron a estos sedimentos, es decir que la fracción feldespática fue removida antes de la litificación, lo cual afecta evidentemente la gráfica que se genera en los triángulos de procedencia. Las magnitudes porcentuales de minerales autigénicos, de matriz, y más directamente, de Feldespato Indeterminado (Alterado) son bajas, véase las figuras 4.8, 4.19 y 4.21, expuestas a continuación.



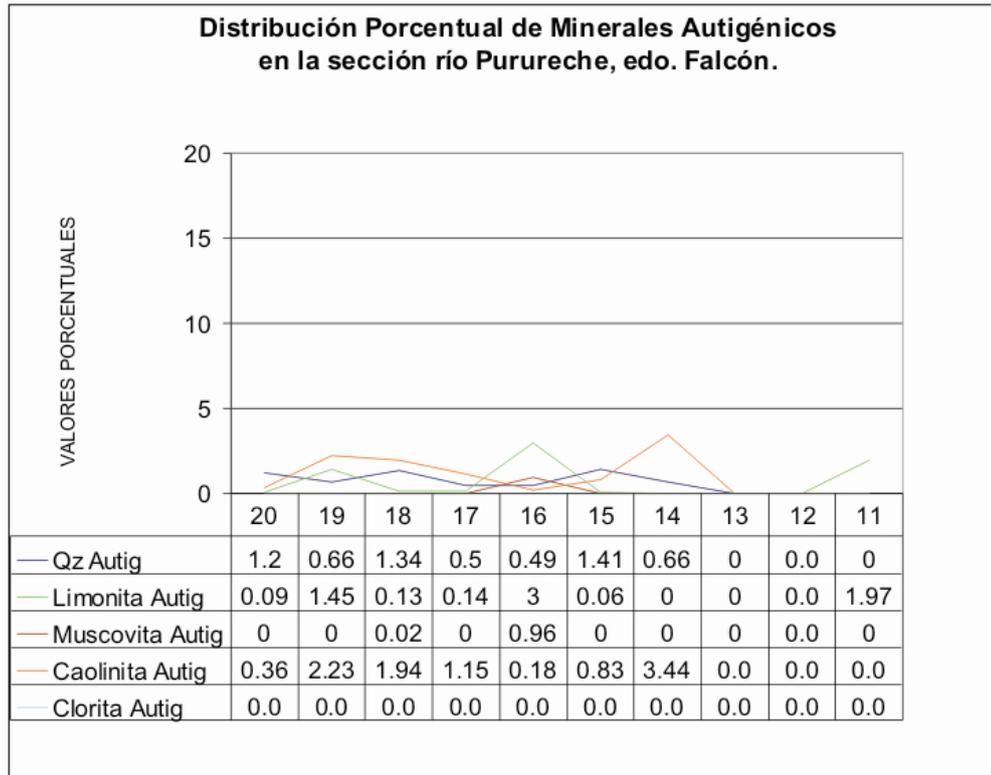
**Fig. 4.8.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de feldespatos: plagioclasa, feldespatos potásicos, feldespatos indeterminados (alterados). La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Facón.



**Fig. 4.10.** Gráfica de distribución de las concentraciones de feldespato total (plagioclasa, feldespatos potásicos, feldespatos indeterminados (alterados)). La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.



**Fig. 4.20.** Gráfica de distribución de las concentraciones de sedimentos finos, de granulometría menor a 1/64 mm. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Falcón.



**Fig. 4.24.** Gráfica de distribución de las concentraciones de los distintos tipos de minerales autigénicos: cuarzo autigénico por trituración; limonita; moscovita; caolinita, clorita. La variación porcentual se muestra en función de la estratigrafía de la sección estudiada en el río Purureche, estado Facón.

Por último, se hace una consideración importante. Se debe tener en cuenta que en este estudio no se respeta la regla propuesta por los autores de los diagramas, DICKINSON Y SUCZEC (1983), con respecto a restringir las rocas analizadas a aquellas que estén constituidas por sedimentos tamaño arena media. Esta consideración es importante se tenga en cuenta al momento de usar los datos aquí expuestos en trabajos de correlación, debido a las consecuencias que se desprenden de la afectación que tiene sobre la composición de las areniscas la selección por tamaño de grano.



## CAPÍTULO VI

### GEOLOGÍA HISTÓRICA

#### 6.1.- Consideraciones sobre la historia de la cuenca y la procedencia de los sedimentos para el límite Eoceno-Oligoceno.

A continuación se expone la relación existente entre las rocas estudiadas y el marco geológico existente para el momento de su sedimentación, con el objetivo de acoplar los datos obtenidos en el presente trabajo dentro de un modelo de la evolución regional de la cuenca.

Los datos se exponen en orden estratigráfico. Se enfatiza en las relaciones ambientales entre las unidades litoestratigráficas involucradas, y en su relación con la evolución tectónica, se presentan vínculos correlativos entre las formaciones que permiten entender mejor el sistema de aporte a la cuenca, y se realizan consideraciones particulares sobre la Formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar*.

AUDEMARD Y DE NENA (1985) sostienen que *previo “a la evolución estructural de la cuenca Terciaria de Falcón se reconoce una fase compresiva de dirección Norte-Sur muy bien desarrollada, durante el Cretácico Tardío al Eoceno Medio. El carácter de esta fase se atenuó durante el Eoceno Medio-Tardío, lo cual repercutió en el control estructural de la sedimentación desde el Eoceno Medio hasta el Mioceno Medio en la región”*.

HAKINS (1983) *“considera [que en la cuenca de Falcón] se sedimentó una espesa secuencia Paleozoica/Mesozoica (...), mientras que al final del Cretácico reporta un cambio en la dirección de sedimentación la cual tiene [tendencia hacia el] Norte. Intrusiones ígneas y un levantamiento generalizado en el área Norte de la cuenca son los hechos de mayor relevancia para el final del Eoceno Medio, y favorecen los cabalgamientos hacia el Sur de los sedimentos Paleocenos y Eocenos [Napa Piemontina] y los sedimentos metamórficos de edad [Cretácica] [Napa Lara]”*.

