

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS MODAL DE LA PROCEDENCIA DE ARENISCAS DEL CAMPO HOMBRE PINTADO PARA UN INTERVALO DE LA FORMACIÓN AGUA CLARA, ESTADO FALCÓN

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Alarcón A., Armando J.
para optar al Título de
Ingeniero Geólogo

Caracas, Junio 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS MODAL DE LA PROCEDENCIA DE ARENISCAS DEL CAMPO HOMBRE PINTADO PARA UN INTERVALO DE LA FORMACIÓN AGUA CLARA, ESTADO FALCÓN

Tutor: Profa. Carolina Machillanda
CoTutor: Prof. Ricardo Alezones

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Alarcón A., Armando J.
para optar al Título de
Ingeniero Geólogo

Caracas, Junio 2008

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CONSTANCIA DE APROBACIÓN	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
RESUMEN	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Justificación	1
1.2 Objetivo General	2
1.3 Objetivos Específicos	3
1.4 Ubicación	3
1.5 Metodología	5
1.5.1 Fase Preliminar	5
1.5.2 Fase de laboratorio	5
1.5.3 Fase de oficina	6
1.6 Trabajos previos	10
1.6.1 Trabajos que siguen la misma metodología	11
CAPÍTULO 2. GEOLOGÍA REGIONAL	
2.1 Generalidades	13
2.2 Origen y Evolución Tectónica de la Cuenca de Falcón	13
2.3 Estratigrafía Regional	19
2.3.1 Formación Agua Clara	27
CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y MINERALÓGICA	
3.1 Generalidades	30
3.2 Descripción Mineralógica	33
3.2.1 Pozo HP-3	37
3.2.1.1 Cuarzo policristalino	37

3.2.1.2 Cuarzo monocristalino	38
3.2.1.3 Feldespatos	39
3.2.1.4 Fragmentos de roca y fósiles	40
3.2.1.5 Minerales accesorios y trazas	41
3.2.1.6 Matriz	42
3.2.1.7 Cemento calcáreo	42
3.2.1.8 Características texturales y granulométricas	43
3.2.2 Pozo HP-4	45
3.2.2.1 Cuarzo policristalino	45
3.2.2.2 Cuarzo monocristalino	46
3.2.2.3 Feldespatos	46
3.2.2.4 Fragmentos de rocas y fósiles	47
3.2.2.5 Minerales accesorios y trazas	48
3.2.2.6 Matriz	50
3.2.2.7 Características texturales y granulométricas	50
3.2.3 Pozo HP-5	52
3.2.3.1 Cuarzo policristalino	52
3.2.3.2 Cuarzo monocristalino	53
3.2.3.3 Feldespatos	53
3.2.3.4 Fragmentos de rocas y fósiles	54
3.2.3.5 Minerales accesorios y trazas	55
3.2.3.6 Matriz	57
3.2.3.7 Características texturales y granulométricas	57
3.2.4 Pozo HP-6	58
3.2.4.1 Cuarzo policristalino	58
3.2.4.2 Cuarzo monocristalino	60
3.2.4.3 Feldespato	60
3.2.4.4 Fragmentos de rocas y fósiles	61
3.2.4.5 Minerales accesorios y trazas	62
3.2.4.6 Cemento calcáreo	63

3.2.4.7 Características Texturales y Granulométricas	64
3.2.5 Pozo HP-7	65
3.2.5.1 Cuarzo policristalino	65
3.2.5.2 Cuarzo monocristalino	66
3.2.5.3 Fragmentos de rocas y fósiles	67
3.2.5.4 Minerales accesorios y trazas	68
3.2.5.5 Cemento calcáreo	69
3.2.5.6 Características texturales y granulométricas	70
3.3 Procesos Diagenéticos	71
3.4 Clasificación de las Areniscas	73
CAPÍTULO 4. PROCEDENCIA	
4.1 Generalidades	76
4.2 Diagramas de Procedencia	76
4.3 Resultados de Procedencia según diagramas ternarios	79
4.4 Terrenos expuestos durante para el Mioceno y posibles fuentes de aporte	89
4.5 Ambiente tectónico de sedimentación	91
4.6 Procedencia de las areniscas del Campo Hombre Pintado	93
SUMARIO Y CONCLUSIONES	97
RECOMENDACIONES	100
BIBLIOGRAFÍA	101
ANEXO 1. Datos del análisis Modal. Pozo HP-3	
ANEXO 2. Datos del análisis Modal. Pozo HP-4	
ANEXO 3. Datos del análisis Modal. Pozo HP-5	
ANEXO 4. Datos del análisis Modal. Pozo HP-6	
ANEXO 5. Datos del análisis Modal. Pozo HP-7	
ANEXO 6. Tabla de datos para clasificación PETTIJOHN, POTTER Y SIEVER (1973)	
ANEXO 7. Tabla de porcentajes de elementos mineralógicos	
ANEXO 8. Tabla de datos estadísticos granulométricos	
ANEXO 9. Resultados del análisis modal. Pozo HP-3	
ANEXO 10. Resultados del análisis modal. Pozo HP-4	

ANEXO 11. Resultados del análisis modal. Pozo HP-5

ANEXO 12. Resultados del análisis modal. Pozo HP-6

ANEXO 13. Resultados del análisis modal. Pozo HP-7

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 02 de Junio de 2008

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 Armando José Alarcón Arnal, titulado:

ANÁLISIS MODAL DE LA PROCEDENCIA DE ARENISCAS DEL CAMPO HOMBRE PINTADO PARA UN INTERVALO DE LA FORMACIÓN AGUA CLARA, ESTADO 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.

Profª. Carolina Machillanda
Jurado

Prof. Lenin González
Jurado

Prof. Rafael Falcón
Jurado

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela, por haberme dado el privilegio de formar parte de ella y de sentir el orgullo que significa ser un estudiante y próximamente un egresado, de esta, la más importante casa de estudios del país.

Al profesor Ricardo Alezones, por ser tan excelente profesor y aun mejor persona, por haberme brindado sus conocimientos, su tiempo y su paciencia.

A la profesora Carolina Machillanda y al profesor Marvin Baquero por haber colaborado con el cumplimiento de esta ardua tarea.

A los profesores Lenín González, Rafael Falcón y Enzo Carballo, por haber contribuido con la realización de este trabajo.

A mis padres, por ser siempre mis guías y mis soportes, por hacer de mí la persona que soy, por enseñarme lo que no se aprende estudiando, por su paciencia y comprensión. En fin... por ser mis padres... GRACIAS!!!

A Karla, por estar ahí cuando más lo necesité, por ayudarme y motivarme, por ser mi mejor compañera, por creer en mí, por ser mi equilibrio, por demostrármelo cada día y hacerme tan feliz... TE AMO!!!

A Ronald, por ser mi hermano, por nunca fallar como amigo, por permitir que tú casa fuese mi casa, por sacarme de muchos problemas y por evitar que me metiera en otros tantos... GRACIAS HERMANO MENOR!!!

A Joha y a mi Grazi, por ser tan excelentes amigas, por haber estado conmigo desde el comienzo de la carrera, por echarme una mano cada vez que se los pedí y por ser mis amigas incondicionales. LAS QUIERO MUCHO MIS COMPAÑERAS DE CAMPO!

A la señora Isabel, por tratarme como a un hijo y siempre estar pendiente.

A la Familia Méndez, por abrirme las puertas de su casa, por darme su confianza y ser unas personas tan especiales conmigo... GRACIAS POR TODO!

A mis amigos de la escuela que de una u otra forma contribuyeron en el desarrollo y culminación de esta etapa de mi vida: Maria Fernanda, Juan Carlos Hildemaro, Manuel, Ángel, Woodward y Richard. A los amigos de afuera con los que compartí tanto durante este tiempo: Rubén, Juan, Odiel, Tomás, Víctor y a todos los que en este momento no recuerdo, GRACIAS...

Alarcón A., Armando J.

**ANÁLISIS DE LA PROCEDENCIA DE ARENISCAS EN EL
SUBSUELO DEL CAMPO HOMBRE PINTADO PARA UN
INTERVALO DE LA FORMACIÓN AGUA CLARA, ESTADO
FALCÓN**

**Tutor: Profa. Carolina Machillanda. CoTutor: Prof. Ricardo Alezones. Tesis.
Caracas. UCV. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
Ingeniero Geólogo. 2008. 107 h. +anexos.**

**Palabras claves: Análisis modal, Procedencia, Campo Hombre Pintado,
Formación Agua Clara, Ambiente Tectónico.**

Resumen

Con la finalidad de determinar la procedencia de las areniscas en el subsuelo del Campo Hombre Pintado para un intervalo de la Formación Agua Clara, clasificar los diferentes tipos de rocas estudiados y establecer el marco tectónico presente durante la depositación de estos sedimentos, se realizó un análisis cualitativo de las diferentes muestras para estudiar de forma general la composición de las rocas y sus características texturales como granulometría y porosidad y se realizó también un análisis cuantitativo por medio del método de petrografía modal desarrollado por YORIS (1989), el cual basándose en parámetros estadísticos permitió clasificar los diferentes tipos de rocas según la clasificación de PETTJOHN *et. al.* (1973). Estos valores estadísticos fueron vaciados en los diagramas de procedencia propuestos por DICKINSON (1979) para determinar así las posibles zonas de procedencia de las rocas y establecer el ambiente tectónico de sedimentación.

De los resultados se tiene que las areniscas estudiadas se clasifican principalmente en arenitas cuarzosas, arenitas líticas y sublitarenitas, siendo las más abundantes las arenitas cuarzosas. Con respecto a la procedencia se tiene que las rocas presentan dos tendencias en general, la primera corresponde a una zona de cratón interior, mientras que la segunda esta relacionada con un orógeno reciclado.

Relacionando estos resultados con la composición y mineralogía característica de las muestras y de las zonas expuestas durante el Mioceno, se concluye que las rocas del primer grupo pueden tener como posibles fuentes de aporte el Macizo de El Baúl, como fuente principal y el Escudo de Guayana como fuente secundaria, ambas ubicadas al sureste de la Cuenca de Falcón. Mientras que el segundo grupo puede haber recibido sus sedimentos de zonas como Los Andes Venezolanos y el Flanco Norandino ambos ubicados al suroeste, así como también de la Cadena Caribe ubicada al noreste.

Del ambiente tectónico se puede decir que la sedimentación de la Cuenca de Falcón durante el Mioceno estuvo influenciada por todos los eventos tectónicos que

se desarrollaron en la región gracias al choque de la placa suramericana con la placa del Pacífico y la placa Caribe, como el levantamiento de los Andes, la Cordillera Oriental Colombiana y la Sierra de Perijá, así como también el levantamiento de la Cadena Caribe.

ÍNDICE DE TABLAS

1. Tabla de correlación de formaciones del Terciario en Falcón	29
2. Descripción Macroscópica de las muestras del Pozo HP-3	33
3. Descripción Macroscópica de las muestras del Pozo HP-4	34
4. Descripción Macroscópica de las muestras del Pozo HP-5	35
5. Descripción Macroscópica de las muestras del Pozo HP-6	35
6. Descripción Macroscópica de las muestras del Pozo HP-7	36
7. Clasificación de todas las muestras según PETTIJOHN, POTTER Y SIEVER (1973)	75
8. Zonas y Subzonas de procedencia	78
9. Resumen de resultados de procedencia y tipos de roca	88
10. Características mineralógicas más importantes de las zonas	90
11. Distribución de muestras en las zonas de procedencia determinadas	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Ubicación del área de estudio (Tomado de Google Earth)	3
2. Ubicación regional de los pozos de los cuales se tomaron las muestras	4
3. Microscopio Petrográfico Leitz H-pol con platina de vernier ajustable	6
4. Planilla de datos de Petrografía Modal	7
5. Distribución de los datos en la hoja de Excel	8
6. Resultados en el Bloc de notas	9
7. Programa Análisis Modal	9
8. Evolución de las cuencas “Pull Apart” Falcón-Bonaire	15
9. Generación de cuencas extensionales asociadas a transcurrancia al sur del límite entre las placas del Caribe y Suramericana.	16
10. Marco geológico regional para la sedimentación en Venezuela occidental	16
11. Máximo desarrollo del “Pull–Apart” y generación de extensas áreas positivas al norte de Falcón	17
12. Colmatación de las cuencas antepaís y levantamiento regional del norte de Venezuela.	18
13. Modelo de orógeno de flotación para la Cuenca de Falcón-Bonaire	19
14. Paleogeografía del Oligoceno	24
15. Relación de cuarzo policristalino de base a tope del pozo HP-3	37
16. Grano de cuarzo policristalino en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-3	38
17. Relación de cuarzo monocristalino de base a tope en el pozo HP-3	39
18. Concentración de feldespatos sin diferenciar en el pozo HP-3	39
19. Relación entre fragmentos de rocas y fósiles en el pozo HP-3	40
20. Fragmento de lutita en fotomicrografía de sección fina en el pozo HP-3	41
21. Relación de minerales accesorios y trazas en el pozo HP-3	41
22. Concentraciones de matriz en el pozo HP-3	42

23.	Concentraciones de cemento calcáreo en el pozo HP-3	43
24.	Promedio de diámetros de los granos en el Pozo HP-3	44
25.	Variación de porosidad de base a tope en el pozo HP-3	44
26.	Relación de cuarzo policristalino de base a tope en el pozo HP-4	45
27.	Relación de cuarzo monocristalino de base a tope en el pozo HP-4	46
28.	Concentraciones de feldespatos sin diferenciar en el pozo HP-4	47
29.	Relación entre fragmentos de rocas y fósiles en el pozo HP-4	48
30.	Fragmento fósil en fotomicrografía de sección fina en el pozo HP-4	48
31.	Relación de minerales accesorios y trazas en el pozo HP-4	49
32.	Glauconita en fotomicrografía de sección fina en el pozo HP-4	49
33.	Concentraciones de matriz en el pozo HP-4	50
34.	Relación de tamaños de granos en el pozo HP-4	51
35.	Variación de porosidad de base a tope en el pozo HP-4.	51
36.	Relación de cuarzo policristalino de base a tope en el pozo HP-5	52
37.	Cuarzo policristalino en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-5	52
38.	Relación de cuarzo monocristalino de base a tope en el pozo HP-5	53
39.	Concentraciones de feldespatos sin diferenciar en el pozo HP-5	54
40.	Relación entre fragmentos de rocas y fósiles en el pozo HP-5	55
41.	Relación de minerales accesorios y trazas en el pozo HP-5	56
42.	Hematita autigénica en fotomicrografía de sección fina	56
43.	Concentraciones de matriz en el pozo HP-5	57
44.	Relación de tamaños de granos en el pozo HP-5	58
45.	Variación de porosidad de base a tope en el pozo HP-5	58
46.	Relación de cuarzo policristalino de base a tope en el pozo HP-6	59
47.	Cuarzo policristalino en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-6	59
48.	Relación de cuarzo monocristalino de base a tope en el pozo HP-6	60
49.	Concentraciones de feldespatos sin diferenciar en el pozo HP-6	61
50.	Relación entre fragmentos de rocas y fósiles en el pozo HP-6	62
51.	Relación de minerales accesorios y trazas en el pozo HP-6	62
52.	Concentraciones de cemento calcáreo en el pozo HP-6	63

53. Cemento calcáreo en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-6	63
54. Relación de tamaños de granos en el pozo HP-6	64
55. Variación de porosidad de base a tope en el pozo HP-6	65
56. Relación de cuarzo policristalino de base a tope en el pozo HP-7	66
57. Cuarzo policristalino en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-7	66
58. Relación de cuarzo monocristalino de base a tope en el pozo HP-7	67
59. Relación entre fragmentos de rocas y fósiles en el pozo HP-7	68
60. Fragmento de lutita en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-7	68
61. Relación de minerales accesorios y trazas en el pozo HP-7	69
62. Concentraciones de cemento calcáreo en el pozo HP-7	69
63. Cemento calcáreo en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-7	70
64. Relación de tamaños de granos en el pozo HP-7	71
65. Variación de porosidad en el pozo HP-7	71
66. Granos de cuarzo triturados en fotomicrográfrica de sección fina del pozo HP-5	73
67. Relación de tipos de rocas en los pozos (L no incluye Q.P)	74
68. Relación de tipos de rocas en los pozos (L incluye Q.P y Chert)	74
69. Diagramas ternarios de procedencia según DICKINSON (1985)	77
70. Ubicación de los diferentes ambientes tectónicos a partir de los diagramas QFL de DICKINSON (1986).	79
71. Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-3	81
72. Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-4	82
73. Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-5	83
74. Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-6	84
75. Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-7	85
76. Diagramas ternarios de procedencia para el total de las muestras de los pozos estudiados.	86
77. Configuración de los terrenos expuestos y sedimentación regional en Venezuela para el Mioceno Plioceno.	89
78. Mapa paleogeográfico de la procedencia de los sedimentos	96

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Entender la dinámica de los diferentes procesos que intervienen en la formación de los sedimentos y en su transporte, así como conocer la procedencia de los mismos es importante, ya que a partir de la determinación de estos procesos, es posible llevar a cabo la reconstrucción de los ambientes de depósito y sus probables correlaciones, lo que aporta evidencias claves para el conocimiento de la evolución geológica y tectónica de una región en particular, y su evolución paleogeográfica en un contexto global.

1.1 Justificación

Este tipo de estudios se han realizado con mas frecuencia en la Cuenca del Lago de Maracaibo, por la gran importancia económica que representa esta zona, y por la necesidad de poseer un conocimiento amplio de las condiciones bajo las cuales se depositaron estos sedimentos, también se han propuesto estas investigaciones para regiones como Nueva Esparta, algunas zonas de Falcón y para la Formación Guárico.

Basándose en el contexto mencionado anteriormente el siguiente trabajo busca determinar mediante el estudio petrográfico cuantitativo, la procedencia de los sedimentos arenosos del campo Hombre Pintado, pertenecientes a la Formación Agua Clara de la Cuenca de Falcón.

Este trabajo se realizará en el marco del Proyecto “Tupure –Carora”, que actualmente realiza la empresa PDVSA Exploración.

1.2 Objetivo General

Determinar la procedencia de los sedimentos clásticos arenosos en subsuelo del Campo Hombre Pintado, para un intervalo de la Formación Agua Clara, mediante el análisis modal de petrografías en rocas sedimentarias de diferentes núcleos del campo y establecer el marco tectónico relativo a la depositación de estos sedimentos.

1.3 Objetivos Específicos

- Realizar el estudio petrográfico modal de las muestras consideradas.
- Calcular estadísticamente la composición mineralógica en general de la unidad estudiada.
- Clasificar las muestras según su composición mineralógica por medio de la clasificación de PETTIJOHN, POTTER Y SIEVER (1973).
- Determinar la procedencia de los sedimentos de la unidad utilizando los diagramas de DICKINSON *et. al.* (1983) y DICKINSON Y SUCZEK (1979) y establecer el marco tectónico presente durante la depositación de los mismos.
- Comparar el marco tectónico establecido con los diferentes modelos de tectónica propuestos para el momento de la depositación.

1.4 Ubicación

La unidad litológica que será objeto de estudio en este trabajo, se encuentra ubicada en el subsuelo de la Cuenca de Falcón, específicamente en la Formación Agua Clara en el Campo Hombre Pintado (Fig.1). Este campo se encuentra ubicado a 16 km al noreste del Campo El Mene Mauroa, al oeste del estado Falcón.

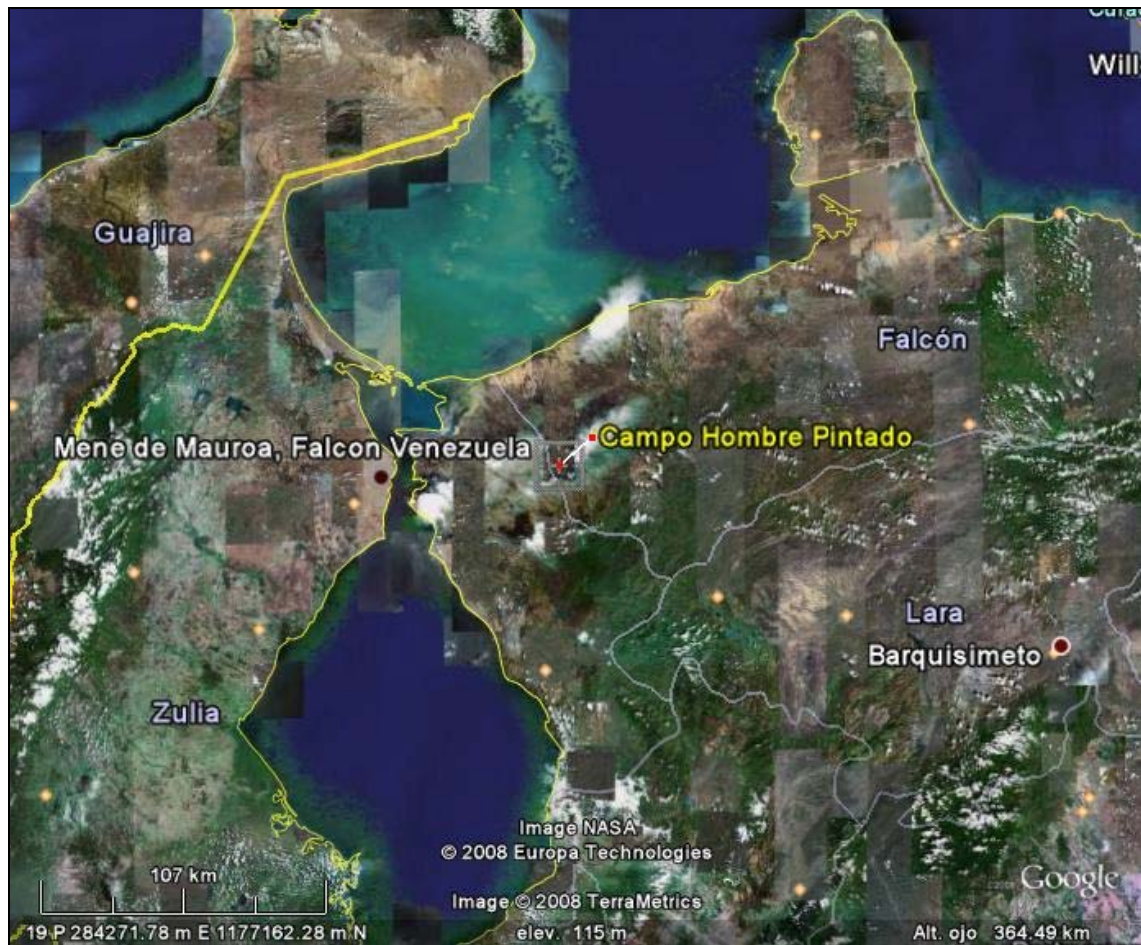


Fig. 1. Ubicación del área de estudio (Tomado de Google Earth)

La zona de estudio abarca un área triangular de aproximadamente 2700 m^2 , y se encuentra delimitada por los pozos HP-7, HP-5 y HP-3. Las coordenadas de dichos pozos son:

- HP-7: N 1.191.097, E 289.014
- HP-5: N 1.191.852, E 290.912
- HP-3: N 1.190.914, E 291.005

En las figuras 2a y 2b, se muestra un mapa con la ubicación geográfica regional del área de estudio, donde se hace un aumento de la distribución de los pozos del

Campo Hombre Pintado y se resaltan los nombres de los pozos con núcleos de los cuales fueron tomadas las muestras.

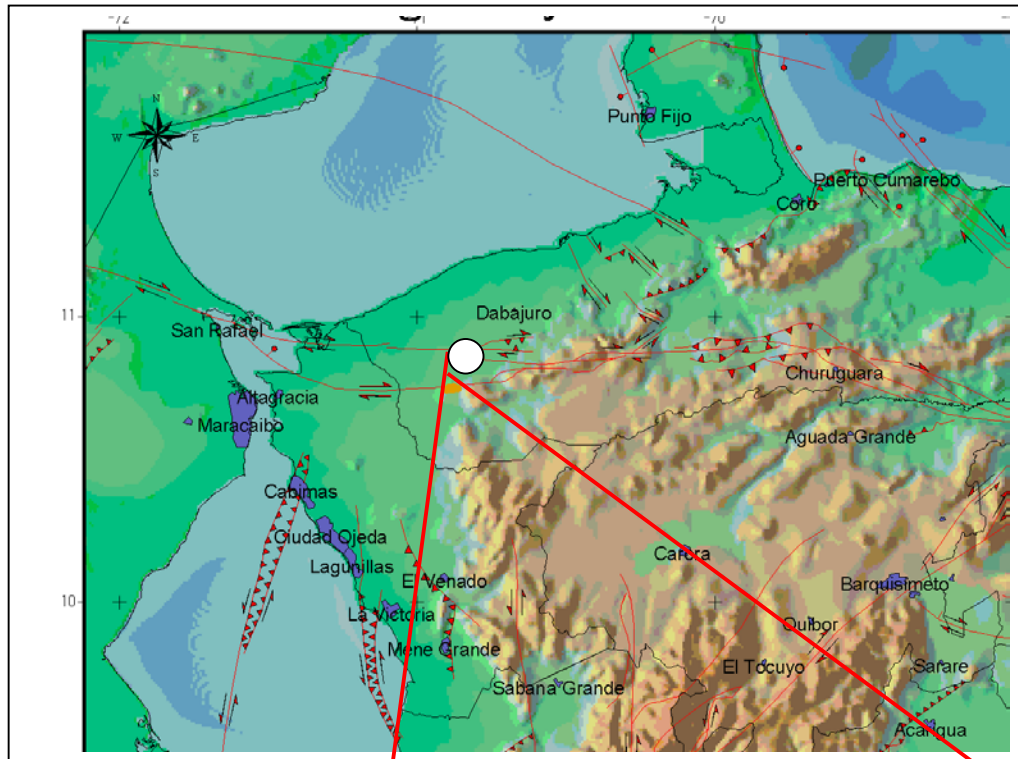


Fig. 2a

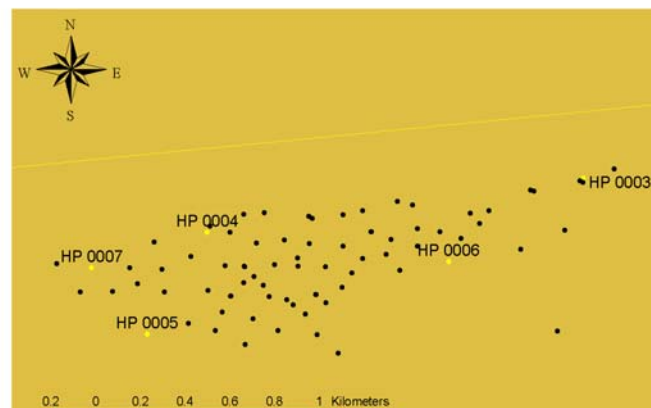


Fig. 2b

Fig. 2. (a) Ubicación regional de los pozos de los cuales se tomaron las muestras. (b) Detalle de la distribución de los pozos. (Tomado de informe de Física de Rocas Proyecto Tupure-Carora. Suministrados por el Ing. Marvin Baquero)

1.5 Metodología

El desarrollo metodológico de este trabajo se realizó en tres etapas que se describen a continuación:

1.5.1 Fase preliminar:

- Se realizaron las revisiones bibliográficas necesarias, para obtener la mayor información posible de trabajos previos relacionados con la procedencia de sedimentos a partir de petrografía modal, a fin de conocer la metodología a seguir para este tipo de investigación.
- Se hizo un estudio bibliográfico para conocer los aspectos más importantes de la Formación Agua Clara, incluyendo la revisión de la información sobre el Campo Hombre Pintado, como ubicación de la zona de estudio, distribución de los pozos explorados y descripción macro de las muestras recogidas; la cual fue suministrada por el Ingeniero Marvin Baquero, al igual que las secciones petrográficas estudiadas.

1.5.2 Fase de laboratorio:

- Se seleccionaron las secciones finas correspondientes a fragmentos de núcleos tomados de pozos en el Campo Hombre Pintado de la Formación Agua Clara, con la finalidad de determinar cuáles de ellas eran aptas para ser sometidas al análisis modal, para esto se tomaron en cuenta aquellas secciones de grano medio a grueso.

- Se realizó el análisis modal de 33 secciones finas seleccionadas, para determinar cuantitativamente los componentes minerales de cada muestra, así como sus características físicas y texturales, para lo cual se siguieron los siguientes pasos:
- Se procedió a la lectura de al menos 300 puntos sobre cada sección fina, utilizando un microscopio petrográfico, al cual se le instala un ocular con hilos graduados para medir los diámetros mayor y menor de cada grano, y una platina con vernier (Fig. 3) que permite realizar un barrido controlado, el cual se basa en el sistema de coordenadas (x,y) de un plano.



Fig. 3. Microscopio Petrográfico Leitz H-pol con platina de vernier ajustable.

Cada uno de los puntos se define como el grano que se ubica en el cruce de los hilos, a éste se le asigna un número que representa la especie mineral del mismo, de igual manera se toman sus diámetros y luego se transcriben los datos en una planilla, acompañados por el número de la medición, las coordenadas en las que se ubica dicho punto y el número del objetivo utilizado. El modelo de las planillas utilizadas por muestra se presenta a continuación en la Fig. 4.

