

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVOLUCIÓN DIAGENÉTICA DEL MIEMBRO INFORMAL
“B-6-X” DE LA FORMACIÓN MISOA EN EL ÁREA DE
CABIMAS-PUNTA BENITEZ, CUENCA DE MARACAIBO.
ESTADO ZULIA.**

Trabajo Especial de Grado presentado
ante la ilustre Universidad Central de
Venezuela por la Br. **María Alejandra
Rojas Urdaneta** para optar al título de
Ingeniero Geólogo.

Caracas, octubre de 2002

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVOLUCIÓN DIAGENÉTICA DEL MIEMBRO INFORMAL “B-6-X” DE LA FORMACIÓN MISOA EN EL ÁREA DE CABIMAS-PUNTA BENITEZ, CUENCA DE MARACAIBO. ESTADO ZULIA.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. María Eugenia Sandoval.

CO-TUTOR ACADÉMICO: Prof. Celia Bejarano.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Manuel Serrano.

Trabajo Especial de Grado presentado
ante la ilustre Universidad Central de
Venezuela por la Br. **María Alejandra
Rojas Urdaneta** para optar al título de
Ingeniero Geólogo.

Caracas, octubre de 2002

Rojas, U. María, A.

**ESTUDIO DIAGENETICO DEL MIEMBRO INFORMAL “B-6-X” DE LA
FORMACION MISOA EN EL AREA DE CABIMAS-PUNTA BENITEZ,
CUENCA DE MARACAIBO. ESTADO ZULIA.**

**Tutor Académico: Prof. María Eugenia Sandoval. Co-Tutor Académico:
Prof. Celia Bejarano. Tutor Industrial: Ing. Manuel Serrano. Tesis. Caracas.
U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
Departamento de Geología. 2002. 180 p.**

Palabras claves: Formación Misoa, miembro “B-6-X”, sedimentología, diagénesis de areniscas y modelaje diagenético.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo principal determinar los factores diagenéticos que controlan la distribución actual de la porosidad en el miembro informal “B-6-X” de la Formación Misoa en el área de Cabimas-Punta Benítez.

En el miembro informal B-6 de la Formación Misoa se pudo establecer que el ambiente de depositación del intervalo en estudio varía de transicional a nerítico interno (0 – 30m de profundidad), específicamente anteplaya media a inferior y costafuera. Proponiendo un cambio lateral de facies desde condiciones ambientales que alcanzan moderados niveles de energía en aguas poco profundas, para la secuencia en estudio del pozo CC-2A (área de Cabimas), hasta condiciones de altos niveles de oleaje o energía, para la secuencia en estudio en los pozos PB-689 y PB-694 (área de Punta Benítez).

Las areniscas del pozo CC-2A son de muy baja calidad para almacenar hidrocarburos debido a la fuerte cementación de sílice, lo cual obstruye casi totalmente la porosidad, a diferencia de los pozos PB-694 y PB-689 que si

presentan intervalos aptos para la acumulación de hidrocarburo, ya que, a pesar de contener altos porcentajes de cemento de cuarzo, la porosidad original no fue totalmente obstruida, y los procesos de disolución de feldespatos, fragmentos de roca, caolinita y en menor proporción matriz favorecieron la generación secundaria de la misma.

Para realizar el modelaje diagenético se contó con el apoyo del *software Touchstone 2.0*, resultando que los factores causantes de la reducción de la porosidad original en los pozos CC-2A, PB-689 y PB-694 son primordialmente la cementación de cuarzo y la compactación. El cemento de cuarzo comienza a generarse hace aproximadamente 41 m.a, produciéndose los mayores valores de sílice en continuidad óptica entre temperaturas de 95°C y 140°C. La compactación comienza a generarse desde el mismo momento de la depositación de las rocas, reduciendo aproximadamente entre un 15% y 20% el volumen intergranular (*IGV*), lo cual se ve reflejado directamente en la porosidad intergranular, obteniendo porcentajes de pérdidas de porosidad de alrededor de 20% en el soterramiento 1, y a partir del soterramiento 2 se comienza a ver afectado el espacio poroso intergranular por otros procesos, como la cementación de cuarzo primordialmente, tomando en cuenta que el soterramiento 1 y 2 son los períodos de profundización o soterramiento que experimentó la secuencia en estudio durante el Eoceno Temprano y Oligoceno respectivamente.

A mis padres

Agradecimientos

A la Universidad Central de Venezuela por haberme dado la base para comenzar una nueva etapa en mi vida, especialmente al Departamento de Geología el cual siento como mi segunda casa.

A mis tutores los ingenieros Manuel Serrano, María Eugenia Sandoval y Celia Bejarano por sus consejos y su dedicación.

A mi tía Angela por brindarme todo el apoyo no sólo para realizar este trabajo sino también por estar siempre cuando yo la he necesitado.

A Franco Márquez por todo el apoyo recibido desde el primer momento de mi trabajo, me encanto haberte conocido.

Al Sr Bernabé Aguado quisiera agradecerle por todos sus consejos y por toda su ayuda, la cual fue muy valiosa para mí.

A Sylene González y Gabriela Marcano quienes me brindaron todo el apoyo necesario para terminar este trabajo. Me siento muy agradecida con ustedes dos por todo...

De igual manera quisiera agradecer el apoyo de María Salazar, Gustavo Bertorelli, Pedro Vilchez, Heriberto Rodríguez, Lucy Amaro, Jesé Estrada, Lilian Navarro, a la gente de la Nucleoteca La Concepción, y a Gonzalito, Blas, Julio y Carlos Luis por brindarme su amistad, y a todas aquellas personas que de una manera u otra me prestaron su apoyo.

También quiero agradecerle a mis amigos de la escuela, por siempre estar conmigo, en especial a: Claudia Chacin, Diana Velazquez, Jorham Contreras, Francisco Cheng, Norelis Rodríguez, Jorge Cabrera y Carmen Yegres, yo se que mi alegría es la suya.

Le agradezco a toda mi familia por apoyarme en todos los momentos que más los he necesitado, en especial a mis hermanos María Andreina y Herman Luis, y a mi abuela Isbelia por guiarme siempre por el camino correcto.

Y por último a **Héctor Bello...**

Índice General

Resumen

Agradecimientos

Índice General	I
Índice de Figuras	IV
Índice de Fotos	X
Índice de Tablas	XV
Índice de Anexos	XVI

1.- Introducción	1
1.1.- Objetivos Generales	1
1.2.- Objetivos Específicos	1
1.3.- Alcances de la Investigación	2
1.4.- Justificación	2
1.5.- Ubicación del Área de Estudio	3
1.6.- Metodología de Trabajo	5
1.7.- Trabajos Previos	8
2.- Geología Regional	11
2.1.- Generalidades	11
2.2.- Estratigrafía Regional	11
2.3.- Formación Misoa	19
2.4.- Evolución Tectónica de la Cuenca de Maracaibo	26
3.- Geología Local	32
3.1.- Campo Curazaito	34
Descripción de los ripios de pozo CC-2A	34
Descripción del núcleo del pozo CC-2A	35
Características petrográficas de las muestras del pozo CC-2A	36
3.2.- Campo Punta Benitez	47

Pozo PB-694_____	47
Descripción del núcleo del pozo PB-694_____	47
Descripción petrográfica del pozo PB-694_____	51
Pozo PB-689_____	59
Descripción del núcleo del pozo PB-689_____	59
Descripción petrográfica del pozo PB-689_____	63
4.- Diagénesis_____	70
Características y procesos diagenéticos en el área de estudio_____	71
4.1.- Pozo CC-2A_____	71
4.2.- Pozo PB-689_____	80
4.3.- Pozo PB-694_____	90
5.- Interpretación Ambiental_____	100
5.1.- Consideraciones ambientales de los icnofósiles_____	100
5.1.1.- Icnofósiles_____	100
5.1.2.- Icnofacies_____	107
5.2.- Interpretación paleoambiental_____	112
5.2.1.- Pozo CC-2A_____	112
5.2.1.1.- Evidencias Bioestratigráficas del pozo CC-2A_____	117
5.2.2.- Pozo PB-694_____	122
5.2.3.- Pozo PB-689_____	123
5.3.- Discusión de resultados_____	124
6.- Evolución de la Porosidad y Calidad de la roca Yacimiento_____	127
7.- Modelaje Diagenético_____	129
7.1.- Modelaje Diagenético por pozo_____	139
7.1.1.- Pozo PB-694_____	139
7.1.2.- Pozo PB-689_____	150
7.1.3.- Pozo CC-2A_____	161

8.- Conclusiones	171
------------------	-----

9.- Bibliografía	174
------------------	-----

Índice de Figuras

CAPITULO 1

Figura 1.1	Ubicación del área de estudio_____	3
Figura 1.2	Mapa de ubicación de los pozos a estudiar_____	4

CAPITULO 2

Figura 2.1	Cuadro de correlación de la Cuenca de Maracaibo_____	12
Figura 2.2	Tendencias del basamento Paleozoico-Jurásico en el noreste de Venezuela_____	13
Figura 2.3	Perfil del pozo SVS-41 mostrando el desarrollo de las arenas B y C de la Formación Misoa_____	20
Figura 2.4	Correlación de columnas litoestratigráficas de la Formación Misoa, desde su localidad tipo en Cerro Misoa a través del Lago de Maracaibo hasta Tibú en la región de Tarra, representación esquemática de la distribución de facies en las formaciones Misoa y Mirador_____	22
Figura 2.5	Localización de las secciones estratigráficas y corte geológico a través de la Cuenca de Maracaibo_____	23
Figura 2.6	Facies de la Formación Misoa deducidas por registros eléctricos_____	25
Figura 2.7	Evolución tectónica del norte de Suramérica del Santoniense al Eoceno Temprano_____	28
Figura 2.8	Reconstrucción del norte de Suramérica del Eoceno Medio a Tardío (~40 m.a)_____	29

CAPITULO 3

Figura 3.1	Sistema de clasificación de areniscas, propuesto por DOTT (1964) y modificado por PETTIJOHN, POTTER & SIEVER (1972)_____	33
------------	--	----

Figura 3.2	Proporción de areniscas/lutitas en los ripios del pozo CC-2A_____	35
Figura 3.3	Clasificación de las areniscas del pozo CC-2A, según Pettijohn, Potter & Siever (1972)_____	36
Figura 3.4	Proporción de los componentes principales de las areniscas del pozo CC-2A_____	37
Figura 3.5	Clasificación de las areniscas del pozo PB-694, según Pettijohn, Potter & Siever (1972)_____	51
Figura 3.6	Proporción de los componentes principales de las areniscas del pozo PB-694_____	52
Figura 3.7	Clasificación de las areniscas de pozo PB-689, según Pettijohn, Potter & Siever (1972)_____	64
Figura 3.8	Proporción de los componentes principales de las areniscas del pozo PB-689_____	65

CAPITULO 4

Figura 4.1	Relación calcita Vs profundidad en el pozo CC-2A_____	74
Figura 4.2	Relación sílice Vs profundidad en el pozo CC-2A_____	74
Figura 4.3	Secuencia paragenética para el pozo CC-2A_____	79
Figura 4.4	Relación calcita Vs profundidad en el pozo PB-698_____	81
Figura 4.5	Relación sílice Vs profundidad en el pozo PB-689_____	81
Figura 4.6	Secuencia paragenética para el pozo PB-689_____	89
Figura 4.7	Relación calcita Vs profundidad en el pozo PB-694_____	91
Figura 4.8	Relación sílice Vs profundidad en el pozo PB-694_____	91
Figura 4.9	Secuencia paragenética para el pozo PB-694_____	99

CAPITULO 5

Figura 5.1	<i>Chondrites</i> _____	102
Figura 5.2	<i>Ophiomorpha</i> _____	103
Figura 5.3	<i>Palaeophycus</i> _____	104
Figura 5.4	<i>Planolites</i> , madrigueras tortuosas sin ningún tipo de alineación_____	104

Figura 5.5	<i>Thalassinoides</i> _____	105
Figura 5.6	<i>Terebilina</i> _____	106
Figura 5.7	Perfil de línea de costa a marino somero, localizando áreas de playa, anteplaya y costafuera, así como el nivel base de las olas y las ocurrencias aproximadas para diferentes icnofacies. El nivel base de las olas yace a profundidades entre 5 m y 15 m_____	108
Figura 5.8	Diagrama esquemático de varias secciones de trazas fósiles características de la icnofacies <i>Skolithos</i> como se ven en un núcleo cortado_____	109
Figura 5.9	Diagrama esquemático de varias secciones de trazas fósiles característica de la icnofacies <i>Cruziana</i> , como se ve en el núcleo cortado_____	111
Figura 5.10	Divisiones en unidades informales de la Formación Misoa_____	113
Figura 5.11	Clasificación de paleobatimetría_____	116
Figura 5.12	Proporción de areniscas/lutitas en los ripios del pozo CC-2A_____	121
Figura 5.13	Variación en el grado de bioturbación y en el carácter de las estructuras orgánicas_____	125

CAPITULO 7

Figura 7.1	Causas de la reducción de la superficie de área durante la diagénesis de areniscas_____	133
Figura 7.2	Flujograma con la metodología a seguir para realizar el modelaje diagenético_____	135
Figura 7.3	Asignación de clases paragenéticas para las corridas en <i>Touchstone</i> _____	136
Figura 7.4	Secuencia paragenética asociada a períodos de soterramiento y levantamiento_____	137

Figura 7.5	Fracción detrítica asociados a sus principales reemplazos_____	137
Figura 7.6	Diagrama de soterramiento para el pozo PB-694_____	139
Figura 7.7	Asignación de clase paragenéticas, para la corrida de las muestras del pozo PB-694_____	141
Figura 7.8	Secuencia paragenética asociada a las clases paragenéticas definidas para B-6 en el pozo PB-694_____	141
Figura 7.9	Porcentaje de error estimado por <i>Touchstone</i> , para los datos medidos petrográficamente y los calculados por el programa, para las muestras del pozo PB-694_____	142
Figura 7.10	Cemento de cuarzo calculado Vs cemento de cuarzo medido en el pozo PB-694_____	144
Figura 7.11	Porosidad intergranular calculada Vs porosidad intergranular medida en el pozo PB-694_____	144
Figura 7.12	<i>IGV</i> calculado Vs <i>IGV</i> medido en el pozo PB-694_____	145
Figura 7.13	Cemento de cuarzo Vs tiempo en el pozo PB-694_____	145
Figura 7.14	Cemento de cuarzo Vs paleoprofundidad para el pozo PB-694_____	146
Figura 7.15	Porosidad intergranular Vs tiempo en el pozo PB-694_____	146
Figura 7.16	Porosidad intergranular Vs paleoprofundidad en el pozo PB-694_____	147
Figura 7.17	Porosidad secundaria Vs tiempo en el pozo PB-694_____	147
Figura 7.18	Porosidad secundaria Vs paleoprofundidad en el pozo PB-694_____	148
Figura 7.19	<i>IGV</i> Vs tiempo en el pozo PB-694_____	148
Figura 7.20	<i>IGV</i> Vs paleoprofundidad en el pozo PB-694_____	149
Figura 7.21	Diagrama de soterramiento para el pozo PB-689_____	150
Figura 7.22	Asignación de clase paragenéticas, para la corrida de las muestras del pozo PB-689_____	151

Figura 7.23	Secuencia paragenética asociada a las clases paragenéticas definidas para B-6 en el pozo PB-689	151
Figura 7.24	Porcentaje de error estimado por <i>Touchstone</i> , para los datos medidos petrográficamente y los calculados por el programa, para las muestras del pozo PB-689	153
Figura 7.25	Cemento de cuarzo calculado Vs cemento de cuarzo medido en el pozo PB-689	155
Figura 7.26	Porosidad intergranular calculada Vs medida en el pozo PB-689	155
Figura 7.27	Porosidad intergranular calculada Vs medida en el pozo PB-689	156
Figura 7.28	Cemento de cuarzo Vs tiempo en el pozo PB-689	156
Figura 7.29	Cemento de cuarzo Vs paleoprofundidad en el pozo PB-689	157
Figura 7.30	Porosidad intergranular Vs tiempo en el pozo PB-689	157
Figura 7.31	Porosidad intergranular Vs paleoprofundidad en el pozo PB-689	158
Figura 7.32	Porosidad secundaria Vs tiempo en el pozo PB-689	158
Figura 7.33	Porosidad secundaria Vs paleoprofundidad en el pozo PB-689	159
Figura 7.34	<i>IGV</i> Vs tiempo en el pozo PB-689	159
Figura 7.35	<i>IGV</i> Vs paleoprofundidad en el pozo PB-689	160
Figura 7.36	Diagrama de soterramiento para el pozo CC-2A	161
Figura 7.37	Asignación de clase paragenéticas, para la corrida de las muestras del pozo CC-2A	162
Figura 7.38	Secuencia paragenética asociada a las clases paragenéticas definidas para B-6 en el pozo CC-2A	162
Figura 7.39	Porcentaje de error estimado por <i>Touchstone</i> , para los datos medidos petrográficamente y los calculados por el programa, para las muestras del pozo CC-2A	164