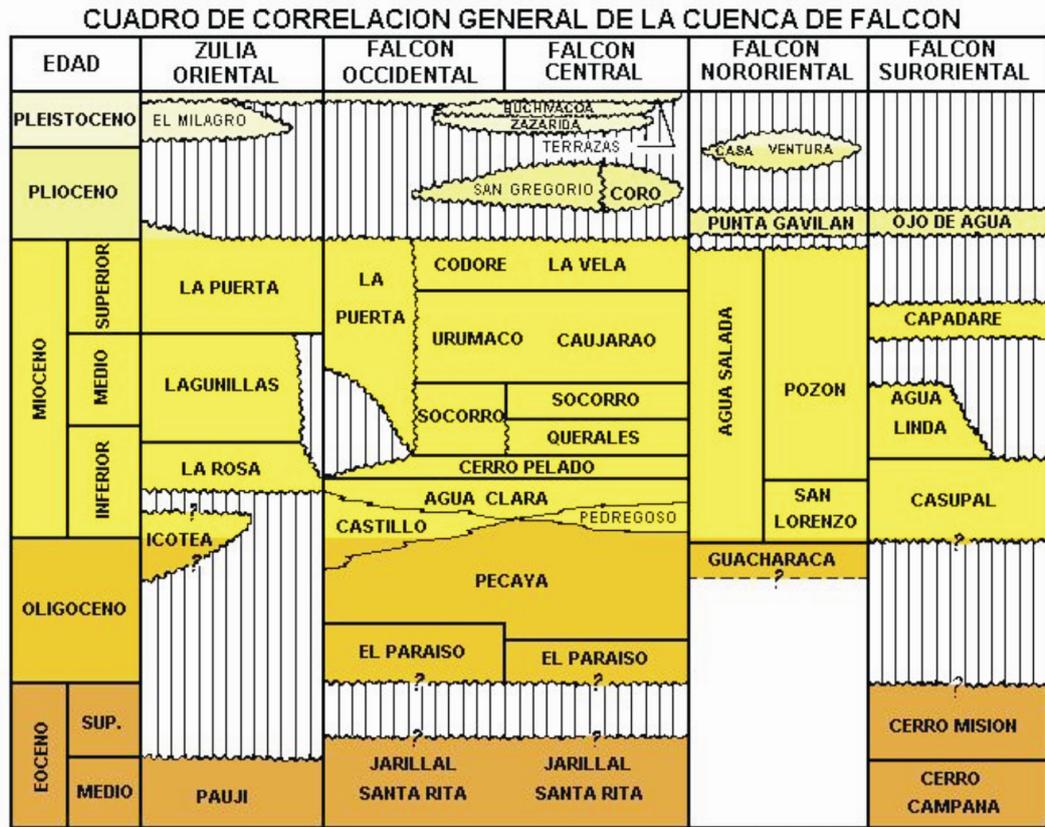
Además, como reporta DÍAZ DE GAMERO (1997), en la descripción del paleoambiente de la Formación El Paraíso en el LEV, las únicas áreas emergidas no

son las de la Cordillera Caribe: “ *La parte inferior de la formación, en Taparoy, indica un fuerte levantamiento al sur, posiblemente de carácter local, ya que se pasa rápidamente, de condiciones marinas someras, a litorales, e incluso, fluviales*”. Las únicas áreas emergidas no son las de la Cordillera Caribe. Recuérdese que la sedimentación de esta unidad se extendió principalmente en la zona suroccidental y central de la cuenca (Véase la figura 6.2).

El límite Eoceno-Oligoceno conforma parte de la etapa de profundización de la cuenca (transgresión), el cual comienza en el Eoceno Medio, como lo sustenta el registro sedimentario con las formaciones Paují (Eoceno Medio), Santa Rita (Eoceno Medio Tardío) y Jarillal (Eoceno Medio tardío a Eoceno Tardío Temprano) y concluye en el Mioceno inferior, marcado por el emplazamiento de lavas basálticas dentro de la secuencia sedimentaria. Véase figura 6.1.

La Formación Paují es parte del registro sedimentario de la transgresión de finales del Cretácico y principios del Terciario. Ambientalmente, representa una sedimentación de aguas limpias y profundas, de talud superior y medio (GRAVES, 1988), lo que se respalda con evidencias macroscópicas de campo, como la coloración gris muy oscura, que señalan un ambiente anóxico asociado y la presencia de materia orgánica. Para mayor información en este particular para esta u otra de las unidades involucradas en este análisis, revisar el capítulo *Geología Local*, de este trabajo, o ROMERO Y SALAS (2004).

El paso de la Formación Paují a Santa Rita, SEEN (1935) lo reporta como discordante, y GRAVES (1997) como “*generalmente discordante y angular*”. Mas en la sección evaluada para este trabajo el contacto es de falla.



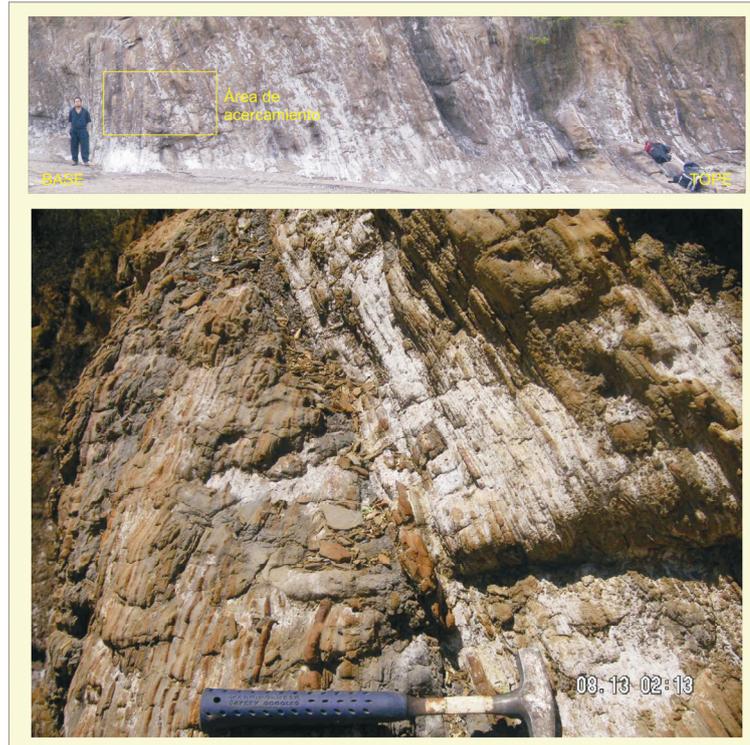
Tomado de: M. L. DIAZ DE GAMERO (1977)

**Fig. 6.1.** Cuadro de correlación general de las unidades litoestratigráficas de la cuenca de Falcón. Obsérvese que el inicio de la sedimentación comienza en el Eoceno. Además, la Formación El Paraíso se extiende sobre Falcón Occidental y Central. Tomado de DÍAZ DE GAMERO (1977).