MUESTRA N°: 1			OCULAR N°:10		
FORMACIÓN:	A.C.		POZO:HP3		
N° DE LECTURAS:	300				
PROFUNDIDAD:540'					
LECTURA	PUNTO	VARIABLE	OBJETIVO	D	d
#1					
#2					
#3					
#4	(2,6)	5	10	15	8
#5	(2,7)	6	10	9	4
#6					
#7					
#8					
#9					
#10					
#11					
#12					
#13					
#14					
#15					
#16					
#17					
#18					
#19					

Fig. 4. Modelo de planilla de datos de Petrografía Modal

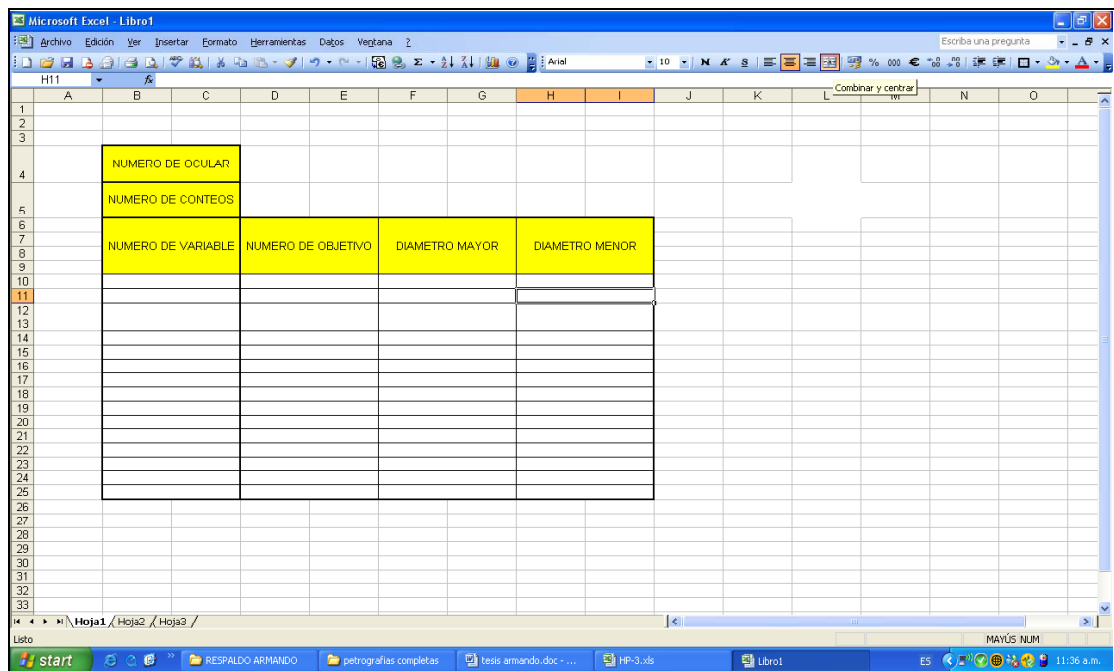
- Los datos obtenidos de todas las secciones se llevaron al programa de Análisis Modal desarrollado por YORIS (1989), el cual procesa estadísticamente los datos y clasifica cada muestra de arenisca según los criterios de PETTIJOHN *et. al.* (1972), al igual que arroja los porcentajes de composición mineralógica que se utilizan para determinar la procedencia de los sedimentos y el marco tectónico asociado mediante las clasificaciones propuestas por DICKINSON y SUCZEK (1979).

1.5.3 Fase de oficina:

Esta etapa se basó en la introducción de los datos en la herramienta computacional utilizada para obtener los parámetros estadísticos.

Para cargar los datos en el programa “Análisis Modal” se siguieron los siguientes pasos:

- Se transcribieron los datos de las planillas en una hoja de cálculo del programa Microsoft Office Excel, organizados como se muestra en la Fig. 5.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2															
3															
4			NUMERO DE OCULAR												
5			NUMERO DE CONTEOS												
6															
7			NUMERO DE VARIABLE	NUMERO DE OBJETIVO		DIAMETRO MAYOR		DIAMETRO MENOR							
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															

Fig.5. Distribución de los datos en la hoja de Excel

- Se llevaron estos datos a un Bloc de notas donde se guardaron bajo el formato de Texto (delimitado por tabulaciones), una vez guardados se les añadió a cada Bloc de notas cuatro símbolos de punto y coma al final de la primera columna (Fig. 6), ya que de no hacerlo, el programa no reconocería los datos.

The screenshot shows a Windows 7 desktop environment. A Notepad++ window is open, displaying a list of numbers. The taskbar at the bottom shows several open applications, including the Start button, Internet Explorer, Firefox, Notepad++, a folder named 'RESALDO AYRAL...', a folder named 'datos analisis model...', a folder named 'tesis emmanuel...', a folder named 'CAMERAWIN ex...', iTunes, and a folder named 'HP3-627.txt - Notepad++'. The system clock in the bottom right corner shows the date as 11/19/2014 and the time as 11:59 a.m.

The Notepad++ window is titled 'HP3-627.txt - Notepad++'. The text content is as follows:

```

File Edit Format View Help
10 11 6
10 10 5
10 9 8
10 10 9
10 8 4
10 12 8
10 7 5
10 10 6
10 6 3
10 7 6
10 8 5
10 11 7
10 13 7
10 9 6
10 12 9
10 11 8
10 8 4
10 9 6
10 11 7
10 10 8
10 10 5
10 12 5
10 15 9
10 12 7
10 10 6
10 9 6
10 14 6
10 11 3
10 11 3
10 10 8
10 6 2
10 15 8
10 28 15
10 8 6
10 10 6
10 6 5
10 11 9
10 12 4
10 9 3
10 9 4
10 11 7
10 9 4
10 10 6
10 7 6
10 8 5
10 9 8
10 16 10
10 6 10

```

Fig.6. Resultados en el Bloc de notas

- Luego de haber guardado estos cambios, se procedió a importar los datos desde el programa Análisis Modal, presionando la tecla “Cargar datos de archivo”. Fig. 7.



Fig. 7. Programa Análisis Modal
(El botón señalado importa la data del Bloc de notas)

- Cargados los datos en el cuadro del programa, se presiona la tecla “Calcular” y el programa procesa la data, para acceder a los resultados se abre la pestaña

“Resultados” y allí se observan todos los parámetros estadísticos en forma de texto. Estos resultados fueron guardados en diferentes archivos con el número correspondiente de cada muestra, para luego ser graficados en diagramas ternarios con la ayuda del programa “Tri Draw”.

- Por último se tomaron los triángulos graficados en “Tri Draw” y utilizando el programa “CorelDraw” se plasmaron sobre las plantillas de los diagramas ternarios de procedencia de DICKINSON Y SUCZEK (1979)

1.6 Trabajos Previos

- LIDDLE (1928) hace un amplio estudio de la Formación Agua Clara tomando en consideración aspectos como: características litológicas, estratigráficas, paleontológicas, además define sus límites, establece correlaciones y describe sus expresiones topográficas a lo largo de su extensión.
- DIAZ DE GAMERO (1976) hace un estudio de las relaciones de facies en la parte central de la Cuenca de Falcón durante el Oligoceno y Mioceno inferior, partiendo de las unidades litológicas y de la microfauna contenida en ella.
- ESCORIHUELA & RONDÓN (2002) hacen un estudio de las rocas ígneas aflorantes en la región central de la Cuenca de Falcón basándose en análisis petrográficos y químicos aplicados a muestras recolectadas en la zona.

1.6.1 Trabajos que siguen la misma metodología:

- CASTILLO M. (1995) estudia la procedencia de las rocas clásticas del Eoceno en el sector oriental de la Cuenca de Maracaibo y su relación con la tectónica Caribe y Andina
- MILIÁN F. (1998) realiza el estudio de la procedencia de las rocas clásticas del Paleógeno en el Lago de Maracaibo y la relaciona con la tectónica Caribe, utilizando el método de análisis modal.
- NUÑEZ M. (1998) estudia la procedencia de las rocas clásticas del Eoceno en la costa suroriental del Lago de Maracaibo, mediante el análisis modal y establece su relación con la tectónica Caribe.
- QUINTERO J. (1998) estudia el significado tectónico y la procedencia de las rocas clásticas de la Formación Gobernador en el flanco Surandino, basándose en la petrografía modal.
- BERMUDEZ *et. al.* (2003) realizan el estudio de las litofacies, diagénesis, procedencia y quimioestratigrafía de la Formación Cerro Pelado en la Cuenca de Falcón.
- VELÉZ R. (2007) hace la caracterización litoestratigráfica del límite Eoceno-Oligoceno de la zona sur-central de la Cuenca de Falcón, para lo cual determina la procedencia de los sedimentos de dicho límite por medio del análisis modal.
- BENEDETTI & HERNÁNDEZ (2007) estudian la evolución tectono-estratigráfica y la procedencia de los sedimentos clásticos del Surco de Guárico basándose en el análisis modal de petrografías.

- LEÓN & MOLINA (2007) estudian la evolución tectono estratigráfica y la procedencia de los sedimentos clásticos del surco de Guárico, aplicando el análisis modal a muestras tomadas en los afloramientos de la carretera San Juan de los Morros-Ortíz.

CAPÍTULO 2

GEOLOGÍA REGIONAL

2.1 Generalidades

La Cuenca de Falcón ocupa una extensión de 35.000 km² aproximadamente y un volumen de sedimentos de 160.000 km³. Su mayor longitud, entre La Victoria y Boca del Tocuyo, es de 320 km aproximadamente y a lo ancho, entre la ensenada de La Vela de Coro y Churuguara alcanza 100 km.

La cuenca está delimitada por el Lago de Maracaibo al occidente; el límite al norte y al este se encuentra definido por la línea de costa del Golfo de Venezuela y su prolongación; el Golfete de Coro por el istmo de los Medanos y por la costa del Atlántico hasta el Golfo Triste, y al sur por la Sierra de Churuguara

2.2. Origen y Evolución Tectónica de la Cuenca de Falcón

La Cuenca de Falcón se originó durante el Eoceno Tardío – Oligoceno, abarcó una gran porción de la región noroccidental de Venezuela durante el Terciario y en este período fue principalmente una cuenca marina rodeada por zonas emergidas, excepto al este y hacia el norte (MUESSIG, 1984, y AUDEMARD, 1997).

Posterior a la fase de sobrecorrimento del alóctono Caribe durante una fase de compresión de edad Paleoceno - Eoceno Temprano, se instalaron sobre éste la parte oriental y central de la Cuenca de Falcón, esto como consecuencia de un colapso post-orogénico asociado con la desaceleración de la placa Caribe debido a los niveles de colisión oblicua alcanzados en el margen meridional de la misma (AUDEMARD, 1997).

Por el contrario, su parte más occidental está en contacto con la plataforma carbonática de Maracaibo. El neoa autóctono falconiano es esencialmente de edad Oligoceno-Mioceno.

AUDEMARD & DE MENA (1985) reconocen una fase compresiva de sentido nortesur desarrollada durante el Cretácico Tardío y el Eoceno Medio en la región oriental de Falcón. Dicho episodio trajo como consecuencia el choque de la placa Caribe con la placa Suramericana, este choque, el cual se genera de manera transpresiva destrál comenzó a deformar todo el límite norte del continente Suramericano.

La Cuenca de Falcón es el resultado de los esfuerzos distensivos que se generaron a lo largo de la zona de contacto de las dos placas.

MUESSIG (1978) ubica el origen de la Cuenca de Falcón en una zona “Pull Apart” durante el Eoceno Tardío a Oligoceno, causada por el movimiento transcurrente entre la placa Caribe y la Suramericana. También definió este contacto como una falla transformante que se evidencia en una cantidad de fallas destrales alineadas que conectan la Falla de Oca con la Falla de San Sebastián. Gracias a estas fallas y al movimiento transcurrente sobre las mismas, se generó la distensión en dirección noreste, dando origen a una serie de fallas normales y con estas el adelgazamiento de la corteza y la generación de magmas alcalinos basálticos. Esta estructura de “graben” estaba conformada 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 Paraguaná, Dabajuro, La Guajira y el sur de Siquisique.

El autor menciona en su teoría que las islas de Los Monjes y La Orchila, La península de Paraguaná y la Cuenca de Falcón estaban casi yuxtapuestas durante el Eoceno Temprano y que es a partir del Eoceno Tardío que se genera la cuenca en extensión evidenciándose en el vulcanismo y en las fallas tanto destrales como transcurrentes, las cuales pasan a ser transcurrente destrál del Oligoceno al Mioceno dándole a la cuenca su configuración actual. Para dicha extensión el autor propone

dos configuraciones iniciales del área las cuales se muestran la figura 8, (a) y (b) son las dos configuraciones propuestas por el autor, anteriores a la extensión del Eoceno Tardío y (c) es la configuración actual. Tomado de MUESSIG (1978).

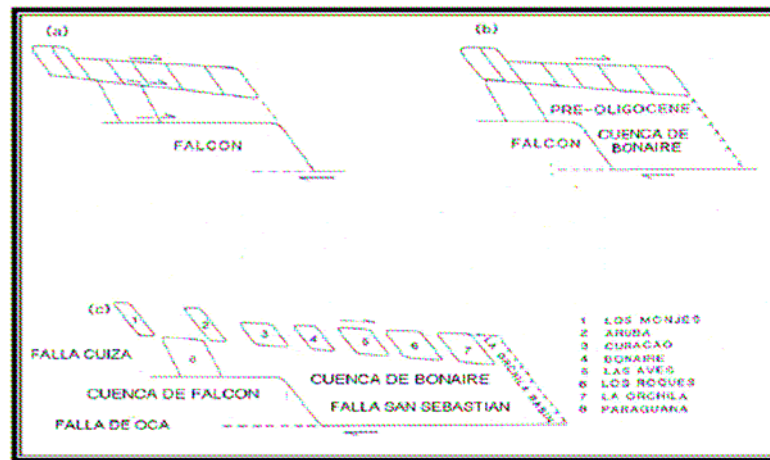


Fig. 8. Evolución de las cuencas “Pull Apart” Falcón-Bonaire, (a) y (b) configuraciones propuestas anteriores a la extensión Eoceno Tardío. (c) Configuración actual.

MACELLARI (1995) al igual que MUESSIG (1978) propone el modelo “Pull Apart” para la generación de la cuenca en el proceso de generación de la cuenca, ya que este permite explicar la presencia de los flujos basálticos.

MACELLARI (1995) en el Eoceno Tardío se genera el desplazamiento entre las placas Caribe y Suramericana, resultando así la formación de una extensa zona de “Pull Apart” en el margen norte de Suramérica entre el “ridge” de Curazao y el sistema de fallas San Sebastián-Oca. Fig. 9.

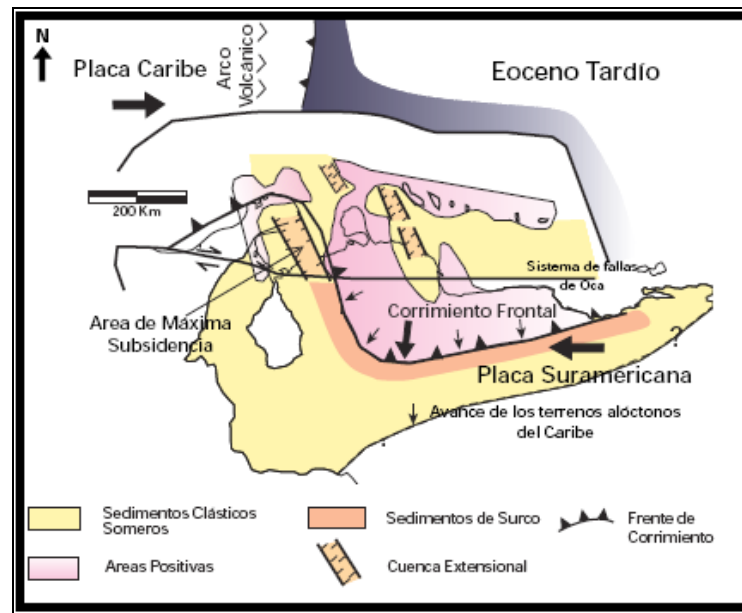


Fig. 9. Generación de cuencas extensionales asociadas a transcurrancia al sur del límite entre las placas del Caribe y Suramericana; las áreas de máxima subsidencia se ubicaron al norte del estado Falcón, tomado de la WEC, modificado de MACELLARI, (1995).

Es durante el Oligoceno, cuando la cuenca alcanza su máxima profundidad y desarrollo, en donde la sedimentación es distinta a la de las cuencas de Maracaibo, Barinas – Apure y la Cuenca Oriental. Fig. 10

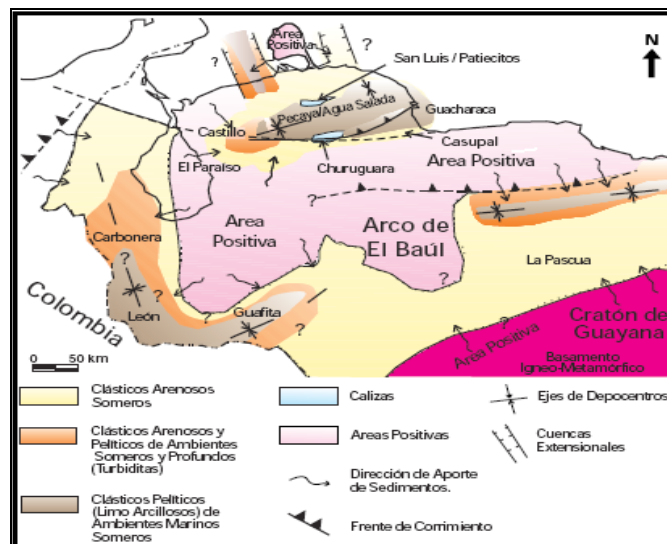


Fig.10. Marco geológico regional para la sedimentación en Venezuela occidental (cuencas de Maracaibo, Falcón, Barinas – Apure y Oriental subcuenca de Guárico) durante el Oligoceno, tomado de la WEC, modificado de MACELLARI, (1995).

Durante el Oligoceno y Mioceno comenzó un estrechamiento de la cuenca “Pull Apart” debido al empuje del material alóctono que se estaba sedimentando en ella, por lo que los ejes de máxima subsidencia migraron hacia el oeste entre Urumaco y la Bahía de la Vela. El desplazamiento continuó a través de la Falla de Oca formando un frente de empuje que avanzó al norte generando una cuenca “Foreland” mientras que al sur y al este evoluciona la misma cuenca con surcos de sedimentación. Fig.11.

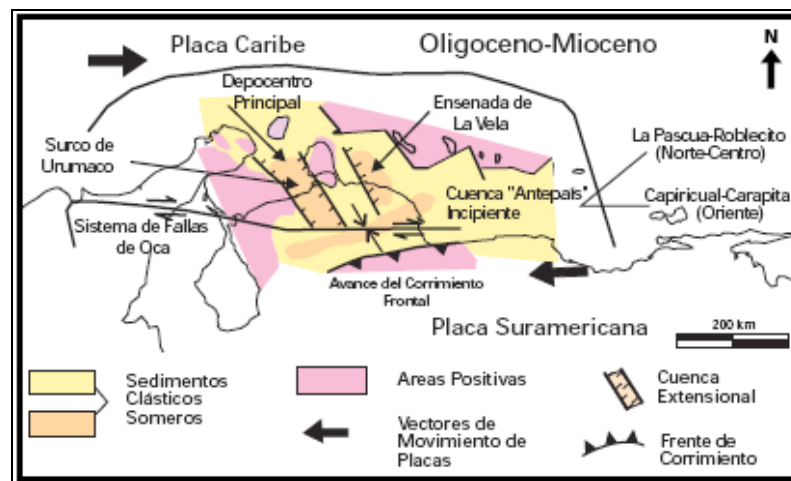


Fig. 11. Máximo desarrollo del “Pull–Apart” y generación de extensas áreas positivas al norte de Falcón, tomado de la WEC, modificado de MACELLARI, (1995)

Luego durante el Plioceno, ocurre la colmatación de la cuenca antepaís y un levantamiento generalizado del norte del país así como la deformación de grandes áreas debido al movimiento de las fallas de Boconó, San Sebastián y Oca, que generaron cuencas extensionales y además de la migración del frente de falla del anticlinorio de Falcón, todos hacia el norte. Por otro lado, durante este período, se genera el movimiento dextral de la Falla de Boconó que, adicionado al movimiento de la Falla de Oca, generaron un depocentro al sureste de la cuenca, en el cual se generaron los depósitos de edad Plioceno. Fig. 12.

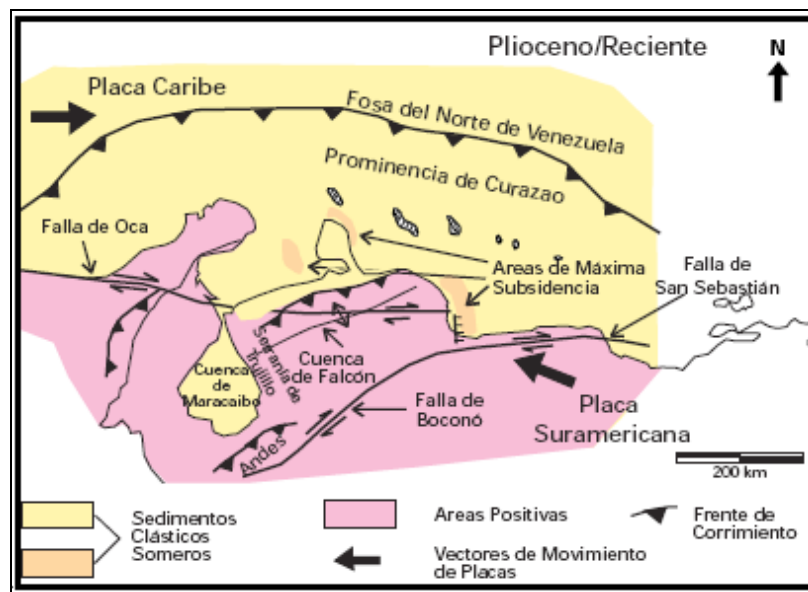


Fig. 12. Colmatación de las cuencas antepaís y levantamiento regional del norte de Venezuela, resultado de la deformación de extensas zonas asociadas al sistema de fallas de Boconó, San Sebastián y Oca; cuencas extensionales se mantienen al norte del estado Falcón, tomado de la WEC, modificado de MACELLARI, (1995)

AUDEMARD (1995) relaciona el origen de la cuenca con una fase “rifting” de edad Eoceno Tardío-Oligoceno generalizada en todo el margen septentrional de Venezuela. Establece que la Cuenca de Falcón se originó como resultado de un proceso de “rifting”, consecuencia de un campo de esfuerzo regional distensivo. La subsidencia tectónica de la cuenca, culminó en el límite Oligoceno - Mioceno con las últimas intrusiones y coladas basálticas y la colmatación sedimentaria.

El cierre de la cuenca se inicia en el Mioceno Temprano y Mioceno Medio distinguiéndose una primera etapa donde se produce la inversión tectónica generándose el anticlinorio de Falcón, reduciendo de esta manera el proceso sedimentario solo hacia el flanco norte de dicho anticlinorio. Durante el Mioceno – Plioceno se produce una fase de compresión y en el intervalo que va desde el Plioceno al Pleistoceno se configura la cuenca conocida actualmente bajo una fase compresiva.

PORRAS (2000), propone el modelo de colapsos extensionales en una cuenca retroarco, el cual define que la Cuenca de Falcón - Bonaire estuvo relacionada a dichos colapsos, en un orógeno de flotación que colisionó oblicuamente con el extremo noroccidental de la placa Suramericana, suturándose diacronicamente de oeste a este, desde el Cretácico Tardío hasta comienzos del Mioceno Temprano, este modelo se basa en el propuesto por OLDOW *et. al.* (1990), citado en PORRAS, (2000). Como resultado del 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. Fig. 13.

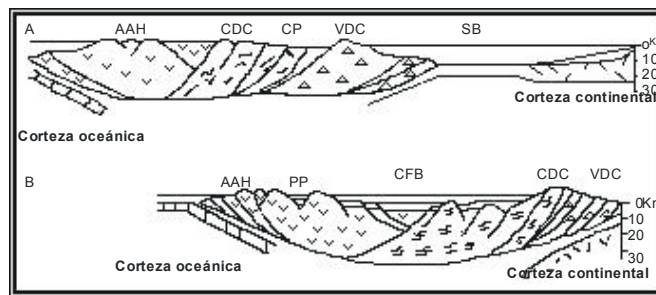


Fig. 13. Modelo de orógeno de flotación para la Cuenca de Falcón-Bonaire. A) Configuración tectónica para el Paleoceno-Eoceno Medio. B) Configuración tectónica para el Eoceno Tardío. SB, Surco de Barquisimeto; CP, Cuenca de retroarco de Paracotos; VDC, Arco de Islas de Villa de Cura; CDC, Terrenos de 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)

2.3. Estratigrafía Regional

En este punto, se describirán las generalidades de aquellas formaciones que se encuentran presentes durante la evolución de la Cuenca de Falcón hasta el período de su máxima subsidencia, las cuales son: Santa Rita, Jarillal, El Paraíso, Pecaya, Churuguara y Castillo.

HUNTER (1974) 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. Sin embargo, hacia el este de Falcón, aflora la Formación Cerro Misión, discordante sobre el Eoceno Medio (MACELLARI, 1995). Dicha formación se caracteriza por ser una secuencia lutítica marina rica en microfósiles, que se encuentra discordante subyaciendo a la Formación Guacharaca. En cuanto al ambiente de sedimentación, el mismo es asociado a profundidades batiales (LEV, 2005).

GONZÁLEZ DE JUANA *et. al.* (1980) después del período orogénico del Eoceno Tardío, la Cuenca de Falcón se individualiza y durante el intervalo de tiempo Oligo – Mioceno, se estrecha debido al empuje del material alóctono, recibiendo el nombre de canal falconiano, los ejes de subsidencia migran hacia el oeste entre Urumaco y la bahía de La Vela, de tal forma que se desarrollan ambientes marinos profundos en la parte central de la cuenca, mientras que en los bordes, se producía la sedimentación marginal con mayor influencia terrígena.

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, 1997; citado de ARIZA, 2006). 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).

GONZÁLEZ DE JUANA *et. al.* (1980) se cree que las rocas más antiguas 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 Temprano ocupa la parte central de la cuenca mientras que, hacia los bordes de la misma, solo se encuentran rocas miocenas y más jóvenes.

Se observan cambios notables en sentido oeste - este, pasando de un predominio de clásticos gruesos a un área constituida casi en su totalidad por lutitas.

Eoceno Medio y Tardío

GONZÁLEZ DE JUANA *et. al.* (1980) Y MACELLARI (1995) mencionan que aflora en el Alto de Guacharaca (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 hacia el oeste – sureste 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.

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. Las lutitas que se encuentran son del tipo micáceas y las calizas suelen ser arenosas hacia la base de la unidad (LEV, 2005).

SENN (1935) la formación se encuentra en contacto discordante sobre la Formación Paují o Misoa, sin embargo PITTELLI & MOLINA (1989) lo reportan concordante sobre la Formación Misoa. Mientras que 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 PITTELLI & MOLINA (1989) proponen un ambiente marino lejos de la costa con alta energía.

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.

SENN (1935) reporta en la parte inferior de la formación lutitas con abundante fauna (*Raetomya*), cuya identificación nunca ha sido publicada.

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 al centro de la cuenca).

En cuanto al ambiente de depositación, representa el alcance máximo de una transgresión local y el inicio de un ciclo regresivo (LEV, 2005).

Formación La Victoria: compuesta por calizas asociadas con arcillitas, lutitas intercaladas con areniscas calcáreas y micáceas, en ocasiones calizas con fragmentos de corales y materia orgánica.

El contacto inferior de esta formación es concordante 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, discordante y angular con el Grupo La Puerta (LEV, 2005).

Para la Formación La Victoria, se propone un ambiente de sedimentación marina cercano a la costa con influencia de agua dulce, representando una fase regresiva a final del Eoceno Medio terminal a Eoceno Tardío (LEV, 2005).

MACELLARI (1995) hacia el este de Falcón, aflora la Formación Cerro Misión, discordante sobre el Eoceno Medio. Dicha formación se caracteriza por ser una secuencia lutítica marina rica en microfósiles, que se encuentra discordante,

subyaciendo a la Formación Guacharaca. En cuanto al ambiente de sedimentación, el mismo es asociado a profundidades batiales (LEV, 2005).

Oligoceno – Mioceno Temprano

OSUNA & ARSTEIN (1997) la Cuenca de Falcón se individualiza para este período de tiempo, luego que se produce la fase de emplazamiento de las napas de Lara en condiciones tensionales. A partir de este momento se producen variaciones laterales muy marcadas en las unidades estratigráficas debido a que se generaron gran cantidad de bloques como consecuencia del colapso de dichas napas.

MACELLARI (1995) 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 manera ininterrumpida. El depocentro es lo que se conoce como “Canal Falconiano”, en donde prevalecieron ambientes marinos representados por las formaciones El Paraíso – Pecaya.

Durante la transgresión marina que se desarrolló en el Oligoceno Temprano, se depositó un conjunto de rocas que conformaron un conjunto de facies bastante características, que se interrumpió por la regresión que se produjo en el límite Oligoceno – Mioceno. 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, sobre rocas metamórficas cretáceas al este, y sobre las turbiditas del Paleoceno – Eoceno de la cuenca. Fig. 14.

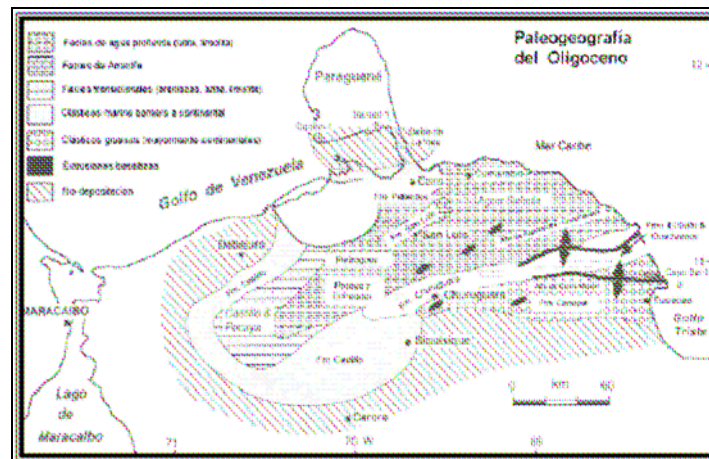


Fig. 14. Paleogeografía del Oligoceno, tomado y modificado de MACELLARI (1995)

GONZÁLEZ DE JUANA *et. al.* (1980) 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.

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).

MACELLARI (1995) menciona que 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 Luis, 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.

Formación Paraíso: está constituida por dos miembros, donde el inferior es del tipo local, además se reconoce en ella una marcada variación lateral, en la cual se reportan niveles carbonosos. Esta formación está constituida por la siguiente litología: lutitas, areniscas del tipo “sal y pimienta”, calcáreas, ferruginosas y conglomeráticas (LEV, 2005).

El contacto inferior no está bien definido, se supone concordante con la Formación Jarillal, sin embargo, entre ellas hay un hiato de no depositación relativamente amplio (LEV, 2005).

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 (LEV, 2005).

La parte inferior de la Formación El Paraíso, 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 (LEV, 2005).