Figura 7.40	Cemento de cuarzo calculado Vs cemento de cuarzo medido en el pozo CC-2A_____	166
Figura 7.41	<i>IGV</i> calculado Vs <i>IGV</i> medido en el pozo CC-2A_____	166
Figura 7.42	Porosidad intergranular calculada Vs porosidad intergranular medida en el pozo CC-2A_____	167
Figura 7.43	Cemento de cuarzo Vs tiempo en el pozo CC-2A_____	167
Figura 7.44	Cemento de cuarzo Vs paleoprofundidad para el pozo CC-2A_____	168
Figura 7.45	Porosidad intergranular Vs tiempo en el pozo CC-2A_____	168
Figura 7.46	Porosidad intergranular Vs paleoprofundidad en el pozo CC-2A_____	169
Figura 7.47	<i>IGV</i> Vs tiempo en el pozo CC-2A_____	169
Figura 7.48	<i>IGV</i> Vs paleoprofundidad en el pozo CC-2A_____	170

Índice de Fotos

CAPITULO 3

Foto 3.1	Pozo CC-2A, prof. 5261'. Dominio de cuarzo monocristalino ígneo plutónico. Nícoles cruzados, objetivo 10X_____	38
Foto 3.2	Pozo CC-2A, prof. 5560'-5570'. Alto contenido de cuarzo, en su mayoría cuarzo monocristalino ígneo plutónico. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	38
Foto 3.3	Pozo CC-2A, prof. 4740'. Feldespato potásico (ortosa) alterado. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	39
Foto 3.4	Pozo CC-2A, prof. 4740'. Sobrecrecimiento de feldespato sobre un grano de feldespato potásico (ortosa). Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	39
Foto 3.5	Pozo CC-2A, prof. 5790'-5800'. Feldespato alterado. Nícoles cruzados, objetivo 10X_____	39
Foto 3.6	Pozo CC-2A, prof. 5261'. Fragmentos de roca sedimentarios y metamórficos alterados. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	40
Foto 3.7	Pozo CC-2A, prof. 5740'-5750. Pseudomatriz formada por la deformación y alteración de fragmentos líticos. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	41
Foto 3.8	Pozo CC-2A, prof. 5261'. Matriz arcillosa. Nícoles paralelos, objetivo 20X_____	42
Foto 3.9	Pozo CC-2A, prof. 5490'-5500'. Cemento de sílice en continuidad óptica. Contactos longitudinales. Nícoles cruzados, objetivo 10X_____	43
Foto 3.10	Pozo CC-2A, prof. 5261'. Sobrecrecimiento de sílice en continuidad óptica sobre un grano detrítico de cuarzo. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	43

Foto 3.11	Pozo CC-2A, prof. 5590'-5600'. Cemento de calcita relleno de poros. Nícoles cruzados, objetivo 10X_____	44
Foto 3.12	Pozo CC-2A, prof. 4740'. Cemento de calcita relleno de poros. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	44
Foto 3.13	Pozo CC-2A, prof. 4970'4980', Reemplazo de calcita sobre un feldespato potásico. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	45
Foto 3.14	Pozo CC-2A, prof. 4740'. Dolomita sobre un fragmento de roca alterado. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	45
Foto 3.15	Pozo CC-2A, prof. 5261'. Porosidad por disolución de la matriz. Nícoles paralelos, objetivo 20X_____	46
Foto 3.16	Núcleo del pozo PB-694, profundidad 5900'. Estratificación ondulada_____	48
Foto 3.17	Núcleo del pozo PB-694, profundidad 5903'. Aumento en el contenido de arenas hacia la base de la subfacies 1a_____	48
Foto 3.18	Núcleo del pozo PB-694, profundidad 5925'. Alto grado de bioturbación de la subfacies 1a_____	49
Foto 3.19	Núcleo del pozo PB-694, profundidad 5911'. Delgadas intercalaciones y lentes de areniscas produciendo la estratificación lenticular_____	49
Foto 3.20	Núcleo PB-694, profundidad de la foto 6046'. Estratificación flaser en A y B. En B clastos de arcilla_____	50
Foto 3.21	Núcleo PB-694, profundidad 6116'. Areniscas de color marrón claro a gris con laminaciones de lutitas_____	50
Foto 3.22	Pozo PB-694, prof. 5974'. Disolución de feldespatos generando porosidad. Nícoles paralelos, objetivo 10X_____	53

Foto 3.23	PB-694, prof. 6123'. Alteración de fragmentos líticos. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	54
Foto 3.24	Pozo PB-694, prof. 6030'. Sobrecrecimiento de sílice en continuidad óptica sobre granos detríticos de cuarzo. Nícoles paralelos, objetivo 10X_____	56
Foto 3.25	Pozo PB-694, prof. 5974'. Dolomita ferrosa sobre granos de cuarzo detríticos. Nícoles cruzados, objetivo 10X_____	57
Foto 3.26	Pozo PB-694, prof. 5902'. Porosidad por disolución. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	58
Foto 3.27	Pozo PB-689, prof. 5680'5". Estratificación lenticular dentro de la subfacies 1a_____	60
Foto 3.28	Pozo PB-689, Prof. 5684'. Lutitas con algunas intercalaciones de limolitas y areniscas de grano fino. <i>Planolites</i> _____	60
Foto 3.29	Pozo PB-689, prof. 5901'5. Carácter arenoso de la subfacies 1b, estratificación flaser_____	61
Foto 3.30	Pozo PB-689, prof. 6975'. Areniscas masivas de color marrón oscuro, levemente impregnada de petróleo_____	61
Foto 3.31	Núcleo PB-689, profundidad 6139'6". Lutitas de colores gris oscuro a negra con algunos lentes de areniscas de grano muy fino, se observa una fractura que atraviesa el núcleo con 2mm de desplazamiento_____	63
Foto 3.32	Pozo PB-689, prof. 5716'. Sobrecrecimiento de feldespato y feldespatos alterados. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	65
Foto 3.33	PB-689, prof. 6259'2". Cemento de calcita rellenando poros y reemplazando parcialmente. Nícoles cruzados, objetivo 10X_____	67

Foto 3.34	Pozo PB-689, prof. 6118'6". Cristales de dolomita sobre un grano de chert. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	68
Foto 3.35	Pozo PB-689, prof. 5961'8". Pequeños cristales de siderita sobre granos de cuarzo y rellenando poros. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	68
Foto 3.36	Pozo PB-689, prof. 6167'5". Caolinita siendo disuelta y generando microporosidad, y la cantidad de sobrecrecimiento de sílice en las muestras. Nícoles paralelos, objetivo 20_____	68

CAPITULO 4

Foto 4.1	Pozo CC-2A, prof. 5261'. Mica deformada. Nícoles paralelos, objetivo 20X_____	71
Foto 4.2	Pozo CC-2A, prof. 5560'-5570'. Subarcosa con empaquetamiento apretado, producto de la cementación de sílice. Nícoles cruzados, objetivo 20X_____	72
Foto 4.3	Pozo CC-2A, prof. 5261'. Cemento de calcita rellenando poros y reemplazando. Nícoles cruzados, objetivo 10X_____	73
Foto 4.4	Pozo CC-2A, prof. 5261'. Disolución de la matriz, generando porosidad por disolución. Nícoles paralelos, objetivo 10X_____	76

CAPITULO 5

Foto 5.1	Alto grado de bioturbación. Pueden identificarse los icnofósiles <i>Planolites</i> y posiblemente <i>Terebilina</i> y <i>Anconichnus</i> (profundidad 3873'-3874'42")_____	114
Foto 5.2	Intervalo que se presenta heterolítico hacia la base y el tope y lutítico en la parte media. Precisamente en el intervalo lutítico se aprecia estratificación planar ondulada. (profundidad 3873'-3874'42")_____	114

Foto 5.3	Alto grado de bioturbación presente en la arenisca, lo que le imparte un carácter masivo sin estructuras sedimentarias aparentes	115
Foto 5.4	Entre los icnofósiles reconocidos se encuentran <i>Planolites</i> y en un primer plano <i>Thalassinoides</i> . Profundidad 3693'33"-3694'50"	115
Foto 5.5	Arenisca fuertemente bioturbada, carente de estructuras sedimentarias. Dentro de los icnogéneros identificados destaca <i>Chondrites</i> y <i>Teichicnus</i>	118
Foto 5.6	Dentro de los icnogéneros identificados destaca <i>Chondrites</i> y <i>Terebilina</i> . La presencia de <i>Planolites</i> es un poco dudosa	118
Foto 5.7	Se sospecha la presencia del icnofósil <i>Thalassinoides</i> por ser su presencia de carácter dudoso. El resto de las bioturbaciones no se pudieron identificar. Profundidad 2872'92"-2873'42"	119
Foto 5.8	Arenisca bioturbada. Se observan los abundantes clastos de arcilla, así como laminaciones localizadas de restos carbonosos. Se logra apreciar sectores con el patrón de estratificación original (heterolítico). Profundidad 2830'83"-2831'50"	119
Foto 5.9	Estratificación flaser	122
Foto 5.10	Areniscas del pozo PB-694	122
Foto 5.11	Carácter heterolítico del núcleo	123
Foto 5.12	Alto grado de bioturbación	123
Foto 5.13	Areniscas del pozo PB-689	124
Foto 5.14	Estratificación lenticular	124

Índice de Tablas

CAPITULO 3

Tabla 3.1	Tabla de litofacies del pozo PB-694, en el intervalo 5909'-6159'_____	47
Tabla 3.2	Tabla de litofacies del pozo PB-689, en el intervalo 5600'-6245'_____	59

CAPITULO 4

Tabla 4.1	Porcentaje de roca total para el pozo CC-2A_____	76
Tabla 4.2	Fracción de arcilla para el pozo CC-2A_____	76
Tabla 4.3	Volumen total de roca para el pozo PB-689_____	84
Tabla 4.4	Fracción de arcilla (<2 μ m) para el pozo PB-689_____	84
Tabla 4.5	Resultados del análisis de microscopía electrónica S.E.M para el pozo PB-689_____	86
Tabla 4.6	Volumen total de roca para el pozo PB-694_____	93
Tabla 4.7	Fracción de arcilla (<2 μ m) para el pozo PB-694_____	93
Tabla 4.8	Resultados del análisis de microscopía electrónica S.E.M para el pozo PB-694_____	96

CAPITULO 7

Tabla 7.1	Clases paragenéticas definidas a partir de la historia termal del pozo PB-694_____	140
Tabla 7.2	Clases paragenéticas definidas a partir de la historia termal del pozo PB-689_____	152
Tabla 7.3	Clases paragenéticas definidas a partir de la historia termal del pozo CC-2A_____	163

Índice de Anexos

- Anexo 1 Tabla de Resultados petrográficos de textura, composición y clasificación de las muestras de los pozos CC-2A, PB-694 y PB-689.
- Anexo 2 Tabla de efectos diagenéticos en las muestras de los pozos CC-2A, PB-694 y PB-689.
- Anexo 3 Descripción macroscópica de los ripios del pozo CC-2A.
- Anexo 4 Hoja sedimentológica para el pozo CC-2A.
- Anexo 5 Hoja sedimentológica para el pozo PB-694.
- Anexo 6 Hoja sedimentológica para el pozo PB-689.
- Anexo 7 Mapa de electrofacies en B-6
- Anexo 8 Variación lateral de facies propuesta para el miembro informal B-6 de la Fm. Misoa en los pozos CC-2A, PB-689 y PB-694.

1.- Introducción

1.1.- Objetivos Generales

1. Determinar los factores diagenéticos que controlan la distribución actual de la porosidad en el miembro informal “B-6-X” de la Formación Misoa en el área de Punta Benitez–Cabimas.
2. A partir del modelo diagenético establecido, predecir la calidad de la roca yacimiento en el área de estudio.

1.2.- Objetivos Específicos

1.2.1 Realizar el análisis petrográfico de las muestras tomadas en el área de estudio para determinar la composición mineralógica, características texturales, clasificación de la roca, procesos, etapas diagenéticas y secuencias paragenéticas.

1.2.2 Realizar el modelaje diagenético de los pozos a partir de diagramas de soterramiento, estableciendo el inicio de los eventos diagenéticos más importantes, y definiendo porcentaje de pérdida de porosidad, con el apoyo de los *softwares* de modelaje *Touchstone 2.0* y *BasinMod 1D*.

1.3.- Alcances de la Investigación

El alcance más representativo de este trabajo está relacionado con el establecimiento de un modelo de evolución diagenética en el tiempo del miembro informal “B-6-X” de la Formación Misoa en el área de Punta Benítez–Cabimas, que permita predecir la calidad de la roca yacimiento del área en estudio, cuyos controles principales a estudiar son: soterramiento, tiempo de estadía de las rocas en diferentes umbrales de profundidad, y la composición original del sedimento.

Basándose en la elaboración de diagramas de soterramiento mediante el *software* de modelaje geoquímico *Basinmod 1D*, se tratará de establecer el inicio de los eventos diagenéticos más importantes, así como el porcentaje de pérdida de porosidad para el momento en que los sedimentos litificados alcanzaron distintos intervalos de profundidad ya que las rocas muestran el último estado diagenético, esta información se procesará a través del *software* de modelaje diagenético *Touchstone 2.0*.

1.4.- Justificación

La posibilidad de poder estimar eventos diagenéticos y valores de porosidad resulta de mucha importancia debido a que la capacidad que tiene una roca de almacenar hidrocarburos está ligado a su historia diagenética, ya que la formación, destrucción y distribución de las porosidades y permeabilidades en gran parte controlan la acumulación y la posterior explotación comercial de hidrocarburos.

Por lo tanto es vital realizar un estudio diagenético detallado en esta área, que permita establecer la composición, textura, procesos y secuencias paragenéticas presentes en las rocas, para poder establecer las variaciones en los índices de porosidad desde el momento de su depositación, debido a que todos y cada una de estos procesos afectan la calidad almacenadora de las rocas.

1.5.- Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio está ubicada en la parte noroccidental de Venezuela, específicamente en el estado Zulia, a 15 Km. al este de la población de Cabimas, en la parte norte del Lago de Maracaibo, como se observa en la figura 1.1.

La Cuenca de Maracaibo está limitada al norte por el Golfo de Venezuela, al este por la Serranía de Trujillo, al sur por los Andes de Mérida y al oeste por la Sierra de Perijá.