Las edades correspondientes a estas formaciones testifican que no existe periodo sin sedimentación entre ellas que haya afectado la discordancia que las separa, véase la figura 6.2. Esto es un indicador de que la configuración de la cuenca estaba siendo afectada por la tectónica Caribe durante este periodo. Situación que va a continuar hasta el Eoceno Medio (AUDEMARD Y DE NENA, 1985). Incluso, en el afloramiento JW2, de la quebrada Maica, estado Lara, existe una discordancia que involucra a las rocas de la sección superior de la Formación Jarillal, otra evidencia de la sedimentación sin-tectónica, véase la figura 6.3.

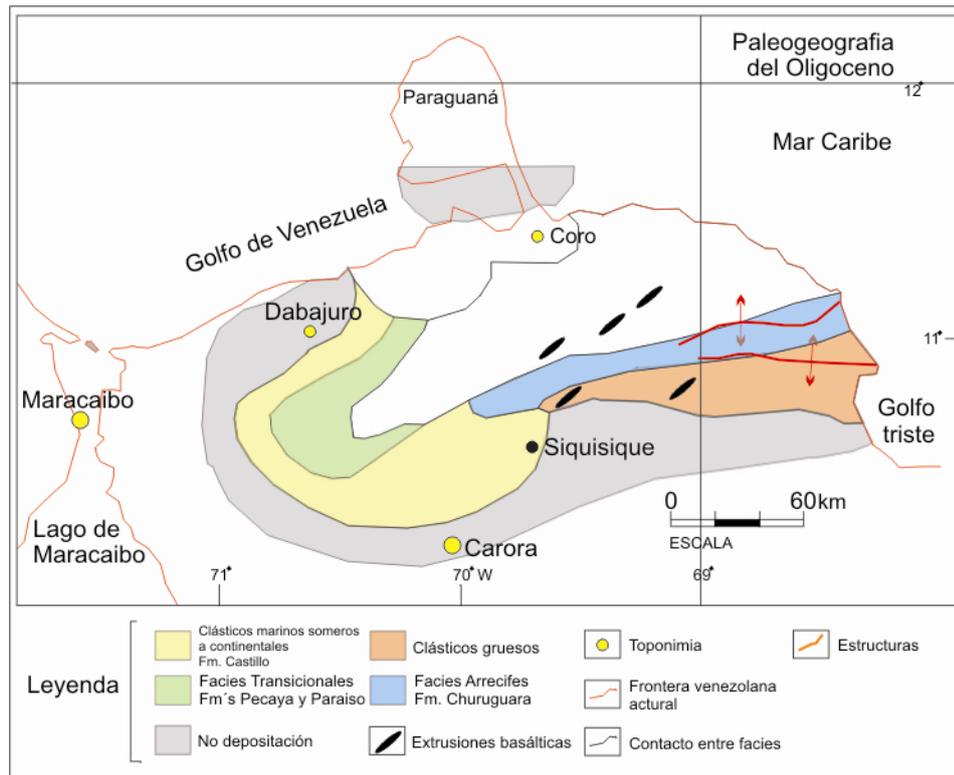
Unidad Litoestratigráfica	Edad	Autor
Castillo	Localidad tipo Oligoceno Tardío Borde meridional de la cuenca Oligoceno Tardío a Mioceno Temprano	WHEELER (1960.)
Churuguara	Oligoceno Temprano a Mioceno Temprano	DÍAZ DE GAMERO (1977)
El Paraíso	Oligoceno Temprano al Medio	DÍAZ DE GAMERO (1977)
Jarillal	Eoceno Medio tardío a Eoceno Tardío Temprano	MULLER, <i>ET AL.</i> , 1987
Santa Rita	Eoceno Medio Tardío	PITTELLI Y MOLINA (1997)
Paují	Eoceno Medio	GRAVES (1997)

**Fig. 6.2.** Cuadro de edades correspondientes a las formaciones del Eoceno y Oligoceno asociadas a este estudio. Información tomado de (LEV electrónico, 2007).



**Foto 6.3.** Vista de una discordancia angular local dentro de la sección superior de la Formación Jarillal, afloramiento JW2. El área ampliada corresponde aproximadamente con la del recuadro amarillo de la foto superior, vista del afloramiento. Secuencia monótona de wakas y arcillitas. Sección Baragua, estado Lara.

Esta compresión, reportan AUDEMARD Y DE NENA (1985) Y HAKINS (1983) tiene sentido norte-sur, y es la responsable del emplazamiento de las napas de Paraganá, Napa Pie Montina, y napa de Siquisique Colocar nombres formales de las unidades o complejos. En emplazamiento de la primera se fecha como Cretácico Tardío lo que la postula como una fuente de aporta para el intervalo estudiado, buscar referencia de emplazamiento de las otras dos napas, como se puede ver en la siguiente figura de distribución paleogeográfica, figura 6.3.



**Foto 6.4.** Paleogeografía para el Oligoceno, se puede observar las áreas emergidas de Paraguaná, y las plataformas emergidas de rocas Cretácicas, y el área de Siquisique (Suite Ofiolítica). Tomado y modificado de GONZÁLES DE JUANA et al. (1980).

Respecto a la Formación Santa Rita, existen varios postulados sobre su ambiente de sedimentación. Las características de esta unidad en la sección de la quebrada Maica favorecen a la interpretación de PITTELLI Y MOLINA (1989), que proponen un “ambiente de plataforma externa, lejos de la costa, con alta energía, y con una profundidad entre 60 y 80 metros”, lo que además se relaciona de forma coherente con el ambiente de talud superior y medio de la Formación Paují. Significa una transición ambiental más probable, en comparación con los postulados de otros autores.