La mayor parte de la Formación El Paraíso es de tipo regresivo, en donde la costa avanzó desde el suroeste hacia el norte y noreste (LEV, 2005).

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 (LEV, 2005).

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 (LEV, 2005).

El ambiente sedimentario asociado a esta formación es de profundidades batiales, que marcan una profunda subsidencia de la cuenca (LEV, 2005).

Formación Castillo: 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 (LEV, 2005).

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 (LEV, 2005).

La Formación Castillo 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 (LEV, 2005).

Formación Churuguara: aflora hacia el flanco sur – central de la cuenca, 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.

2.3.1 Formación Agua Clara

La Formación Agua Clara se reconoce en la Cuenca de Falcón al oeste del meridiano de La Vela de Coro según las líneas marginales situadas al norte y al sur del “Canal Falconiano”. Al este del Río Ricoa se encuentran de forma monótona lutitas y lutitas margosas oscuras, características de Falcón oriental. Al norte la Formación Agua Clara se caracteriza por su espesor reducido de lutitas en su parte superior y un tramo basal con calizas productoras de petróleo. Hacia el sur aflora en la región de Meachiche, donde está definida por lutitas negras. En Falcón occidental la Formación Agua Clara es claramente transgresiva en sentido territorial.

LIDDLE (1928) en el Río Mitare describió una lutita ferruginosa, concrecionaria, arenosa y yesífera, con intercalaciones delgadas de areniscas limosas y calcáreas. En el norte y oeste las areniscas son de grano grueso y conglomeráticas mal escogidas y gruesamente estratificadas. En el oeste la formación se reconoce en las areniscas de Hombre Pintado del Distrito Buchivacoa. En su localidad tipo la formación alcanza los 1300 metros, al oeste cerca de Cerro Pelado llega a los 1600 metros y al sureste pasa los 1750 metros en el Distrito Democracia occidental. Esta unidad es concordante de manera infrayacente con la Formación Cerro Pelado y concordante suprayacente con el complejo de facies del Oligoceno/Mioceno inferior (formaciones Pedregosa, San Luis, Patiecitos, Guarabal, Castillo y Churuguara).

WHEELER (1960) en la localidad tipo afloran 1.320 m de la Formación Agua Clara, en sección incompleta. Cerca de Cerro Pelado, a corta distancia, la formación alcanza los 1.600 m y mas al suroeste la sección aumenta de espesor. En la parte

occidental del Distrito Democracia, en Cangrejo, hay más de 1.750 m en una sección incompleta. DÍAZ DE GAMERO (1989) menciona una sección completa al sur del Río Lagarto con 1.362 m de espesor.

WHEELER (1960), la Formación Agua Clara aflora extensamente en las proximidades de los bordes suroccidental, occidental y septentrional de la Cuenca de Falcón. DÍAZ DE GAMERO (1989) demuestra que, en Falcón norcentral, la unidad se encuentra tan solo al oeste del Río Mitare.

DÍAZ DE GAMERO (1977) establece que la base de la Formación Agua Clara, en su área tipo, es de edad Zona de *Catapsydrax dissimilis*. DÍAZ DE GAMERO (1989) menciona una edad Zona de *Globigerinatella insueta* o ligeramente mas antigua para el tope de la unidad en esta región, indicando que en el subsuelo de Falcón occidental, la edad de toda la unidad va de la Zona de *Catapsydrax dissimilis* a la de *Catapsydrax stainforthi*, del Mioceno Temprano.

LIDDLE (1946, p. 426) denominó Arenas Petrolíferas de Hombre Pintado a las areniscas petrolíferas, muy finamente estratificadas, de la Formación Agua Clara en el campo petrolífero de Hombre Pintado, estado Falcón. CHAPPEL (1956, Léxico Estratigráfico de Venezuela) señaló que la arenisca de Hombre Pintado y las arenas petrolíferas de Hombre Pintado representan horizontes diferentes.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y MINERALÓGICA

3.1 Generalidades

La caracterización petrográfica y mineralógica se basó en un estudio tanto cuantitativo como cualitativo de las diferentes especies minerales halladas en las muestras estudiadas, con el fin de determinar las concentraciones de estos minerales y sus diferentes variaciones en cada muestra.

Cabe destacar que muchas de las muestras se encontraron mal rebajadas, por lo tanto es posible que los valores de matriz y porosidad no se hayan cuantificado de manera muy precisa.

A continuación se especifican algunas de las características a describir de las especies minerales encontradas en las muestras:

- Cuarzo:

El cuarzo es el componente esquelético más abundante en las rocas silicicláticas debido a su abundancia y resistencia a la abrasión y a la alteración química. Según su origen pueden existir distintos tipos de cuarzo que nos darán una idea de su procedencia. Los aspectos del mismo que debemos tener en cuenta son:

- o Si los granos de cuarzo son cristales simples (Cuarzo monocristalino)
 - o están formados de varios cristales con diferentes orientaciones (Cuarzo policristalino)
- o Si presentan extinción ondulatoria o no.
- o Si presentan inclusiones fluidas.
- o Si presentan inclusiones de otros minerales.

- o En el caso de los granos policristalinos, si los contactos entre los cristales son rectos o suturados.

En función de estos criterios para efectos de este trabajo hablaremos de seis tipos de cuarzo:

- o Cuarzo policristalino de extinción recta con menos de 4 granos (QP<4 E.R.)
- o Cuarzo policristalino de extinción ondulatoria con menos de 4 granos (Q.P.<4 E.O.)
- o Cuarzo policristalino de extinción recta con mas de 3 granos (Q.P.>3 E.R.)
- o Cuarzo policristalino de extinción ondulatoria con mas de 3 granos (Q.P.>3 E.O.)
- o Cuarzo monocristalino de extinción recta (Q.M. E.R.)
- o Cuarzo monocristalino de extinción ondulatoria (Q.M. E.O.).

Los cuarzoes metamórficos son de tipo policristalino formados por varios cristales, con límites rectos a aserrados según el grado de esfuerzo a que han estado sometidos.

Los cuarzoes plutónicos y formados en venas pueden ser monocristalinos o policristalinos pero en este caso los límites son rectos y están compuestos por pocos cristales.

Los cuarzoes volcánicos son monocristalinos.

- Feldespatos:

Se dividen en feldespatos potásicos y calcosódicos o plagioclasas. Los feldespatos potásicos son más comunes en general que las plagioclasas en las rocas sedimentarias y se tienen dos tipos fundamentalmente:

- o *Ortosa*: Son muy similares al cuarzo pero se distinguen de este porque presentan un aspecto más prismático que el cuarzo y porque está mucho más alterado (estas son características comunes a todos los feldespatos). Además presentan menor relieve que el bálsamo (el del cuarzo es mayor) y son biáxicos (el cuarzo es uniáxico a no ser que esté deformado). Si se tiñe la muestra la ortosa presenta un color amarillo con nicoles paralelos.
- o *Microclino*: Es el feldespato potásico de baja temperatura. Se distingue fácilmente por su macla en forma de enrejado.

Las plagioclasas se distinguen fácilmente por su maclado polisintético y su hábito tabular.

- Chert o Ftanita:

Formados por agregados de cristales de SiO_2 < a 5 micras. Pueden presentar impurezas de arcilla, pirita, carbonatos y materia orgánica. Su origen es volcánico o sedimentario.

- Fragmentos de rocas:

Según el tipo de roca que los compone pueden ser:

- o Fragmentos de lutitas y/o limolitas arcillosas: bordes redondeados, presentan colores e marrón claro a marrón oscuro.
- o Fragmentos de areniscas: se distinguen de los demás granos por ser un cúmulo de granos de cuarzo de poco diámetro rodeados de cemento o matriz.
- o Fragmentos de gneises y/o rocas metamórficas no foliadas: se aprecian como granos compuestos por cristales de cuarzo, muy parecidos a los

cuarzos policristalinos, con la variante de presentar gran diferencia entre el tamaño de los cristales que los componen.

- o Fragmentos de esquistos y/o filitas: se distinguen por presentan bandeaminetos y orientación en los minerales que los componen, comúnmente con presencia de micas.

3.2. Descripción Mineralógica

Las secciones finas estudiadas fueron tomadas de varios núcleos, los cuales a su vez son el producto de perforaciones prospectivas realizadas en el campo petrolero “Hombre Pintado”. En total son cinco pozos los involucrados en este trabajo: HP-3; HP-4; HP-5; HP-6 y HP-7, los cuales entre sí suman 33 muestras de roca en total.

A continuación se presentan las características macroscópicas de los trozos de núcleos, las cuales fueron suministradas por el Ing. Marvin Baquero.

- POZO HP-3: de este pozo se tienen 10 secciones, enumeradas del 1 al 10, que van desde 535' a 3081' de profundidad. A continuación en la tabla 2 se presenta la descripción de las muestras en mano tomadas de los núcleos.

Tabla 2. Descripción Macroscópica de las muestras del Pozo HP-3

Profundidad (Pies)	Numero de muestra	Descripción Macroscópica
535'	1	Arenisca de grano muy fino, bien seleccionada. No presenta estructuras ni fósiles. En contacto con lutita marrón oscura.
627'	2	Arenisca de grano fino a muy fino, color marrón oscuro, impregnada de hidrocarburo. No presenta laminación o estructuras sedimentarias. Subredondeada a redondeada, buen escogimiento.
693'	3	Arenisca de grano fino, de color gris claro, sin impregnación. No presenta laminación. Buen escogimiento.
1136'	4	Arenisca de grano fino a muy fino, color marrón claro, sin impregnación de hidrocarburo. No presenta laminación.

Tabla 2. Continuación

1144'	5	Arenisca de grano fino, color marrón oscuro, ligeramente impregnada de hidrocarburo. No presenta laminación.
1204' a 1209'	6	Arenisca de grano fino de color marrón oscuro, impregnada de hidrocarburo, buen escogimiento, sin laminación ni estructura sedimentaria.
1242' a 1244'	7	Arenisca de grano muy fino color gris claro, no presenta laminación ni estructura sedimentaria.
1253'	8	Arenisca de grano fino de color marrón oscuro, impregnada de hidrocarburo, buen escogimiento, sin laminación ni estructura sedimentaria, masiva.
2061'	9	Arenisca color gris de grano fino a medio, sin laminación
3061' a 3081'	10	Arenisca de grano medio color gris, buen escogimiento, sin estructura ni laminación. No presenta impregnación.

- POZO HP-4: de este pozo se tienen 9 secciones, enumeradas del 11 al 19, que van desde 475' a 2998' de profundidad. La descripción macroscópica de las muestras en mano, se presenta a continuación en la tabla 3.

Tabla 3. Descripción Macroscópica de las muestras del Pozo HP-4

Profundidad (Pies)	Numero de muestra	Descripción Macroscópica
475' a 476'	11	Arenisca marrón rojizo, de grano medio, bien escogida, reacciona ante HCL.
552'	12	Arenisca marrón claro, de grano fino, bien escogida, sin laminación ni estructura.
1823' - 1842'	13	Arenisca de grano muy fino, limpia, de color marrón claro a blanco. No impregnada de hidrocarburo, no presenta laminación ni estructuras sedimentarias. Compacta.
1851' - 1854'	14	Arenisca de grano fino, de color blanco, ni laminación ni estructuras presentes. No impregnada. Compacta.
2076' - 2078'	15	Arenisca de grano muy fino, de color blanco a marrón muy clara, compacta, no presenta laminación ni estructuras sedimentarias. No impregnada de hidrocarburos. Buen escogimiento
2293'	16	Arenisca de grano fino a medio, limpia, de color marrón claro, no impregnada de hidrocarburo, no presenta laminación ni estructuras, compacta.
2883'	17	Arenisca de grano fino gris clara, friable, no presenta laminación ni fósiles
2902' - 2903'	18	Arenisca fosilífera, de color marrón rojizo, presenta restos de conchas. La muestra reacciona con HCL. Presenta algunos clastos de granos de cuarzo de 1mm.
2995' - 2996'	19	Arenisca de grano fino gris clara, friable, no presenta laminación ni fósiles.

- POZO HP-5: de este pozo se tienen 5 secciones enumeradas del 20 al 24, que van desde 1181' a 2302' de profundidad. La descripción litológica de las muestras en mano, se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Descripción Macroscópica de las muestras del Pozo HP-5

Profundidad (Pies)	Numero de muestra	Descripción Macroscópica
1181'	20	Arenisca de grano fino a medio de color marrón claro, no presenta laminación ni estructuras sedimentarias, buen escogimiento, no impregnada de hidrocarburos.
2014' - 2017'	21	Arenisca de grano muy fino, buen escogimiento, de color marrón claro a blanco. No impregnada de hidrocarburos. No laminada ni estructuras sedimentarias presentes.
2146' - 2150'	22	Arenisca de grano fino, color blanco, no impregnada ni laminación ni estructuras presentes.
2209' - 2211'	23	Arenisca de grano fino, color blanco, no impregnada ni laminación ni estructuras presentes.
2300' -2302'	24	Arenisca de grano medio, color marrón claro, no impregnada, no laminación.

- POZO HP-6: de este pozo se tienen 5 secciones enumeradas del 25 al 29, que van desde 2464' a 4316' de profundidad. La descripción litológica de las muestras en mano, se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Descripción Macroscópica de las muestras del Pozo HP-6

Profundidad (Pies)	Numero de muestra	Descripción Macroscópica
2464' - 2482'	25	Arenisca de grano medio a fino, granos subredondeado a redondeado, color marrón claro, no laminada ni estructuras presentes. No impregnada de hidrocarburo.
2820' - 2831'	26	Arenisca de grano fino, buen escogimiento, de color marrón claro a rosado. Subredondeado a redondeado. No impregnada, no laminada ni estructuras presentes.
3403' - 3413'	27	Arenisca de grano medio a fino, granos subanguloso a subredondeado, color marrón claro a blanco, no laminada ni estructuras presentes. No impregnada de hidrocarburo. Buen escogimiento.

Tabla 5. Continuación

4024' - 4042'	28	Arenisca de grano fino a medio, de color marrón claro a rosado, buen escogimiento, no laminada ni estructuras sedimentarias presentes. No impregnada de hidrocarburos.
4293' - 4316'	29	Arenisca de grano muy fino a fino, de color marrón claro, sin laminación ni estructuras sedimentarias. No impregnada de hidrocarburo. Buen escogimiento, granos subredondeados a subangulosos

- POZO HP-7: de este pozo se tienen 4 secciones enumeradas del 30 al 33, que van desde 2820' a 4520' de profundidad. La descripción litológica de las muestras en mano, se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Descripción Macroscópica de las muestras del Pozo HP-7

Profundidad (Pies)	Numero de muestra	Descripción Macroscópica
2820' - 2831'	30	Arenisca de grano fino, buen escogimiento, de color marrón claro, sin presencia de laminación o estructuras sedimentarias. No impregnada de hidrocarburo. Compacta.
3095' - 3107'	31	Limolita-arenosa de grano muy fino, bien compacta dura, de color gris claro a rojiza. No reacciona con HCl. A esta misma profundidad se encuentra un nivel de lutitas carbonosas (colocada en otra bolsa).
3540' - 3554'	32	Arenisca de grano medio, de color marrón claro a blanco, granos subredondeados a subangulosos, presenta algunos fragmentos de rocas. No laminación ni estructuras sedimentarias presentes, no impregnada de hidrocarburos.
4502' - 4520'	33	Arenisca de grano medio a fino, granos subredondeados a subangulosos, buen escogimiento, no presenta laminación ni estructuras sedimentarias. No impregnada de hidrocarburos.

A continuación se hace la descripción mineralógica en general para cada pozo basada en el estudio petrográfico de las secciones finas. Para apreciar mejor las características litológicas de las rocas, la descripción se hará de base a tope.

3.2.1. Pozo HP-3 (535' a 3081')

3.2.1.1. Cuarzo policristalino:

En la base del pozo se encuentra el mayor porcentaje de cuarzo policristalino de extinción ondulatoria (Fig. 16), con menos de cuatro cristales por grano ($QP < 4EO$) alcanzando un 17 % aproximadamente, de igual manera se observa la presencia de ($QP > 3EO$) aunque en menor cantidad con un porcentaje de 9%, ambos tipos de cuarzo tienen la misma tendencia a disminuir sus concentraciones a medida que disminuye su profundidad, llegando a un valor mínimo de 2 % hacia la parte media del pozo, para luego aumentar de manera abrupta, alcanzando un 15 %, después de este aumento ambos tipos de cuarzo disminuyen sus concentraciones de manera casi constante hasta alcanzar valores de 4 % para el $QP < 4EO$ y 0 % para $QP > 3EO$. Fig. 15.

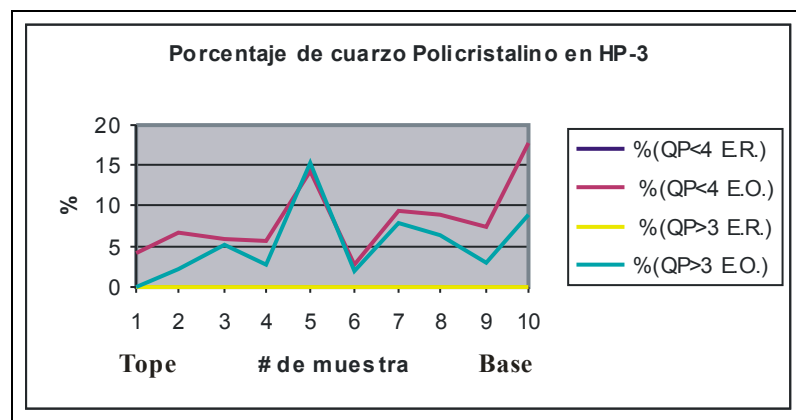


Fig. 15. Relación de cuarzo policristalino de base a tope del pozo HP-3

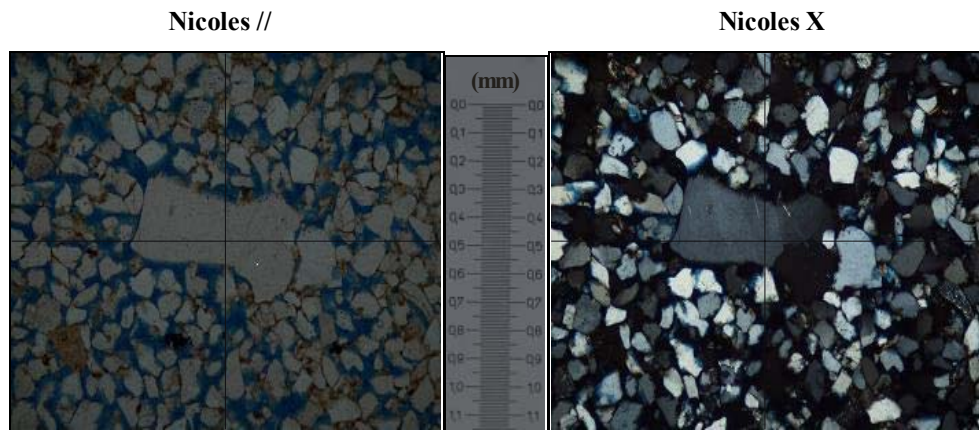


Fig. 16 Grano de cuarzo policristalino en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-3, ocular 10; objetivo 10x (Muestra #1; 535 pies)

3.2.1.2. Cuarzo monocristalino:

Las concentraciones de cuarzo monocristalino con extinción recta (QMER) presentan sus menores porcentajes hacia la base, al igual que los monocristalino metamórficos con valores de 37% y 26 % respectivamente. El QMER, en general, presenta tendencia a aumentar su porcentaje a medida que disminuye la profundidad, alcanzando un valor máximo de 57 % en el tope, aunque hacia la parte media de la perforación las concentraciones aumentan y disminuyen de manera aleatoria, con porcentajes que oscilan entre 58 % y 36 %. De igual manera, el QMEO, tienden a aumentar hacia el tope de manera constante, hasta llegar a 38 %. Fig. 17.

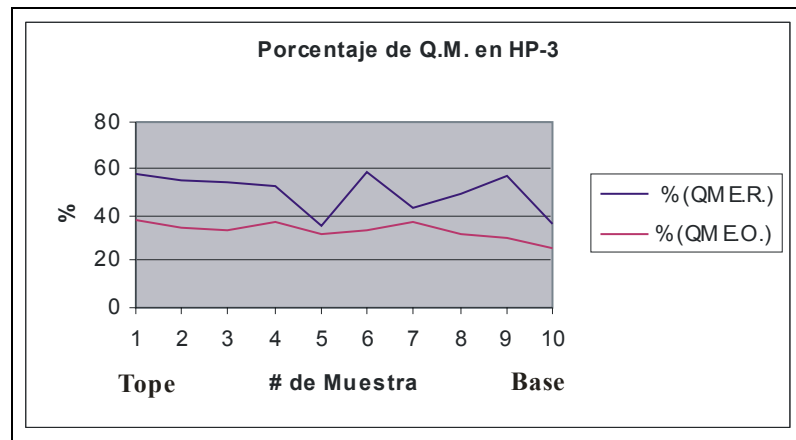


Fig. 17. Relación de cuarzo monocristalino de base a tope en el pozo HP-3.

3.2.1.3. Feldespatos:

Dentro de las muestras estudiadas para este pozo, los granos de este mineral se encontraron muy alterados, dificultando así el determinar el tipo de feldespato. Se presenta sólo hacia la base del pozo, con concentraciones menores al 1 %. Fig. 18.

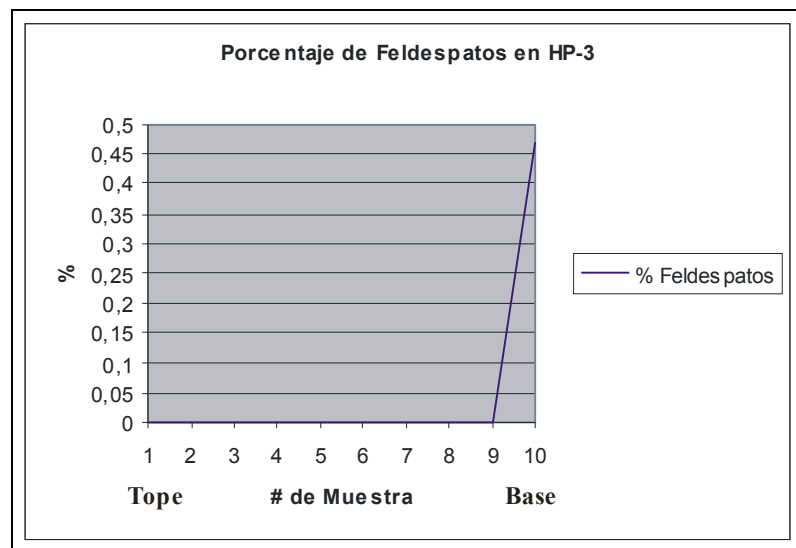


Fig. 18. Concentración de feldespatos sin diferenciar en el pozo HP-3.

3.2.1.4. Fragmentos de roca y fósiles:

Entre los fragmentos de roca observados en las muestras, se encuentran principalmente, fragmentos de lutita, chert y arenisca. Para los fragmentos de lutita (Fig. 20), se observa una mayor concentración hacia la base del pozo con un máximo de 9 %, y presentando una tendencia general a disminuir hacia el tope hasta un valor mínimo de 1%, sin embargo en la parte media del núcleo se aprecian algunas variaciones aleatorias, con porcentajes que oscilan entre 1,5 % y 4 %. De igual manera se observan hacia la base fragmentos de areniscas arcillosas y chert con porcentajes del 1%, que al disminuir la profundidad desaparecen por completo. Con respecto a los fragmentos de chert, únicamente se presentan en la parte media del pozo como un mineral traza. Fig. 19.

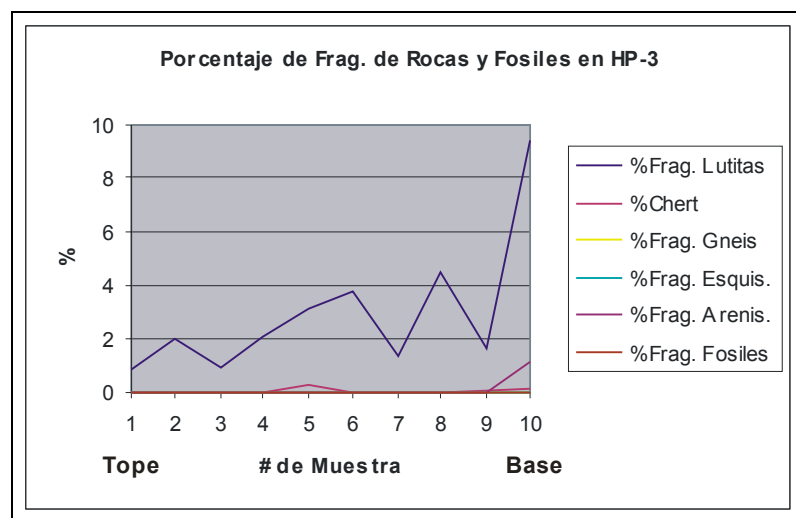


Fig.19 Relación entre fragmentos de rocas y fósiles en el pozo HP-3.

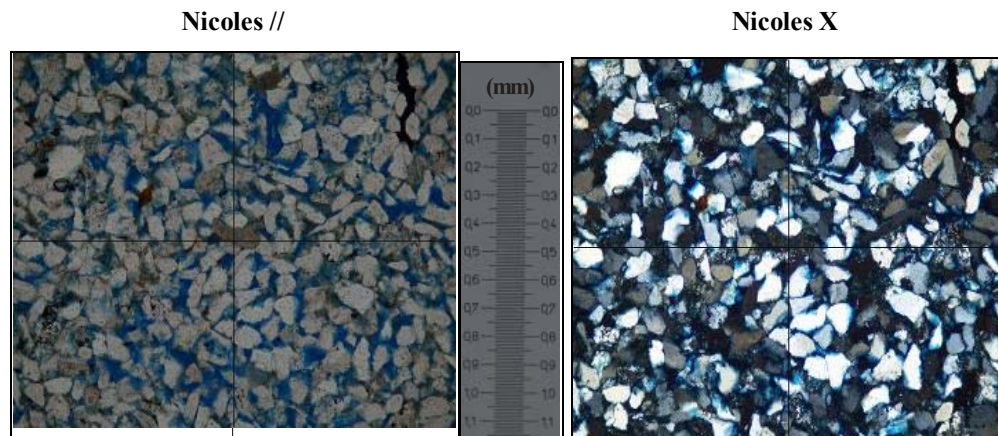


Fig. 20. Fragmento de lutita en fotomicrografía de sección fina en el pozo HP-3, ocular 10; objetivo 10x (Muestra # 21; 2014-2017 pies)

3.2.1.5. Minerales Accesorios y Trazas:

Entre las especies minerales observadas en este núcleo los porcentajes menores al 1% tenemos Hematita detritica y Moscovita, las cuales se encontraron en las muestras provenientes del tramo que va de la base hasta la sección media del pozo con porcentajes de 0.5% y 0.1% respectivamente como se ve en la Fig. 21.

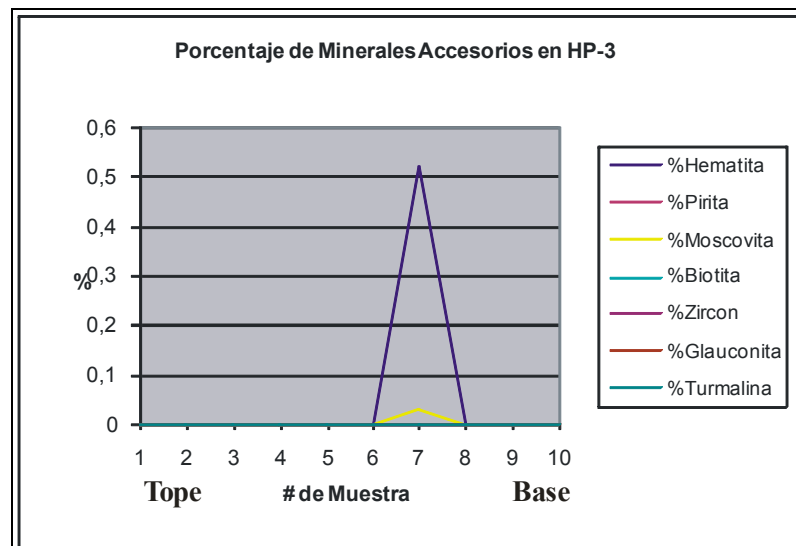


Fig. 21. Relación de minerales accesorios y trazas en el pozo HP-3.

3.2.1.6. Matriz Arcillosa Indeterminada

Con respecto a las concentraciones de matriz se puede decir que a lo largo del pozo se mantienen por debajo del 1%, partiendo de 0% en la base con tendencias a aumentar hacia la sección media, donde luego de alcanzar su valor máximo de 1% desaparece totalmente. Luego antes de llegar al tope se registran valores de 0.5% y por ultimo vuelven a desaparecer. Fig. 22.

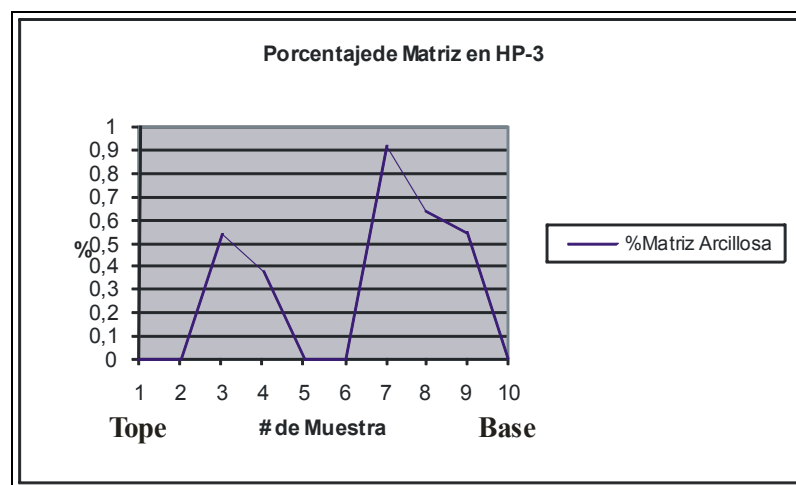


Fig. 22. Concentraciones de matriz en el pozo HP-3

3.2.1.7. Cemento Calcáreo:

En este pozo se lograron apreciar pequeños porcentajes de cemento calcáreo con valores de hasta 0.8% como se observa en la figura 23. Cabe destacar que dicho cemento únicamente se presentó en las muestras correspondientes a la base de la perforación.