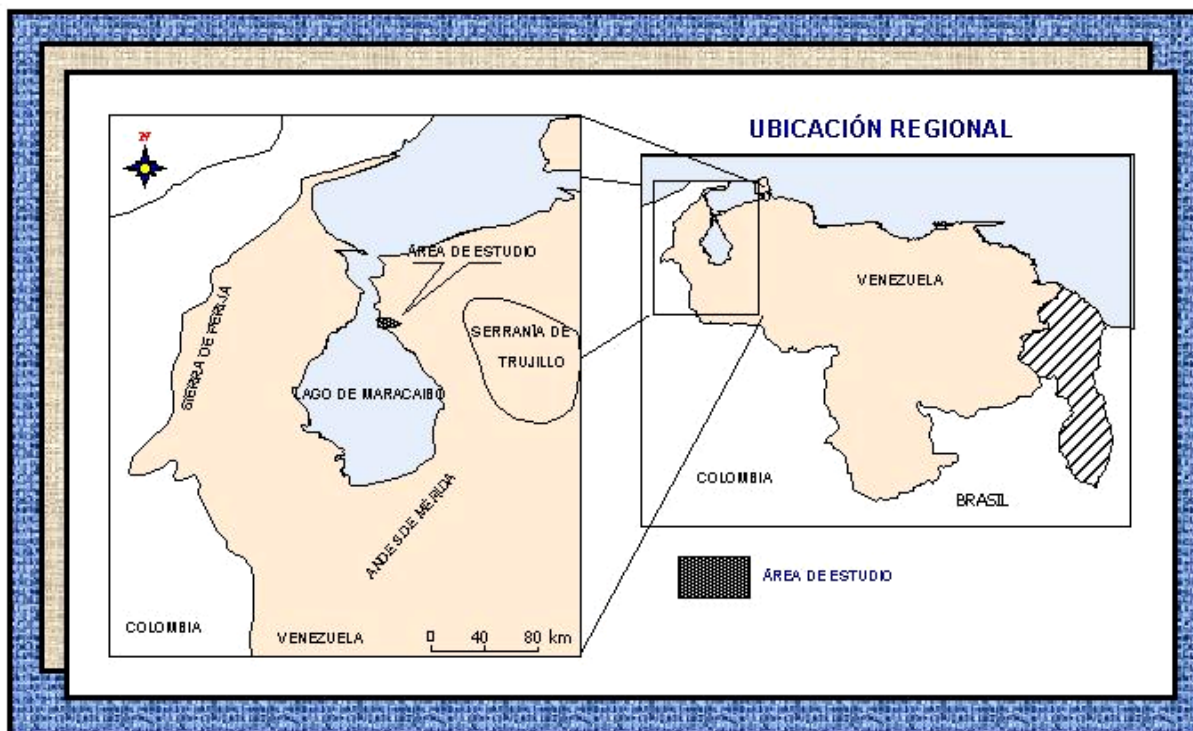


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio. Modificado de Rojas 2000.

En la figura 1.2 se muestra la ubicación del pozo CC-2A ubicado en el área de interés, y la de los pozos PB-694 y PB-689 con los que se extrapolará la información de estos a los del área de Cabimas para tener mejor calibración del modelo diagenético.

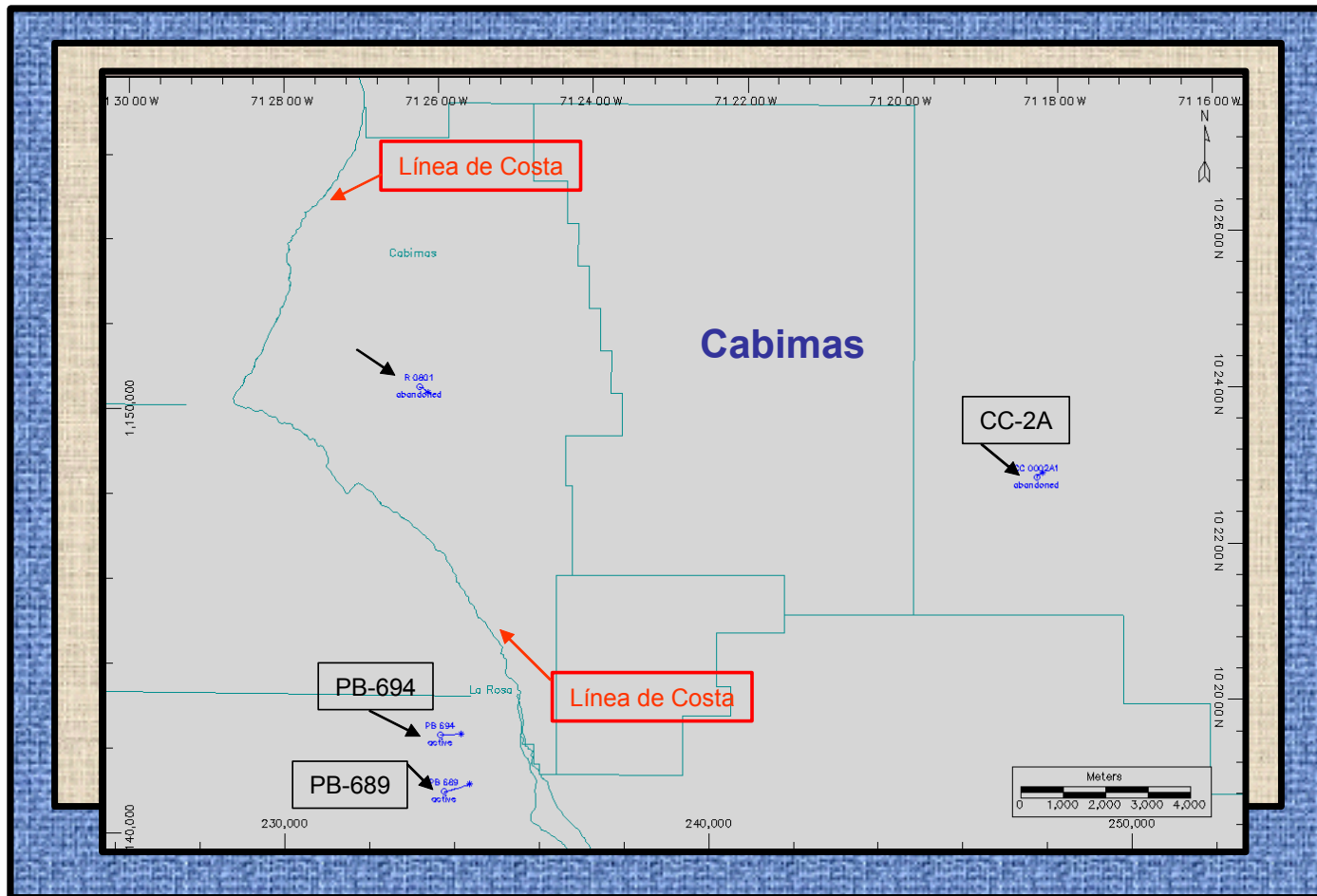


Figura 1.2. Mapa de ubicación de los pozos a estudiar.

1.6.- Metodología de Trabajo

Para realizar este estudio se llevaron a cabo las siguientes etapas:

- ❖ Recopilación bibliográfica de los trabajos realizados en la Formación Misoa y revisión de los pozos con núcleo, a partir de las carpetas de pozo en el área de Cabimas y Punta Benitez, de manera de obtener información del nivel estratigráfico concerniente al miembro informal “B-6-X” de la Formación Misoa, para lo cual se seleccionó el pozo CC-2A en el área de estudio y los PB-694 y PB-689 (en el área de Punta Benitez) a fin de tener puntos de comparación y extrapolar la información y así, poder determinar las variaciones diagenéticas laterales del miembro en estudio.
- ❖ Toma de muestras de los pozos seleccionados a partir de núcleos, los cuales se encontraban en la Nucleoteca La Concepción, estado Zulia.

En total se recolectaron 15 muestras de núcleo para la realización de secciones. En el caso de los pozos PB-689 y PB-694 las muestras se tomaron en cada una de las facies definidas, y en el pozo CC-2A las muestras se tomaron aleatoriamente debido a que el núcleo se encontraba incompleto, por lo cual las posibles carencias de secciones finas en el intervalo de interés fueron sustituidas por muestras de canal y otras 30 secciones finas ya realizadas de los pozos PB-689 y PB-694 proporcionadas por la Nucleoteca La Concepción.

Es importante resaltar que la mayoría de los núcleos utilizados en este estudio fueron tomados hace más de 30 años, lo cual implica una alta manipulación, y en consecuencia su preservación no es la mejor.

Para cubrir los intervalos sin núcleo en el pozo CC-2A se tomaron 19 muestras de canal desde 4660' hasta 7670'. La selección de las muestras de canal se realizó en base a las características litológicas que ofrecen los

registros eléctricos, considerando los intervalos donde no se dispone de núcleos para abarcar la secuencia completa. La preparación de las muestras se realizó en varias etapas:

- ♣ Utilizando una lupa se observa individualmente cada uno de los granos desde el punto de vista textural y mineralógico, para luego agrupar cada uno de estos en diferentes litotipos, los cuales se separan de la fracción arcillosa para la elaboración de las secciones finas de los litotipos arenosos.

Para la preparación de las secciones finas de núcleo se contó con el apoyo del personal técnico del laboratorio Geológico de PDVSA EPM, y para la elaboración de las secciones finas de ripios se contó con el apoyo del personal técnico del laboratorio de Geología de Intevep.

- ❖ La elaboración de secciones finas se realizó mediante el método convencional, las muestras se tiñeron con epoxy de color para destacar la porosidad, luego con una mezcla de alizarina roja y ferrocianuro de potasio para facilitar la identificación de los minerales carbonáticos y su contenido relativo de hierro ferroso.
- ❖ Se realizó el análisis petrográfico detallado de las secciones finas mediante el microscopio de luz polarizada, en total se analizaron 64 secciones de las cuales 19 son de ripios y 45 de núcleo. Posteriormente se realizó el conteo modal a todas las muestras (mínimo 300 puntos para las muestras de núcleo y 200 puntos para las muestras de ripios) para eliminar cualquier subjetividad y así poder establecer la composición de la roca (granos, matriz, cemento, etc.), textura (escogimiento redondez, contacto, etc.), mineralogía de los granos (cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca, etc.) y el carácter diagenético (porosidad secundaria, mineralogía diagenética, etc.).

❖ Se realizó el análisis por difracción de rayos-X de 6 muestras seleccionadas de los pozos CC-2A (4790' y 5261'), PB-694 (5912' y 5977') y PB-689 (6161'8" y 6233'8"), para obtener el porcentaje de roca total y la fracción de arcilla presentes en las muestras, para llegar a estos resultados se realizó la siguiente metodología:

- ♣ Las muestras fueron separadas en dos porciones, la primera fue triturada con un pulverizador de partícula uniforme, colocadas en un portamuestra de aluminio, de manera no orientada, y analizada cualitativa y semicuantitativamente en un difractómetro Philips, para así obtener el porcentaje de roca total en la muestra.
- ♣ La segunda porción fue disgregada y puesta en remojo por 24 horas, posteriormente la muestra es dispersada, utilizando un dispersador de ultrasonido, con la finalidad de separar totalmente el material fino. Una vez realizado esto se separó la fracción menor a 2 micras por centrifugación, y luego se separaron láminas orientadas sobre cubreobjetos de vidrio, dejándolas secar a temperatura ambiente y se analizaron en el mismo difractómetro antes mencionado, para obtener así la mineralogía de las arcillas. Posteriormente se analizó la fracción menor a 0.5 micras para obtener una mejor identificación de los minerales de arcilla y su caracterización diagenética.

Las muestras de los pozos PB-689 y PB-694 también poseen análisis por difracción de rayos X (DRX) y por microscopio electrónico de barrido (S.E.M), el cual fue tomado de Proserca (1992).

1.7.- Trabajos Previos

ROJAS & JOURDAN (1985) estudiaron la evolución diagenética de la Formación Misoa (Eoceno Inferior medio) en la región central del Lago de Maracaibo, donde determinaron que las arenas B y las arenas C de la Formación Misoa corresponden composicionalmente a areniscas líticas, que junto con los procesos geoquímicos han generado porosidades secundarias debido a la disolución de fragmentos líticos. La naturaleza lítica de estas areniscas ha jugado un papel muy importante en la evolución de las cualidades petrofísicas en función del ambiente sedimentario y posición estructural respecto al movimiento de fluidos post-depositacionales.

PROSERCA (1992) realizó un estudio sedimentológico de la Formación Misoa en el intervalo 5642'-6293'6" dentro del yacimiento B-6-X.29 (miembros B-5-X, B-6-X y B-7-X) en el pozo PB-689, donde se determinó que las arcillas detríticas y los carbonatos influyen negativamente sobre la porosidad y permeabilidad, mientras que el cuarzo sobrecrecido influye sobre la porosidad positivamente por inhibición a la compactación de las arenas limpias. Y que el desarrollo de porosidad intergranular secundaria por disolución de feldespatos contribuye muy poco a aumentar la porosidad total del yacimiento.

De igual manera PROSERCA (1992) realizó un estudio sedimentológico de la Formación Misoa en los intervalos 5900'-6159' en los yacimientos B-6-X.29 y B-6-X.67 en el pozos PB-694 donde concluyó que los factores que controlan la porosidad y la permeabilidad del yacimiento es la cantidad de arcillas detríticas, el sobrecrecimiento de cuarzo y arcillas autigénicas. El alto contenido de arcillas detríticas y láminas arcillas actúan como barreras de porosidad y permeabilidad vertical a los yacimientos.

CASTILLO (1995) concluye en su trabajo que las arenas C de la Formación Misoa y sus equivalentes en superficie, proceden de la combinación de terrenos característicos de bloque continental y orógenos reciclados y las

areniscas B proceden a partir de un orógeno reciclado pero con características colisionales.

GHOSH, *et al* (1985) realizaron un estudio diagenético para determinar la calidad de las areniscas de la Formación Misoa (Eoceno Inferior) al norte de la Cuenca de Maracaibo, donde sugieren un aumento hacia el este en profundidad del efecto de compactación física y físico-química experimentada por la secuencia de arenas "C" de dicha formación, de igual manera la calidad de las areniscas se deteriora en dirección este a medida que aumenta el grado diagenético. También determinó que la secuencia en el área sufrió un grado variable de soterramiento regional, donde el mínimo soterramiento ocurrió al oeste a una profundidad de 9000' (2743 m) y el máximo soterramiento se registró al este donde llegó a una profundidad de casi 20000' (6096 m).

CARDOZO (1996) basándose en diagramas ternarios de procedencia, minerales pesados y tipos de fragmentos líticos identificados a partir de análisis modales, determinó que la procedencia de las rocas clásticas de la Formación Misoa tienen una procedencia de orógeno reciclado con influencia de cratón interior. De acuerdo a lo establecido, las rocas del nivel estratigráfico C7-B8 proceden de un orógeno reciclado, los niveles B7-B5 proceden fundamentalmente de un orógeno reciclado con influencia de cratón interior y los niveles estratigráfico B2-B4 tienen una procedencia de cratón interior con influencia de orógeno reciclado.

ROMERO (1996) basándose en diagramas ternarios de procedencia, minerales pesados y tipos de fragmentos líticos identificados a partir de análisis modales y estadísticos, determinó que la procedencia de las rocas clásticas de la Formación Misoa está ampliamente regida por los ambientes tectónicos que generaron la cuenca durante el Eoceno. De acuerdo a lo establecido las rocas del nivel estratigráfico C, y los niveles B8 y B9 proceden de un orógeno reciclado continental, los niveles B7-B5 proceden fundamentalmente de un orógeno reciclado con influencia de cratón interior y los niveles estratigráfico

B2-B4 tienen una procedencia de cratón interior con influencia de orógeno reciclado.

BERTORELLI Y MARQUEZ (1995) Estudiaron los ambientes sedimentarios y fuente de los sedimentos de la Formación Misoa en la Serranía de Trujillo, las secciones levantadas las interpretaron como apilamientos de barras distales en un delta dominado por mares. Las porosidades reportadas en superficie con respecto a las porosidades en subsuelo son mayores, producto a la exposición, ya que, los agentes meteóricos destruyen los minerales inestables incrementando las porosidades secundarias.

PEREZ (1998) Realizó un análisis de inclusiones fluidas para la Formación Misoa en el Campo Bachaquero, específicamente en el cemento de cuarzo, para determinar las temperaturas de homogeneización, temperaturas de fusión y salinidad, resultando que la sílice no precipita antes de alcanzar la “ventana de cemento de cuarzo”, ubicada entre 96°C y 119°C, aunque también se encontraron evidencias de precipitación de cantidades significativas de cuarzo a temperaturas inferiores a los 75°C.

2.- Geología Regional

2.1.- Generalidades

La Cuenca de Maracaibo posee una cobertura sedimentaria de aproximadamente 10 Km, que abarca desde el Cretácico hasta el Reciente, la cual descansa sobre un basamento metasedimentario.

Desde el punto de vista sedimentológico, la cuenca presenta una alta complejidad debido a los procesos orogénicos ocurridos durante el tiempo geológico. Estos eventos tienen su origen en los levantamientos de la Serranía de Trujillo del Paleoceno al Eoceno Temprano-Medio, seguido del levantamiento a lo largo de la Sierra de Perijá del Oligoceno al Mioceno y culminando con la elevación de los Andes de Mérida del Mioceno al Pleistoceno (ROJAS, 2000).

Debido a lo antes expuesto la paleogeografía en el occidente de Venezuela es muy compleja, ya que las áreas positivas representaban barreras que afectaban en los procesos sedimentarios, siendo esto un factor determinante en la variabilidad de las facies sedimentarias que existen en la Cuenca de Maracaibo (Figura 2.1).