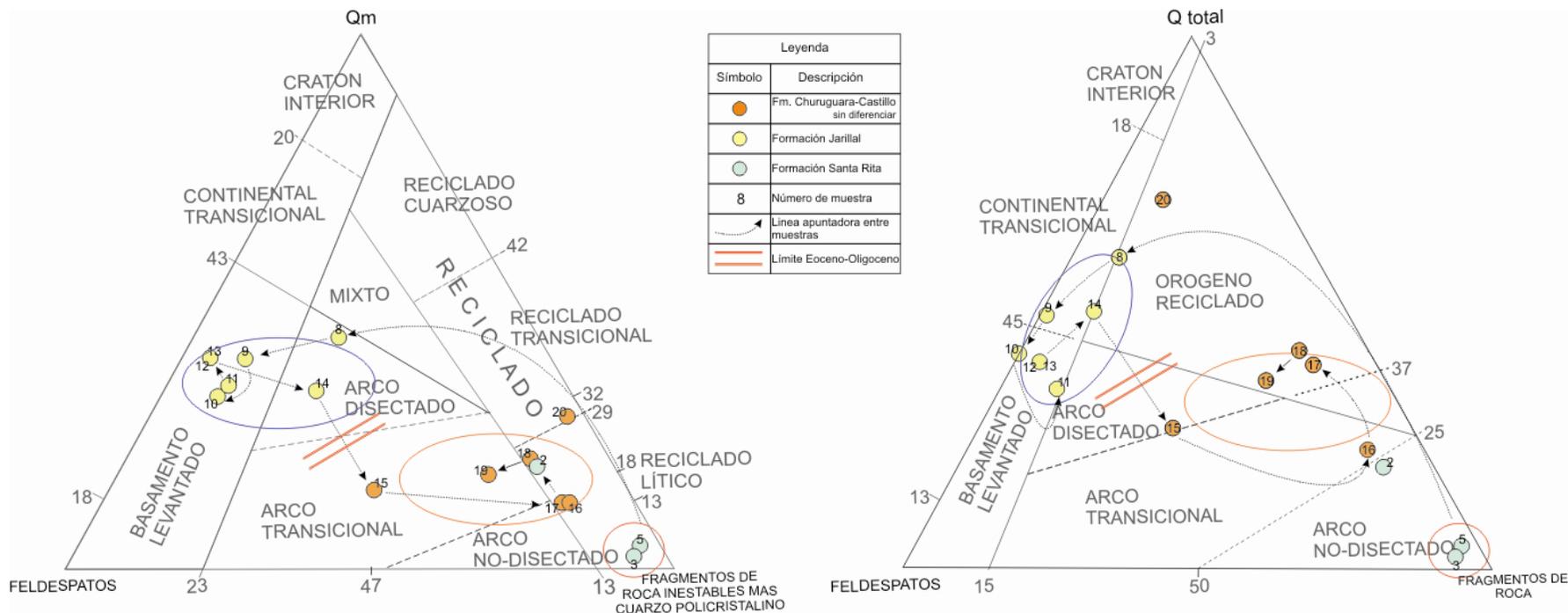
A pesar de que el proceso transgresivo continúa gobernando la sedimentación en este periodo, la presencia de conglomerados en la Formación Santa Rita indica el inicio de ciertos cambios en el patrón de aporte.

La transición entre las formaciones Santa Rita y Jarillal es de falla, a diferencia de lo propuesto por Guevara (1967), “concordante y transicional”. En esta sección de la

quebrada Maica, la Formación Santa Rita se encuentra como un bloque aislado estratigráficamente por discontinuidades estructurales.

La Formación Jarillal, por su parte muestra características granulométricas y contenido orgánico que apoyan la propuesta de un ambiente de “*plataforma media a externa*” de PITTELLI Y MOLINA (1989), quienes proponen además una profundidad oceánica de 100 a 200 metros para el momento de la sedimentación.

A través del análisis de los diagramas de procedencias que corresponden a estas unidades, se puede establecer dos claras familias. Una que se concentra cercana a la franja de provincias continentales o el eje cuarzo-feldespató, que agrupa a las muestras de la Formación Jarillal, y otra que se ubica sobre la zona inferior derecha, que corresponde a las formaciones Santa Rita y Churuguara-Castillo *sin diferenciar*. Véase a continuación la figura 5.10.



**Fig. 5.1.** Diagramas de procedencia con las gráficas de las muestras correspondientes a la sección de la quebrada Maica, estado Lara. Están presentes muestras de las formaciones Santa Rita, Eoceno Medio Tardío (azul claro), Jarillal Eoceno Medio, Tardío a Eoceno Tardío Temprano (amarillo), y Churuguara-Castillo sin diferenciar, Oligoceno Temprano a Mioceno Temprano (anaranjado). Las líneas son una ayuda para que el lector siga la continuidad estratigráfica entre las muestras. La base de los diagramas ha sido tomada y modificada de DICKINSON ET AL, (1983).

Como se refirió a principios de este capítulo por AUDEMARD Y DE NENA (1985), HAKINS (1983), y DÍAZ DE GAMERO (1997), la sedimentación de las formaciones Santa Rita y Jarillal parecen estar vinculadas con zonas emergidas al sur y norte de la cuenca. La primera se deposita conforme quedan emplazados los terrenos correspondientes al evento Cretácico Tardío, específicamente las napas Paraguaná (volcánicas ultramáficas), Napas Pie-montinas (Suite Ofiolítica de Siquisique), y las napas de Lara (Rocas Metamórficas-Esquistos). SENN (1935) describe la Formación Santa Rita como “*compuesta predominantemente de cantos rodados de cuarzo blanco, ftanitas negras cretácicas, cuarcitas de grano grueso de la Misoa-Trujillo y areniscas diversas; los cantos de jaspe verde son especialmente característicos de [sus] conglomerados*”. Con las cuales las relaciones petrográficas concuerdan muy bien. El único vínculo que no se puede establecer claramente con estas fuentes propuestas, es con las *areniscas diversas*, ya que el porcentaje de éstas es muy bajo, pero esto se puede deber a la destrucción de las partículas durante el transporte. Véanse las distribuciones de las concentraciones de los fragmentos de rocas y su interpretación para esta unidad en los capítulos 4 y 5.

De igual modo, la Formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar* coincide con estas relaciones litológicas, con la particularidad de que no contiene rocas volcánicas.

Por su parte, la Formación Jarillal se vincula más estrechamente con rocas cristalinas o sus equivalentes metamórficos y en menos relación con esquistos, por lo cual su procedencia parece tener la mayor influencia de elementos emergidos desde o, antes de, finales del Cretácico como el Arco de Mérida, Cadena Caribe con su complejo Sebastopol, y el Macizo de Guayana.