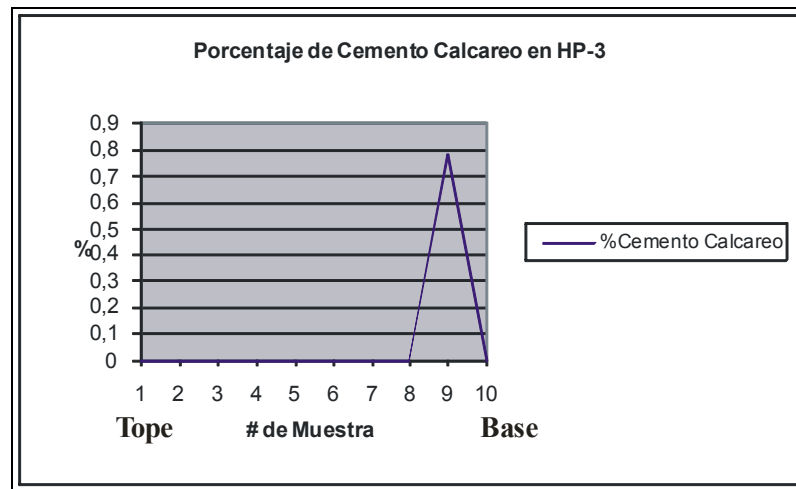


Fig. 23 Concentraciones de cemento calcáreo en el pozo HP-3.

3.2.1.8. Características Texturales y Granulométricas:

Con respecto a estas características, se puede decir que de base a tope, los granos en general presentan formas que van de subredondeadas a subangulares, presentando la particularidad de ser más redondeados los de mayor tamaño. Los granos de diámetros mayores se encuentran ubicados hacia la base con valores de 0,31mm, luego hacia la sección media el tamaño de los granos se mantiene entre valores de 0,2 a 0,25mm y por ultimo hacia el tope la granulometría aumenta hasta un valor de 0,3mm para luego disminuir a 0,15mm al llegar al tope. Fig. 24

Cabe mencionar que la porosidad intergranular observada varia entre valores menores al 5% hasta 15%, comenzando en la base y aumentado hacia el tope. Fig. 25

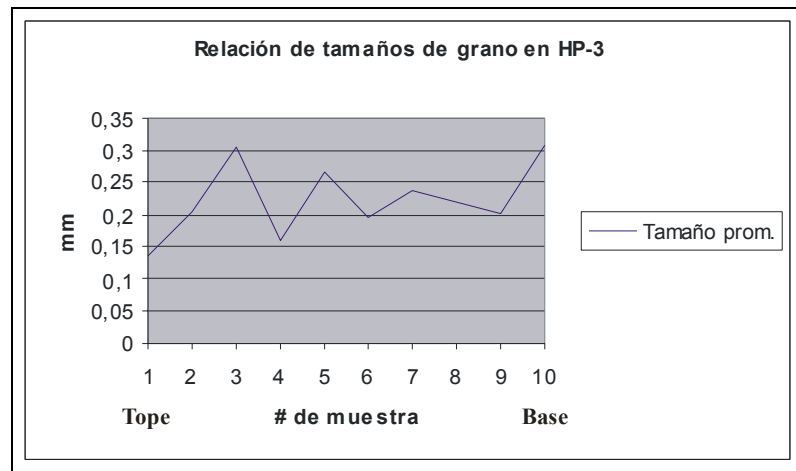


Fig.24. Promedio de diámetros de los granos en el pozo HP-3.

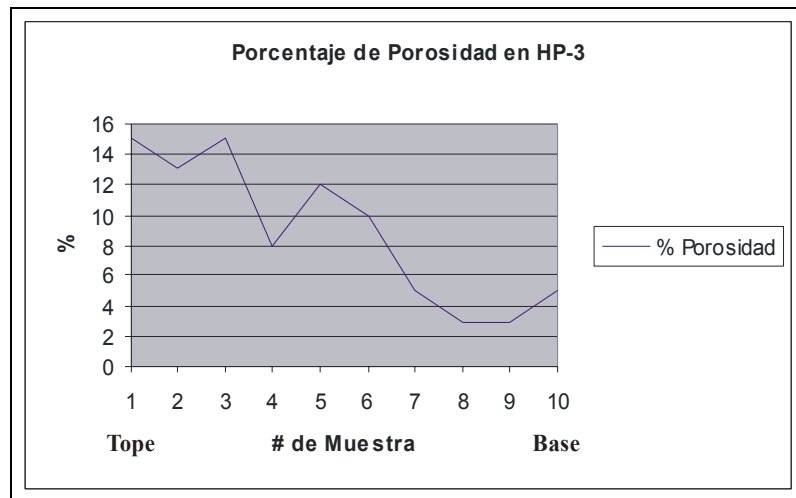


Fig.25. Variación de porosidad de base a tope en el pozo HP-3.

3.2.2.- Pozo HP-4 (475' a 2998')

3.2.2.1 Cuarzo policristalino:

Las concentraciones de cuarzo son bastante variadas, encontrándose tres tipos de cuarzo que a lo largo de la perforación van arrojando diferentes porcentajes.

Hacia la base se encontró Q.P.>3E.O. y Q.P.<4E.O. en porcentajes iguales al 11%, que luego siguen tendencias distintas, uno aumentando hasta un máximo de 26% y el otro cayendo hasta alcanzar un mínimo del 2%, a medida que va disminuyendo la profundidad las concentraciones de ambas especies de cuarzo tienden a oscilar en un rango de valores que va de 2% a 8%. Finalmente, hacia el tope, la cantidad de estos cuarzos aumenta nuevamente ubicándose en 20% para el Q.P.>3E.O. y 11% para el Q.P.<4E.O. El cuarzo policristalino de extinción recta se observa en la base con valores del 5% y su tendencia es a disminuir a medida que disminuye la profundidad, desapareciendo en su totalidad hacia el tope. Fig. 26.

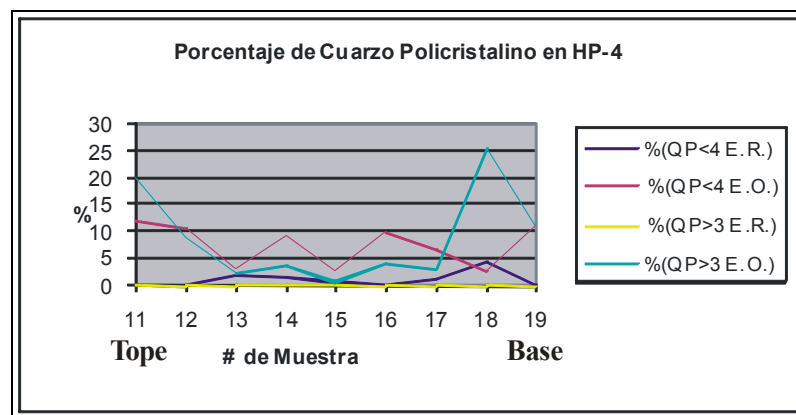


Fig.26 Relación de cuarzo policristalino de base a tope en el pozo HP-4

3.2.2.2. Cuarzo monocristalino:

En la base del núcleo se encuentran porcentajes de cuarzo monocristalino con extinción recta que llegan al 38%, de igual manera en este sector se encuentran concentraciones de cuarzo metamórfico, pero con un valor del 26%, luego en el tramo que va hacia la sección media se ve como ambas especies de cuarzo aumentan sus concentraciones, aunque de maneras diferentes: la primera especie mencionada aumenta constantemente hasta alcanzar un valor máximo del 62% en la parte media del pozo, para luego ir disminuyendo hacia el tope hasta llegar a un mínimo de 30%; mientras que la otra especie también tiende a aumentar sus concentraciones, pero de manera menos constante, presentando una serie de fluctuaciones a lo largo del pozo, para llegar a un valor máximo del 42% y luego disminuir hasta 20% en el tope. Fig. 27.

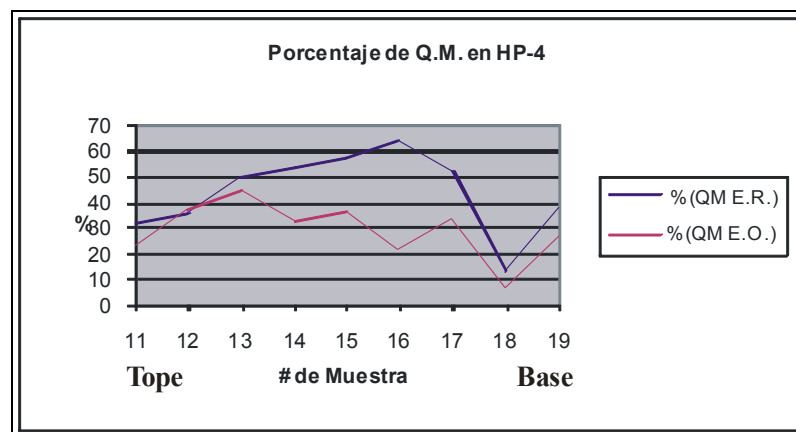


Fig.27. Relación de cuarzo monocristalino de base a tope en el pozo HP-4.

3.2.2.3. Feldespatos:

Al igual que en el núcleo del pozo anterior los granos de feldespato observados se encuentran en un estado de alteración muy avanzado, por lo

tanto no se logran diferenciar las distintas especies de éstos. Los granos de feldespatos encontrados se ubican únicamente hacia la base del pozo con valores que se mantienen por debajo del 1% como se observa en la Fig. 28.

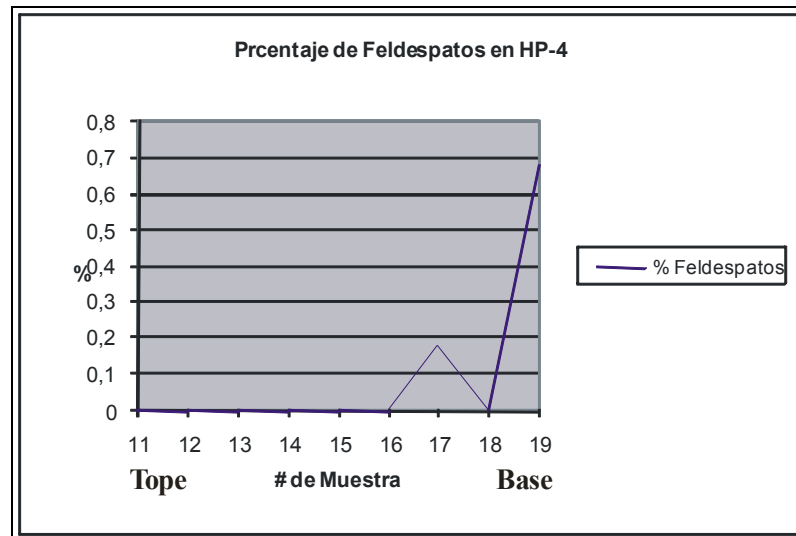


Fig.28 Concentraciones de feldespatos sin diferenciar en el pozo HP-4.

3.2.2.4. Fragmentos de roca y fósiles:

Las mayores concentraciones de estos fragmentos se encuentran en la base, donde los fragmentos de lutitas y esquistos se presentan en porcentajes de 12% a 14% respectivamente, junto a ellos se hallaron algunos granos de chert que representan un 1% y una gran concentración de fragmentos fósiles (Fig. 30). Luego, al disminuir la profundidad solo se observan fragmentos de lutitas en valores que van disminuyendo y que se encuentran entre el 1% y el 3%. Por último hacia el tope aumenta la presencia de clastos consiguiéndose un 6% de ellos, de igual manera se aprecian nuevamente los granos de chert con el mismo porcentaje que en la base y aparece un 1% de fragmentos fósiles. Fig. 29.

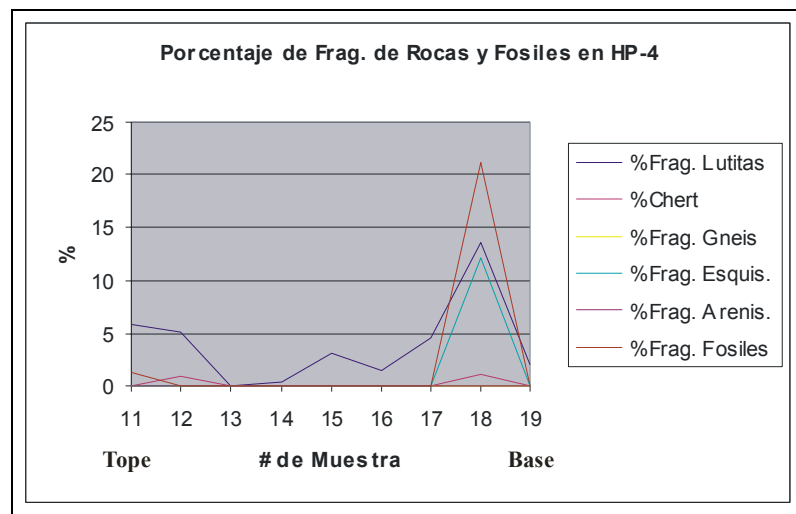


Fig.29. Relación entre fragmentos de rocas y fósiles en el pozo HP-4.

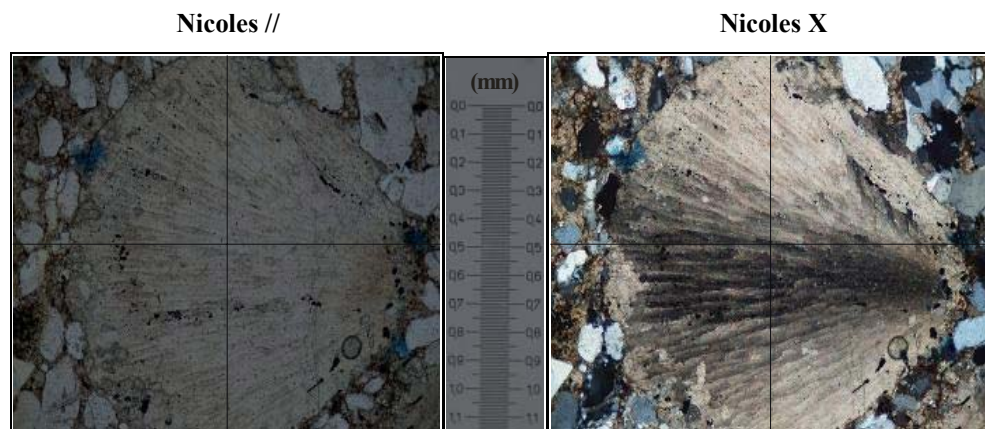


Fig. 30. Fragmento fósil en fotomicrografía de sección fina, ocular 10; objetivo 10x.

(Muestra #18; 2902-2903 pies)

3.2.2.5. Minerales Accesorios y Trazas:

En la base del núcleo se encuentran como minerales traza algunos granos de biotita, moscovita y hematita que no pasan de 0.5% en sus concentraciones, en la sección media del pozo no se observa ninguno de estos minerales, pero a medida que nos acercamos al tope empiezan a observarse algunos granos de

glaucionita detrítica (Fig. 32), cuya concentración tiende a aumentar llegando a ser de casi 7%, también se aprecian de nuevo granos de biotita como trazas como se puede ver en la Fig. 31.

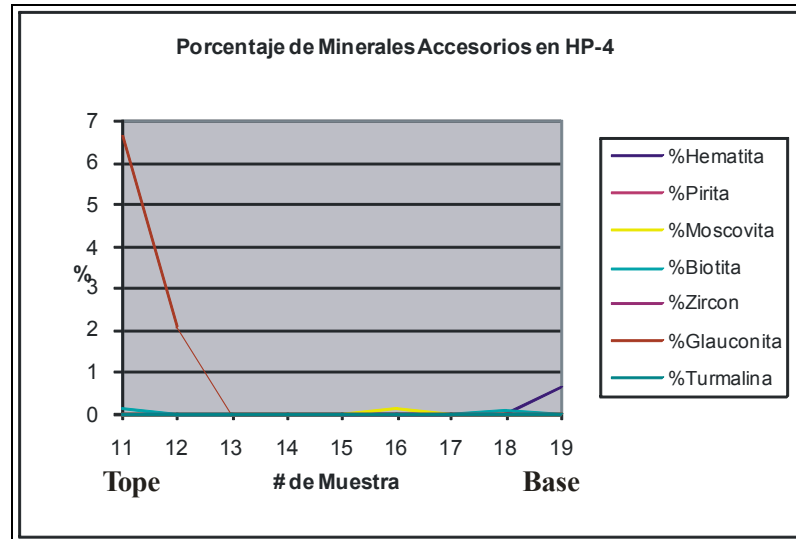


Fig. 31. Relación de minerales accesorios y trazas en el pozo HP-4

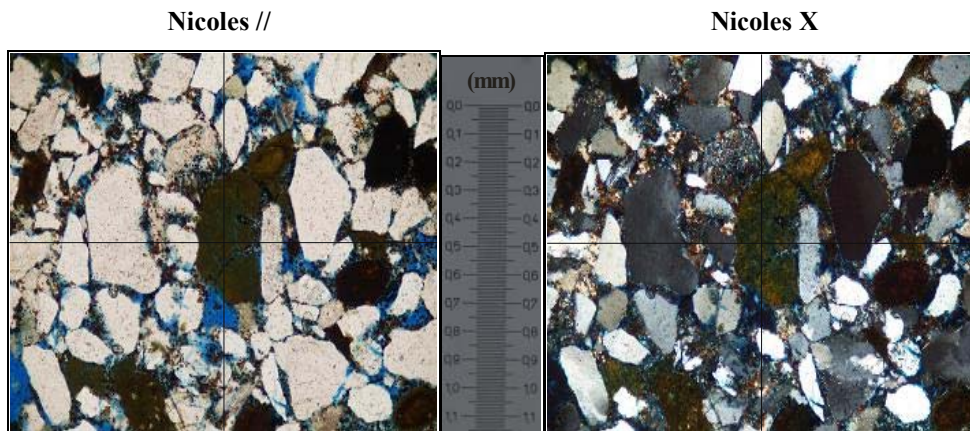


Fig. 32. Glaucionita en fotomicrografía de sección fina en el pozo HP-4, ocular 10; objetivo 10x. (muestra #11; 475-476 pies)

3.2.2.6. Matriz Arcillosa Indeterminada:

En este núcleo no se logran apreciar mayores concentraciones de matriz, únicamente en la parte media del pozo se observa algo de ella con un valores menores al 0.6%. Fig. 33.

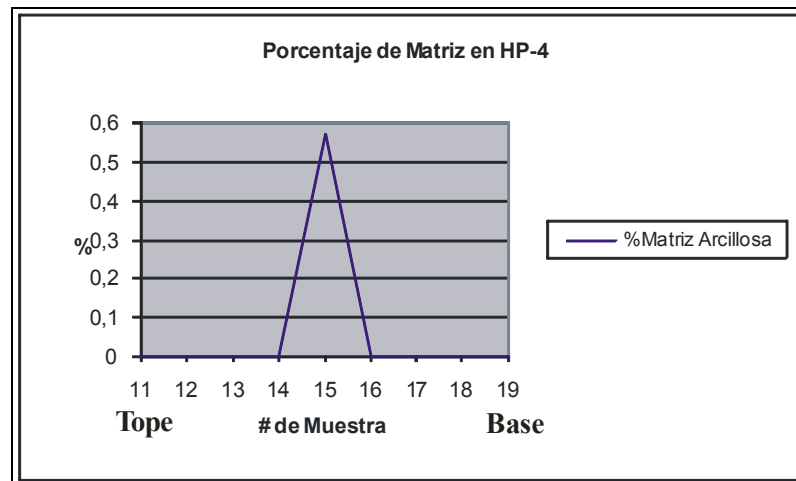


Fig. 33. Concentraciones de matriz en el pozo HP-4

3.2.2.7. Características Texturales y Granulométricas:

En líneas generales los granos en la base presentan formas que van de subredondeados a subangulosos, siendo más redondeados los de mayor tamaño, esta característica va variando a medida que disminuye la profundidad presentándose cada vez más angulosos. Con respecto a los tamaños de los granos, se puede decir que los granos de mayor tamaño se encuentran hacia la base, donde en promedio están en un rango de 0,5 a 1,3 mm. Luego a menores profundidades se observan diámetros menores pero constantes entre 0,2 y 0,4 mm. Fig. 34.

Por último se observa una porosidad intergranular desde la base hasta la sección media que se mantiene entre valores de 0% y 3% y luego comienza a aumentar hacia el tope hasta un 10%. Fig. 35

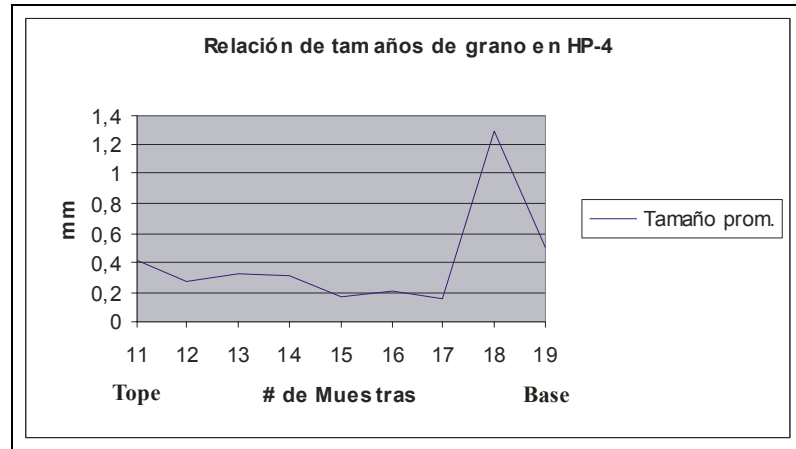


Fig. 34. Relación de tamaños de granos en el pozo HP-4.

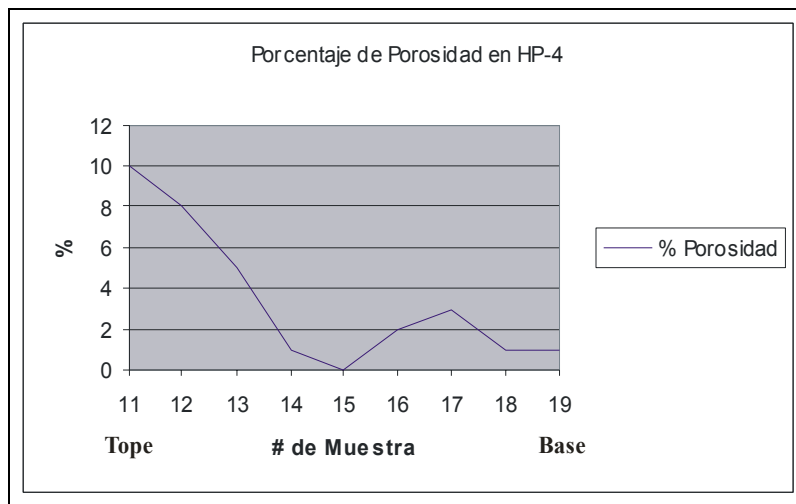


Fig. 35. Variación de porosidad de base a tope en el pozo HP-4.

3.2.3 Pozo HP-5 (1182' a 2302')

3.2.3.1. Cuarzo policristalino:

Los mayores porcentajes de este tipo de cuarzo se encuentran hacia la base de la perforación, siendo éstos valores que se ubican entre 7% para el Q.P.<4E.O. y 11% para el Q.P.>3E.O., también se encuentra Q.P.>3E.R aunque en porcentajes menores al 3% (Fig. 37). La tendencia de estas especies de cuarzo es a disminuir hacia el tope, llegando a valores finales de 5% para el Q.P.<4E.O, 2% para el Q.P.>3E.O. y 0.5% para el Q.P.>3E.R. como se ve en la Fig. 36.

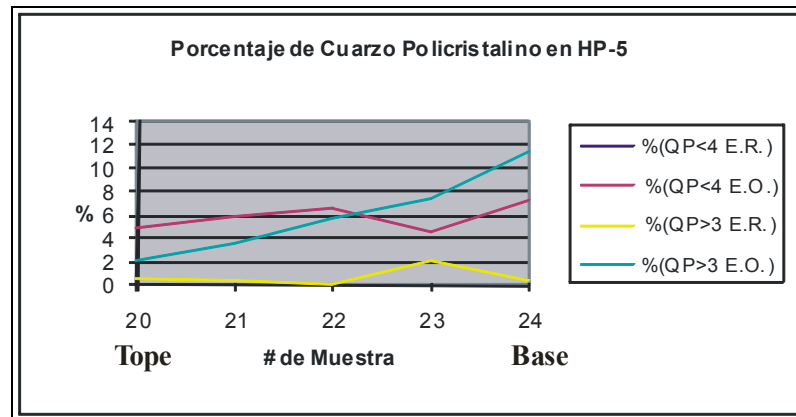


Fig. 36. Relación de cuarzo policristalino de base a tope en el pozo HP-5

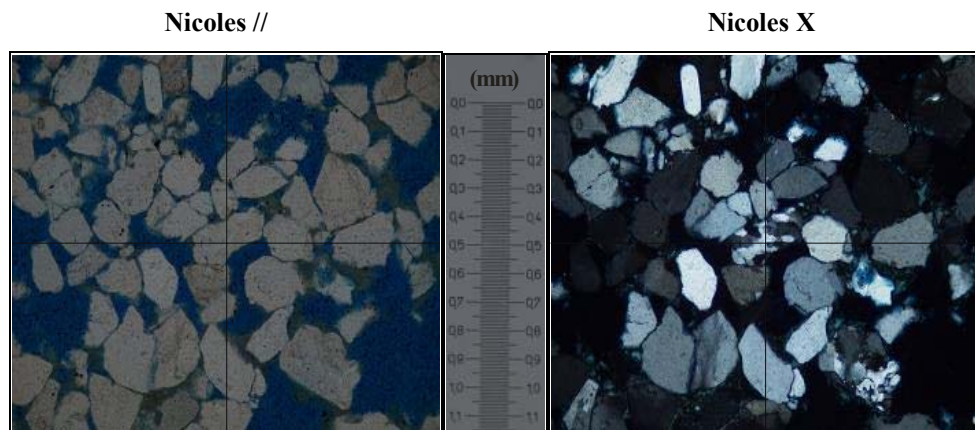


Fig. 37. Cuarzo policristalino en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-5, ocular 10; objetivo 10x (Muestra #24; 2300-2302 pies)

3.2.3.2. Cuarzo monocristalino:

A lo largo del pozo se ve como los cuarzoes de extinción recta y extinción ondulatoria presentan tendencias opuestas. En la base, el Q.M.ER. se encuentra con un porcentaje del 40%, mientras que el cuarzo metamórfico se observa en concentraciones del 21%. Luego hacia la sección media, el porcentaje del primero oscila entre 60% y 45%, mientras que el de extinción ondulatoria varía de 10% a 30%, por último hacia el tope el de extinción recta alcanza un valor máximo de 65% y el metamórfico disminuye a 20%. Fig. 38.

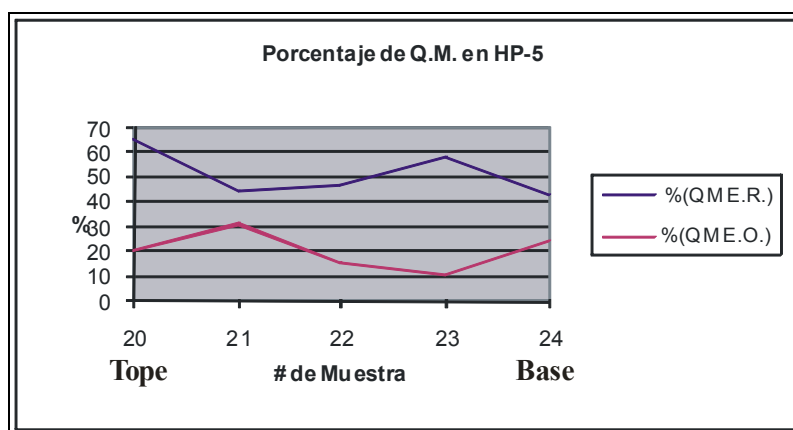


Fig. 38. Relación de cuarzo monocristalino de base a tope en el pozo HP-5

3.2.3.3. Feldespatos:

Los porcentajes de feldespatos se encuentran a lo largo del pozo entre valores que van de 0,5% a 3,5%, presentándose el menor valor en la base y el mayor en el tramo que va de la base a la sección media, luego de alcanzar este valor máximo, los porcentajes presentan variaciones, disminuyendo a 0,5% en la parte media y luego aumentando hasta un 2% en el tope (Fig. 39). Al igual que en los pozos anteriores, el nivel de alteración de los granos no permite identificar las diferentes clases de feldespatos.

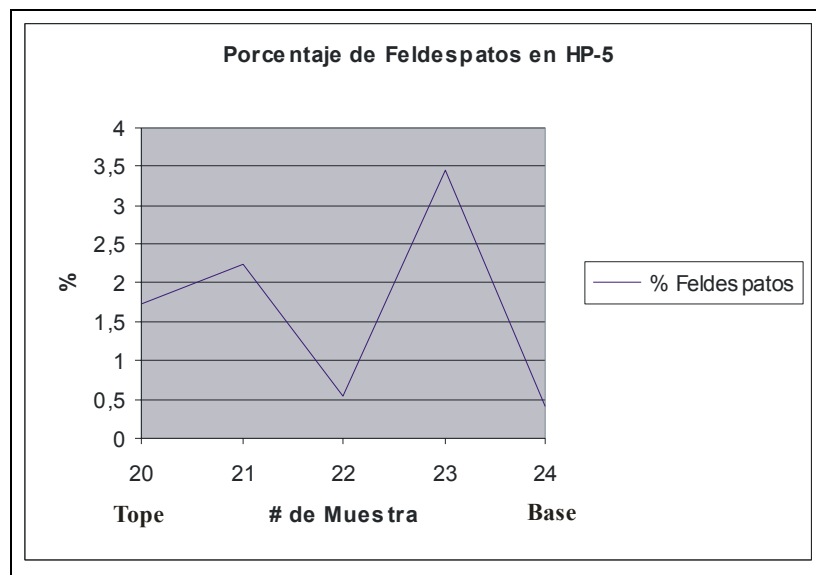


Fig.39. Concentraciones de feldespatos sin diferenciar en el pozo HP-5

3.2.3.4. Fragmentos de roca y fósiles:

Se observa una presencia predominante de fragmentos de lutitas y limolitas arcillosas, presentándose hacia la base con un porcentaje de 7% que luego hacia a la sección media disminuye a valores de 2% a 3%, por último alcanza un valor máximo de 9% al acercarse al tope, para luego acabar en un valor mínimo del 1% en el tope como tal. En menores concentraciones se aprecian también algunos granos de chert que a lo largo del pozo se mantienen en un rango de 0% a 2%, observándose con mayor frecuencia entre la base y la sección media de la perforación. Fig. 40.