2.2.- Estratigrafía Regional

El basamento en el Lago de Maracaibo está representado por rocas de edad paleozoicas, las cuales corresponden a rocas metasedimentarias de las formaciones Mucuchachí y Sabaneta, al igual que la Formación La Quinta que se encuentra rellenando el sistemas de grabens jurásicos que poseen una orientación aproximada N-NE, LUGO (1991) (Figura 2.2). La Formación La Quinta está representada por asociaciones volcánicas en la base, como tobas de composición

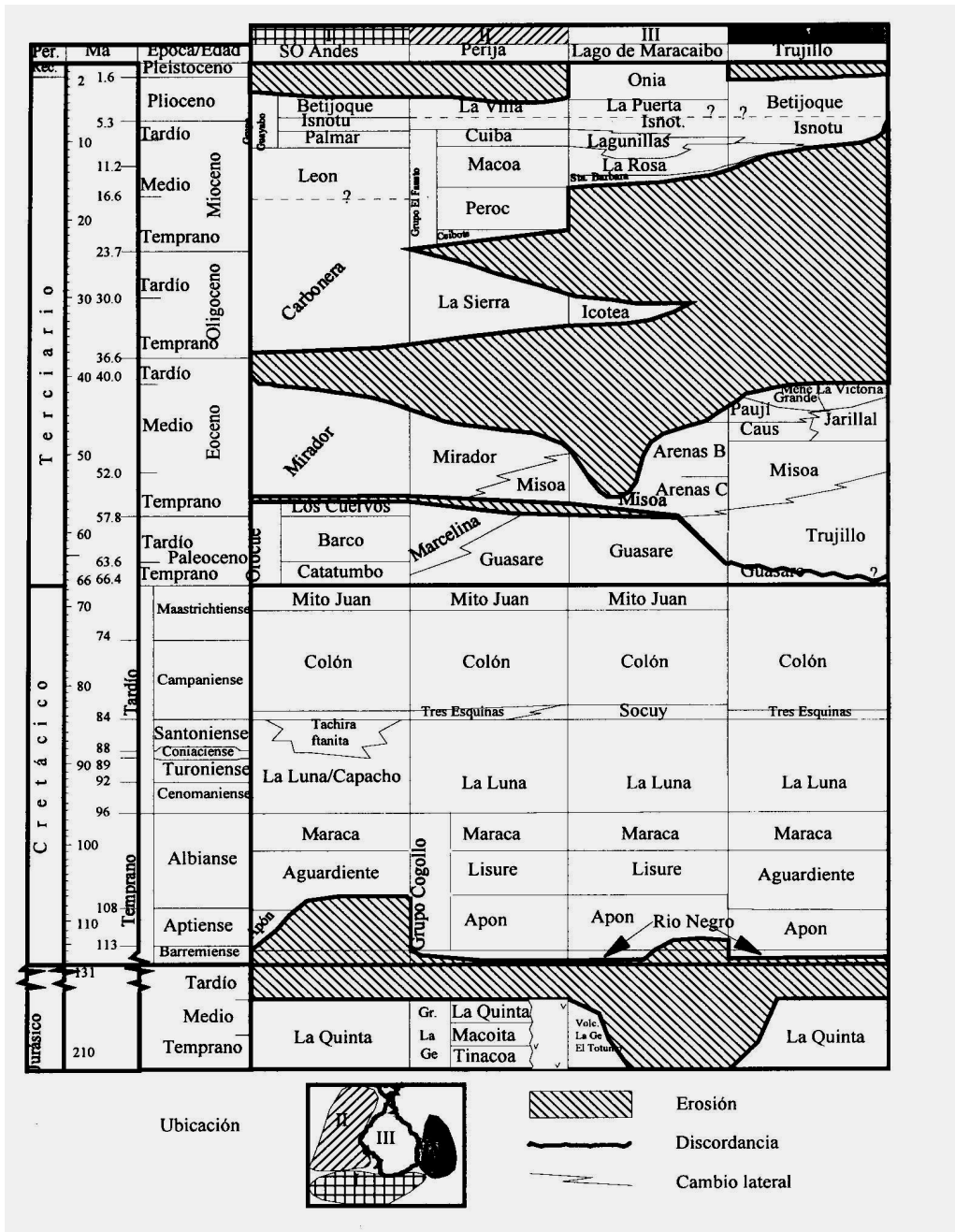
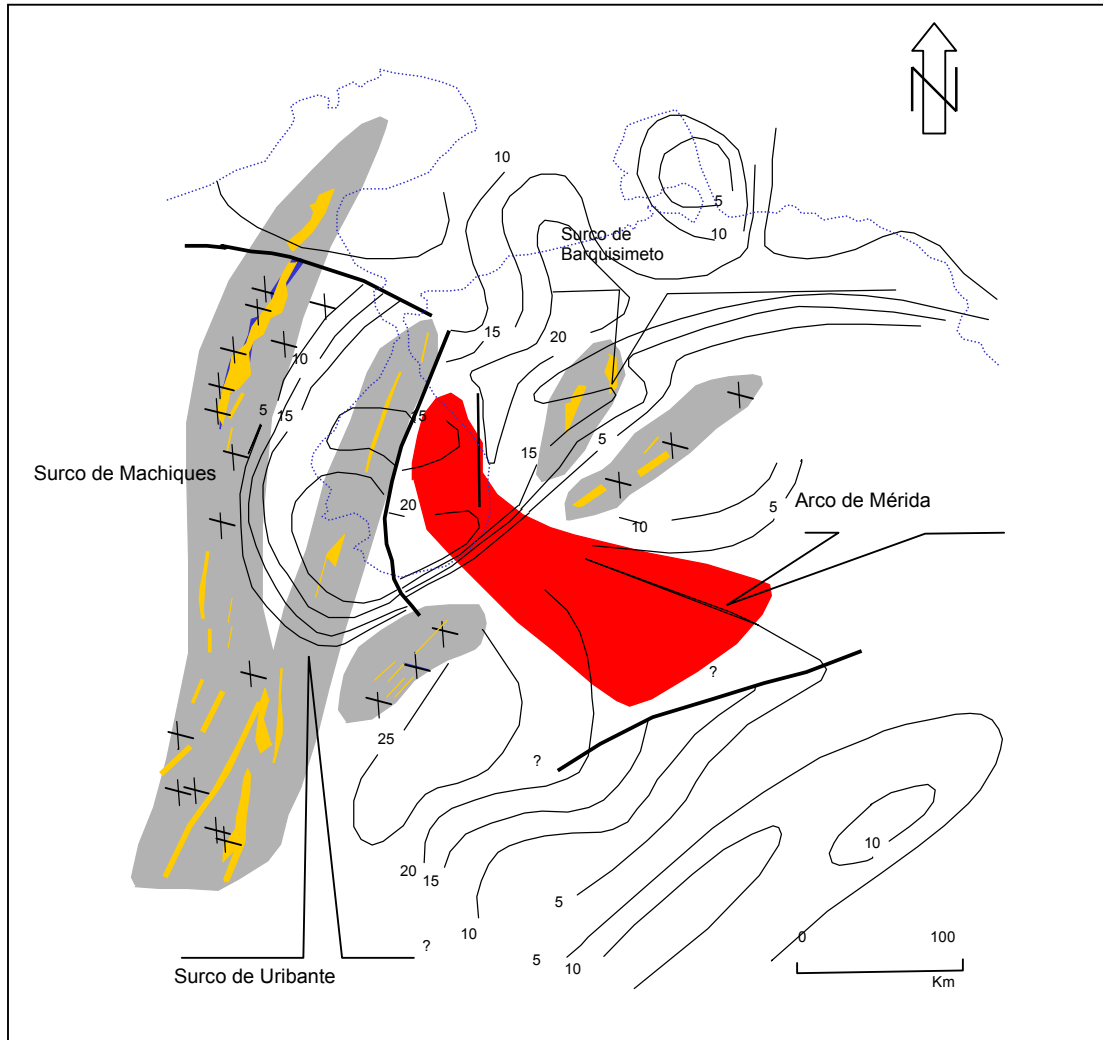


Figura 2.1. Cuadro de correlación de la Cuenca de Maracaibo, Tomado de Lugo (1991).



Tendencias del basamento Paleozoico y Jurásico en la Cuenca de Maracaibo

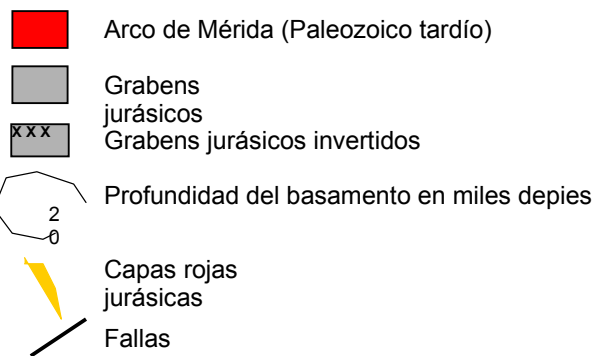


Figura 2.2. Tendencias del basamento Paleozoico-Jurásico en el noroeste de Venezuela, Tomado de Lugo (1991).

intermedia y areniscas piroclásticas, el resto es una secuencia de carácter clástico como limolitas y areniscas de color rojo ladrillo de aproximadamente 620 metros de espesor depositadas en un ambiente fluvial.

En el Cretácico específicamente el Barremiense se acumularon grandes espesores de sedimentos gruesos de origen continental de la Formación Río Negro, algunos autores los denominan conglomerados basales, ya que, dicha formación representa el inicio de un período transgresivo en el occidente del país para esta época. El contacto basal de la Formación Río Negro es discordante sobre las rocas de la Formación La Quinta.

El intervalo Albiense-Aptiense está representado por el Grupo Cogollo, el cual comienza con la Formación Apón de edad Albiense, está constituida por calizas micríticas alternando con algunas arenas y lutitas, depositadas en una plataforma costera externa, la cual nos indica el avance de la trasgresión cretácica. Para dicha formación se interpreta un contacto en su base generalmente abrupto con la Formación Río Negro, aunque aparentemente concordante y ligeramente diacrónico (L.E.V., 1998)

La Formación Lisure de edad Albiense tardío - Aptiense, está caracterizada por areniscas calcáreas con granos angulares de cuarzo y glauconita con intervalos dolomitizados y secciones de intraclastos, depositada en un ambiente de plataforma externa. La formación es concordante en su base con la Formación Apón y hacia el tope el contacto es transicional con la Formación Maraca.

La Formación Maraca de edad Albiense tardío- Cenomaniense temprano en el subsuelo de la cuenca de Maracaibo, consiste en una secuencia en la base de areniscas cuarcíticas, capas de carbón y *packstone* con depósitos de interbarra y abundantes oncolitos, algunas oolitas, pellets, granos compuestos que terminan en un biostromo de pelecípodos, que gradúa hacia las calizas bituminosas de la

Formación La Luna suprayacente (L.E.V., 1998). El contacto superior coincide con la primera aparición de calizas bituminosas negras y laminadas, de la Formación La Luna. En cuanto a la interpretación ambiental se le atribuyen ambiente lagunales a intramarea en la base, que pasa a marino llano hacia el tope (L.E.V., 1998).

Seguidamente la transgresión cretácica tuvo un fuerte pulso mediante el Cenomaniense – Santoniense, específicamente en el Turoniense es donde se encuentra el pico máximo de la trasgresión marina, ya que la Formación La Luna se extiende mucho más hacia el sur del occidente del país en este período de tiempo.

La Formación La Luna consiste típicamente de calizas y lutitas calcáreas fértidas, con abundante materia orgánica laminada, delgadamente estratificadas, de color gris oscuro a negro, debido a que esta formación se depositó en un ambiente euxínico, cuyas profundidades según BOESI *et al* (1988) van desde 100 m en el Turoniense hasta aproximadamente 800 m en el Campaniense. Esta formación en general suprayace concordantemente a la Formación Maraca e infrayace también concordantemente a la Formación Colón (L.E.V., 1998).

Posteriormente a todos los eventos transgresivos mencionados anteriormente, durante el Barremiense – Santoniense, comienza un período regresivo representado por los depósitos de la Formación Colón de edad Campaniense – Maastrichtiense. Esta formación está constituida en su base por el Miembro Socuy, la cual consta de 40 m de caliza margosa de colores claros con intercalaciones muy escasas de lutitas, suprayacente al Miembro Socuy, se encuentra una gruesa secuencia de lutitas microfósilíferas gris oscuro a negras, macizas, piríticas y ocasionalmente micáceas o glauconíticas, con margas y capas de caliza subordinada. Las lutitas son más arenosas hacia la base y hacia la parte

superior, donde la unidad cambia transicionalmente a la Formación Mito Juan (L.E.V., 1998).

La Formación Mito Juan de edad Maastrichtiense está constituida por arcillas grises, verdosas y negras, localmente arenosas, en las cuales el contenido de limo y arena aumenta en sentido ascendente y en cuya parte superior se encuentran a veces capas delgadas de calizas y areniscas (L.E.V., 1998). Esta unidad representa el estado final de la caída relativa del nivel del mar, durante el Cretácico Tardío (LUGO, 1991 en CARDOZO, 1996).

El ciclo Terciario en Venezuela refleja el desarrollo y evolución de un cinturón plegado móvil a partir del Paleoceno, que avanza en dirección este - sureste a lo largo del borde septentrional de Venezuela.

La Formación Guasare indica la continuidad de la retirada del nivel relativo del mar con depósitos de calizas generalmente glauconíticas intercaladas con areniscas y lutitas localmente glauconíticas o carbonáticas (GONZÁLEZ DE JUANA *et. al.*, 1980). La Formación Guasare representa una sedimentación de plataforma, desarrollada en la porción central de la cuenca de Maracaibo durante el Paleoceno. Su litología y contenido fosilífero, corresponden a un ambiente marino nerítico, el cual estuvo sujeto a influencias de tipo deltaico (L.E.V., 1998).

La Estratigrafía del Eoceno en la Cuenca de Maracaibo es difícil de calibrar debido a la falta de control paleontológico y los cambios en las facies sedimentarias, las cuales varían de ambientes marinos abiertos o condiciones sedimentarias más restringidas y continentales (ROJAS, 2000).

Los sedimentos eocenos en el Lago de Maracaibo están representados por la Formación Misoa, la cual será descrita con mayor detalle posteriormente (ver Capítulo II, Formación Misoa).

La Formación Mirador consiste en areniscas de grano fino a medio, intercaladas hacia el tope con lutitas y delgadas capas de carbón, depositadas en un ambiente fluvial durante el Eoceno Medio y Tardío (L.E.V., 1998), y se considera el equivalente lateral de la Formación Misoa hacia el área de Perijá (figura 2.1).

Al final de Eoceno, hay una rápida caída del nivel del mar que expuso gran parte de la cuenca y se depositaron conglomerados litorales, arenas parálicas y lignitos (VAN ANDEL, 1958 en CARDOZO, 1996). Luego permaneció expuesta la cuenca durante el Oligoceno, erosionando intensamente esta zona, con condiciones de meteorización extrema y acción eólica que resultaron en rellenos esporádicos de depresiones (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

La Formación Icotea de edad Oligoceno consiste en limolitas y arcilitas, ocasionalmente carbonáticas. Aunque se presenta de manera muy esporádica en el subsuelo del Lago de Maracaibo son frecuentes esferulitas de siderita, capas ocasionales de lutitas y areniscas. SUTTON, 1946 postula la posibilidad de que estos sean depósitos eólicos en las zonas remanentes de la superficie de la discordancia del Eoceno. El color blanquecino y la presencia de siderita y esferulita, indican condiciones reductoras (HAAS Y HUBMAN, 1937).

Posteriormente la Formación La Rosa de edad Mioceno, corresponde a la máxima extensión de la transgresión de un mar poco profundo, que cubrió la mayor parte de la cuenca de Maracaibo (L.E.V., 1998). Esta formación consiste esencialmente de lutitas verdosas, fosilíferas, intercaladas con areniscas (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

La Formación Lagunillas de edad Mioceno Medio consiste en intercalaciones de lutitas, areniscas poco consolidadas y algunos lignitos

(CARDOZO, 1996). La parte basal de la formación (Miembro Lagunillas Inferior), representa un complejo deltaico, progradante sobre la Formación La Rosa, y procedente del sur y sureste. El Miembro Laguna corresponde a un aumento temporal de las condiciones marinas, con predominio de barras litorales. La porción superior (Miembro Bachaquero) representa un ciclo regresivo, con predominio de ambientes deltaicos y fluviales (L.E.V., 1998).