La separación entre las secciones eocenas y las oligocenas en la cuenca de Falcón, está relacionada con la aceleración relativa entre las placas, Caribe y Suramérica. La compresión del Terciario inferior es producto del acoplamiento entre las placas por las fuerzas de fricción, lo que permitió la transmisión de esfuerzo sobre el noroeste de Suramérica. Una vez vencidas estas fuerzas se reactiva el movimiento transcurrente y se descarga el esfuerzo, lo que se ve reflejado en la activación de un sistema de fallas normales. Es importante hacer notar que hasta el Eoceno medio tardío la generación de espacio en la cuenca de Falcón respondía a la compresión, funcionaba como una cuenca

flexural. A partir de este evento, que concuerda con el final de la sedimentación de la Formación Jarillal, la cuenca se comporta como un graben.

La Formación El Paraíso marca el principio del pulso regresivo que gobernará desde el Oligoceno Temprano hasta el Mioceno Temprano (MUESSIG, 1984), que se relaciona con un fuerte levantamiento de terrenos al sur de la cuenca (DÍAZ DE GAMERO, 1997). WHEELER (1960, 1963) subdividió la formación en dos miembros informales y hacer referencia a que las areniscas tipo “sal y pimienta” del miembro inferior evidencian este levantamiento. Por otra parte, la sección superior la describe constituida por “areniscas ferruginosas calcáreas bien cementadas”. Por lo tanto, se establece que la sección de esta unidad estudiada en el río Purureche es parte de la sección superior.

Además, WHEELER (1960, 1963) reporta que “...la Formación Castillo yace concordantemente sobre las Lutitas de Pecaya. Hacia el borde de la cuenca, la Formación Castillo descansa con discordancia angular sobre rocas eocenas”; “parece por tanto, más probable, que tanto la Formación Pecaya como la Formación El Paraíso, pasen gradualmente hacia el sur a la Castillo Inferior”. Esto que establece un vínculo bien definido entre las secciones estudiadas en el río Purureche (formaciones Pecaya y El Paraíso), y en la quebrada Maica (formación Paují, Santa Rita, Jarillal y Churuguara-Castillo sin diferenciar).

“La mayor parte de la Formación El Paraíso es de tipo regresivo, en que la costa avanzó desde el suroeste hacia el norte y noreste. Los sedimentos fueron transportados por varios ríos, que progresivamente construyeron una amplia llanura deltáica. Los carbones marcan el límite oriental de dicha llanura, unos kilómetros al este del actual río Paraíso. El oleaje, y las corrientes litorales, reabajaron los clásticos gruesos, y los extendieron por grandes distancias a lo largo de la costa. Al este del río predominaron las condiciones marinas y las lenguas clásticas, separadas por lutitas marinas, marcan las oscilaciones de la línea de costa durante la sedimentación de la formación” (DÍAZ DE GAMERO, 1997, LEV).

Es posible que la ausencia de la Formación El Paraíso en el extremo sur de la cuenca, en la sección de la quebrada Maica, se deba a particularidades del sistema de transporte de sedimentos de esta formación, es muy probable que los deltas generados no hayan

afectado a toda la extensión del borde suroeste, sur y sur-central de la cuenca, que fue por donde se inició la regresión.

En base a características ambientales, se puede postular que la unidad Churuguara-Castillo *sin diferenciar* representa la zona de transición entre las facies arenosas y las de plataforma carbónica. Las evidencias macroscópicas sustentan la interdigitación entre un ambiente próximo costero-litoral externo (Formación Castillo), con bancos carbonatitos (Formación Churugura).

Wheerer propone que la Formación Castillo se sedimenta en diferentes ambientes, como “*facies de aguas someras y salobres*”. Mientras la sedimentación de *Churuguara* ocurre a una “*profundidad promedio de 30 a 40 metros*”, pero “*posee zonas muy llanas, casi sub-aéreas y crecimientos coralinos de cinco a diez metros de profundidad*”.

La asociación de las formaciones El Paraíso y Churuguara-Castillo *sin diferenciar* vincula la procedencia de sedimentos de estas unidades. Esto a sus ambientes tectónicos, y demuestra que la diferencia reflejada en los diagramas son consecuencia de la madurez mineralógica de la Formación El Paraíso, la cual se relaciona con su ambiente de sedimentación. Evalúese los diagramas correspondientes a la sección *quebrada Maica* (estado Lara) y el *río Purureche* (estado Falcón), figuras 5.10 y 5.11, respectivamente, mostradas en este capítulo.