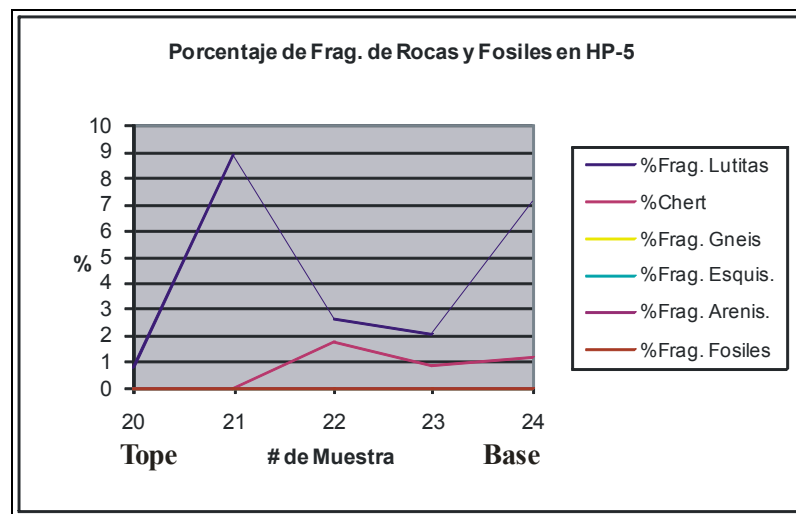


Fig.40. Relación entre fragmentos de rocas y fósiles en el pozo HP-5

3.2.3.5. Minerales Accesorios y Trazas:

Hacia la base de la perforación se aprecian con porcentajes menores al 1% micas como biotitas y óxidos como hematita antigénica (Fig. 42), luego hacia a la parte media se ve como la biotita desaparece casi por completo mientras que la hematita aumenta su porcentaje casi hasta 9%, junto con estos dos minerales se presenta un 1% de pirita detrítica como también moscovita y glauconita en porcentajes menores al 1%. Hacia el tope las concentraciones de hematita y pirita disminuyen hasta un 0% mientras que la moscovita y la glauconita mantienen sus valores. Fig. 41.

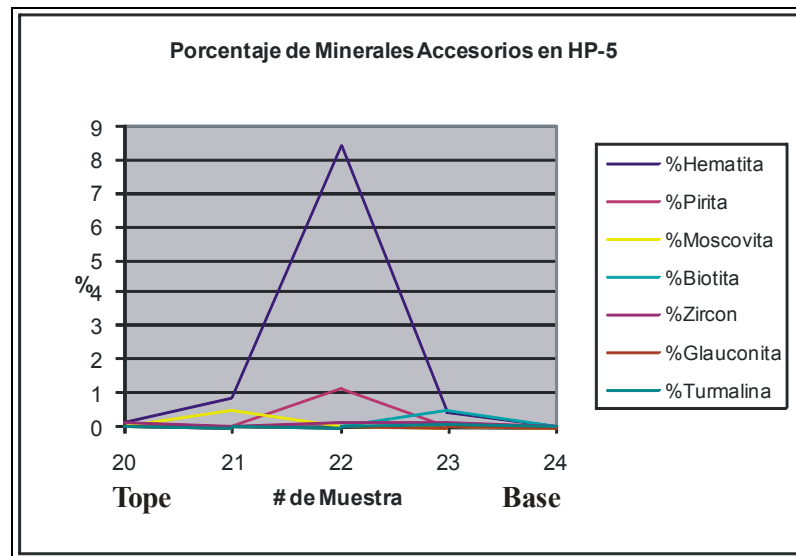


Fig.41. Relación de minerales accesorios y trazas en el pozo HP-5

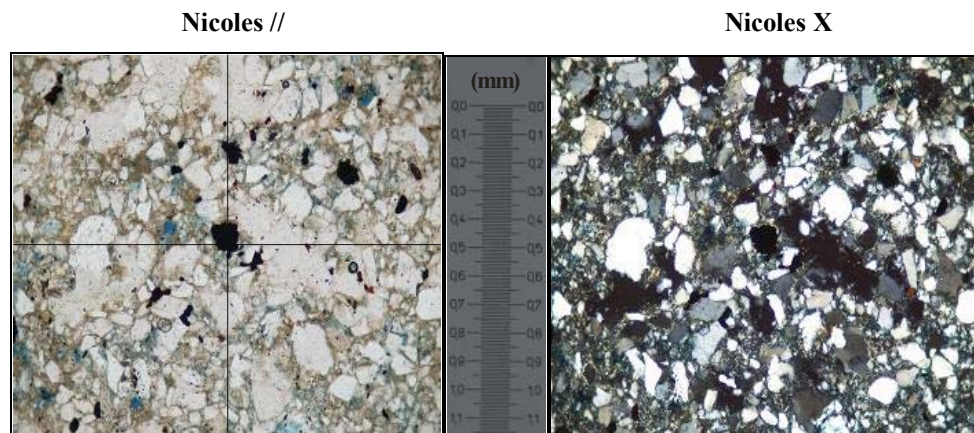


Fig. 42. Hematita autigénica en fotomicrografía de sección fina, ocular 10; objetivo 10x (Muestra #22; 2146-2150 pies)

3.2.3.6. Matriz Arcillosa Indeterminada

Hacia la base se observa la existencia de matriz limo arcillosa en porcentajes menores al 1%, y a medida que va disminuyendo la profundidad estos porcentajes van aumentando, alcanzando una concentración máxima de 7% en la parte media de la perforación. Estos porcentajes descienden hacia el tope ubicándose entre valores que van del 1% al 2%. Fig. 43.

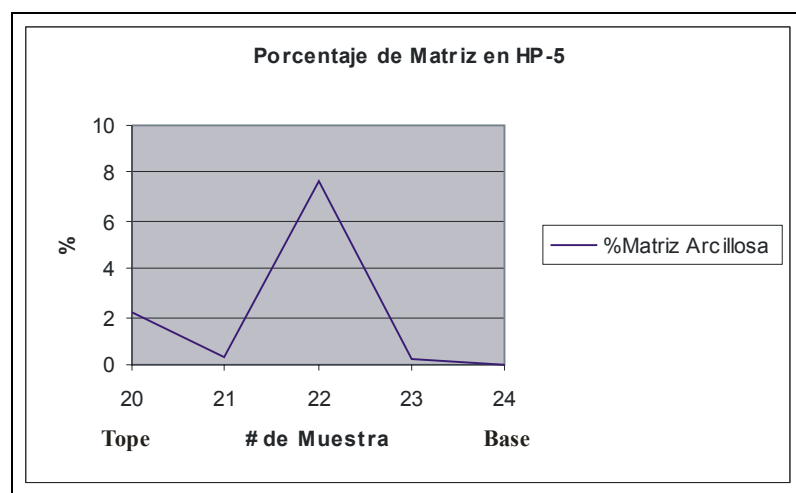


Fig. 43. Concentraciones de matriz en el pozo HP-5

3.2.3.7. Características Texturales y Granulométricas:

En general de base a tope los granos presentan formas subredondeadas. Hacia la base se encuentran los granos de mayor tamaño con diámetros promedios que oscilan entre 0,3 y 0,35 mm. Luego hacia la sección media disminuye la granulometría con valores que se encuentran entre 0,15 y 0,2 mm de diámetro, los cuales al llegar al tope aumentan a 0.25mm. Fig. 44.

La porosidad intergranular hacia la base presenta su mayor porcentaje con un valor del 10% debido a la disminución de matriz, luego tiende a

disminuir hacia la sección media y el tope del pozo donde se encuentra entre 0% y 2%. Fig. 45

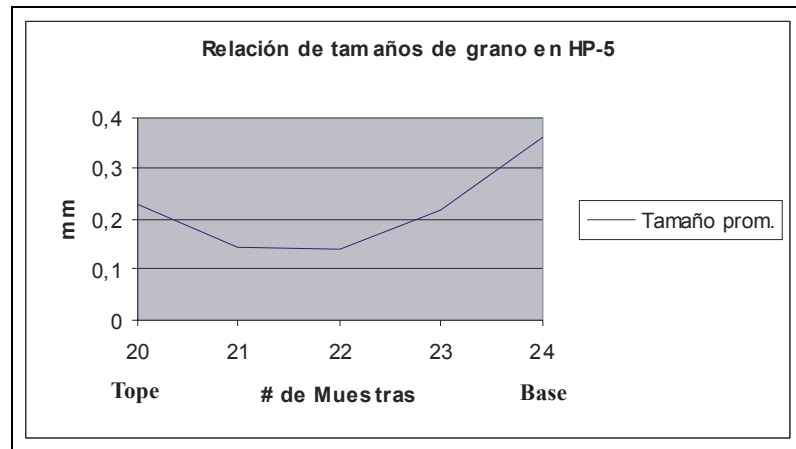


Fig. 44. Relación de tamaños de granos en el pozo HP-5

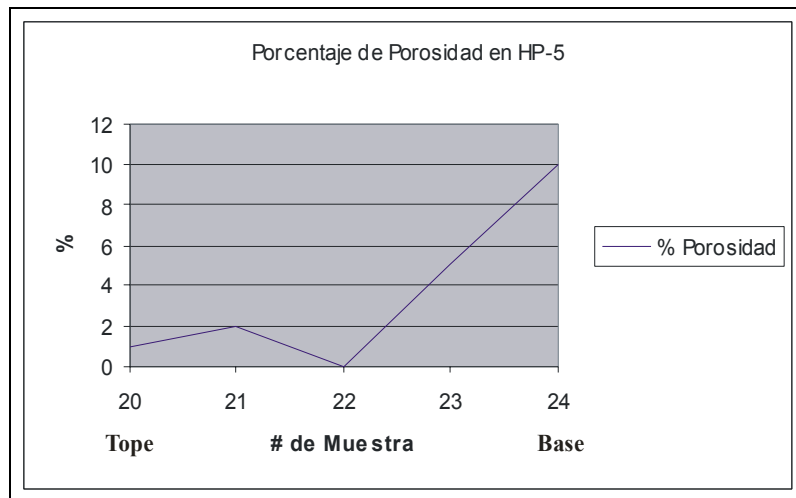


Fig. 45. Variación de porosidad de base a tope en el pozo HP-5.

3.2.4 Pozo HP-6 (2464' a 4316')

3.2.4.1 Cuarzo policristalino:

Las concentraciones de cuarzo policristalino en toda la extensión del pozo presentan un comportamiento muy regular (Fig. 47). El Q.P<4E.O. se observa en la base con un porcentaje del 20%, el cual hacia la parte media del núcleo disminuye un poco manteniéndose en un valor del 16%, para luego aumentar nuevamente hacia el tope volviendo a su valor inicial de 20%. El Q.P>3E.O. se mantiene en concentraciones del 11% y 12% desde la base hasta el tope. Fig. 46.

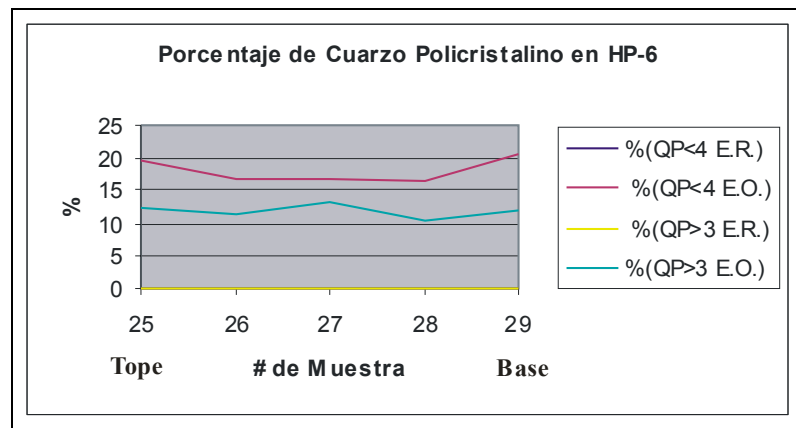


Fig.46. Relación de cuarzo policristalino de base a tope en el pozo HP-6

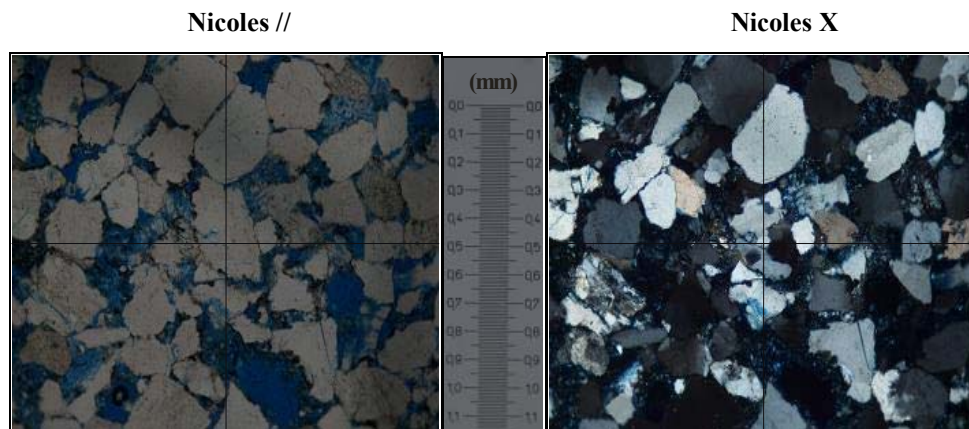


Fig. 47. Cuarzo policristalino en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-6, ocular 10; objetivo 10x
(Muestra #28; 4024-4042 pies)

3.2.4.2. Cuarzo monocristalino:

Hacia la base se aprecian iguales porcentajes de cuarzo con extinción recta y extinción ondulatoria, ambos con un valor del 31%. El cuarzo metamórfico tiende a aumentar sus concentraciones hacia la sección media alcanzando un valor del 38%, mientras que el de extinción recta disminuye hasta un 28%. Luego invierten sus comportamientos y el de extinción ondulatoria disminuye constantemente hacia el tope llegando a un mínimo de 20%, al mismo tiempo que el cuarzo de extinción recta llega a valores del 35% al 40%. Fig. 48.

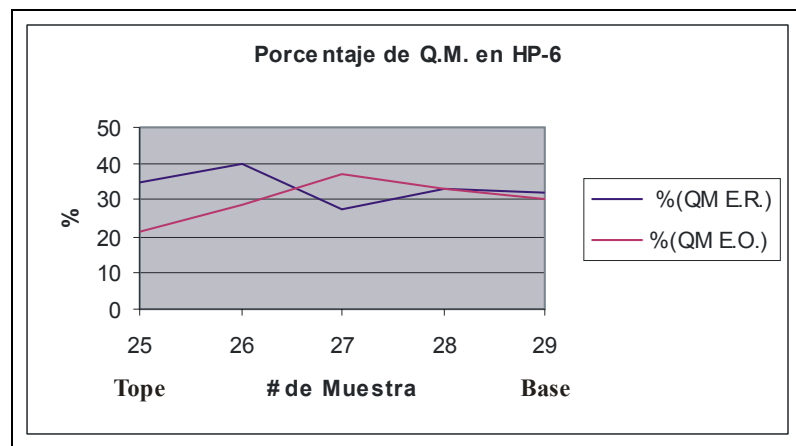


Fig.48. Relación de cuarzo monocristalino de base a tope en el pozo HP-6

3.2.4.3. Feldespatos:

Los porcentajes de feldespatos siguen siendo muy bajos al igual que en pozos anteriores. Hacia la base se observan en valores que van de 0% a 0,15% y luego en el tope se presentan en valores de 0,2% los cuales son los mayores de todo el pozo. Fig. 49.

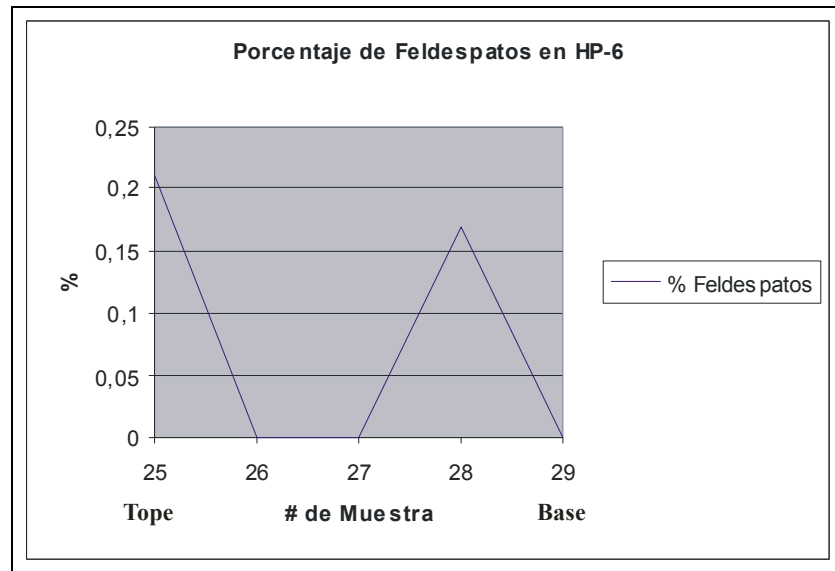


Fig.49. Concentraciones de feldespatos sin diferenciar en el pozo HP-6

3.2.4.4. Fragmentos de roca y fósiles:

En la base del núcleo se observan fragmentos de lutitas en un 3%, también se aprecian fragmentos de gneis y areniscas arcillosas en porcentajes menores al 1%. Luego hacia a la sección media se ve como los fragmentos de lutitas y areniscas tienden a disminuir, mientras que los fragmentos de gneis aumentan sus concentraciones hasta 2,5%. En el tramo que va de la sección media al tope los fragmentos de lutita siguen disminuyendo hasta llegar a un valor mínimo de 1,5%, mientras que los fragmentos de gneis comienzan a reducir sus concentraciones llegando casi hasta un 0%. Por ultimo hacia el tope los fragmentos de lutitas y gneis aumentan hasta un 5% y 2,5% respectivamente, al mismo tiempo que los porcentajes de areniscas se mantienen por debajo del 0,5%. Fig. 50.

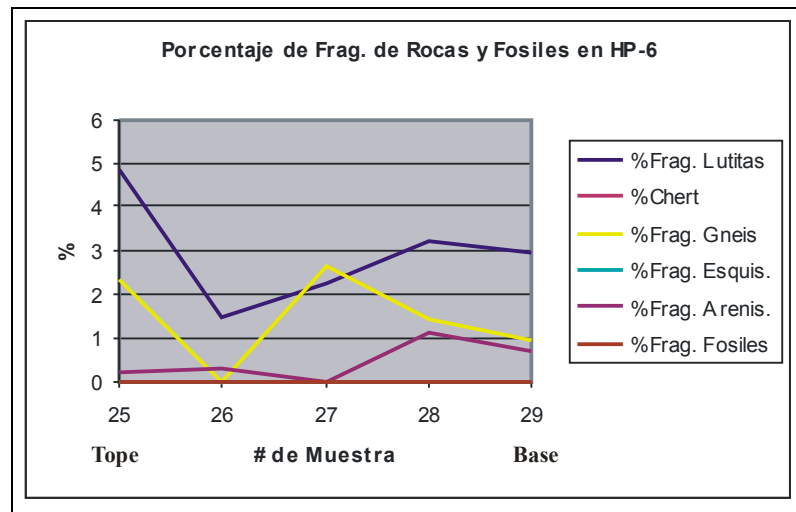


Fig.50. Relación entre fragmentos de rocas y fósiles en el pozo HP-6

3.2.4.5. Minerales Accesorios y Trazas:

En este pozo solo se consigue hematita hacia el tope en porcentajes que van del 0% al 1,4%. No se logran identificar otros minerales accesorios en el resto de la perforación. Fig. 51.

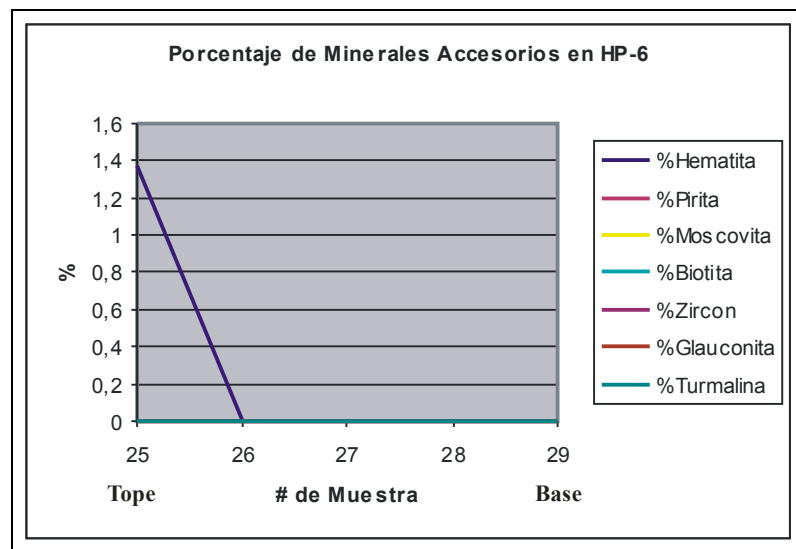


Fig.51. Relación de minerales accesorios y trazas en el pozo HP-6

3.2.4.6. Cemento Calcáreo:

Se observa como desde la base hasta la sección media los porcentajes de cemento calcáreo (Fig. 53) disminuyen desde 1% hasta 0%, luego presenta una tendencia a aumentar a medida que disminuye la profundidad, llegando a ser del 3% en el tope. Fig. 52.

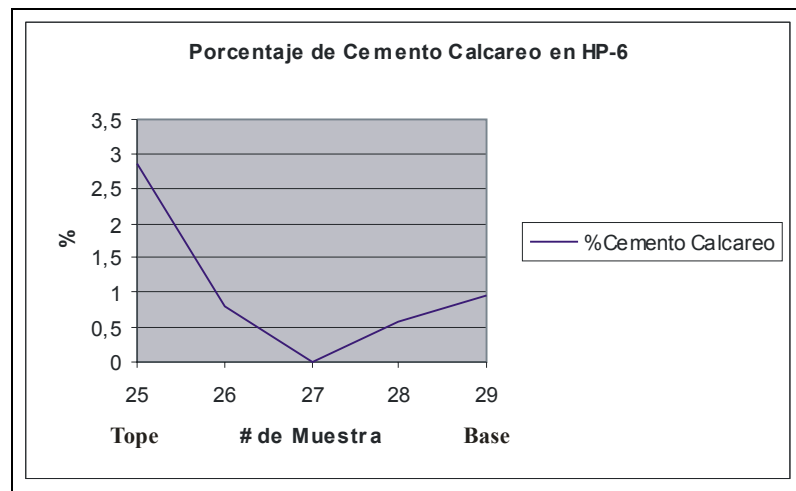


Fig. 52. Concentraciones de cemento calcáreo en el pozo HP-6

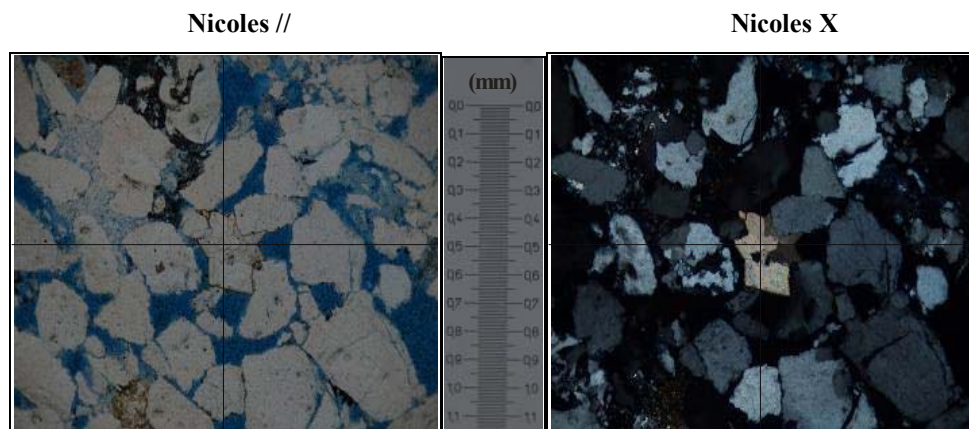


Fig. 53. Cemento calcáreo en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-6, ocular 10; objetivo 10x
(Muestra #25; 2464-2482 pies)

3.2.4.7. Características Texturales y Granulométricas:

De base a tope los granos encontrados presentan formas que van de subredondeadas a subangulares, los granos de menor tamaño se encuentran ubicados hacia la base con diámetros promedios de 0,3 a 0,35mm. Luego hacia la sección media se ven granos con diámetros promedios de 0,4 a 0,45mm, los cuales disminuyen a 0,37 y alcanzan un valor máximo de 0,47mm hacia el tope. (Fig. 54). Entre otras características importantes hay que destacar que en este pozo las muestras no presentan contenido de matriz y los porcentajes de porosidad intergranular se encuentran entre valores que van del 2% al 10% hallándose los mayores porcentajes en la sección media del núcleo. Fig. 55

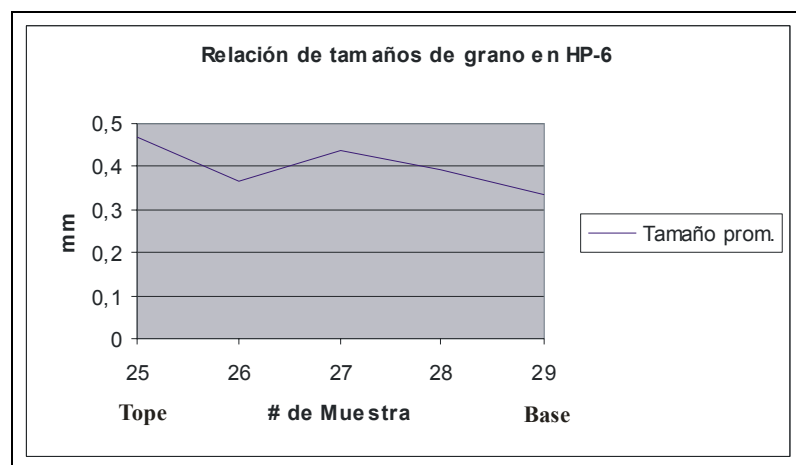


Fig.54. Relación de tamaños de granos en el pozo HP-6

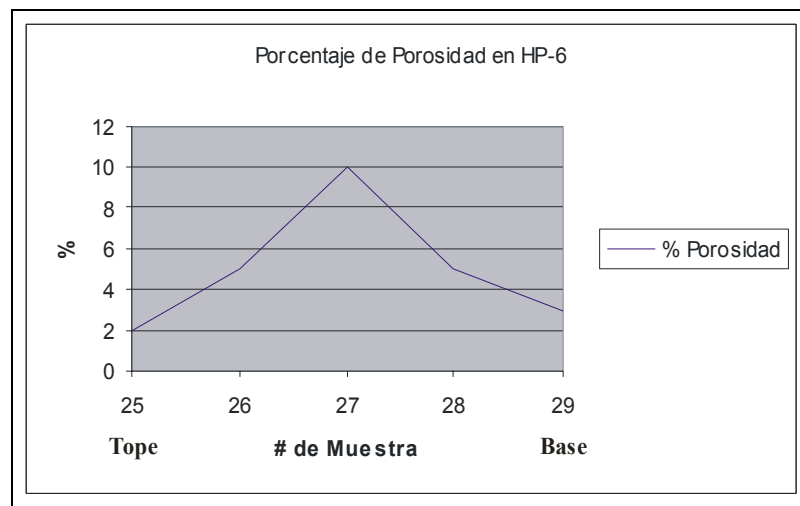


Fig. 55. Variación de porosidad de base a tope en el pozo HP-6.

3.2.5 Pozo HP-7 (2820' a 4520')

3.2.5.1. Cuarzo policristalino:

Hacia la base del núcleo se observan iguales porcentajes de Q.P.<4E.O. y Q.P.>3E.O. con un valor del 8%, los cuales tienden a aumentar a medida que se acercan a la parte media del pozo llegando a porcentajes de 12% y 19% respectivamente, luego ambas concentraciones descienden a valores que se encuentran entre el 7% y el 8% de ahí en adelante el Q.P.>3E.O. continua disminuyendo hacia el tope hasta llegar al 5,5%, mientras el Q.P.<4E.O. aumenta hasta alcanzar un máximo de 17%. Fig. 56 y 57.