La Formación Isnotú está constituida predominantemente por lutitas con intercalaciones de areniscas y capas subordinadas de arcilita laminar, carbón y conglomerado. GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980), cree que esta formación es el resultado de la sedimentación de abanicos aluviales y ríos entrelazados durante el Mioceno Tardío.

La Formación La Puerta (Plioceno) consiste básicamente en arcilitas, limolitas y areniscas macizas (SUTTON, 1946). La unidad contiene intercalaciones marinas de menor espesor y no contiene lignitos. YOUNG (1960) la subdividió en tres miembros que denominó Poro, Playa y Timoteo, en secuencia ascendente. El inferior consiste de lutitas abigarradas rojas y grises; el intermedio, de areniscas grises, subgrauvacas y arcilitas; el superior, de arcilitas rojas.

Por último para terminar de representar las unidades estratigráficas presentes en el subsuelo del Lago de Maracaibo para el área de estudio se tiene la Formación Onia de edad Mioceno – Pleistoceno, la cual está compuesta por areniscas, arcilitas y limolitas (GONZÁLEZ DE JUANA, *et al.*, 1980), que descansan discordantemente sobre la Formación La Puerta; en cuanto al ambiente de depositación sólo se conoce que no es de origen marino (L.E.V., 1998), representando los sedimentos más jóvenes en la Cuenca de Maracaibo.

2.3.- Formación Misoa (Eoceno Inferior – Medio)

La Formación Misoa fue descrita originalmente por GARNER en 1926 en la Serranía de Trujillo; ya que las areniscas de esta formación constituyen los yacimientos de petróleo más importantes de la Cuenca de Maracaibo. En el subsuelo se aplican términos informales tales como arenas “B” y “C”, las cuales a su vez, por razones operacionales y basados sobre las características de los registros eléctricos han sido divididas en niveles (Figura 2.3), tales como: B-1-X hasta B-9-X y C-1-X hasta C-7-X respectivamente. A fines de este estudio será analizado el intervalo correspondiente a las arenas B-6-X.

La Formación Misoa se puede definir como una sección de 5000 m de espesor aproximado de areniscas cuarzosas de color gris claro con intercalaciones de lutitas laminadas, micáceas y carbonáticas; se encuentra por encima de la sección esencialmente lutítica de la Formación Trujillo y por debajo de la sección de lutitas marinas de la Formación El Paují. Definida de esta manera, la Formación Misoa es una unidad comprendida entre dos unidades lutíticas, como puede observarse en el área tipo en la parte oriental de la Cuenca de Maracaibo (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

Las características de los sedimentos de la Formación Misoa, dependen de su posición en la cuenca, del ambiente de sedimentación, de la distancia entre ellos y de la fuente de los mismos. Hacia el noreste hay más lutitas y areniscas de grano fino, mientras que hacia el sur y sureste, el porcentaje de arena aumenta al 80 y 90% de la sección, y los granos se hacen más gruesos (L.E.V., 1998).

Las areniscas presentan tamaños variados de grano, pero en general, son de grano fino y gradan a lutitas de tamaño limo y arcilla. En el subsuelo, estas

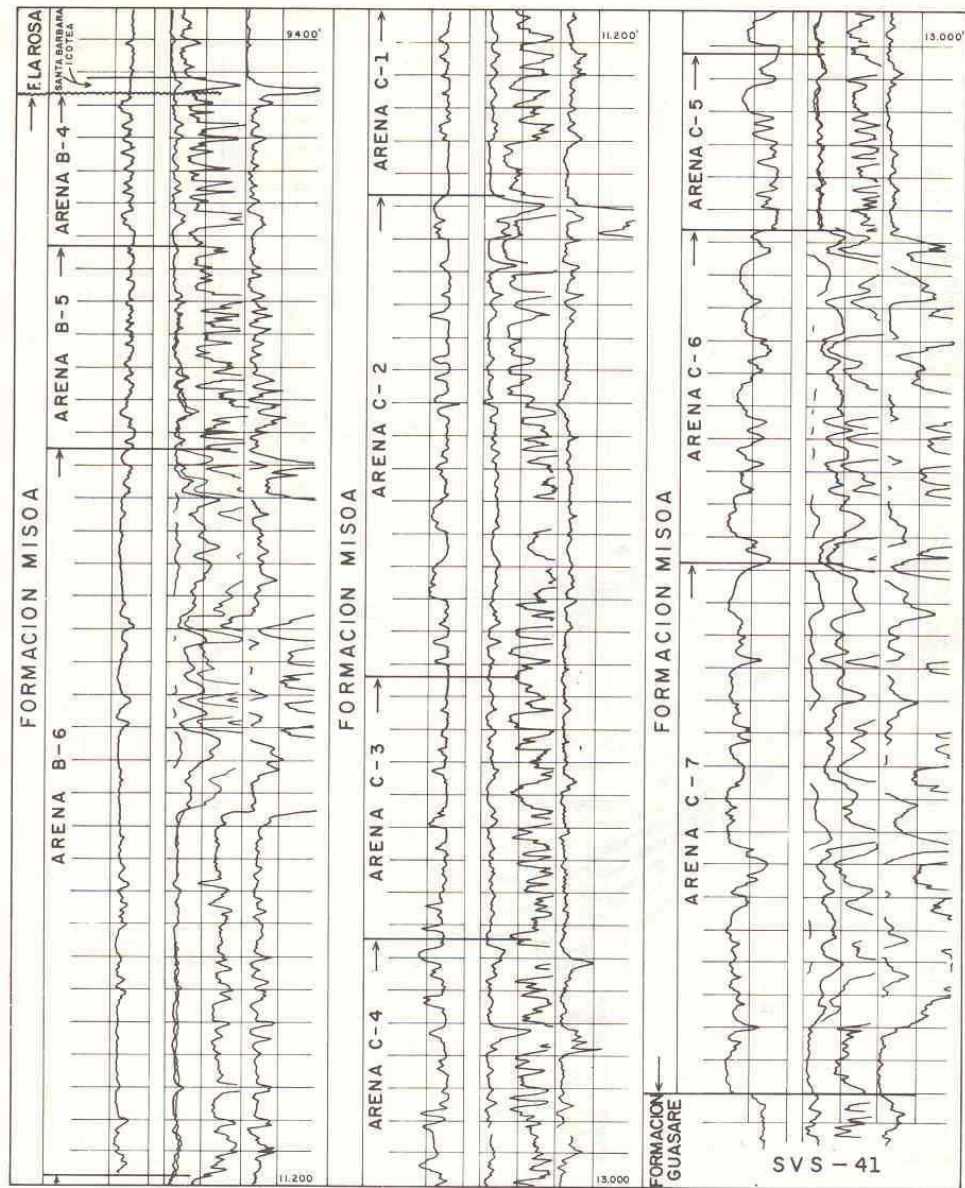


Figura 2.3. Perfil del pozo SVS-41 mostrando el desarrollo de las arenas B y C de la Formación Missoa.

Tomado de Gonzalez de Juana *et al*, 1980

mismas arenas forman yacimientos múltiples verticales, con distribución lateral de decenas de kilómetros (L.E.V., 1998).

Las lutitas tienen composición variable, casi siempre son micáceas, arenosas a limosas, con abundantes estratos delgados y películas de arena, limo y material carbonático (incluyendo restos de hojas), que les dan un aspecto laminado con estructura "flaser". Las lutitas han sido depositadas en ambientes de prodelta, de aguas someras, e interdeltaico, principalmente, y son diferenciables por las delgadas capas de lignito y por el material carbonáceo que contienen (L.E.V., 1998).

En general, las lutitas y las areniscas carecen de fósiles, con excepción de escasos foraminíferos de poco interés estratigráfico. De mayor significación cronológica son los macroforaminíferos de las calizas intercaladas, descritos por VAN RAADSHOOVEN (1951) en capas denominadas Calizas de San Juan y Quebrada Grande, equivalentes al Segundo Nivel Orbitoidal de otros autores.

Las calizas son escasas y se presentan en la base de la formación, en la región suroriental y en el subsuelo del lago. BRONDIJK (1967) las describe como de color gris a gris azulado, duras, con espesores de menos de un metro a varios metros, arenosas, gradando a areniscas calcáreas. Generalmente son bioclásticas, con foraminíferos grandes, algas y fragmentos de moluscos.

VAN VEEN (1972) al estudiar los ambientes sedimentarios de las formaciones Misoa y Mirador (Figura 2.4), indica que constituyen ambientes de un complejo fluvio-deltaico y que la Formación Misoa representa ambientes de un complejo deltaico en los cuales se reconocen llanuras deltaicas, canales distributarios y el frente del delta (Figura 2.5) (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

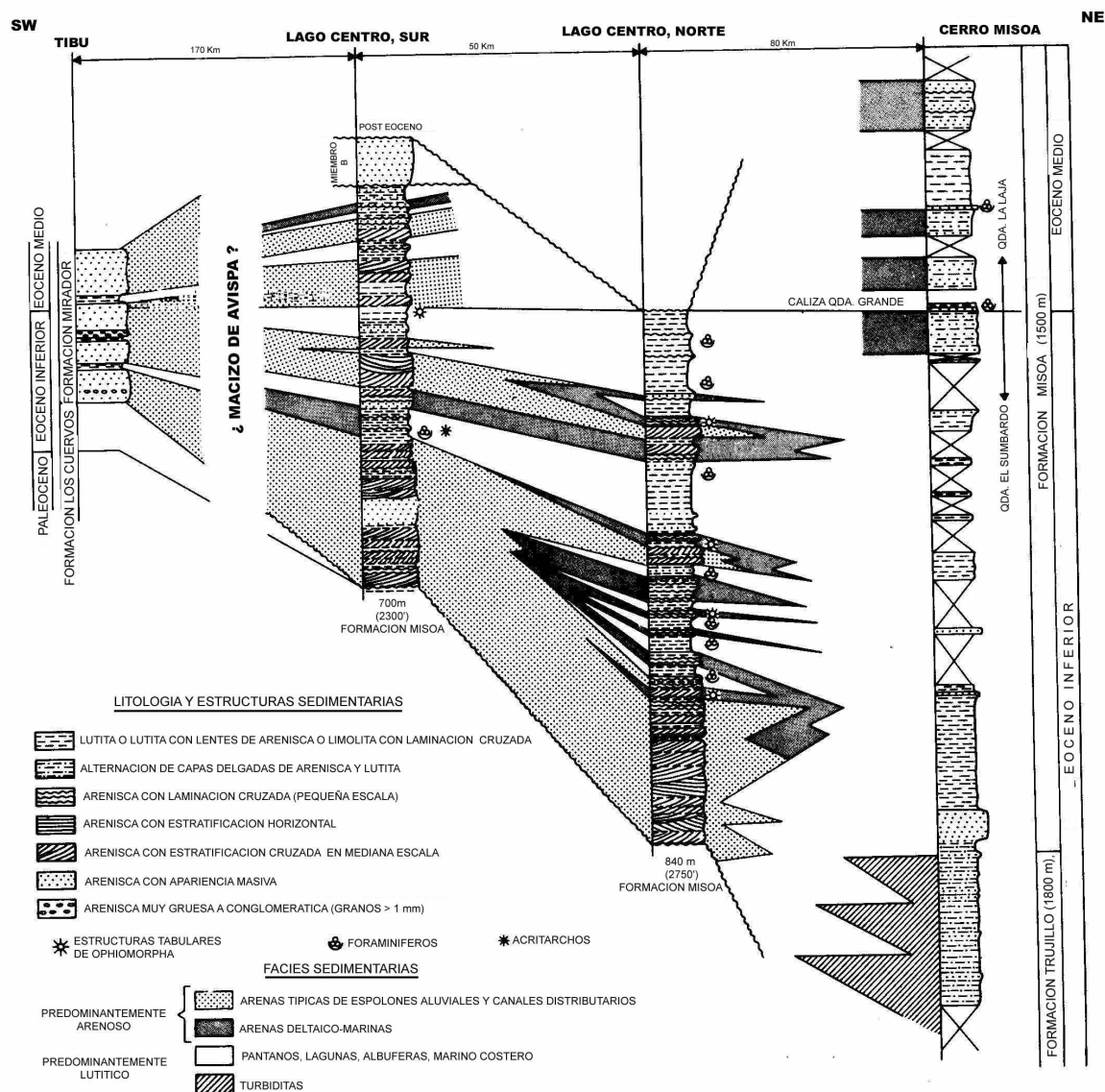


Figura 2.4. Correlación de columnas litoestratigráficas de la Formación Misoa, desde su localidad tipo en Cerro Misoa a través del Lago de Maracaibo hasta Tibú en la región de Tarra, en la que se muestra una representación esquemática de la distribución de facies en las formaciones Misoa y Mirador. Modificado de Van Veen, 1972 en Gonzalez de Juana *et al*, 1980

VAN VEEN (1972) describe tres tipos de areniscas en dos secciones estratigráficas estudiadas, las cuales corresponden a núcleos continuos del subsuelo del Lago de Maracaibo:

- ❖ Areniscas de barras de meandros: se caracterizan por tener un contacto inferior definido, erosivo y claramente indicado por la presencia de fragmentos redondeados o irregulares de lutitas en la base de las areniscas (Figura 2.6-a)
- ❖ Areniscas de canal distributivo: su contacto basal puede o no estar definido y está caracterizado por la alternancia de capas con estratificación cruzada, y espesores que van de decímetros a centímetros, con intercalaciones de lutitas que frecuentemente presenta bioturbaciones (Figura 2.6-b).
- ❖ Areniscas de barra litoral: se encuentran caracterizadas por un contacto basal gradacional debido a un aumento en número y espesor de las intercalaciones de areniscas que culminan al tope en una capa bien desarrollada (Figura 2.6-C).

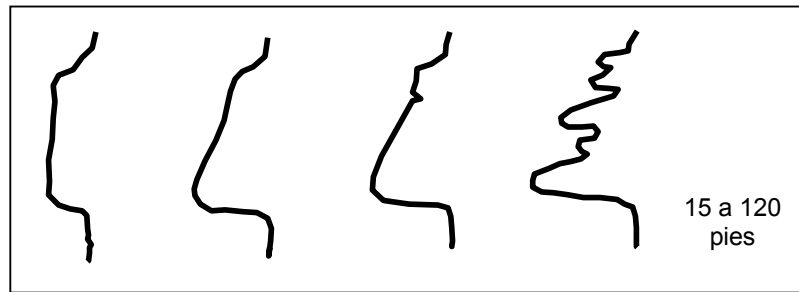


Figura 2.6-a. Facies tipo, deducida de registros eléctricos (SP o rayos Gamma) para depósitos de barra de meandros

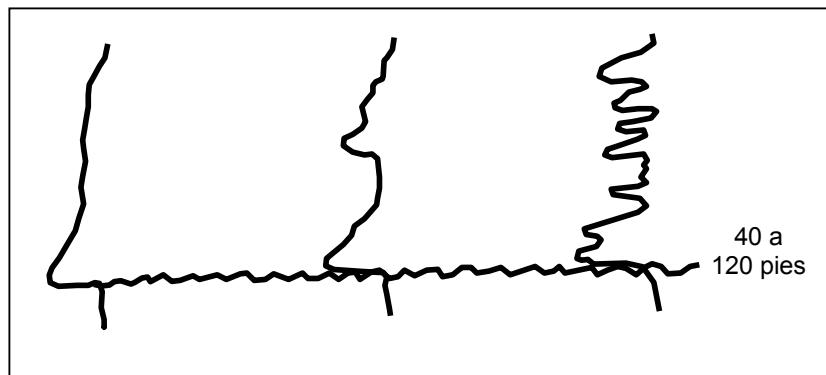


Figura 2.6-b. Facies tipo deducidas de registros eléctricos (SP o Rayos Gamma) para relleno de canal distributivo

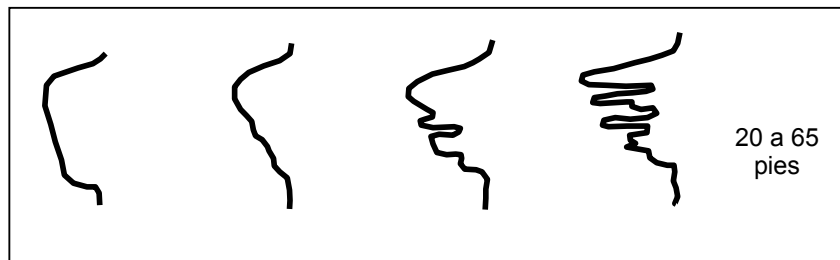


Figura 2.6-c. Facies tipo deducida de registros eléctricos (SP o Rayos Gamma) para depósitos de barra litoral

Tomado de Van Veen (1972).