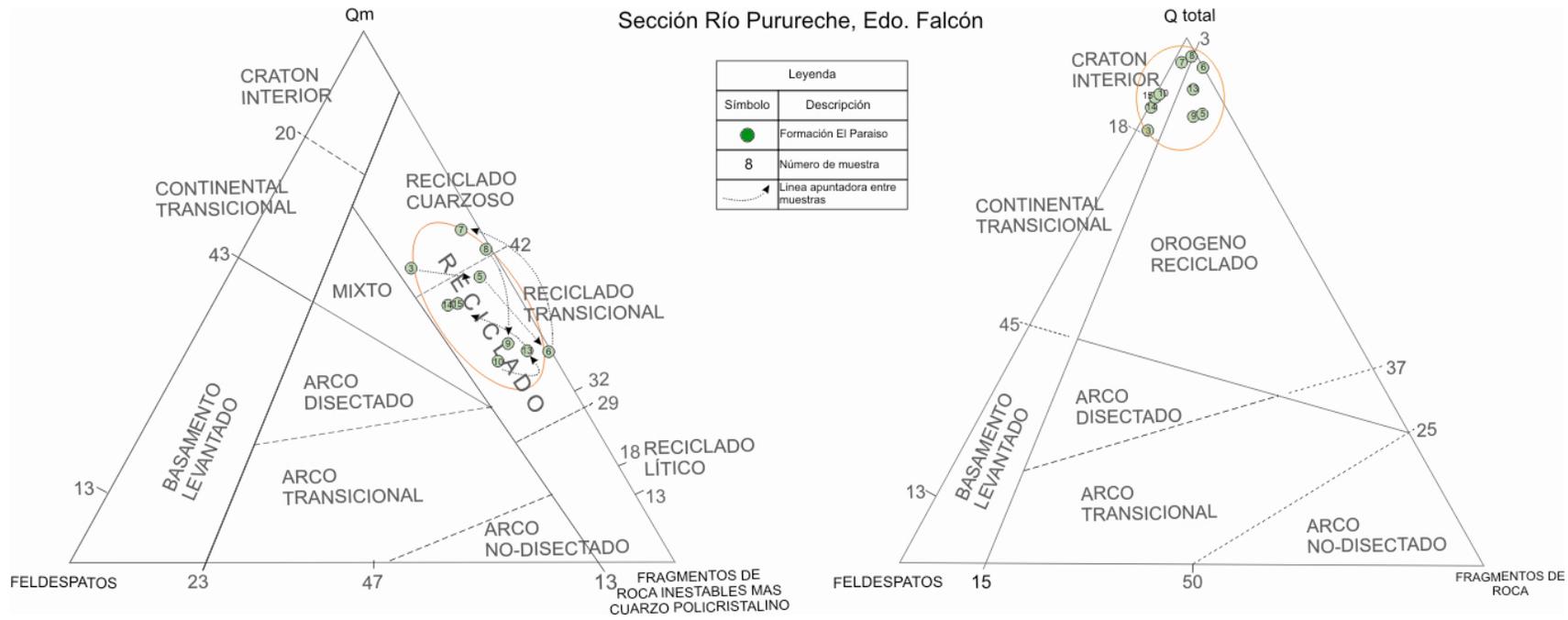


Fig. 5.11. Diagramas de procedencia con las gráficas de las muestras correspondientes a la sección del río Purureche, estado Falcón. La sección corresponde con un transecto de la Formación El Paraíso, Oligoceno Temprano a Medio (verde). Las líneas son una ayuda para que el lector siga la continuidad estratigráfica entre las muestras. La base de los diagramas ha sido tomada y modificada de DICKINSON et al., 1983.



## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el uso de los datos obtenidos en los estudios petrográficos modales, según el modelo propuesto por YORIS (1992) y mediante el uso de los diagramas propuestos por Dickinson et al., (1983), se logró establecer los ambientes tectónicos asociados a los sedimentos de las formaciones Santa Rita (Eoceno Medio Tardío), Jarillal (Eoceno Medio Tardío a Eoceno Tardío Temprano), Churuguara-Castillo *sin diferenciar* (Oligoceno Temprano a Mioceno Temprano), en la sección estudiada en la quebrada Maica, cercana a la población de Baragua, al norte del estado Lara, y la Formación El paraíso (Oligoceno Temprano a Medio) en la sección del río Purureche, cercana al poblado con el mismo nombre, al sur del estado Falcón.

Las Areniscas líticas de la **Formación Santa Rita** (Eoceno Medio) vinculan su procedencia con un ambiente tectónico de **Arco No-Disectado** (Qt-F-L) y **Reciclado Lítico** (Qm-F-Lt).

Las Grawakas feldespáticas de la **Formación Jarillal** se asocian a un marco tectónico de **Basamento Levantado**. Además, las determinaciones hechas a través del **diagrama de** BASU et al. (1975), vincula los cuarzos de la Formación Jarillal con rocas metamórficas que van de bajo a alto grado de metamorfismo.

Los sedimentos de la **Formación Churuguara-Castillo *sin diferenciar*** se asocian con un **Orógeno Reciclado Lítico** y a un **Arco de Transición**. Según la clasificación de BASU et al. (1975), los cuarzos de esta formación tienen su origen en rocas metamórficas de bajo grado.

La **Formación El Paraíso** en su sección del río Purureche, se distribuyen fundamentalmente dentro de los diagramas de procedencia, sobre la zona de los Orógenos Reciclados, específicamente, **Reciclados Transicional** y **Reciclado Cuarzoso**. Por su parte, lo cuarzos de esta unidad se ubican, en el diagrama de procedencia propuesto por BASU et al. (1975), de igual manera en la zona de rocas metamórficas de bajo grado.

Paleoambientalmente, la significación de estos resultados vincula la sedimentación de estos periodos con cambios dentro de la configuración de la cuenca. Las rocas de la Formación Santa Rita están contenidas por una fracción importante de líticos asociados a rocas ígneas félsicas, que pueden estar relacionadas con la napa Piemontina. La Formación Jarillal, representa un cambio de aporte porque se encuentra muy bien diferenciada de Santa Rita y Churuguara-Castillo *sin diferenciar*, asociado a un aporte de rocas cristalinas o meta-cristalinas como las del Arco de Mérida. Por su parte, Churuguara-Castillo *sin diferenciar* está asociada a un orógeno reciclado, pero a diferencia de Santa Rita, los fragmentos de rocas que tienen preponderancia son de rocas metamórficas, tipo esquisto y filitas. Esto lo asocia a una cordillera como posiblemente haya sido la *Cordillera Caribe* o a las rocas del *Complejo de Sebastopol*. Por último, la Formación El Paraíso también se asocia a un orógeno reciclado.

Se postula que la misma fuente de sedimentos para las dos unidades Oligocenas (Churuguara-Castillo *sin diferenciar* y El Paraíso), basando en que la dispersión de los puntos en los diferentes diagramas usados, atienden a las diferencias de madures mineralógica entre ellas.

Se propone que los contactos inferior y superior de la Formación Santa Rita son de falla. Además, dicha falla superior no está registrada dentro de la cartografía existente para la región. Su interpretación se hace a partir de características geomorfológicas y evidencias de afloramiento.

Se caracteriza el límite Eoceno-Oligoceno (Jarillal - Churuguara-Castillo *sin diferenciar*) como el contacto entre unas areniscas laminadas, de grano muy fino pardo rojizas, que meteorizan a tonos rojizos, y unas areniscas cuarzosas macizas, pardo amarillentas. Este límite es fácilmente observable por la diferenciación reológica entre ambas litologías, y se encuentra cercano a la coordenada UTM 387 851 E, 1 176 283 N, en sistema CANOA. Se propone formalizar este límite dentro del Léxico Estratigráfico de Venezuela.

Se recomienda enriquecer el método de estudio para procedencia a través de porcentajes de concentración de clases minerales, con el métodos de evaluación de características particulares, como por ejemplo el propuesto por Pittman (1963) para el uso de los feldespatos en este tipo de estudios .

Así como, datar el límite Eoceno- Oligoceno de la sección estudiada en la quebrada Maica. El afloramiento de contacto de las formaciones facilita la realización de un buen muestreo. Muestras realizadas en la sección por Ariza (2006) evidenció que los intervalos de estas formaciones son estériles, por lo cual se recomienda el uso de otro método de datación diferente a la bioestratigrafía.