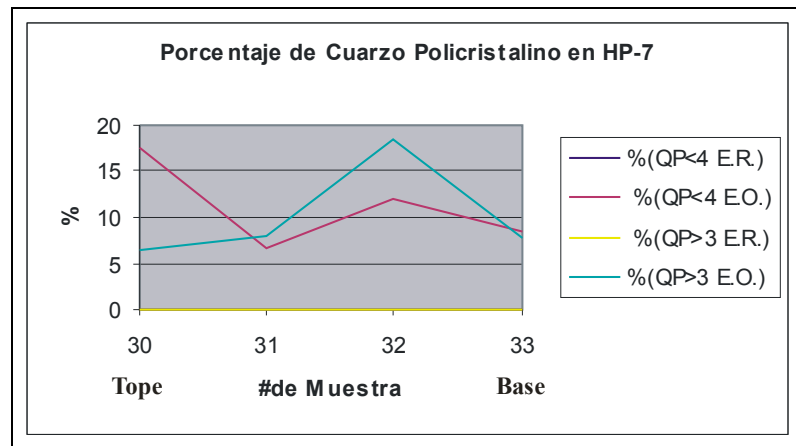


Fig. 56. Relación de cuarzo policristalino de base a tope en el pozo HP-7

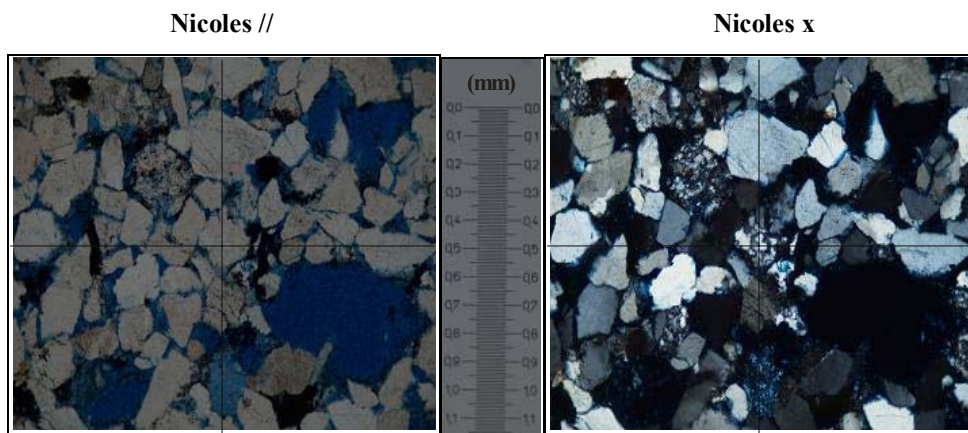


Fig. 57. Cuarzo policristalino en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-7, ocular 10; objetivo 10x (Muestra #33)

3.2.5.2. Cuarzo monocristalino:

Hacia la base se encuentran cuarzoes de extinción recta y extinción ondulatoria con porcentajes de 34% y 45% respectivamente, luego el cuarzo metamórfico tiende a disminuir sus concentraciones de manera constante hasta llegar a un valor mínimo del 31% al pasar por la sección media, posteriormente aumenta hacia el tope finalizando con un porcentaje de 36%. Con respecto al cuarzo de extinción recta se puede decir que luego de

disminuir hasta un 26 % comienza a aumentar sus concentraciones llegando a un máximo de 45% para luego descender hasta igualar el valor final del cuarzo metamórfico. Fig. 58.

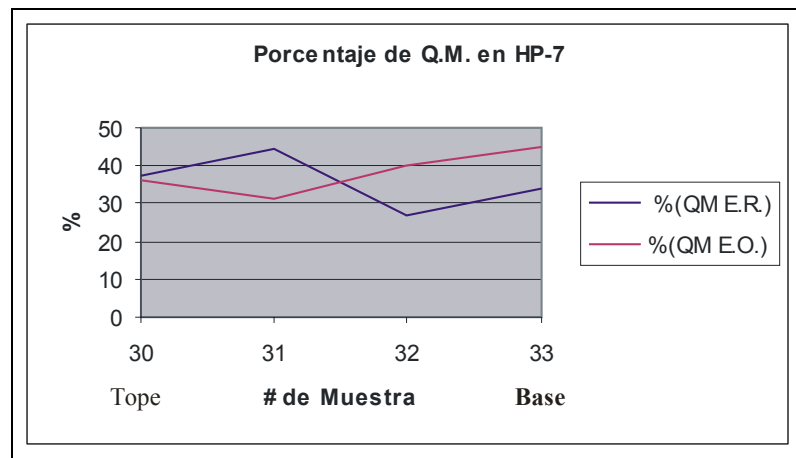


Fig.58. Relación de cuarzo monocristalino de base a tope en el pozo HP-7

3.2.5.3. Fragmentos de roca y fósiles:

Para este pozo solo se observaron fragmentos de lutitas y limolitas arcillosas, las cuales se aprecian en todas las secciones de la perforación (Fig. 60). Hacia la base se presentan en valores que se encuentran por debajo del 1% y a medida que disminuye la profundidad tienen la tendencia a aumentar sus concentraciones, llegando a alcanzar un valor máximo de 7% antes de llegar al tope, pero luego de llegar este valor desciende constantemente terminando con un porcentaje de 1%. Fig. 59.

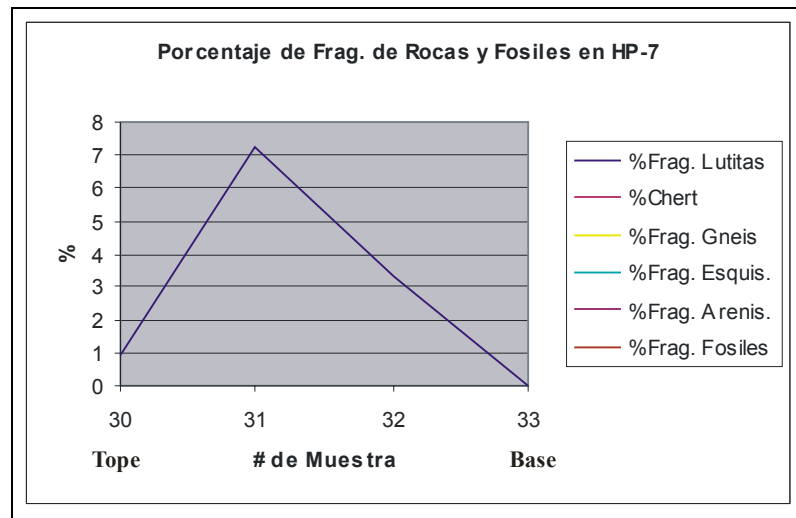
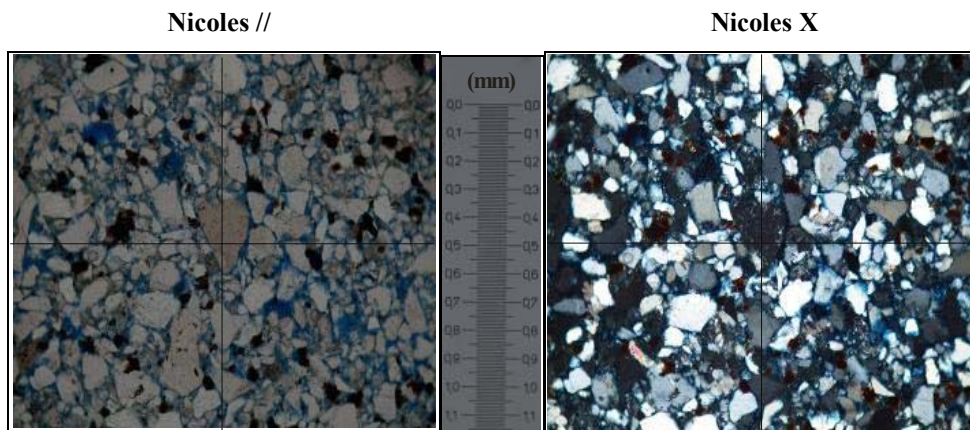


Fig.59. Relación entre fragmentos de rocas y fósiles en el pozo HP-7

Fig. 60. Fragmento de lutita en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-7, ocular 10; objetivo 10x
(Muestra #32; 3540-3554 pies)

3.2.5.4. Minerales Accesorios y Trazas:

Entre la sección media y el tope de la perforación se logran apreciar concentraciones de hematita los cuales se encuentran en valores que van de 0% a 2,6%, a mayores profundidades no se observaron otros minerales accesorios. Fig. 61.

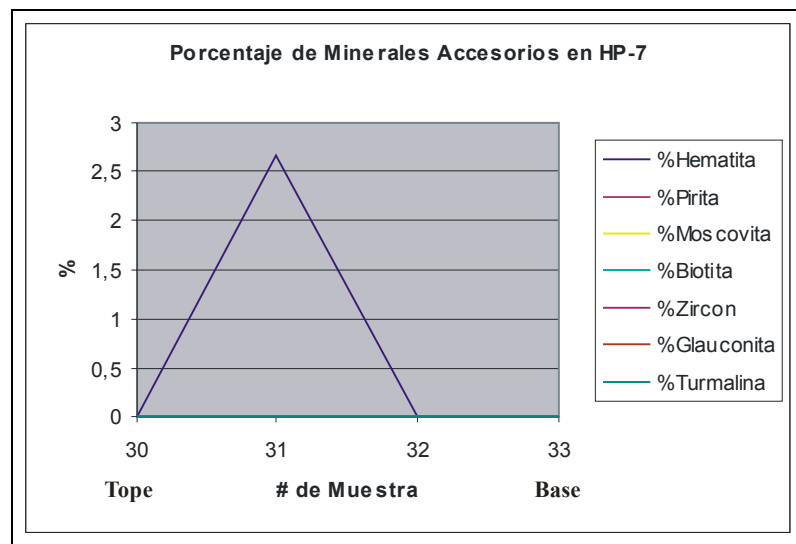


Fig.61. Relación de minerales accesorios y trazas en el pozo HP-7

3.2.5.5. Cemento Calcáreo:

Desde la sección media hacia el tope del núcleo se aprecian porcentajes de cemento calcáreo que van en aumento desde 0% hasta 1,5%. De la base a la sección media no se observó la existencia de este cemento. Fig. 62 y 63

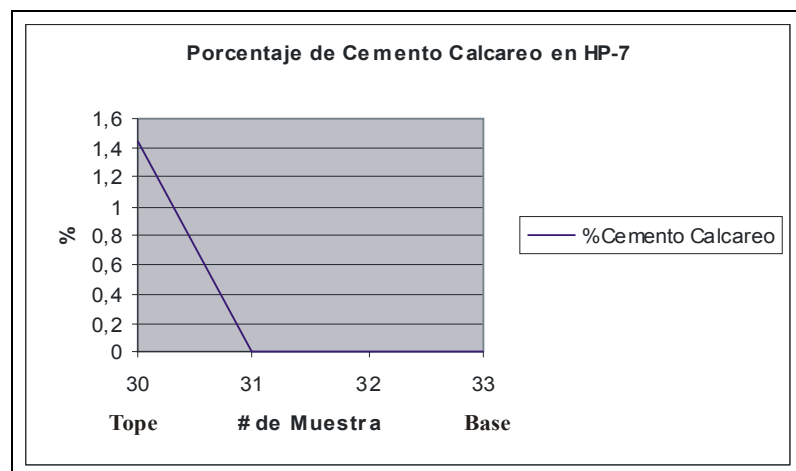


Fig.62. Concentraciones de cemento calcáreo en el pozo HP-7

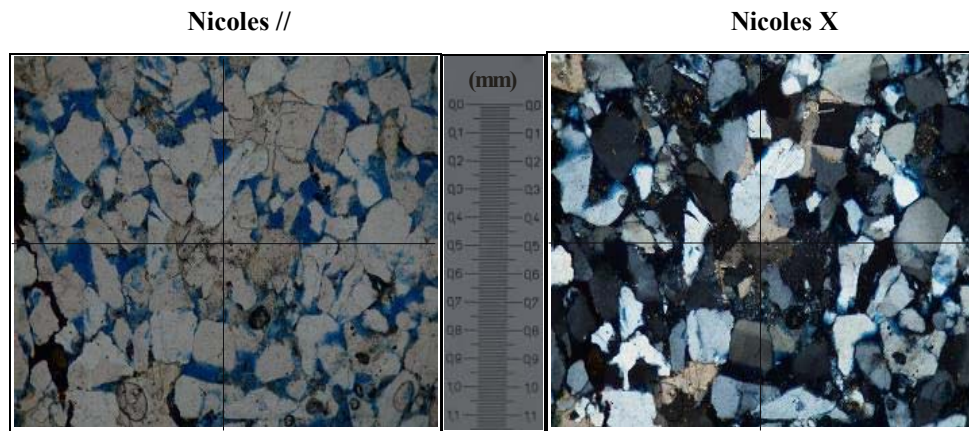


Fig. 63. Cemento calcáreo en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-7, ocular 10; objetivo 10
(Muestra #30, 2820-2831)

3.2.5.6. Características Texturales y Granulométricas:

En la base del núcleo los granos presentan formas que van de subangulosas a subredondeadas, las formas de los granos varían según varían los tamaños de los mismos, haciéndose más redondeados los de menor tamaño y más angulosos los de mayor diámetro. Con respecto al tamaño promedio de los granos se puede decir que hacia la base se encuentran entre 0,3 y 0,4mm, estos valores aumentan hasta 0,5mm hacia la parte media, luego disminuyen a 0,2mm, y por ultimo hacia el tope vuelven a tener tamaños iguales a los granos de la base. Fig. 64.

Cabe destacar que en este núcleo no se presentan porcentajes de ningún tipo de matriz, al igual que no se observa la presencia de granos de feldespatos. La porosidad intergranular encontrada varía de 2% al 5% presentando la tendencia a aumentar de base a tope. Fig. 65.

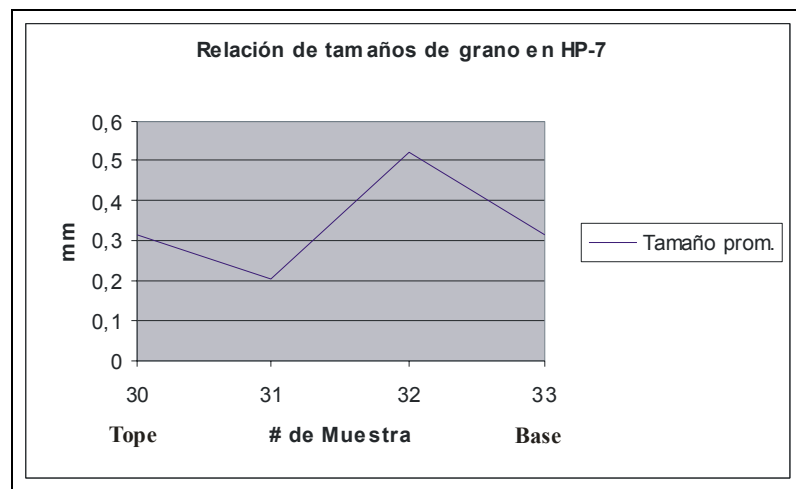


Fig.64. Relación de tamaños de granos en el pozo HP-7

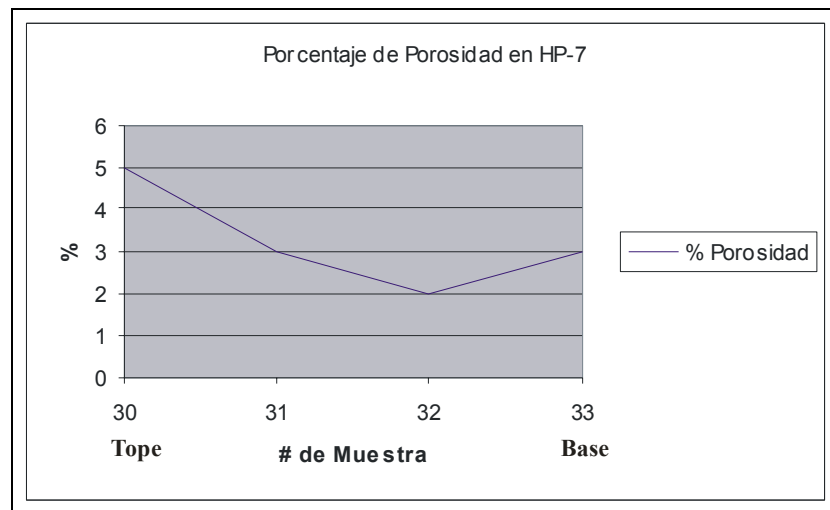


Fig.65. Variación de porosidad en el pozo HP-7

3.3. Procesos Diagenéticos

Durante el análisis petrográfico se observaron algunos procesos diagenéticos, los cuales si no se identifican como tal a la hora de realizar el análisis modal podrían afectar los resultados de la procedencia.

Entre estos procesos tenemos:

- Alteración y disolución de feldespatos
- Glauconitización
- Piritización
- Crecimiento de óxidos de hierro
- Desarrollo de pseudomatriz
- Crecimiento de cemento carbonático
- Trituración de granos

La alteración y disolución de los feldespatos juega un papel importante en la determinación de la procedencia, ya que gracias a estos procesos los feldespatos se encontraron en diminutas cantidades, además tuvieron que ser clasificados en su mayoría como feldespatos indeterminados por su grado de alteración.

La glauconitización y la piritización son procesos que indican condiciones reductoras del medio diagenético en ambiente marino. La formación de sulfuros como la piritita, exige condiciones altamente reductoras y de pH bajo, la glauconita se genera en condiciones menos reductoras. La formación de la glauconita ocurre a pocos centímetros por debajo de la superficie de deposición, mientras que la piritita se genera a niveles más profundos. La glauconita requiere la existencia de materia orgánica capaz de absorber hierro y sílice coloidal el cual precipitará por reducción en una etapa diagenética temprana. Fig. 32.

El crecimiento de óxidos de hierro como la hematita representa ambientes de condiciones oxidantes, lo cual nos indica variaciones de ambientes reductores y oxidantes. Fig. 42

El desarrollo de pseudomatriz es causado por la trituración de los bordes de los granos. El crecimiento de cemento calcáreo indica ambientes marinos que permiten la precipitación del carbonato de calcio.

La trituración de los granos también juega un papel importante, ya que en el momento de medir los diámetros de los granos se tuvo que tomar en cuenta la posible forma y tamaño original del grano antes de ser triturado. Fig. 66.

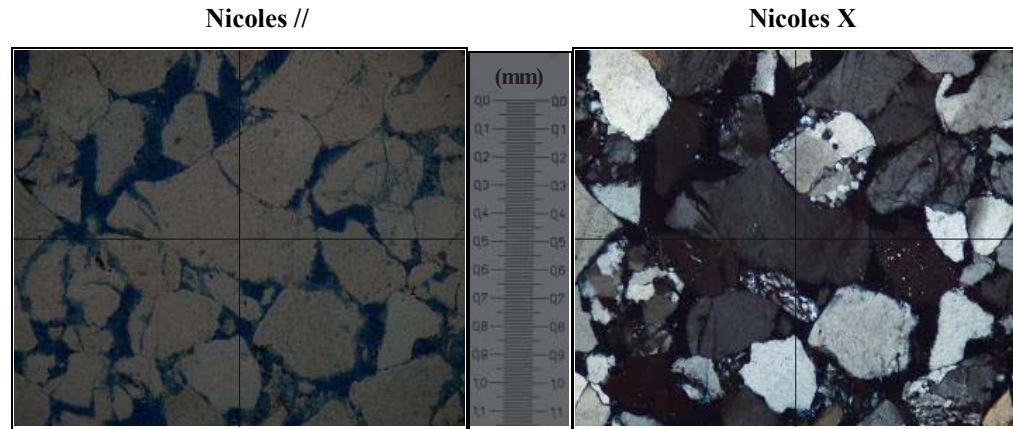


Fig. 66. Granos de cuarzo triturados en fotomicrografía de sección fina del pozo HP-5, ocular 10; objetivo 10 (Muestra #20, 1181 pies)

3.4. Clasificación de las Areniscas

El programa de análisis modal basándose en los porcentajes de composición mineral, clasificó las diferentes muestras de areniscas según los criterios de PETTIJOHN *et. al.* (1973). Tomando en cuenta estas clasificaciones se puede decir que los tipos de areniscas son tres en general: Arenita Cuarzosa, Arenita Lítica y Sublitenita.

A manera de comparación se observa una predominancia de Arenitas cuarzosas en todos los pozos con un porcentaje promedio de 64%, acompañadas de menores porcentajes de Arenitas líticas con 23% y sublitenitas con 13% aproximadamente.

A continuación, en las figuras 67 y 68, se presentan las relaciones porcentuales de los tres tipos de rocas para cada pozo, también se presenta en la tabla 7 un resumen con todas las clasificaciones para cada muestra.

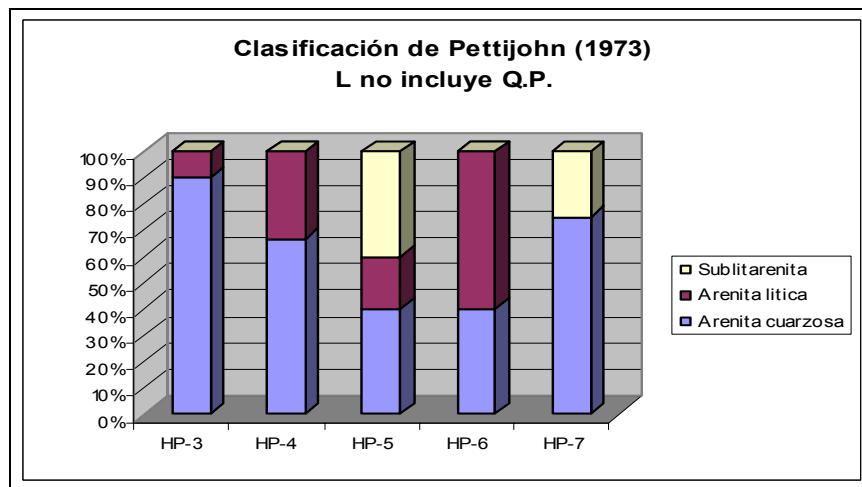


Fig. 67. Relación de tipos de rocas en los pozos (Líticos no incluye Q.P)

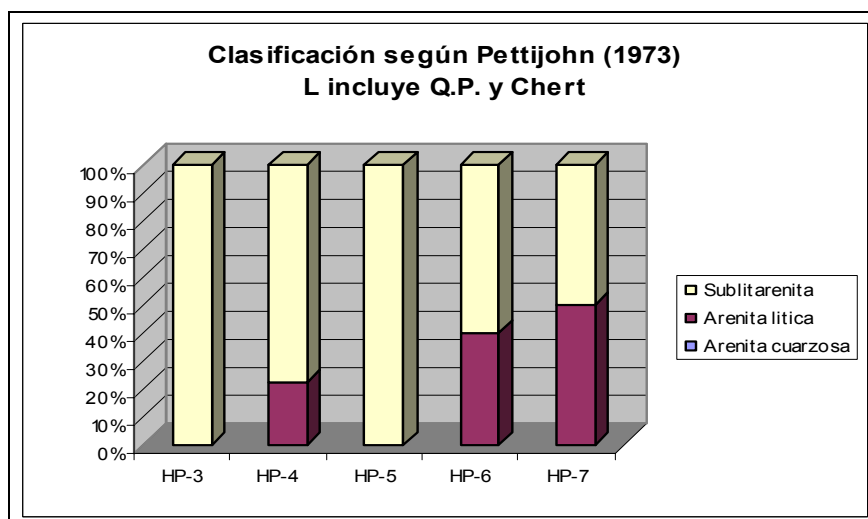


Fig. 68. Relación de tipos de rocas en los pozos (Líticos incluye Q.P y Chert)

Tabla 7. Clasificación de todas las muestras según PETTIJOHN *et. al.* (1973)**CLASIFICACIÓN SEGÚN PETTIJOHN, POTTER Y SIEVER**

Pozo	# de muestra	Profundidad (pies)	"L" no incluye QP	L incluye QP y Chert
HP-3	1	535	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-3	2	627	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-3	3	693	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-3	4	1136	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-3	5	1144	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-3	6	1204	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-3	7	1242-1244	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-3	8	1253	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-3	9	2061	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-3	10	3061-3081	Arenita Lítica	Sublitarenita
HP-4	11	475-476	Arenita Lítica	Sublitarenita
HP-4	12	5522	Arenita Lítica	Sublitarenita
HP-4	13	1823-1842	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-4	14	1851-1854	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-4	15	2076-2078	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-4	16	2293	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-4	17	2883	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-4	18	2902-2903	Arenita Lítica	Arenita Lítica
HP-4	19	2995-2998	Arenita Cuarzosa	Arenita Lítica
HP-5	20	1181	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-5	21	2014-2017	Sublitarenita	Sublitarenita
HP-5	22	2146-2150	Sublitarenita	Sublitarenita
HP-5	23	2209-2211	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita
HP-5	24	2300-2302	Arenita Lítica	Sublitarenita
HP-6	25	2464-2482	Arenita Lítica	Sublitarenita
HP-6	26	2820-2831	Arenita Cuarzosa	Arenita Lítica
HP-6	27	3403-3413	Arenita Lítica	Sublitarenita
HP-6	28	4024-4042	Arenita Lítica	Sublitarenita
HP-6	29	4293-4316	Arenita Cuarzosa	Arenita Lítica
HP-7	30	2820-2831	Arenita Cuarzosa	Arenita Lítica
HP-7	31	3095-3107	Sublitarenita	Sublitarenita
HP-7	32	3540-3554	Arenita Cuarzosa	Arenita Lítica
HP-7	33	4502-4520	Arenita Cuarzosa	Sublitarenita

CAPÍTULO 4

PROCEDENCIA

4.1.- Generalidades

En este capítulo se estima establecer la procedencia de las rocas estudiadas, por medio de los diagramas ternarios de procedencia desarrollados por DICKINSON Y SUCZEC (1979) y los resultados estadísticos obtenidos del análisis modal de las diferentes muestras. Los resultados obtenidos de estos diagramas serán comparados con los modelos de tectónica propuestos y con las diferentes zonas positivas que pudieran haber estado aportando sedimentos a la Cuenca de Falcón para el Mioceno Temprano.

Es importante destacar que la comparación de los resultados con las zonas anteriormente mencionadas se realizará a escala regional, ya que los diagramas fueron diseñados para aportar una visión global de la procedencia, por lo que se tomaran en cuenta todas las zonas que presenten las características descritas por los triángulos.

4.2.- Diagramas de Procedencia

Los diagramas ternarios de procedencia son el resultado de investigaciones realizadas por DICKINSON Y SUCZEC (1979), las cuales fueron posteriormente ampliados por DICKINSON *et. al.* (1983). Los autores tomaron dos tipos de diagramas, en uno colocaron las variables de cuarzo total, feldespatos y fragmentos líticos (Q, F, L), para el segundo agruparon las variables en cuarzo monocristalino, feldespatos y fragmentos de rocas con cuarzo policristalino (Qm, F, Lt). De los triángulos el que más se utiliza y el más general es el Q, F, L, el otro se usa fundamentalmente para delimitar determinados subambientes, ambos se muestran a continuación en la Fig. 69.

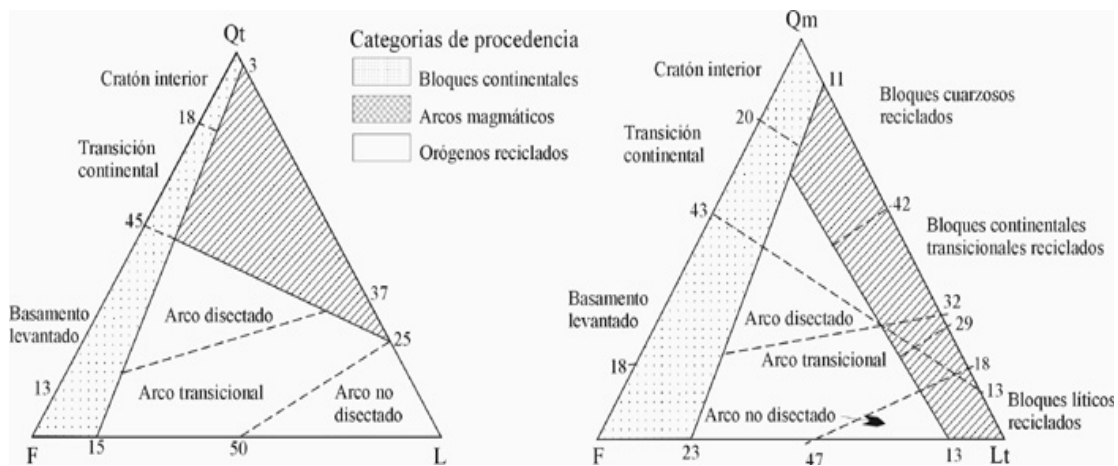


Fig. 69 Diagramas ternarios de procedencia según DICKINSON (1985).

Al graficar estas variables lograron definir tres zonas de procedencia principales que se describen a continuación:

- Bloques Continentales: los sedimentos provienen de un bloque continental no orogénico que forma un aserie de arenas que proceden de un área positiva asociada al cratón.
- Arco Magmático: los sedimentos provenientes del arco forman una serie de arenas en las que se incluyen restos líticos volcanoclásticos y fragmentos de cuarzo y feldespatos si tiene influencia plutónica.
- Orógeno Reciclado: los sedimentos se encuentran agrupados en varios tipos de fuentes orogénicas. En general son terrenos estratificados, plegados, levantados y fallados, en los cuales son comunes los fragmentos sedimentarios y metasedimentarios.

(Tomado de BERMÚDEZ *et. al.* 2003)

Cada una de estas zonas se subdivide en otras subzonas de procedencia, las cuales se explican en la tabla 8 relacionándolas con los ambientes tectónicos de la cuenca de depositación y la litología característica. Fig. 70.

Tabla 8. Zonas y Subzonas de procedencia. Tomado de MILIÁN (1998)

BLOQUE CONTINENTAL	ARCO MAGMÁTICO	ORÓGENO RECICLADO
CRATÓN INTERIOR: Se trata de zonas muy planas con un margen pasivo en la zona costera. Los sedimentos son derivados a partir de un escudo expuesto. Son transportados por los ríos a distancias muy largas debido al bajo relieve. Su composición es típicamente cuarzosa con porcentajes de feldespatos q aumentan a medida que disminuye la madurez mineralógica de la roca. (Areniscas cuarzosas ricas en Qt. Con altas relaciones Qm/Qp y K/p).	NO DISECTADO: Las areniscas presentan un alto contén de plagioclasa y fragmentos líticos volcánicos. Se observan fenocristales de plagioclasa. El cuarzo esta en menor proporción y es principalmente de origen volcánico.	COMPLEJO DE SUBDUCCIÓN: Se forma un prisma de acreción de materiales plegados y metamorfizados. La erosión del mismo produce sedimentos que se depositan en la fosa y en la cuenca "Backarc". Se tienen rocas de tipo ofiolítico, materiales detríticos plegados y metamorfizados, chert, argilita, grawacas y algunas calizas. (Areniscas cuarzolíticas ricas en Qt y Lt con bajas concentraciones de F y Lv).
TRANSICIONAL: Los sedimentos son derivados de formas positivas a lo largo de segmentos transformantes o de otra estructura discontinua.	TRANSICIONAL: presenta un mayor contenido de granos cuarzo, a partir de subvolcánicas de los arcos.	ORÓGENO COLISIONAL: Compuesto por napas y corrimientos de rocas sedimentarias y metasedimentarias. Son sedimentos reciclados, con un contenido intermedio de cuarzo, una alta relación Q/F y abundantes fragmentos líticos sedimentarios y metasedimentarios.
BASAMENTO EXPUESTO: Se trata de las zonas "Rift" continentales. Los sedimentos provienen de basamentos expuestos limitados por fallas. Los sistemas depositacionales consisten de abanicos aluviales y ríos de tramos cortos. El alto relieve y la rápida erosión del basamento dan un alto contenido de feldespatos en las areniscas. (Arenas cuarzofeldespáticas ricas en Qm y F con poco Lt).	DISECTADO: los sedimentos provienen de arcos magmáticos maduros y erosionados que alimentan cuencas de tipo "Forearc" y "Backarc". Su composición es compleja siendo menos lítica que volcánica. El feldespato cálcico y potásico es común. Los fragmentos líticos no volcánicos son abundantes.	"FORELAND"EXPUESTO: En este caso los sedimentos derivados están formados por fragmentos líticos sedimentarios y metasedimentarios reciclados, con un contenido menor de cuarzo y feldespato.