2.4.- Evolución tectónica de la Cuenca de Maracaibo

La cuenca de Maracaibo está afectada por numerosos eventos tectónicos que han controlado su configuración y tendencias estructurales. Varios autores (PINDELL *et al.*, 1988; ROSS Y SCOTese, 1988 en OSTOS, 1990) le han atribuido un control directo con el origen y evolución de la placa Caribe. Todos los modelos de evolución de la tectónica del norte de Venezuela tienen en común que se inician con una apertura continental durante el Jurásico, es decir, la separación de norte y Suramérica y la formación de un margen pasivo tipo Atlántico al norte de Suramérica.

A continuación serán descritos los principales eventos tectónicos que afectaron y controlaron la tectónica y sedimentación al norte de Venezuela, en especial a la Cuenca de Maracaibo, desde el Triásico hasta el Reciente.

Triásico-Jurásico

Este período de tiempo está representado por un régimen extensional, el cual se manifiesta en la cuenca como horst, grabens y semigrabens de orientación NNE (asociados al período de *rifting*). Ostos (1990) plantea que como consecuencia de este evento se produce la depositación de sedimentos continentales de la Formación La Quinta (figura 2.2) compuesta por gruesos clásticos continentales, limolitas y arcilitas de color rojo.

Cretácico

Durante el Cretácico según LUGO (1991) la cuenca experimenta una subsidencia termal hasta el Aptiense que culmina con la sedimentación de la Formación Río Negro. A lo largo de este período se tiene una transgresión generalizada que cubre totalmente la plataforma de Maracaibo. La litología es principalmente carbonática de mar poco profundo, indicando así que estas rocas se formaron en un margen pasivo (AUDEMAR, 1991). El carácter transgresivo de la Cuenca de Maracaibo se debió mayormente a la subsidencia asociada a la carga sedimentaria en la plataforma tipo atlántico, pero en el Cretácico Tardío (Campaniense-Maastrichtiense) comienza un período regresivo representado por los depósitos de la Formación Colón LUGO (op.cit.). OSTOS (1990) menciona que el ciclo regresivo en la Cuenca de Maracaibo es producto de la colisión del arco de islas del Caribe contra el bloque de Sebastopol afectando la esquina noroeste de Suramérica (figura 2.7).

Paleoceno-Eoceno

Durante este período la placa del Caribe se desplaza con dirección hacia el este, producto de la colisión del arco de islas de las Bahamas contra la parte norte de la placa del Caribe, lo que generó una rotación en sentido horario de los terrenos transpresionales de Venezuela (figura 2.8) (OSTOS, 1990). La migración de estos terrenos transpresionales hacia el este, generó el desarrollo diacrónico de cuencas *foreland* perisuturales a lo largo del norte de Suramérica, por lo que la sedimentación y la distribución de las unidades sedimentarias hacia el norte y noreste de Venezuela estuvo controlada por la subsidencia de estas cuencas (OSTOS, op.cit.).

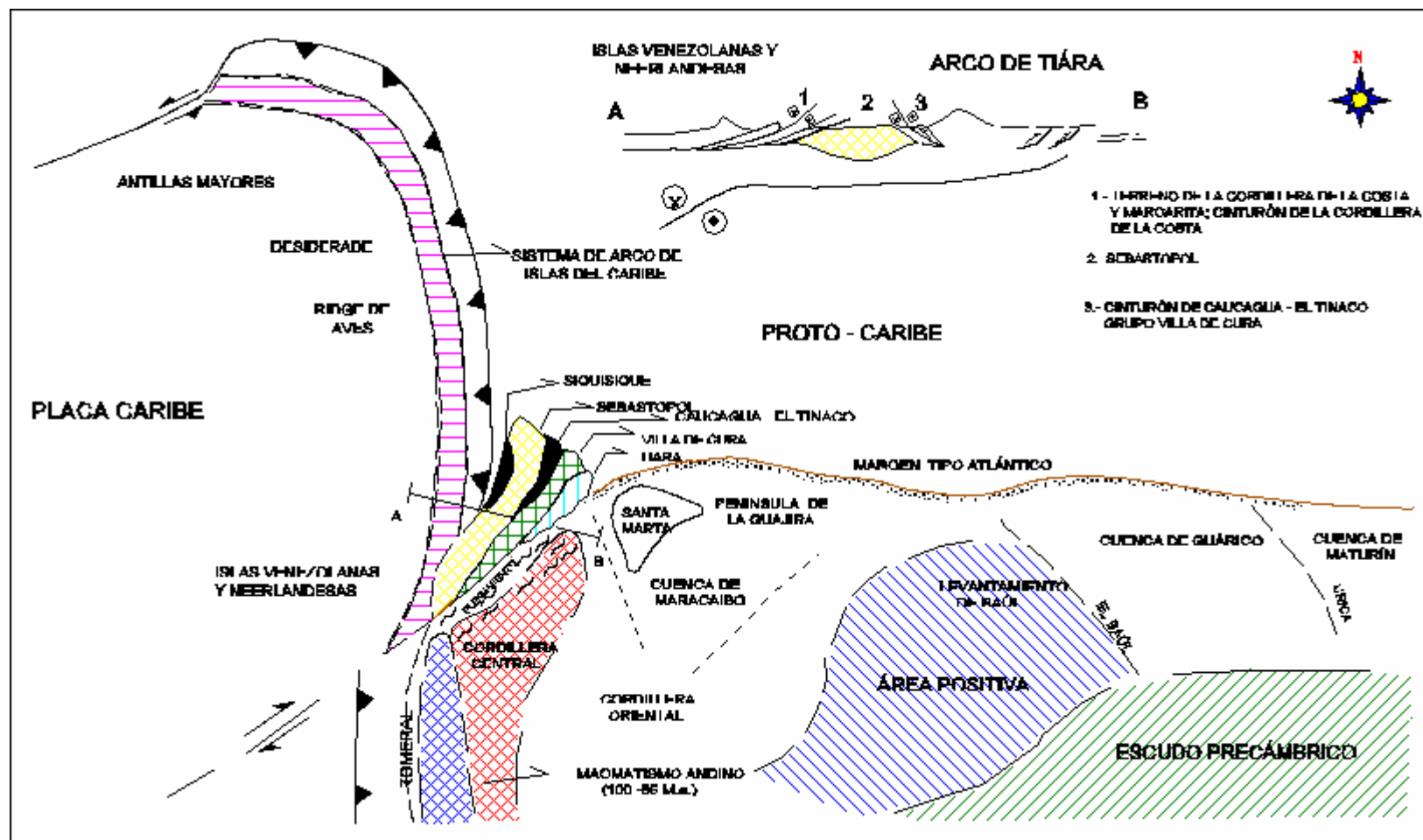


Figura 2.7. Evolución tectónica del norte de Suramérica, del Santoniense al Eoceno Temprano. Tomado de Ostos (1990).

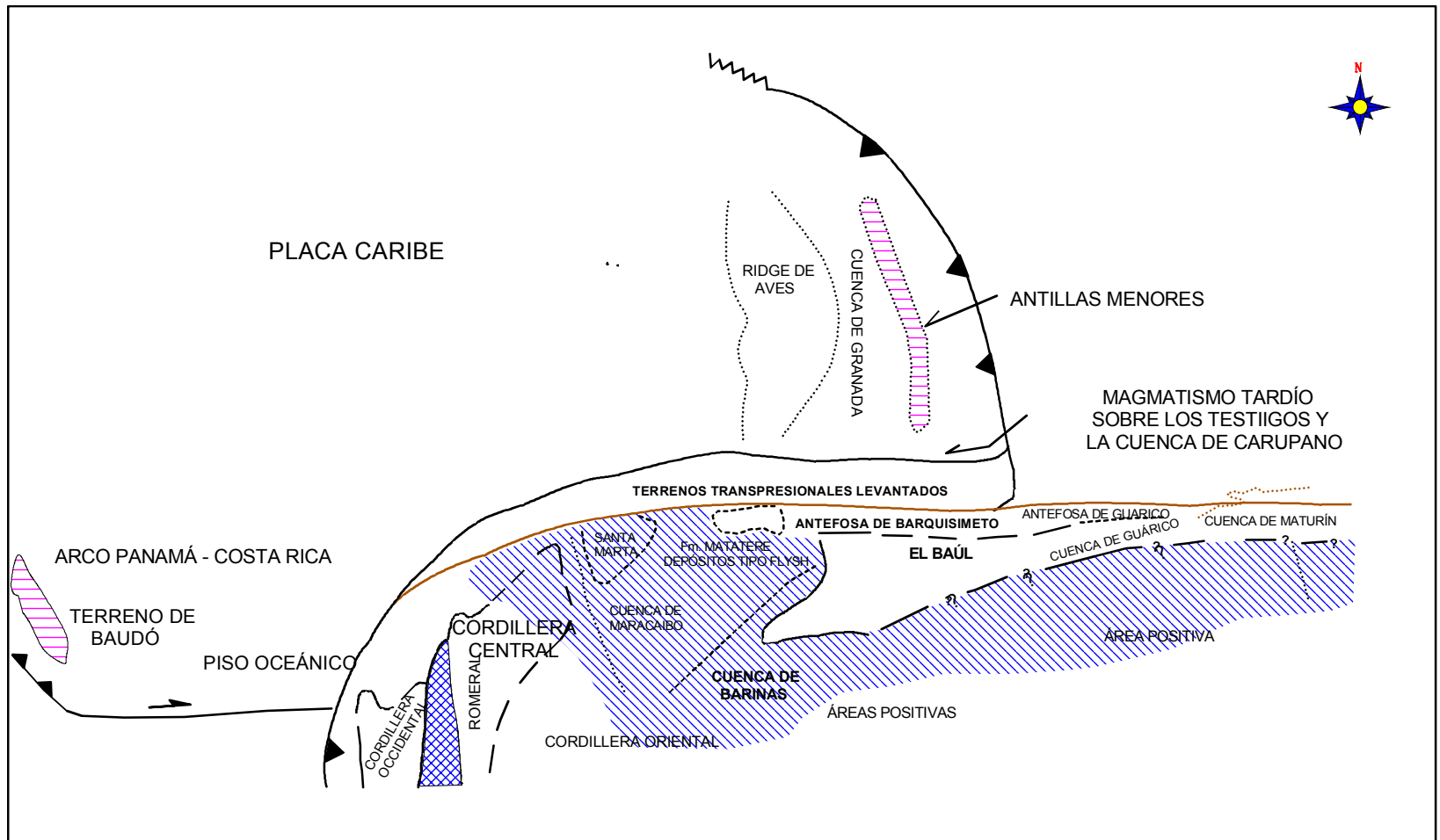


Figura 2.8. Reconstrucción del norte de Suramérica para el Eoceno Medio a Tardío. Tomado de Ostos (1990).

Eoceno Tardío-Oligoceno

Otro evento importante en este período de tiempo es el levantamiento de la Sierra de Perijá, para la cual SHAGAM *et al.* (1984) en LUGO (1991) en base a huellas de fisión determinó que la historia de levantamiento comienza en el Oligoceno Tardío en su parte centro norte, posteriormente al norte y luego al sur para conectarse posteriormente con el levantamiento andino venezolano. Según LUGO (*op. Cit.*) el levantamiento de los Andes y Perijá se debe a la subducción Caribe-Nazca, el *foredeep* de Perijá asociado al levantamiento migró de oeste a suroeste del Lago de Maracaibo, y posee su frente de corrimiento con vergencia al este.

Mioceno-Plioceno

LUGO (1991) interpreta que para el Mioceno Medio posteriormente de un período de quietud, la transpresión se incrementó hacia el norte, a lo largo de las fallas de Icotea y Pueblo Viejo. Luego en el Mioceno Tardío se genera un gran relieve estructural que genera al levantamiento de la Andes, debido a un acortamiento mayor en este período de tiempo.

Para el Plioceno el bloque de Maracaibo se encuentra bajo en un régimen compresional de orientación N160, y con una marcada transpresión en sus fronteras con la placa de Sudamérica (MATHIEU, 1989 en CARDOZO, 1996).

Pleistoceno-Reciente

Debido al contacto de las placas de Nazca y Suramérica que generó compresión en sentido este-oeste, trajo como consecuencia la generación y

reactivación de corrimientos en dirección NS en la Sierra de Perijá, así como en el este y oeste de la Cuenca de Maracaibo; y la migración del *foredeep* en dirección noreste (LUGO, 1991). MALAVÉ Y SUÁREZ (1995) establecieron mediante la geometría de la placa Caribe que la misma está subductando bajo el oriente de Colombia y el occidente de Venezuela con una orientación NNE-SSW y un ángulo de buzamiento de 25°-30°.

3.- Geología Local

Generalidades

Mediante este trabajo se estudio el núcleo de los pozos CC-2A (Campo Curazaito), ubicado en el área de Cabimas, y los PB-689 y PB-694 pertenecientes al Campo Punta Benitez.

Para la elaboración de la descripción sedimentológica detallada del miembro informal B-6 de la Formación Misoa, se utilizaron varias herramientas como descripción de núcleos (en el caso de su existencia), análisis de ripios (en el caso del pozo CC-2A) y posteriormente el análisis petrográfico correspondiente a estas disciplinas mencionadas anteriormente.

El estudio petrográfico se basó fundamentalmente en el análisis de secciones finas de núcleos y ripios mediante el método petrográfico convencional, para luego establecer su clasificación, secuencias paragenéticas y las causas que afectaron la porosidad de dichas rocas, en el nivel estratigráfico que corresponde al miembro informal “B-6-X” de la Formación Misoa.

La clasificación de las areniscas se realizó basándose en el trabajo realizado por PETTIJOHN, POTTER Y SIEVER en 1972 (figura 3.1) el cual se fundamenta en:

- ❖ Composición mineralógica: (contenido y proporción de los componentes esenciales: cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca).
- ❖ Contenido de matriz.