Siguiendo la línea de investigación de este trabajo, sobre la evaluación litoestratigráfica del límite Eoceno-Oligoceno en la cuenca de Falcón, partiendo de los vínculos litoestratigráficos establecidos en el capítulo 7, se propone continuar la investigación siguiendo estas relaciones en 3 ejes: norte (hacia el centro de la cuenca), este (hacia la cuenca de Maracaibo y límite este de la cuenca de Falcón), y oeste (límite oeste de la cuenca).

Por otro lado, se recomienda complementar este estudio por medio de un análisis de paleocorrientes para la misma zona de la cuenca (sur-central), por medio de la búsqueda de estructuras sedimentarias adecuadas, en secciones cercanas lo suficientemente cercanas para que no se desvinculen los datos.

Solventar formalmente la ambigüedad presente con la unidad litoestratigráfica Churuguara-Castillo *sin diferenciar*, a través de la cartografía de estas rocas que registran el límite de facies entre las condiciones arrecifales de la Formación Churuguara y las de aguas someras y salobres de *Castillo*.

**BIBLIOGRAFÍA****Abreviaturas:**

UCV-TEG = Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito.

UCV-TA = Trabajo de Ascenso, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito.

UCV-TEGC = Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Inédito.

ARIZA, M. (2006). **Caracterización Quimioestratigráfica del límite Eoceno – Oligoceno, de la zona surcentral de la cuenca de Falcón.** UCV - TEG.

AUDEMARD, F. (1995). **La cuenca terciaria de Falcón, Venezuela noroccidental, síntesis estratigráfica génesis e inversión tectónica.** Ponencia presentada en el IX Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas.

AUDEMARD, F. (1997) **Tectónica activa de la región septentrional de la cuenca invertida de Falcón, Venezuela Occidental.** Memoria del VIII Congreso Geológico Venezolano, Soc. Venezolana de Geól. – Tomo I – pág. 93-100.

AUDEMARD, F. & AUDEMARD, F. (2002). **Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction.** Tectonophysics 345 (1/4). pp. 299-327.

BERROTERÁN, L. & ZIRITT, F. (2004). **Interpretación estructural y restauración de secciones de un transecto ubicado entre los poblados Purureche, estado Falcón y Baragua, estado Lara.** UCV - TEG.

BOGGS, S. (1987). **Principles of Sedimentology and Stratigraphy.** Merrill Pu.Co., 784 p.

- CARDOZO, E. (1996). **Procedencia de la rocas clásticas del Eoceno, en el sector oriental de la cuenca de Maracaibo y su relación con la tectónica Caribe y Andina.** UCV - TEG.
- CIEN-COMITÉ INTERFILIAL DE ESTRATIGRAFÍA Y NOMENCLATURA (1999). **Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela.** Edic. PDVSA - Intevep, en CD.Caracas.
- CORONEL, G. (1970). **Igneous Rocks of Central Falcón.** Bol. Inf., Asociación Venezolana de Geología, Minas y Petróleo; 13 (5): 155 – 159.
- CREOLE PETROLEUM CORPORATION. (1962). **Mapa de geología de superficie a escala 1:50.000,** hoja C-4-D.
- DIAZ DE GAMERO, M. (1976) **Estratigrafía y micropaleontología del Oligoceno y Mioceno Inferior del centro de la cuenca de Falcón, Venezuela.** UCV-TA. 266 p.
- DÍAZ DE GAMERO, M. (1977). **Estratigrafía y micropaleontología del Oligoceno y Mioceno inferior del centro de la Cuenca de Falcón Venezuela,** *GEOS* 22: 2-50
- DICKINSON, W.R. & ZUCZEK (1979). **Plate tectonics and sandstones compositions.** AMER. ASOC. PETRO. BULL., 63 (12): 2164-2182.
- DICKINSON, W.R.; L. BEARD; G. BRAKENRIDGE; J. ERJAVEC; R. FERGUSON; K. INMAN; R. KNEPP; L. LINDGER & P. RIBERG (1983). **Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting.** GEOL. SOC. AMER. BULL., 94 (2): 222-235.

- ESCORIHUELA, N. & RONDÓN, J. (2002). **Estudio de las rocas ígneas que afloran en la parte central de la cuenca de Falcón.** UCV - TEG.
- ESPARIS, E. & HERNÁNDEZ, O. (2005) **Integración y actualización geológica del área comprendida entre las poblaciones de Churuguara y Piedra Grande, estados Falcón y Lara.** UCV - TEG.
- FEO-CODECIDO (1956) **Heavy mineral techniques and their application to venezuelan stratigraphy.** AM. ASSOC. PETROLEUM GEOLOGISTS BULL., v. 40, p. 979.
- GRAVES, G. (1985) **Ambientes sedimentarios y entrapamiento de hidrocarburos en las arenas "B" superiores de la Formación Misoa en el área LL-370 lago de Maracaibo.** VI CONG. GEOL. VENEZ. CARACAS.
- GÓMEZ, M. (2004) **Integración y actualización geológica del área del Surco de Urumaco y la Plataforma de Dabajuro, estado Falcón.** UCV - TEG.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C.; ITURRALDE, J & PICARD, X. (1980). **Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas.** Caracas, Editorial Foninves, II, 624 p.
- GONZÁLEZ, L. & SÁNCHEZ, G. (2001). **Caracterización geoquímica y radiométrica de dos secciones estratigráficas de la Formación La Luna, en el estado Táchira.** UCV - TEG.
- GRATEROL, M. & ORIHUELA M. (2004) **Estudio de facies sedimentarias y análisis de secuencias estratigráficas en los depósitos miocénicos aflorantes en las quebradas Agua Viva y El Paují, estado Falcón.** UCV - TEG.
- GUEVARA, E. (1967). **The Santa Rita, Jarillal and La Victoria Formations.** Boletín informativo de la Asociación Venezolana de Geología, Minas y Petróleo, Vol. 10: 51 - 69.