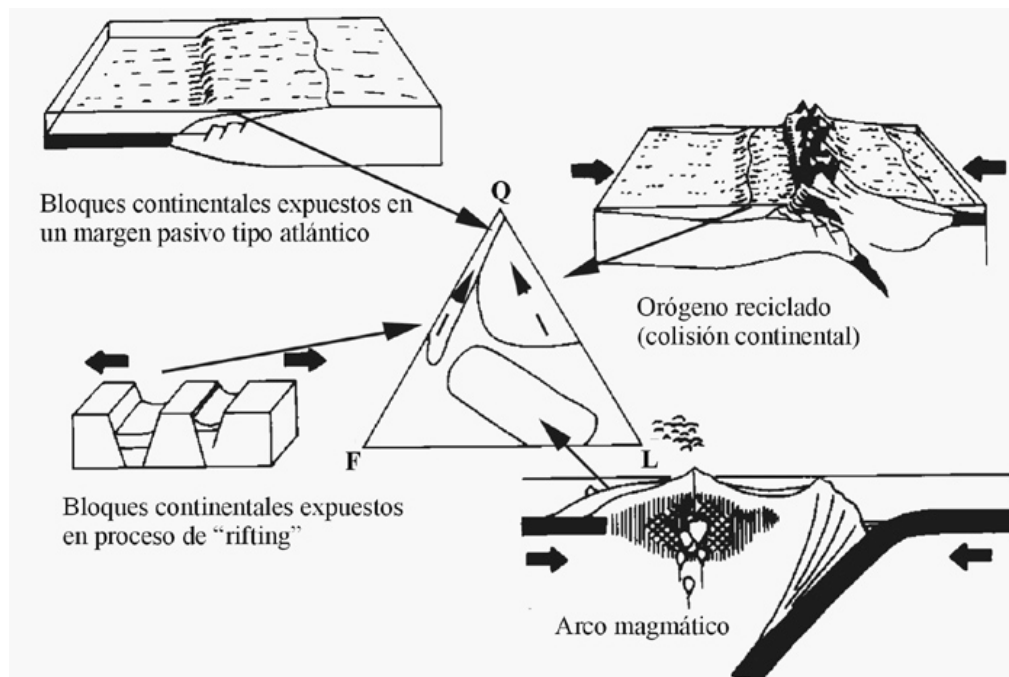


Fig. 70. Ubicación de los diferentes ambientes tectónicos a partir de los diagramas QFL de DICKINSON (1986). Tomado y modificado de FICHTER Y POCHÉ (1993). Las flechas discontinuas indican incremento de madurez.

4.3.- Resultados de Procedencia según diagramas ternarios

Siguiendo los criterios antes mencionados se realizaron los diagramas ternarios de procedencia con las variables Qm-F-Lt y Q-F-L para cada pozo, agrupando las muestras correspondientes a cada uno.

- Pozo HP-3: de acuerdo a los resultados obtenidos de los diagramas ternarios, las areniscas de este pozo poseen una procedencia que va de cratón interior a orógeno reciclado cuarzoso para ambos triángulos, siendo las correspondientes al cratón interior: arenitas cuarzosas con más del 85% de Qm, presentando una alta relación Qm/Qp y bajo porcentaje de fragmentos

líticos. Las rocas que se ubican en la zona del reciclado cuarzoso. También poseen altas concentraciones de cuarzo, pero la relación Q_m/Q_p es menor y la presencia de fragmentos rocas comienza a aumentar, incluso ubicándose una de las rocas muy cerca de la zona de transición clasificándose como una arenita lítica al ser el porcentaje de Q_p mayor que el de Q_m . Fig. 71.

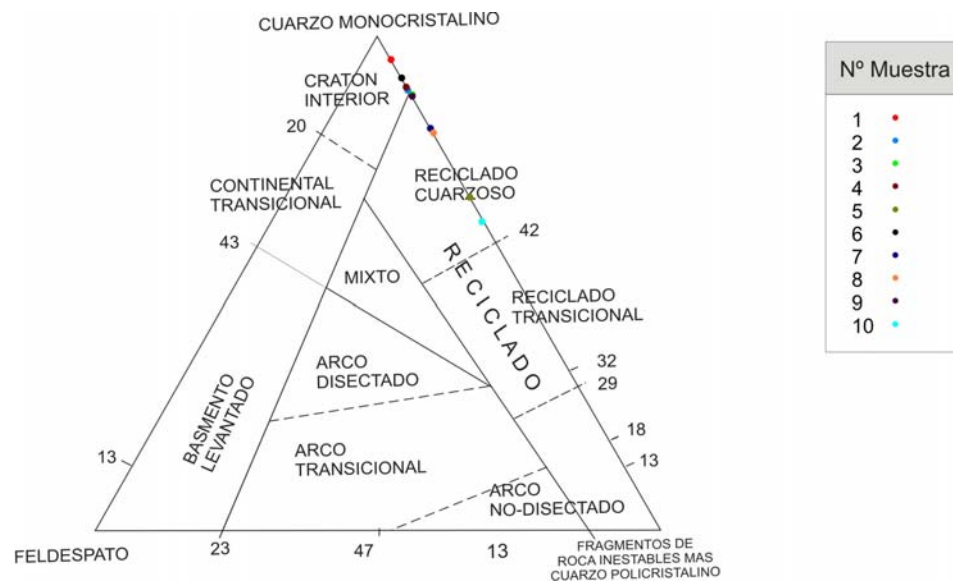


Fig. 71 (a) Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-3

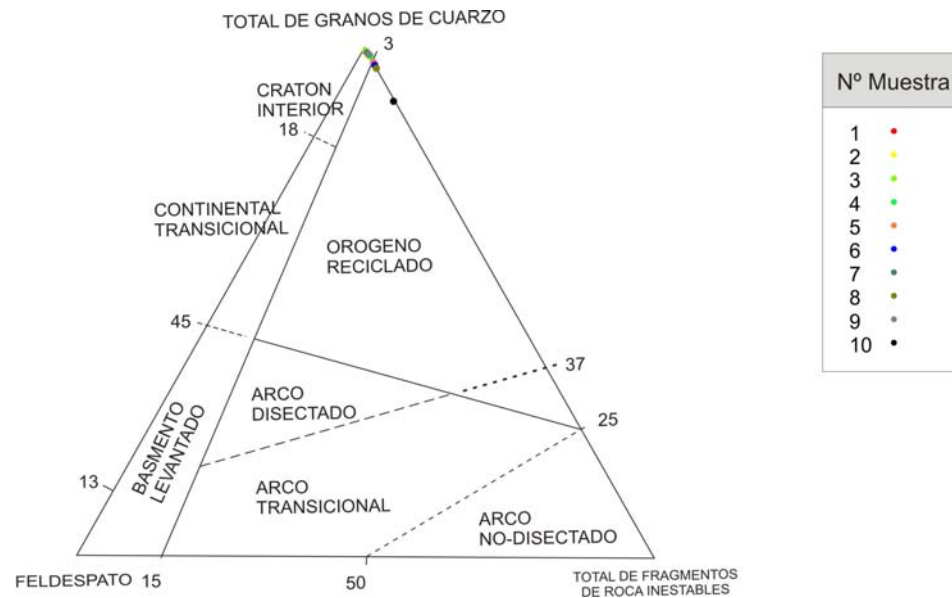


Fig. 71. (b) Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-3

- Pozo HP-4:** para este caso los diagramas ternarios arrojaron una procedencia de las rocas que va de cratón interior a orógeno reciclado. Para el triángulo de Qm se hace una diferenciación de las distintas zonas dentro del reciclado, ubicándose la mayoría de las rocas en un reciclado cuarzoso donde los porcentajes de Qm van del 75% al 85%, clasificándose como arenitas cuarzosas. Mientras que un par de muestras se ubican en la zona de reciclado lítico como arenitas líticas, con un alto porcentaje de Qp. Fig. 72.

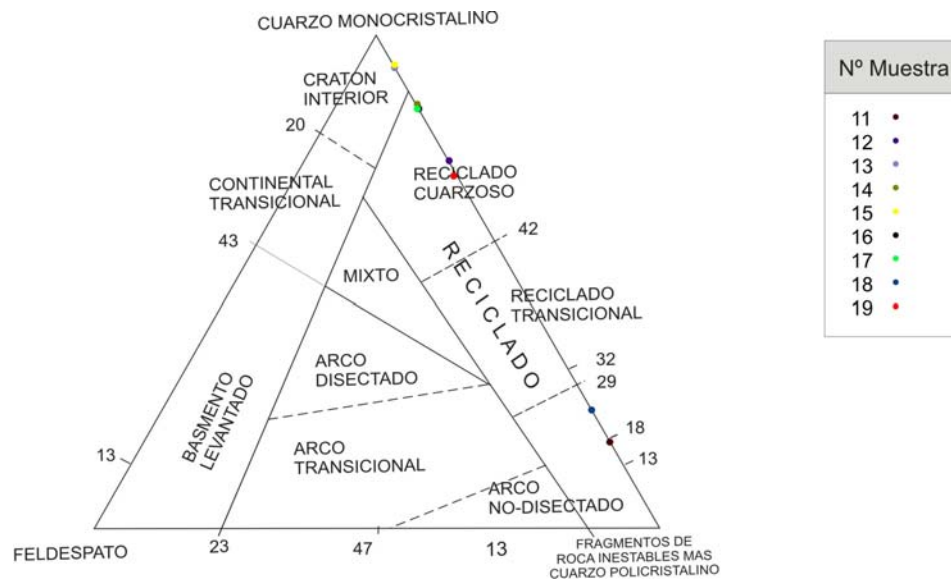


Fig. 72. (a) Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-4

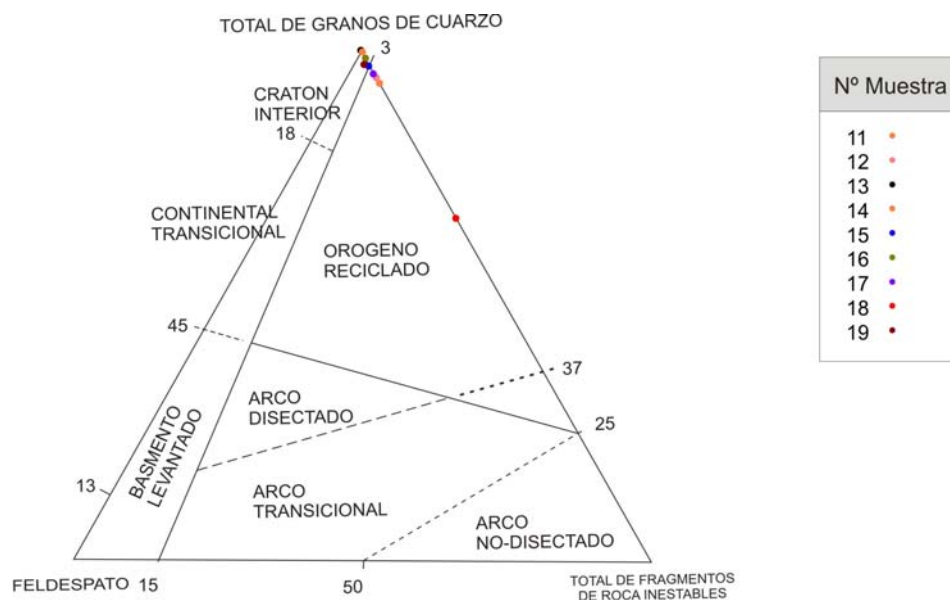


Fig. 72. (b) Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-4

- Pozo HP-5: para las muestras de este pozo la procedencia arrojada por los triángulos resultó ser de un cratón interior a un orógeno reciclado. En la zona del cratón interior se ubica una arenita cuarzosa con 90% de Qm y menos de un 5% de feldespatos, el resto de las muestras se encuentran en la zona del orógeno reciclado con porcentajes de Qm que se encuentran entre 70% y 75%. Fig. 73.

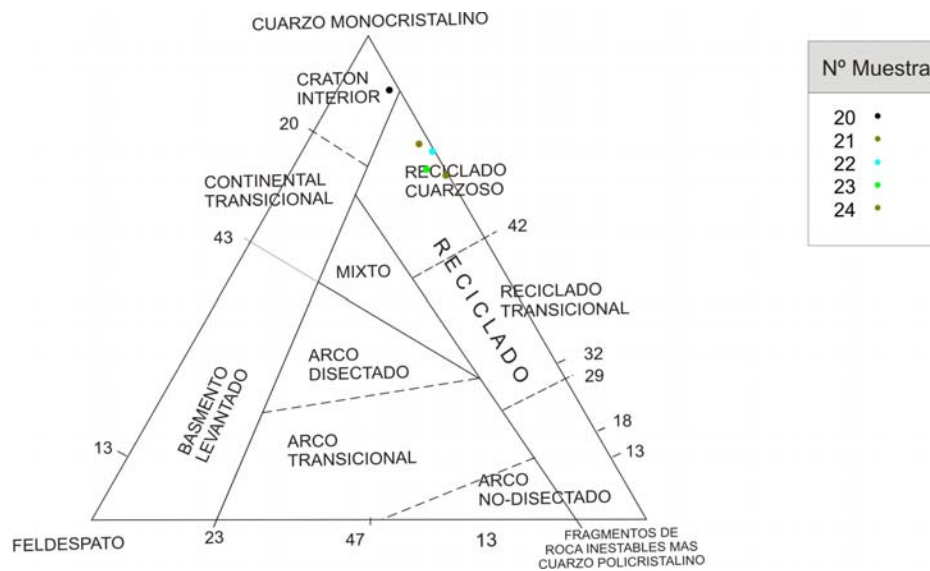


Fig. 73. (a) Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-5

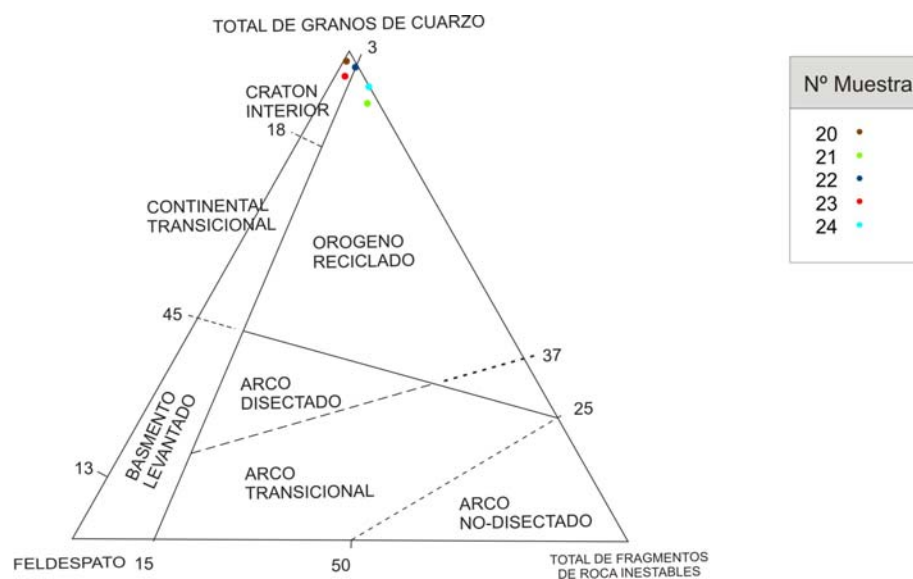


Fig. 73. (b) Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-5

- Pozo HP-6: para este caso, los triángulos arrojan una procedencia correspondiente a un orógeno reciclado cuarzoso, con variaciones en sus porcentajes de cuarzo monocristalino que va de 60% a 80%, clasificándose en su mayoría como arenitas líticas gracias a su contenido de Qp. Las rocas que se acercan más a la zona de cratón interior presentan una disminución en su contenido de cuarzo policristalino llegando a ser arenitas cuarzosas. Fig. 74.

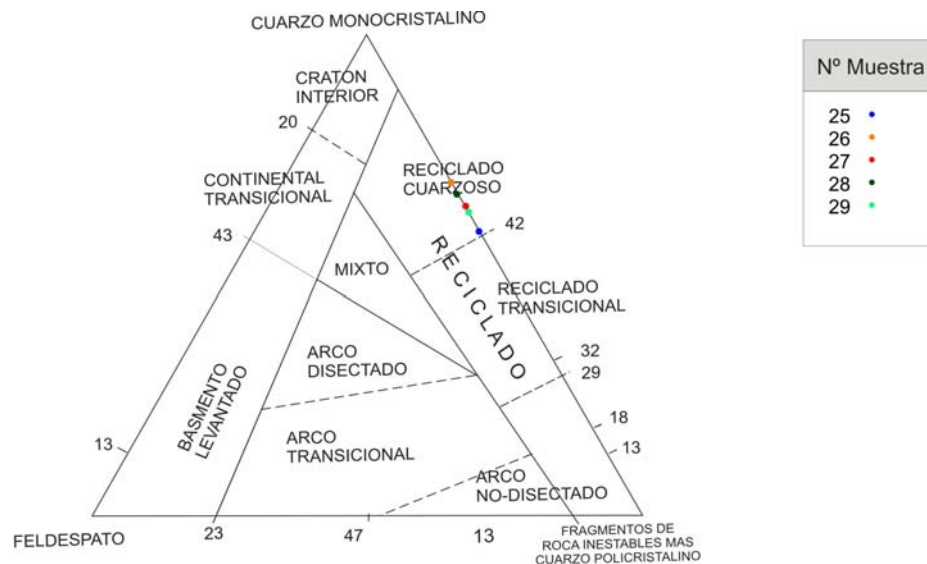


Fig. 74. (a) Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-6

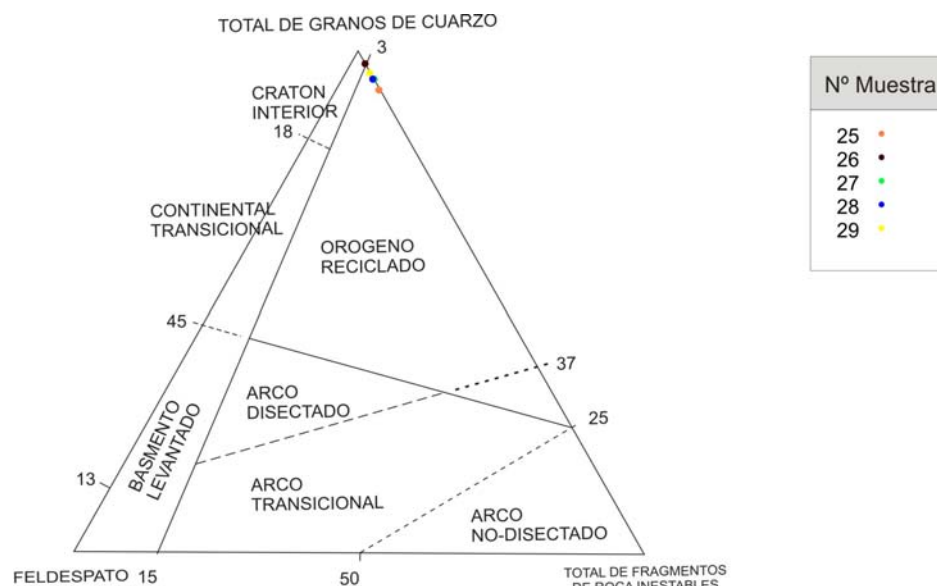


Fig. 74. (b) Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-6

- Pozo HP-7: al igual que el pozo anterior, los sedimentos arrojan como resultado una procedencia correspondiente a un orógeno reciclado cuarzoso, con variaciones de cuarzo monocristalino que se encuentran entre 70% y 80%, la presencia de feldespatos es casi nula al igual que en los pozos anteriores. Para el triángulo de cuarzo total las rocas tienden a acercarse a zona de cratón interior, lo cual indica el alto porcentaje de Qp. Fig. 75

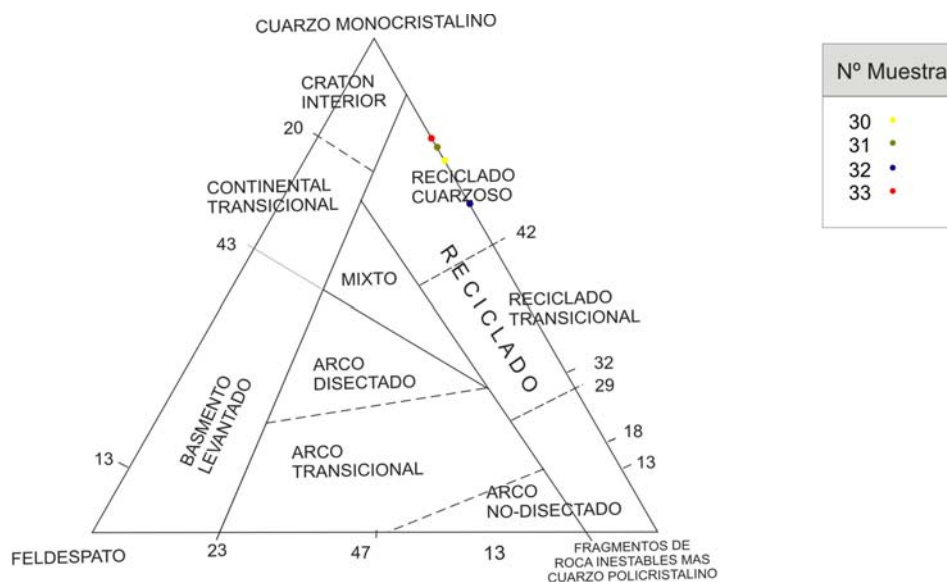


Fig. 75. (a) Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-7

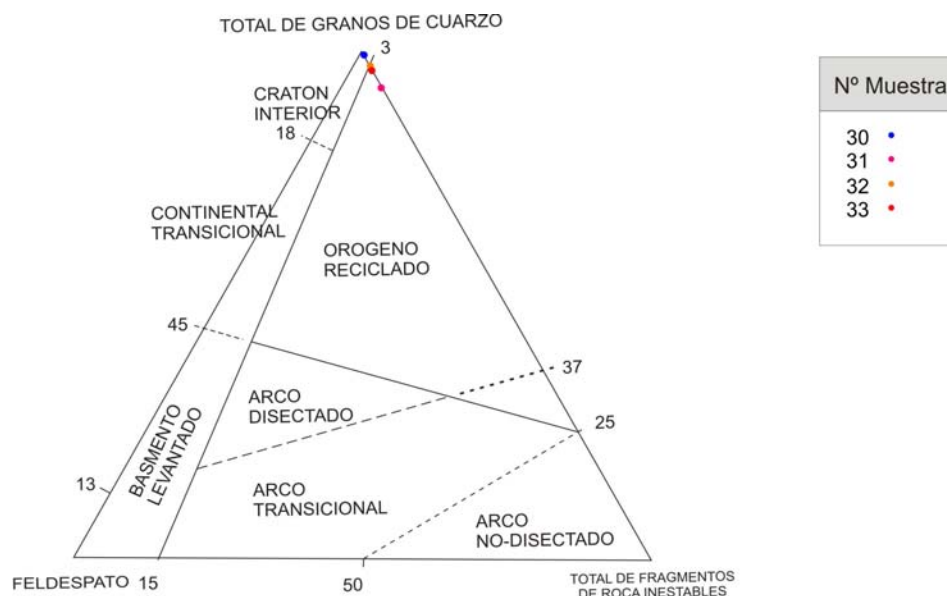


Fig. 75. (b) Diagramas ternarios de procedencia para las muestras del pozo HP-7

A continuación se presenta la distribución total de las muestras en los diagramas ternarios de procedencia. Fig. 76

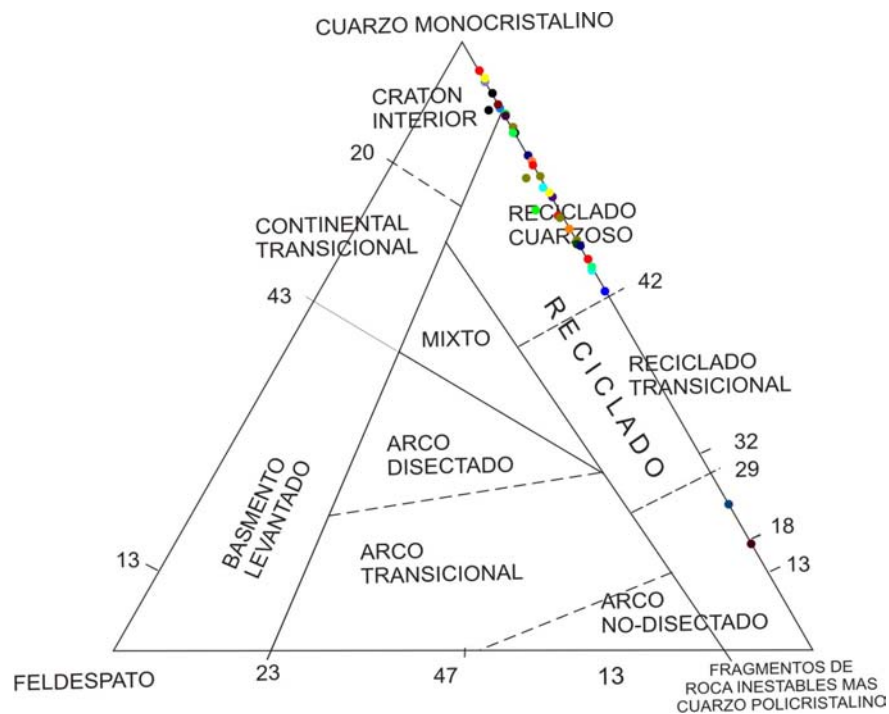


Fig. 76. (a) Diagramas ternarios de procedencia para el total de las muestras de los pozos estudiados.

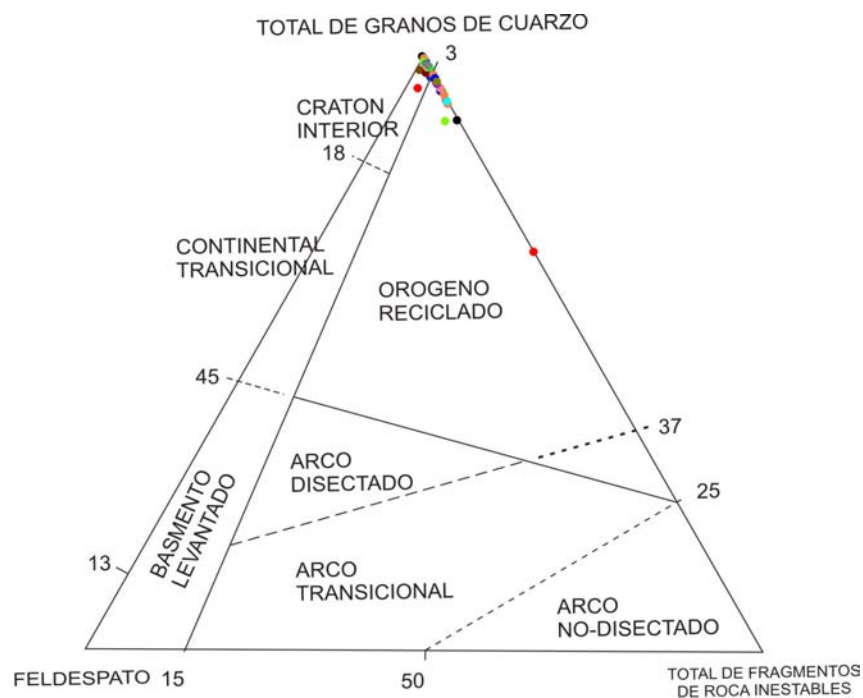


Fig. 76. (b) Diagramas ternarios de procedencia para el total de las muestras de los pozos estudiados.

Según los resultados obtenidos de los triángulos, las muestras se pueden dividir en dos grupos, las muestras de procedencia correspondiente a un cratón interior con tendencia a un reciclado cuarzoso con alto porcentaje de cuarzo monocristalino y las muestras que se ubican en las zonas de orógeno reciclado cuarzoso a orógeno transicional. Cabe destacar que las muestras ubicadas en las zonas de reciclados líticos, del triángulo de Qm, se ubican allí gracias al alto contenido de cuarzo policristalino, por lo tanto para efectos de este trabajo son tomadas como pertenecientes a los reciclados cuarzosos. A continuación en la tabla 9 se presentan estos resultados en forma resumida.