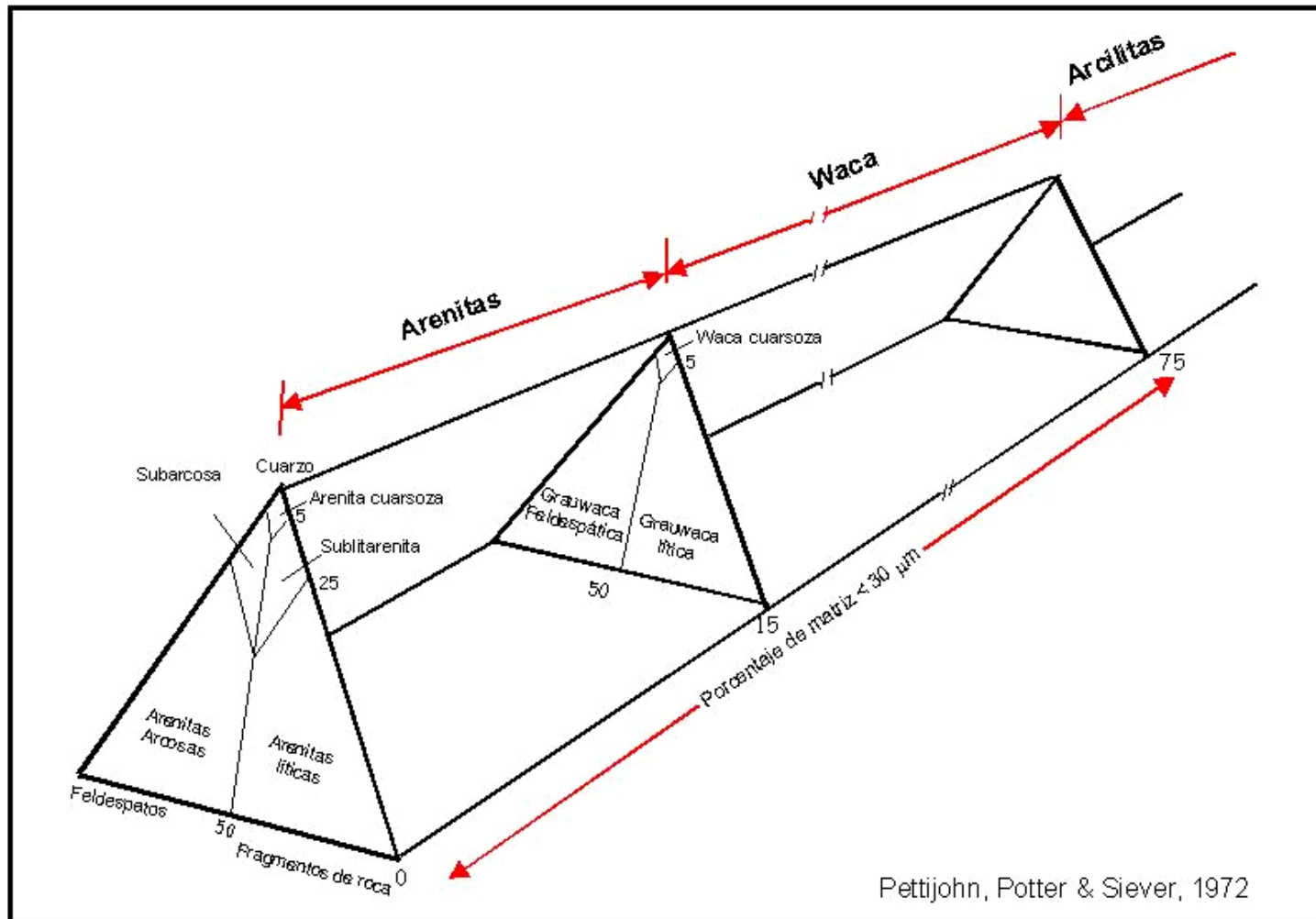


Figura 3.1. Sistema de clasificación de areniscas, propuesto por DOTT (1964) y modificado por PETTIJOHN, POTTER & SIEVER (1972)

3.1 Campo Curazaito

Este campo está ubicado específicamente en el área de Cabimas, como se muestra en la figura 1.2, para fines de este trabajo se estudió el núcleo del pozo CC-2A perteneciente a este campo, cabe destacar, que el núcleo de este pozo a nivel de “B-6-X” no se encontró, a excepción de un pequeño nivel de 2 pies ubicado en la base de “B-5-X” (5259’-5261’), sin embargo, para completar la falta de núcleo se utilizaron ripios del pozo para cubrir el resto del intervalo en estudio (desde 4590’ hasta 7670’).

❖ Descripción de los ripios del pozo CC-2A

El estudio de los ripios en el pozo consistió básicamente en separar macroscópicamente los diferentes litotipos correspondientes a las areniscas presentes en cada muestra, para luego realizar un análisis microscópico detallado mediante secciones finas.

En rasgos generales el estudio macroscópico de las muestras arrojó un dominio de lutitas sobre areniscas (figura 3.2). En el anexo 3 se puede observar la descripción detallada de cada uno de los litotipos definidos con las siguientes características: litología, porcentaje, color, grado de compactación, textura (tamaño de grano, escogimiento y redondez) y contenido de carbonato de calcio.

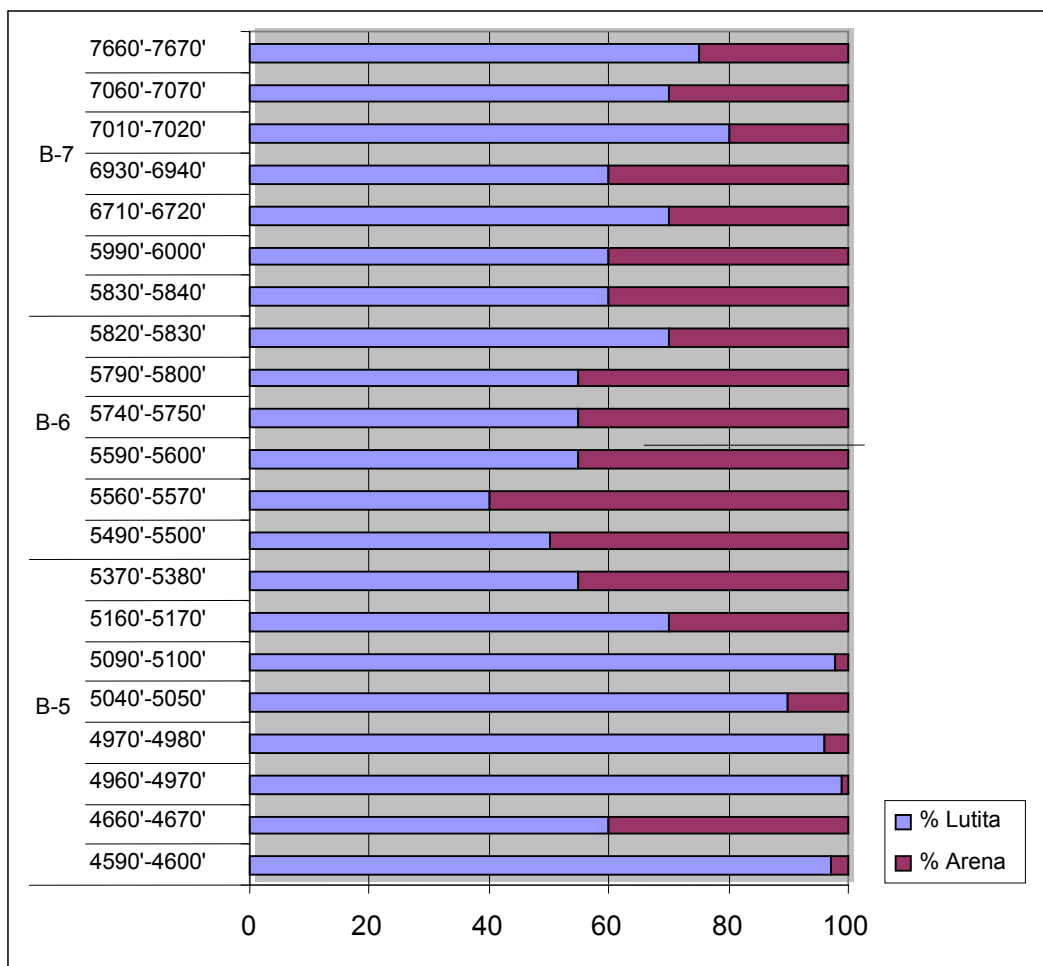


Figura 3.2. Proporción de areniscas/lutitas en los ripios del pozo CC-2A.

❖ Descripción del núcleo del pozo CC-2A

Debido a lo discontinuo del núcleo, no se pudo realizar una descripción en base a facies sedimentarias, sin embargo, se realizó una descripción convencional en base a color, escogimiento, estructuras sedimentarias, etc, del núcleo encontrado en B-5 (5259'-5261'), encontrándose 70% de areniscas y 30% de lutitas.

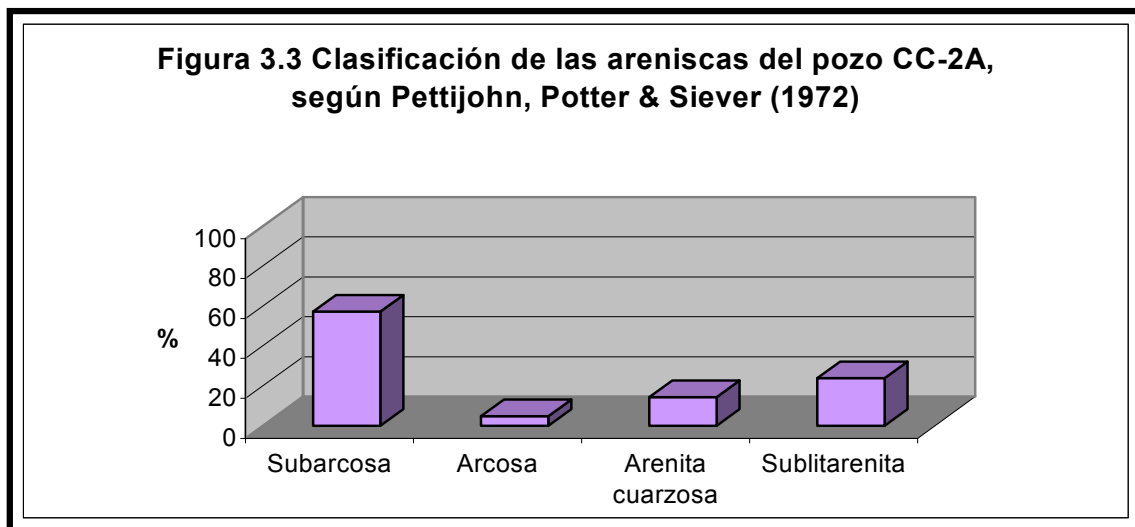
Las areniscas son de grano fino, masivas, de color gris a gris claro, están muy consolidadas y la porosidad visual es muy baja. Presentan estratificación gradada invertida (grano fino en la base y grano grueso en el

tope), estratificación cruzada y escasos lentes de arcillas, además las areniscas se encontraron altamente bioturbadas.

Estas areniscas están intercaladas con limolitas de color gris oscuro relativamente consolidadas y arcilitas de color gris oscuro a negro también moderadamente consolidadas.

Características petrográficas de las muestras del pozo CC-2A

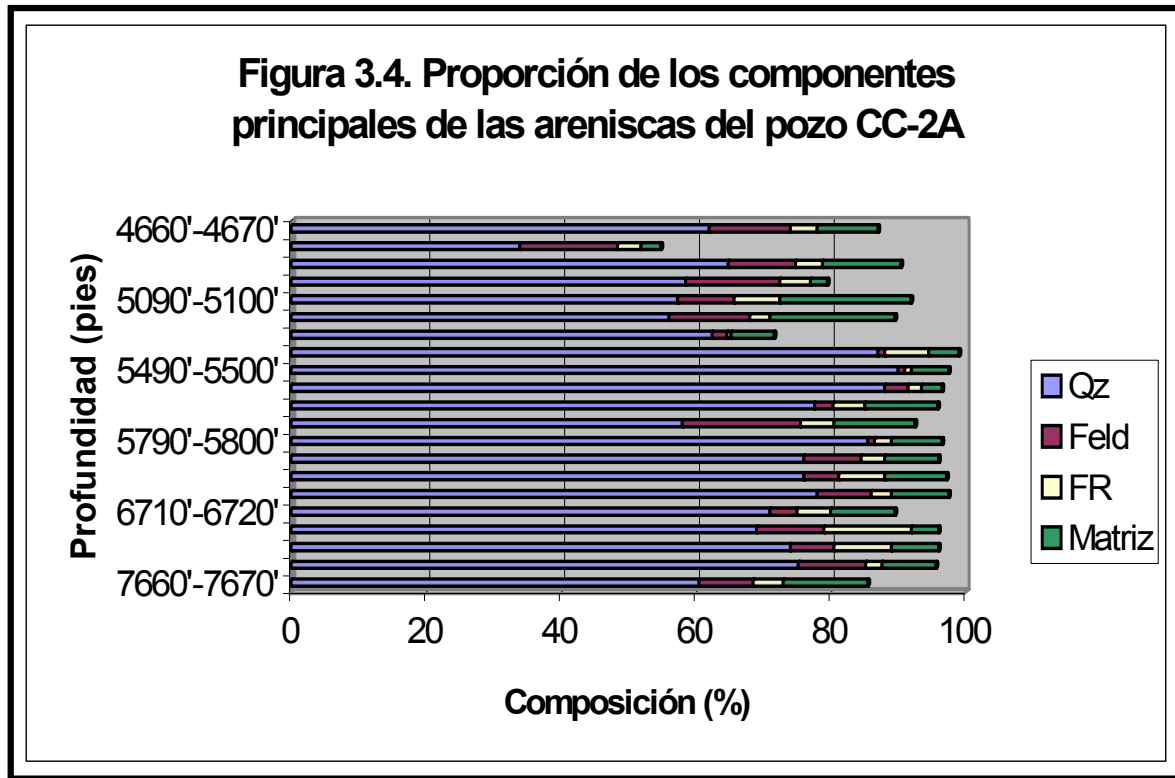
Según la clasificación de PETTIJOHN, POTTER Y SIEVER (1972) las muestras analizadas a través del microscopio de luz polarizada son cuarzo arenitas, subarcosas, arcosas y sublitarenitas, gráficamente se pueden observar en la figura 3.3. Generalmente son de grano medio, de moderada a mal escogidas y de muy baja porosidad (alrededor de 1%). El anexo 1 y 2 contienen los resultados petrográficos y diagenéticos obtenidos a partir de la petrografía y el anexo 4 contiene un resumen de los parámetros sedimentológicos estimados en el pozo CC-2A en el miembro informal B-6 de la Formación Misoa.



El constituyente principal de la roca es cuarzo, con un contenido bajo de matriz y está altamente cementada por sílice en continuidad óptica y por

calcita. Sin embargo, las muestras también contienen un bajo porcentaje de fragmentos líticos y feldespatos.

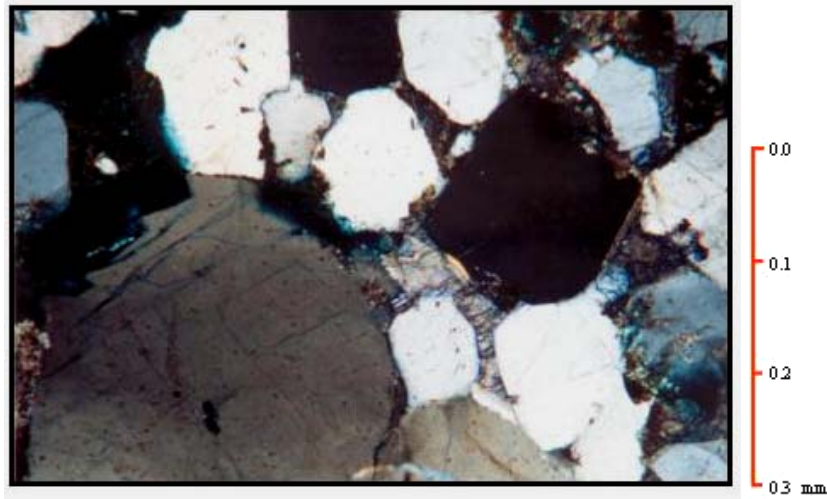
En la figura 3.4 se distingue el contenido de componentes principales en las muestras del pozo CC-2A, en el intervalo de 4660' a 7660', notándose un dominio de cuarzo sobre todos los demás componentes.



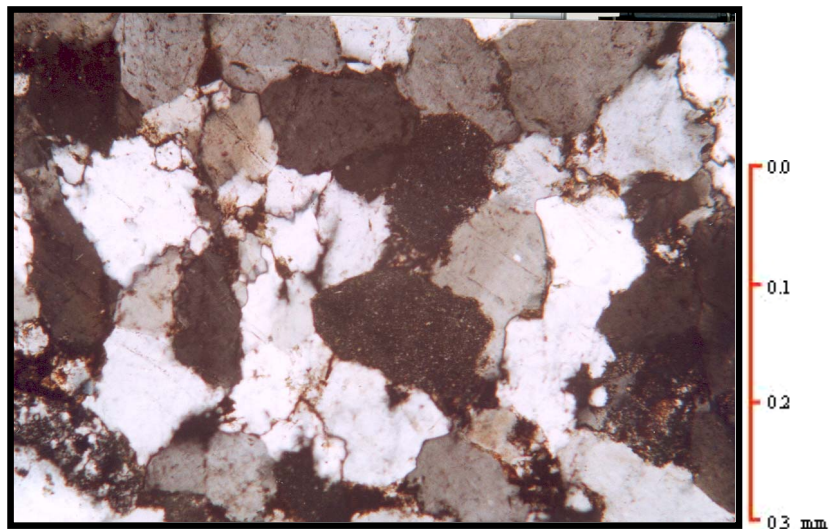
Cuarzo

Es el mineral más abundante (fotomicrografía 3.2), predominan los cuarzoes monocristalino ígneo plutónico sobre los demás (desde 58.5% hasta 26.6%), el cuarzo monocristalino metamórfico ocupa desde un 7.32% hasta valores menores a 1% del volumen total de la roca, y en menores cantidades están los cuarzoes policristalinos tanto metamórfico como ígneo plutónico. En este intervalo algunos granos de cuarzo están fracturados generando porosidad, en otras áreas se observa que están parcialmente reemplazados

por el cemento de calcita y también se observa que algunos granos de cuarzo poseen envoltorios de arcillas (fotomicrografía 3.1).