- HUNTER, V. & FERRELL, A. (1972). **Redefinición de algunas unidades estratigráficas del Oligoceno del Falcón central**, III Congr. Geol. Venez., Mem., 2: 807-816.
- HUNTER, V. (1974). **The mid-Tertiary stratigraphic unit of the southern Caribbean area**, Verhandl. Naturf. Ges, 84(1): 172-190.
- JORGENSEN N. (1986). **Chemostratigraphy of upper Cretaceous chalk in the Danish subbasin**. AAPG Bulletin, 70 (3): 309-317.
- KOVISARS, L. (1972). **Geología de la parte norte-central de los andes venezolanos**. *Cong. Geol. Venez. Mem.* 2: 817-859.
- LIDDLE, R. (1928). **The geology of Venezuela and Trinidad**. Texas, J. P. MacGowan, 552 p.
- LITOS (1996) **Estudio de secciones estratigráficas en el área suroccidental del estado Táchira**. P.D.V.S.A., Informe interno, Puerto La Cruz, Anexo I-2, Anexo I-4, Anexo I-9, Anexo III-1, Anexo III-3, Capítulo I-V, Vol. 14, Vol. 12.
- MACELLARI, C. (1995). **Cenozoic sedimentation and tectonics of the southwestern Caribbean pull-apart basin, Venezuela and Colombia**, in A. J. TANKARD, R. SUÁREZ S., and H.J. WELSINK, Petroleum basins of South America: AAPG Memoir (62): 757- 780.
- MUESSIG, K. (1984). **Structure and Cenozoic tectonics of the Falcón basin, Venezuela and adjacent areas**, in W. E. Bonini, R. B. Hargraves and Shagam, eds. **The Caribbean-South American plate boundary and regional tectonics**: GSA Memoir (162): 217-230.

- NAVARRO, E. (1983). **Petrología y petrogénesis de las rocas metavolcánicas del Grupo Villa de Cura**, GEOS N 28. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. UCV, Caracas. P 170-317.
- O'CONNOR, J. (1986). **Discriminant análisis of trace elements in coal beds of early and middle Pennsylvanian age from the central Apalachian Basin**. USGS Research on energy Resources L.M.H. Carter Alexandria Va 22304: 46-47
- OLDOW, J.; BALLY, A.; AVE LALLEMANT, H. (1990). **Transpression, orogenic float, and lithospheric balance**. *Geology*, Vol. 18, No. 11, p. 991-994
- OSUNA, S. & ARNSTEIN, R. (1997). **Distribución del Oligoceno en el occidente de Venezuela**. Caracas, Sociedad Venezolana de Geólogos, Mem. VIII Congreso Geológico Venezolano, II: 229-237.
- PITELLI, R. (1985). **Estudio Geologico Regional de Falcon Occidental. Informe Bioestratigrafico**. Infor.Ined. Maraven.
- PITELLI, R. & MOLINA, A. (1989). **El Grupo Agua Negra de la cuenca de Falcón**. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos, 36, 5-12.
- PITELLI, R. & MOLINA, A. (1989). **El Eoceno Medio Tardío y Eoceno Tardío de la parte occidental de la cuenca de Falcón**. *Soc. Venez. Geol.*, Bol., 36: 5-12.
- PITTMAN, E. Use of zoned plagioclase as an indicator of provenance. *Journal of Sedimentary Research*; June 1963; v. 33; no. 2; p. 380-386.
- PORRAS, L. (2000). **Evolución tectónica y estilos estructurales de la región costa afuera de las cuencas de Falcón y Bonaire**. VII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas. Caracas. Tomo I. 279-292 p.

- RATCLIFFE K.; WRIGHT, A.; HALLSWORTH, C.; MORTON, A.; ZAITLIN, B.; POTOCKI, D. & WRAY D. (2004) **An example of alternative correlation techniques in a low accommodation setting, nonmarine hydrocarbon system: The (Lower Cretaceous) Mannville Basal Quartz succession of southern Alberta.** AAPG Bulletin, v 88, N°10, pp. 1419-1432.
- RENZ, H. (1948). **Estratigraphy and fauna of the Agua Salada Group, State of Falcón, Venezuela.** Geol. Soc.Am., Men. 32, 219 pág.
- RIVERO, F. de. (1956). **Formación El Paraíso, in Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Léxico Estratigráfico de Venezuela, Bol. Geol. (Venezuela), Publ. Esp. 1: 254- 257.**
- ROMERO, P. (1996). **Procedencia de la rocas clásticas del Eoceno, en el sector oriental de la cuenca de Maracaibo y su relación con la tectónica Caribe y Andina.** UCV - TEG.
- ROMERO, Y. & SALAS, R. (2004). **Estudio de litofacies del Eoceno Superior – Mioceno en la zona centro occidental de la cuenca de Falcón, sección sureste de la población Pedregal.** UCV - TEG.
- SUTTON, F. (1946). **Geology of Maracaibo Basin, Venezuela,** Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull. 30(10): 1621-1741.
- STEPHAN, J.F. (1977). **Contacto Cadena Caribe-Andes Merideños entre Carora y El Tocuyo (Estado Lara), observaciones sobre estilo y edad de ñas formaciones Cenozoicas en el occidente Venezolano.** Mem. V Cong. Geol. Venez., Caracas. Tmo II P: 789-815.
- WEC VENEZUELA (1997). **Evaluación de Pozos.** Schlumberger Surencó, C.A.

WHEELER, C. (1960). **Estratigrafía del Oligoceno y Mioceno inferior de Falcón occidental y nororiental**, III Congr. Geol. Venez., Mem. 1, 407-465.

———— (1961) **Estratigrafía del Oligoceno y Mioceno inferior de Falcón occidental y nororiental**. III Congr. Geol. Venezolano., Men., vol.1 pág. 407- 465.

———— (1963). **Oligocene and lower Miocene stratigraphy of western and northeastern Falcón Basin, Venezuela**. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull. 47, Num. 1, 35-68.

YORIS, F. (1984). **Revisión de la estratigrafía regional del Cretácico inferior en la franja de San Antonio de Maturín-Caripito-Bolivita-Campo Alegre (estados Monagas y Sucre) y análisis petrográfico estadístico de areniscas al oeste del río San Juan**. Dpto. Geol. UCV. Trabajo de ascenso Profesor Agregado. Inédito. 1052 p.

#### REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- Mapa de municipios del estado Falcón, tomado de: <http://www.a-venezuela.com/mapas/map/html/estados/falcon.html> (consultada el día 20/11/2005)
- Léxico estratigráfico: <http://www.pdv.com/lexico> (consultada el día 20/11/2005)
- Google-earth 4-0-2091 (Beta), versión 14 Septiembre, 2006