Tabla 9. Resumen de resultados de procedencia y tipos de roca

Pozo	Muestra	Cuarzo Total	Cuarzo Monocristalino	"L" no incluye QP	L incluye QP y Chert
HP-3	1	cratón interior	cratón interior	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	2	cratón interior	cratón interior	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	3	cratón interior	cratón interior	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	4	cratón interior	cratón interior	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	5	cratón interior	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	6	reciclado cuarzoso	cratón interior	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	7	cratón interior	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	8	reciclado cuarzoso	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	9	cratón interior	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	10	reciclado cuarzoso	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Lítica</i>	<i>Sublitarenita</i>
HP-4	11	cratón interior	reciclado transicional	<i>Arenita Lítica</i>	<i>Sublitarenita</i>
	12	reciclado cuarzoso	reciclado transicional	<i>Arenita Lítica</i>	<i>Sublitarenita</i>
	13	cratón interior	cratón interior	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	14	reciclado cuarzoso	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	15	cratón interior	cratón interior	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	16	cratón interior	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	17	cratón interior	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	18	reciclado cuarzoso	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Lítica</i>	<i>Arenita Lítica</i>
	19	cratón interior	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Arenita Lítica</i>
HP-5	20	cratón interior	cratón interior	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	21	reciclado cuarzoso	reciclado cuarzoso	<i>Sublitarenita</i>	<i>Sublitarenita</i>
	22	cratón interior	reciclado cuarzoso	<i>Sublitarenita</i>	<i>Sublitarenita</i>
	23	cratón interior	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>
	24	reciclado cuarzoso	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Lítica</i>	<i>Sublitarenita</i>
HP-6	25	reciclado cuarzoso	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Lítica</i>	<i>Sublitarenita</i>
	26	cratón interior	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Arenita Lítica</i>
	27	reciclado cuarzoso	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Lítica</i>	<i>Sublitarenita</i>
	28	reciclado cuarzoso	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Lítica</i>	<i>Sublitarenita</i>
	29	reciclado cuarzoso	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Arenita Lítica</i>
HP-7	30	cratón interior	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Arenita Lítica</i>
	31	reciclado cuarzoso	reciclado cuarzoso	<i>Sublitarenita</i>	<i>Sublitarenita</i>
	32	reciclado cuarzoso	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Arenita Lítica</i>
	33	reciclado cuarzoso	reciclado cuarzoso	<i>Arenita Cuarzosa</i>	<i>Sublitarenita</i>

4.4. Terrenos expuestos durante para el Mioceno y posibles fuentes de aporte

Para el Mioceno las zonas positivas adyacentes a la Cuenca de Falcón presentaban la siguiente ubicación:

- Cordillera Oriental Colombiana y Serranía de Perijá: se encontraban ubicadas al oeste y suroeste de la zona de estudio.
- Arco de Mérida y Flanco Norandino: se ubica al sur de la zona de estudio.
- Macizo de El Baúl: se encontraba ubicado al sureste de la Cuenca de Falcón.
- Escudo de Guayana: ubicado al sureste de el arco de El Baúl
- Cadena Caribe: para el Mioceno se ubicaba al este de la zona de estudio.

La configuración y distribución de las zonas anteriormente mencionadas se presentan a continuación en la Fig. 77.

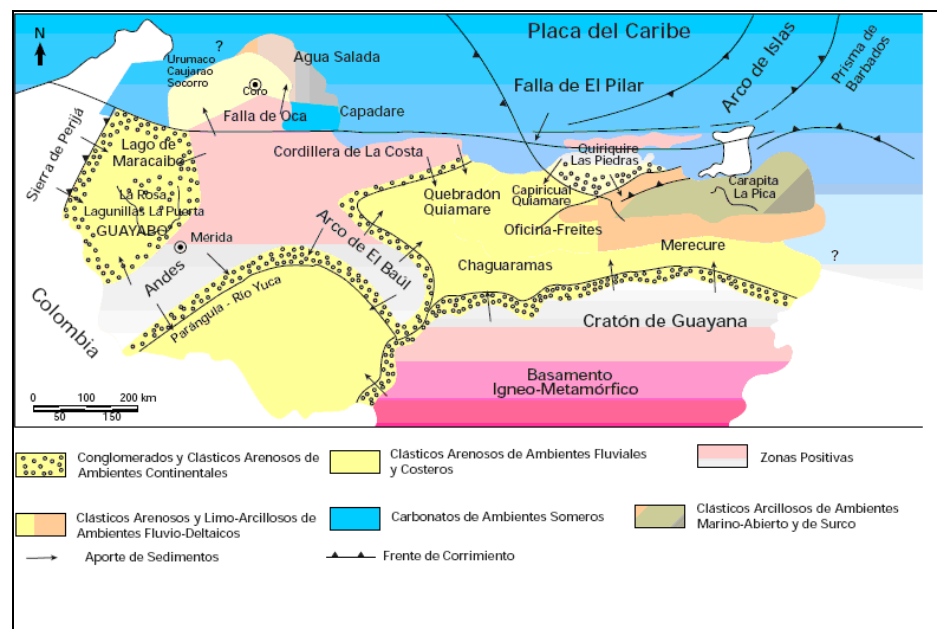


Fig. 77. Configuración de los terrenos expuestos y sedimentación regional en Venezuela para el Mioceno Plioceno. (Tomado y modificado de OSTOS Y YORIS, 1997)

A continuación se presenta la tabla 10 con las características mineralógicas más importantes de las zonas mencionadas anteriormente.

Tabla 10. Características mineralógicas más importantes de las zonas. Recopilado de GONZÁLEZ DE JUANA *et. al.* (1980) y MARTÍNEZ Y VALLETTA (2008)

Zona Positivas	Composición	Mineralogía Característica
Cordillera Oriental Colombiana y Serranía de Perijá	Anfibolitas, esquistos verdes y azules, eclogitas, rocas máficas, ultramáficas y sus equivalentes metamórfico, rocas volcánicas máficas y graníticas. Rocas metasedimentarias con grafitos, pelitas carbonaceas metamorfizadas, wacas, grawacas y metamórficas de alta P/T	Fragmentos sedimentarios y metamórficos. Granate, cloritoide, glaucofano, y feldespatos
Arco de Mérida y Flanco Norandino	Esquistos, metachert anfibolitas, basaltos oliviníferos, gneis, cuarcitas, mármol, migmatitas, metaconglomerados, metareniscas, pizarra, rocas volcánicas y piroclásticas. Areniscas, limolitas, lutitas, calizas arenosas, areniscas de grano fino y limosas micáceas, limolitas micáceas y cuarzosas, lodositas y calizas fosilíferas	Cuarzo, moscovita, feldespato, granate, epidoto, grafito, plagioclasa, ortosa, microclino, biotita, circón, apatito, pirita, clorita, sericita, horblenda, titanita, leucoxeno, magnetita, granate, rutilo y turmalina.
Macizo de El Baúl	Granitos y rocas metasedimentarias, meta limolitas, cuarzitas y filitas. Esquistos cloríticos cuarzosos, metareniscas arcósicas.	Cuarzo, ortoclasa, plagioclasas, biotitas, moscovita, horblenda, pirofilita, fluoritas, apatito, zircón, esfena y magnetita, hematita y turmalina.
Escudo de Guayana	Gneis graníticos migmatíticos y no migmatíticos, granulitas félsicas, gneis oligoclástico cuarzo biotítico, metalimolitas, metareniscas feldespáticas, tronjhemita, granodioritas, cuarzodioritas, anfibolitas, esquistos anfibolíticos, cuarzo monzonita, granitos alcalinos, tonalitas, tobas, riolitas y latita cuarzífera.	Cuarzo, circón, turmalina, epidoto, biotita, apatito, plagioclasa, y feldespatos potásicos.
Cadena Caribe	Gneis graníticos, esquistos cerisítico, esquistos cuarzoso, anfibolita, metacuarzita, gneis horblendico y metadioritas.	Cuarzo, granate, cianita, circón, turmalina, clinozoicita, estauroлита, espinela, glaucofano, actinolita, epidoto, grafito, clorita, plagioclasa.

4.5 Ambiente tectónico de sedimentación

Los diferentes eventos tectónicos ocurridos durante la evolución de la cuenca son los responsables del tipo de cuenca que se forma. Para este trabajo se aplica la clasificación de cuencas desarrollada por BALLY Y SNELSON (1980), la cual permite definir el tipo de cuenca basándose en la estratigrafía, paleogeografía y el modelo tectónico del área que controló la sedimentación de la cuenca. Los autores dividen los tipos de cuencas en tres grandes grupos:

- Cuencas ubicadas sobre la litosfera, no asociadas con la formación de megasuturas. Estas incluyen los márgenes continentales pasivos, márgenes tipo Atlántico y cuencas cratónicas.
- Cuencas perisuturales ubicadas sobre la litosfera y asociadas a la formación de megasuturas compresionales. Incluyen las cuencas asociadas a subsidencia de fosa marina profunda y cuencas de subsidencia de “Foredeep”, también conocidas como cuencas “Foreland”
- Cuencas episuturales ubicadas sobre la litosfera y principalmente contenidas en megasuturas compresionales.

La cuenca en la cual se depositaron los sedimentos estudiados es una cuenca episutural, originada durante el Eoceno Tardío a Oligoceno por los esfuerzos distensivos, causados por el choque transpresivo de la placa Caribe con la Suramericana. Este choque trajo como consecuencia la generación de una estructura de graben, donde se comenzaron a depositar sedimentos provenientes de los bordes de la cuenca y de las zonas positivas periféricas. (Modificado de BERMÚDEZ *et. al.* 2003)

AUDEMARD (1995) resume la evolución de la Cuenca de Falcón en las siguientes fases:

- El “Rifting” de edad Oligiceno-Mioceno Temprano: nacimiento de la cuenca gracias a una fase “Rifting” como consecuencia de un campo de esfuerzos regionales distensivos.
- La subsidencia tectónica: de la cuenca culmina en el límite Oligoceno-Mioceno con las últimas intrusiones y coladas basálticas y la colmatación sedimentaria. La subsidencia térmica esta representada por los depósitos lutíticos neríticos de la Formación Agua Clara de edad Mioceno Temprano.
- El cierre de la Cuenca de Falcón se inició entre el Mioceno Temprano y el Mioceno Medio, distinguiendo tres etapas diferentes en general:
 - Mioceno Medio-Tardío

Durante este tiempo la cuenca sufrió un proceso de inversión tectónica originado por un campo de esfuerzos regional caracterizado por esfuerzos mínimos y máximos sub-horizontales, este es el régimen que permite estructurar la Cuenca de Falcón en un gran anticlinorio, además del plegamiento general de la cuenca. Esta inversión induce al desplazamiento de los procesos sedimentarios hacia el flanco norte del anticlinorio.
 - Mio-Plioceno

Se produjo una fase tectónica en la plataforma de Coro, lo cual indica que la zona fue sometida a una continua fase de compresión desde el límite Mio-Plioceno.

- Plio-Pleistoceno

Es la fase responsable de la configuración actual de la cuenca y continua activa hoy en día, ella constituye la última de una trilogía de fases compresivas caracterizadas por esfuerzos máximos que siempre han estado ubicados en el cuadrante NW.

Cabe destacar que para el Mioceno la Cuenca de Falcón sufre todos estos cambios mencionados anteriormente y según PINDELL, *et. al.* (1995) durante el Mioceno la Cordillera Oriental de Colombia, la Sierra de Perijá y los Andes adquieren su mayor desarrollo. Por lo tanto la sedimentación de la Cuenca de Falcón se debe haber visto influenciada por todos estos levantamientos que se daban gracias a los eventos tectónicos que actuaban en toda la región.

4.6. Procedencia de las areniscas del Campo Hombre Pintado

Las fuentes de procedencia que se proponen a continuación para las areniscas del Campo Hombre Pintado, fueron definidas en base a los estudios petrográficos, al análisis modal de las muestras, la interpretación de los diagramas ternarios y a la comparación de las características mineralógicas encontradas con las características de los diferentes terrenos expuestos durante la depositación de la Formación Agua Clara.

Como se mencionó anteriormente se lograron diferenciar dos tendencias generales con respecto a la procedencia de los sedimentos de las rocas estudiadas. Por lo tanto se definen dos grupos A y B entre las muestras con diferente procedencia.

En la tabla 11 se presenta la división de las muestras en los grupos a los que corresponden.

Tabla 11. Distribución de muestras en las zonas de procedencia determinadas

Pozo	Muestra	Grupo A	Grupo B
		Cratón Interior	Orógeno Reciclado
HP-3	1	X	
	2	X	
	3	X	
	4	X	
	5	X	
	6		X
	7	X	
	8		X
	9		X
	10		X
HP-4	11	X	
	12		X
	13	X	
	14		X
	15		X
	16	X	
	17	X	
	18		X
	19	X	
HP-5	20	X	
	21		X
	22	X	
	23	X	
	24		X
HP-6	25		X
	26	X	
	27		X
	28		X
	29		X
HP-7	30	X	
	31		X
	32		X
	33		X

Partiendo de lo expuesto anteriormente y tomando en cuenta la distribución de las muestras en las zonas de procedencia (Tabla 11), se puede decir que en general todos núcleos presentan influencia de las dos zonas propuestas como fuente de sedimentos. El hecho de no poder diferenciar un patrón en la distribución de las muestras, podría

indicar que ambas zonas se encontraban aportando sedimentos equitativamente durante el periodo de depositación de estas rocas

- Grupo A

Según los diagramas ternarios el grupo “A” presenta una procedencia de cratón interior con tendencia a orógeno reciclado. Debido al alto porcentaje de cuarzos monocristalinos y policristalinos, al igual que su bajo contenido de feldespatos alterados. Entre estas muestras se lograron identificar algunos minerales accesorios y trazas como fragmentos de biotita y moscovita detrítica, así como también cristales de turmalina y buenas concentraciones de hematita. Las muestras tienen la tendencia a acercarse al orógeno reciclado, debido a que presentan algún porcentaje de fragmentos de rocas sedimentarias como limolitas arcillosas y areniscas. Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, la procedencia de este grupo de rocas podría estar relacionada con el Escudo de Guayana y con el Macizo de El Baúl.

- Grupo B

Para las areniscas del grupo “B” los diagramas de procedencia arrojan como fuente de sedimentos un orógeno reciclado. Esto se debe a la alta concentración de cuarzos policristalinos, sin embargo también existe una presencia importante de cuarzo monocristalino y es por esta razón que las muestras se ubican cerca del vértice superior del triángulo en un orógeno cuarzoso. El análisis petrográfico de las muestras determinó la presencia de porcentajes importantes de fragmentos metamórficos como gneis y esquistos, así como también fragmentos de moscovita, los cuales se relacionan con la composición y mineralogía característica descrita para la Cadena Caribe. De igual manera se encontraron feldespatos alterados, fragmentos de chert y fragmentos de rocas sedimentarias como lutitas, limolitas y areniscas arcillosas al igual que fragmento, por lo cual estos sedimentos podrían tener una procedencia correspondiente a la Cordillera Oriental Colombiana así como también de la sierra de Perijá.

A continuación, en la figura 78, se presenta un mapa paleogeográfico del Mioceno, donde se ubican las posibles zonas de procedencia para los grupos A y B definidos anteriormente.

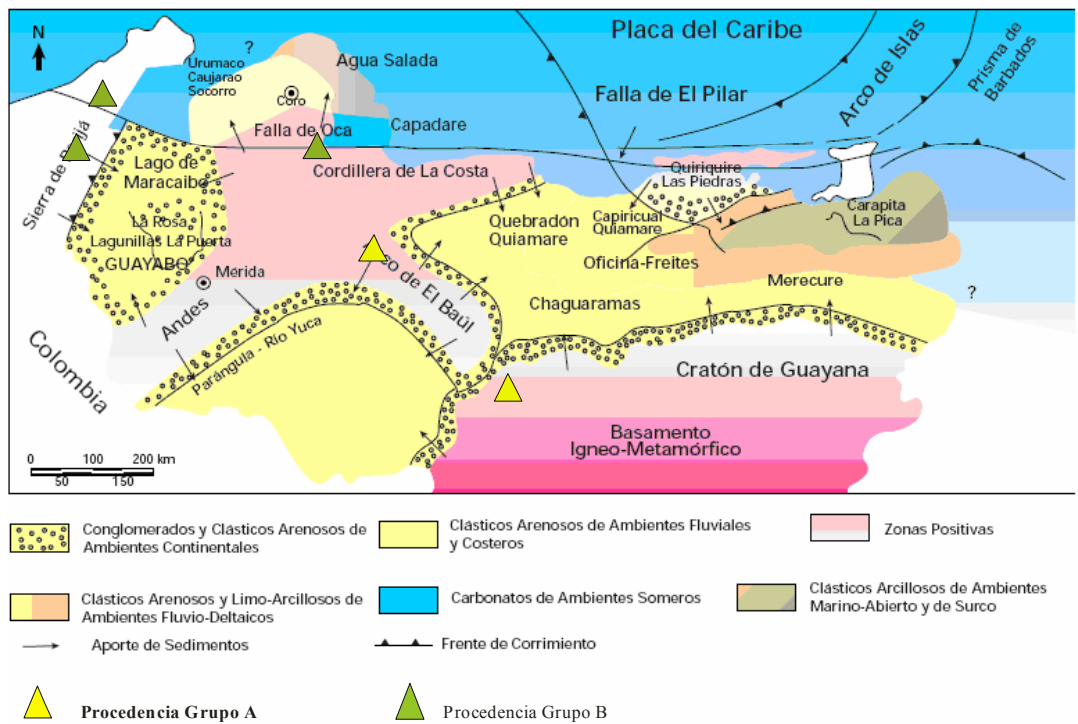


Fig. 78. Mapa paleogeográfico del Mioceno, con ubicación de las posibles zonas de procedencia para los grupos A y B (tomado y modificado de OSTOS Y YORIS 1997)

SUMARIO Y CONCLUSIONES

- Las areniscas presentes en los diferentes pozos estudiados según la clasificación de PETTIJOHN POTTER Y SIEVER (1973) se dividen en arenitas cuarzosas, arenitas líticas y sublitarenita, de las cuales las arenitas cuarzosas son las más abundantes estando presentes en todas las perforaciones, luego en porcentajes menores les siguen la arenitas líticas, encontrándose en los cuatro primeros pozos, y por ultimo las menos abundantes son las sublitarenitas, ubicadas únicamente en HP-5 y HP-7
- La composición mineralógica de las muestras se encuentra definida básicamente por altos porcentajes de cuarzo, importantes concentraciones de fragmentos de rocas sedimentarias, metasedimentarias y chert, porcentajes minoritarios de feldespatos alterados y minerales accesorios como moscovita, biotita, turmalina, pirita y hematita.
- En las muestras se lograron identificar efectos diagenéticos como alteración y disolución de feldespatos, glauconitización, desarrollo de matriz, trituración de granos, entre otros. La alteración y disolución de feldespatos juegan un papel importante, ya que la disolución puede ser responsable de la disminución de los porcentajes de feldespatos en las muestras y por lo tanto significar un aumento en los porcentajes de cuarzos y fragmentos líticos, alterando los resultados de los diagramas ternarios de procedencia. El mismo papel pero de manera diferente juega la trituración de los granos, ya que al triturarse un grano es posible que un grano disgregado se tome como varios granos alterando los porcentajes de composición, al igual que gracias a esta trituración se genera la pseudomatriz.

- Los diagramas de procedencia de DICKINSON (1986) arrojan dos tendencias para la procedencia de los sedimentos, por lo cual se define el grupo A con procedencia de cratón interior y el grupo B con procedencia de orógeno reciclado.
- La distribución de las muestras en estos grupos no presentan un patrón característico del cual se pueda inferir una influencia mayor o menor de las fuentes durante la depositación, por lo cual se podría decir que todas las fuentes propuestas aportaron sedimentos de manera casi constante.
- De acuerdo con los resultados obtenidos de los diagramas de procedencia y en base a la paleogeografía de la región para el Mioceno, se concluye que las rocas pertenecientes al grupo A tienen como posibles fuentes el Macizo de El Baúl y el Escudo de Guayana. Tomándose como fuente principal El Baúl, debido a los granos de turmalina encontrados y los fragmentos sedimentarios, así como también las formas subangulares y subredondeadas de los granos. No se descarta el escudo de Guayana, sin embargo se toma en cuenta que los sedimentos provenientes de este deberían presentar una alta madurez y formas muy redondeadas.

Para el grupo B finalmente se proponen como posibles fuentes de sedimentos, la Cadena Caribe, debido a las concentraciones de cuarzo policristalino, moscovitas y fragmentos metamórficos, así como también se incluyen a la Sierra de Perijá, gracias a los fragmentos de feldespatos encontrados y las rocas metasedimentarias. La Cordillera Oriental Colombiana no se toma como fuente directa, debido a la forma subangular y subredondeada de los granos, sin embargo no se descarta del todo.

- Con respecto al marco tectónico actuante durante la depositación, se puede decir que la Cuenca de Falcón desde su origen en el Eoceno Tardío hasta el presente se ha visto afectada por toda una serie de eventos tectónicos asociados con el choque de la placa Suramericana con la placa Caribe y con la placa de Nazca, los cuales

influyeron directa o indirectamente en las condiciones de sedimentación. Entre estos se encuentran el levantamiento de los Andes Venezolanos, la Cordillera Oriental Colombiana y la Sierra de Perijá, así como también el levantamiento de la Cadena Caribe.

- Cabe destacar que los análisis de procedencia no deben tomarse con una confianza plena, ya que todavía existen muchas limitaciones que deben resolverse. La utilidad de estos análisis fundamentalmente es la de poder conocer las áreas de procedencia de determinadas rocas sedimentarias de una edad determinada y así poder establecer reconstrucciones paleogeográficas.
- Por la antigüedad del Campo Hombre Pintado, no se suministró mayor información del mismo sino las descripciones de los trozos de núcleos, las muestras de secciones finas que pertenecían en subsuelo a la Formación Agua Clara. Por tanto, no se pudo contar con la verificación de la calibración núcleo perfil de pozo, de gran importancia para establecer la correlación entre los pozos, y para realizar el estudio de posibles variaciones que indiquen por ejemplo, cambios laterales de facies sedimentarias, así como posibles indicios en la dirección de sedimentación.

RECOMENDACIONES

- Debido a que los núcleos de los cuales se sacaron las secciones finas, estuvieron almacenados por más de cincuenta años y se desconoce el grado de contaminación que pudiesen tener los mismos, se recomienda realizar un estudio geológico en superficie de la Formación Agua Clara en las cercanías del Campo Hombre Pintado, con la finalidad de comparar y las características de la litología aflorante con la litología encontrada en el subsuelo.
- Realizar un estudio en superficie de las rocas de la Formación Agua Clara que afloran cerca del Campo Hombre Pintado, con la finalidad de poder identificar estructuras sedimentarias que puedan servir para determinar el posible el sentido de la sedimentación en base al estudio de las paleocorrientes.
- Realizar estudios de los pozos con métodos geofísicos como perfiles de resistividad y perfiles de rayos gamma, con la finalidad de correlacionar los distintos niveles de rocas y hacer un análisis en busca de posibles variaciones laterales que indiquen direcciones de sedimentación.
- Integrar el estudio de las paleocorrientes y direcciones de sedimentación con los resultados de procedencia obtenidos en este estudio, a fin de delimitar mejor las posibles zonas de aporte.
- Con la finalidad de aumentar la precisión de las procedencias, se recomienda realizar un estudio utilizando métodos geoquímicos e isotópicos de procedencia de sedimentos, o como el estudio de minerales pesados de las muestras.

BIBLIOGRAFÍA

- ARIZA, M. (2006) *Caracterización Quimioestratigráfica del límite Eoceno - Oligoceno de la Zona Surcentral de la Cuenca de Falcón*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, inédito, 141p
- 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. (1995) *La Cuenca Terciaria de Falcón, Venezuela Nororiental, síntesis estratigráfica, génesis e inversión tectónica*. IX Congreso Latinoamericano de Geología. South America, Venezuela, Tectonic, Stratigraphy.
- AUDEMARD, F. Y DE MENA, J. (1985) *Falcón Oriental, nueva interpretación estructural*. Ponencia presentada en el VI Congreso Geológico Venezolano, (p: 2317-2329), Caracas.
- BALLY, A. W. Y SNELSON, S. (1980) *Reals of subsidens*. Facts and principles of world petroleum occurrence, Miall, A.D. (Ed), Can. Soc. Petrol. Geol. Mem. 6, 9-94 p.
- BENEDETTI, M. & HERNÁNDEZ, C. 2007. *Evolución Tectono-Estratigráfica y Procedencia de los Sedimentos Clásticos del Surco de Guárico, en las Secciones El Pao-Valle Morín, Estados Cojedes y Aragua*. Universidad

Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, inédito, 131 p.

- BERMÚDEZ, E; LÓPEZ, M. & TROCONIS, M. (2003). *Estudio de litofacies, diagénesis, procedencia y quimioestratigrafía de la Formación Cerro Pelado, Cuenca de Falcón, como herramienta para determinar su potencialidad generadora y almacenadora de hidrocarburos*. . Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, inédito.
- BERROTERAN, L. & ZIRITT, F. 2004. *Interpretación Estructural y Restauración de Secciones de un Transecto Ubicado Entre los Poblados Purureche, Estado Falcón y Baragua Estado Lara*. . Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, inédito, 95 p.
- CASTILLO, M. (1995) *Procedencia de las Rocas Clásticas del Eoceno en el Sector Oriental de la Cuenca de Maracaibo y su Relación con la Tectónica Caribe y Andina, Estado Zulia*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, inédito.
- DIAZ DE GAMERO, M. (1976) *Estratigrafía y Micropaleontología del Oligoceno y Mioceno Inferior de la Cuenca de Falcó, Venezuela* .Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo de Ascenso, inédito. DIAZ DE GAMERO, M. (1977) *Estratigrafía y Micropaleontología del Oligoceno y Mioceno Inferior del Centro de la Cuenca de Falcón, Venezuela*. Geos 22:3-60.

- DIAZ DE GAMERO, M (1989) *El Mioceno Temprano y Medio de Falcón Septentrional*. Geos 29: 25-35.
- DICKINSON, W; BRAKENRIDGE, J; FERGUSON, R; INMAN, K; Y LINDEBERG, F. (1983) *Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting*. Universidad de Arizona, Tucson, Arizona 85721.
- DICKINSON, W. R. Y SUCZEK, C. (1979) *Plate tectonics and sandstone compositions*. Amer. Asoc. Petrol. Geol.. Bull.; 63 (12): 2164-2182.
- ESCORIHUELA, N. & RONDÓN, J. 2002. *Estudio de las Rocas Ígneas que Afloran en la Parte Central de la Cuenca de Falcón*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, inédito, 203 p.
- FICHTER, L.S., AND POCHÉ, 1993, *Ancient environments and the interpretation of Geologic History*: Mcmillan Publishing Company, New York, 2da Ed. 269 p.
- GARNER, A.H. 1926. Formación Agua Clara. *Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela*. Comité Interfiliales de Estratigrafía y Nomenclatura. PDVSA-INTEVEP. <http://www.pdv.com/lexico/>. Consultado en enero 2008.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C. 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Caracas: Foninves Eds., 1031 p.
- 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. (1974). *The mid-Tertiary stratigraphic unit of the southern Caribbean area*, Verhandl. Naturf. Ges, 84(1): 172-190.
- LEÓN, J. & MOLINA I (2007) *Evolución Tectonoestratigráfica y Procedencia de los Sedimentos Clásticos del Surco de Guárico, en Afloramientos de la Carretera San Juan-Ortiz*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, inédito
- LIDDLE, R. 1928. *The Geology of Venezuela and Trinidad*. Texas: J.P. Macgowan, Plublisher., 550p.
- LIDDEL R. (1946) *The geology of Venezuela and Trinidad*. J.P. MacGowan. Fort worth, Texas, 552 p.
- MACELLARI, C. (1995) *Cenozoic sedimentation and tectonics of the southwestern Caribbean pull-apart basin, Venezuela and Colombia*, in A.J. TANKARD, R. SUÁREZ., AND H.J. WELSINK, *Petroleum basins of South America*: AAPG Memoir 62, p. 757-780.
- MARTÍNEZ, G. & VALLETTA, G. (2008) *Petrografía de las Facies Gruesas de la Formación Matatere y Otras Unidades del Centroccidente de Venezuela*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, inédito.
- MILIÁN, C. 1998. *Procedencia de las Rocas Clásticas del Paleógeno en los Bloques V, IX y VI del Lago de Maracaibo y su Relación con la Tectónica Caribe*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, inédito, 152 p.

- 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, p. 217-230.
- NUÑEZ, M. (1998) *Procedencia de las Rocas Clásticas del Eoceno en la Costa Suroriental del Lago de Maracaibo (Bloques II, III, IV y Ceuta) y su relación con la Tectónica del Caribe*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, inédito.
- 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.
- PETTIJOHN, F.; POTTER & SIEVER (1987) *Sand and Sandstone*. Berlin: Springer-Verlag, 439 p
- PITELLI, R. & MOLINA, A. (1989). *El Grupo Agua Negra de la Cuenca de Falcón*. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos, 36, 5-12.
- PORRAS, L. (2000) *Evolución Tectónica y Estilos Estructurales de la Región*.
- QUINTERO, J. (1998) *Significado Tectónico y Procedencia Mineralógica de las Rocas Clásticas de la Formación Gobernador, Flanco Surandino, Barinas Tradicional*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, inédito.

- SENN, A. (1935). *Die stratigraphische Verbreitung der Tertiären Orbitoiden, mit spezieller Berücksichtigung ihres Vorkommens in Nord- Venezuela und Nord- Marokko*. Eclog. geol. Helv., 28 (1): 51-113 & 369-373.
- TUNIK, M.A., VIETTO, M.E., SCIUTTO, J.C. *et. al.*. Procedencia de areniscas del Grupo Chubut en el área central de la Sierra de San Bernardo. Análisis preliminar. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* [online]. oct./dic. 2004, vol.59, no.4 [citado 16 Abril 2008], p.601-606. Disponible en la World Wide Web: <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222004000400008&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0004-4822.
- VELÉZ, R. 2007. *Caracterización Litoestratigráfica del Límite Eoceno-Oligoceno de la Zona Surcentral de la Cuenca de Falcón*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, inédito, 126 p.
- WHEELER, C. (1960) *Estratigrafía del Oligoceno y Mioceno Inferior de Falcón Occidental y Nororiental*. Cong. Geol. Venez. III, Caracas, 1959, Memoria, Bol. Geol., Publ. Esp. 7, I: 407-465
- WEC VENEZUELA (1997). *Evaluación de Pozos*. Schlumberger Sureenco, C.A.
- YORIS, F. (1989) *Proposición y desarrollo de un método para el análisis modal petrográfico*. U.C.V., Dpto. Geol. Trabajo de Ascenso, 173 p.
- Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela, documento patrocinado por Petróleos de Venezuela, s.a.; Editado por el comité interfiliar de estratigrafía y nomenclatura (cien)
<http://www.pdv.com/lexico/>

- Descripción microscópica
http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/mine_mod231.pdf
- Relación entre composición de areniscas y procedencia. Casos de estudio en areniscas paleozoicas de la Zona Surportuguesa
<http://www.sociedadgeologica.es/archivos/geogacetas/Geo41/G41Art35.pdf>
- Técnicas y aplicaciones del estudio de los sedimentos terrígenos de grano fino: procedencia y tectónica
<http://www.geologia.unam.mx/academia/temas/Procedencia/Procedencia.html>