Fotomicrografía 3.1. Pozo CC-2A, prof. 5261'. Dominio de cuarzo monocristalino ígneo plutónico. Nícoles cruzados, objetivo 10X.

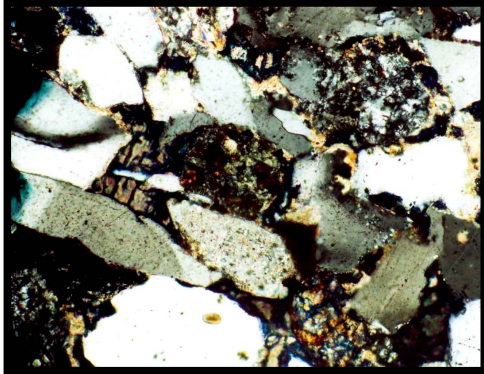


Fotomicrografía 3.2. Pozo CC-2A, prof. 5560'-5570'. Alto contenido de cuarzo, en su mayoría cuarzo monocristalino ígneo plutónico. Nícoles cruzados, objetivo 20X.

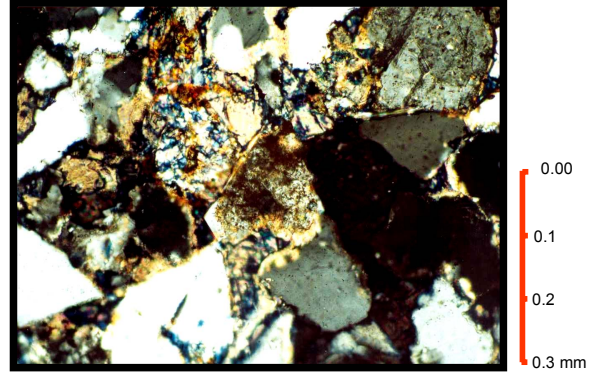
Feldespatos

Estos son constituyentes muy importantes de la roca y se encuentran en cantidades que varían entre 1 %-17.5%. Esencialmente se encontraron feldespatos potásicos (1%-16%) a excepción de la muestra 5790'-5800' que no

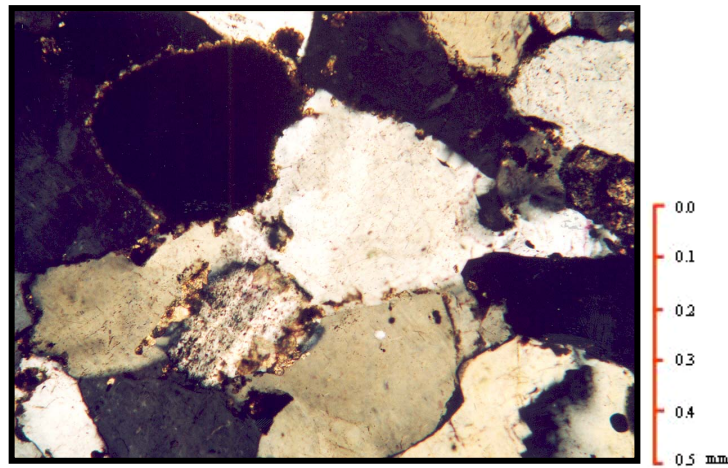
contiene, y plagioclasas (>1% cuando se encuentra). En general los feldespatos se encuentran muy alterados (fotomicrografías 3.3 y 3.5), aunque también sobre ellos está actuando un fuerte proceso de reemplazo por el cemento de calcita. También se encontró sobrecrecimiento de feldespatos (fotomicrografía 3.4).



Fotomicrografía 3.3. Pozo CC-2A, prof. 4740'. Feldespato potásico (ortosa) alterado. Nícoles cruzados, objetivo 20X.



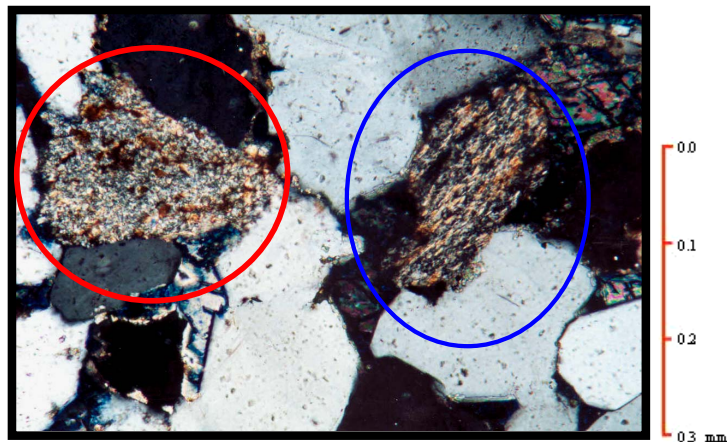
Fotomicrografía 3.4. Pozo CC-2A, prof. 4740'. Sobrecrecimiento de feldespato sobre un grano de feldespato potásico (ortosa). Nícoles cruzados, objetivo 20X.



Fotomicrografía 3.5. Pozo CC-2A, prof. 5790'-5800'. Feldespato alterado. Nícoles cruzados, objetivo 10X

Fragmentos de Roca

También son constituyentes importantes en estas rocas, y están en proporciones del orden (>1%-13%), son de origen ígneo, metamórfico y sedimentario (fotomicrografía 3.6).



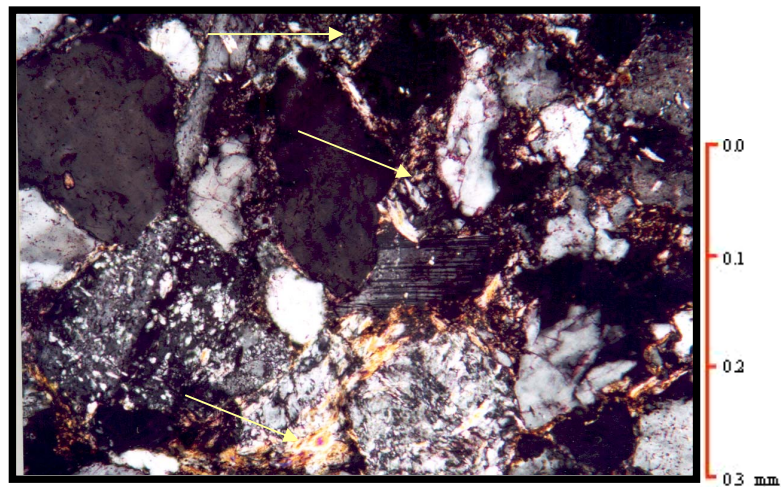
Fotomicrografía 3.6. Pozo CC-2A, prof. 5261'. Fragmentos de roca **sedimentarios** y **metamórficos** alterados. Nícoles cruzados, objetivo 20X.

Los fragmentos de roca ígneos son del tipo volcánico y muy escasos, ya que ellos son muy susceptibles a alterarse, son de naturaleza probablemente máfica, ya que, los productos de alteración son arcillas del tipo illita e illita/esmectita

Los fragmentos de roca metamórficos están representados básicamente por esquistos y filitas cuarzosas y en raras ocasiones micáceos.

Los fragmentos de roca sedimentarios son los más abundantes (0.31%-8%) y básicamente son areniscas de grano muy fino y limolitas de grano medio a grueso, también se encontraron esporádicamente cuarzos sedimentarios con sobrecrecimientos de sílice heredados. El chert se presenta principalmente cuarzoso a veces con cristales pirita o dolomita reemplazando.

En general, los fragmentos líticos en estas rocas se encontraron muy deformados. DICKINSON (1970) propone que debido al proceso de compactación, a medida que aumenta la presión y profundidad de soterramiento, tienden a deformarse los minerales y en este caso los fragmentos de roca, llegándose al fracturamiento y trituramiento de los mismos hasta llegar a formar pseudomatriz (fotomicrografía 3.7).



Fotomicrografía 3.7. Pozo CC-2A, prof. 5740'-5750'. Pseudomatriz formada por la deformación y alteración de fragmentos líticos. Nícoles cruzados, objetivo 20X

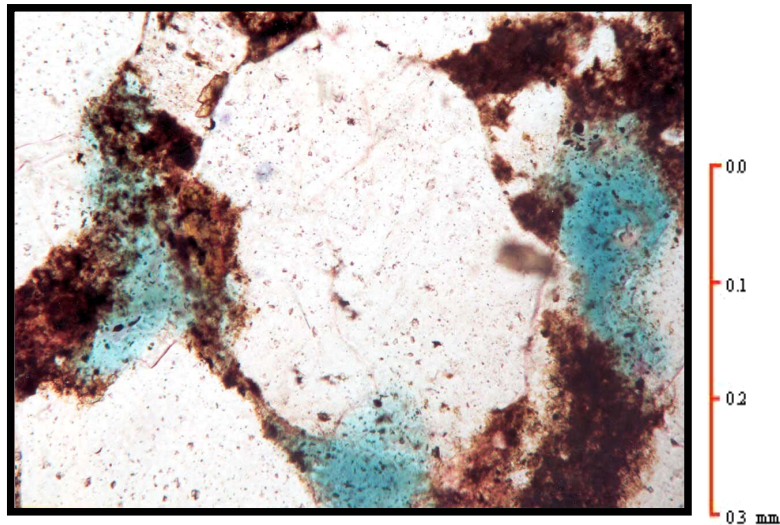
Minerales Accesorios

Los minerales accesorios en estas muestras se encuentran en muy poca proporción (desde 2.5% hasta cantidades menores a 1%, cuando se observaron) y están constituidos por micas (muscovitas y biotitas) deformadas y alteradas, le siguen en importancia pirita, limonita, circón, turmalina y leucoxeno.

Matriz

La matriz presente en estas muestras está representada por valores que van desde 19.4% hasta 2.5%, está compuesta principalmente por minerales de

arcilla y en menor proporción óxido de hierro, como se muestra en la fotomicrografía 3.8. Las muestras con porcentajes elevados de matriz es producto de la actividad de organismos, los cuales a medida que van horadando van incluyendo arcillas dentro del sistema y esta alta actividad orgánica fue detectada en el núcleo específicamente a 5261'.

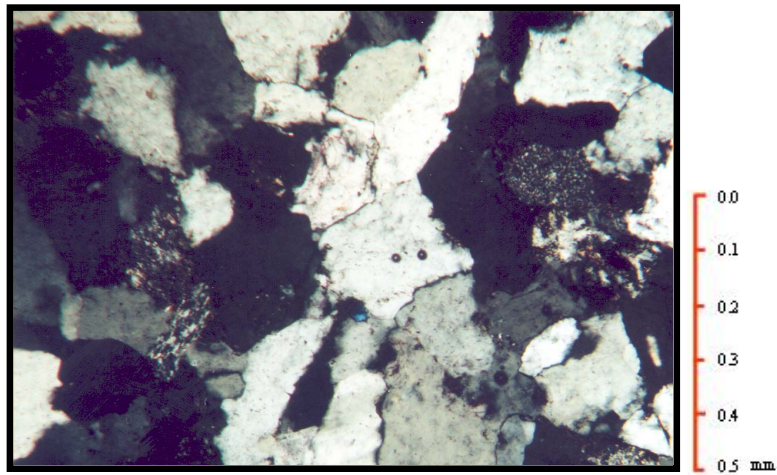


Fotomicrografía 3.8. Pozo CC-2A, prof. 5261'.
Matriz arcillosa. Nícoles paralelos, objetivo 20X

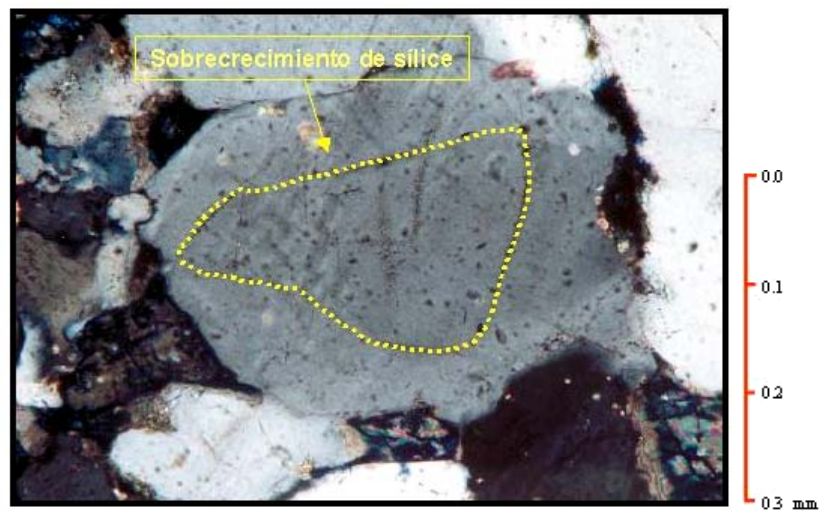
Cemento

El cemento en estas rocas está en proporciones que van del 41.9% al 5.6% y dominan los del tipo silíceo y carbonático.

El cemento de sílice en continuidad óptica es el más común, generando contactos longitudinales en su mayoría (fotomicrografías 3.9 y 3.10).

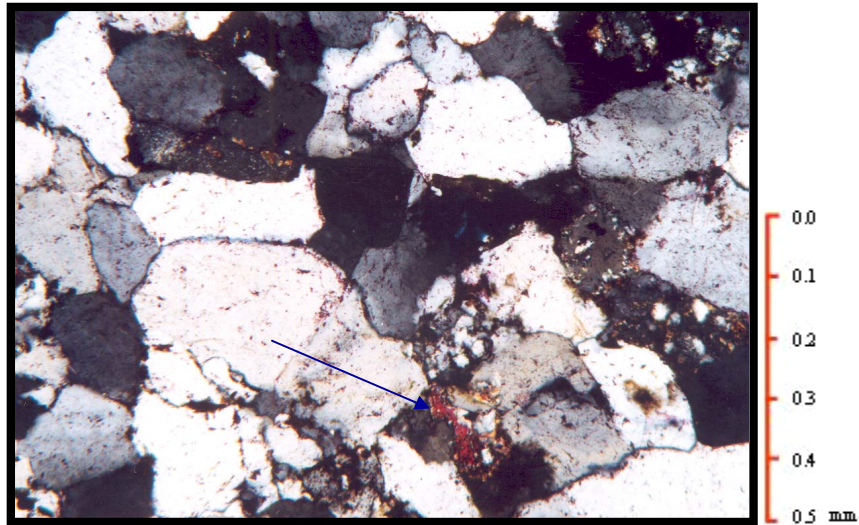


Fotomicrografía 3.9. Pozo CC-2A, prof. 5490'-5500'. Cemento de sílice en continuidad óptica. Contactos longitudinales. Nícoles cruzados, objetivo 10X.

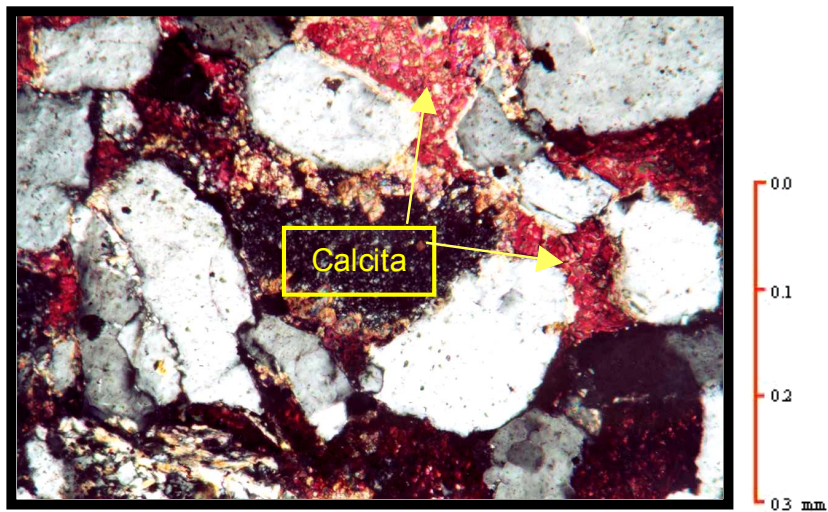


Fotomicrografía 3.10. Pozo CC-2A, prof. 5261'. Sobrecrecimiento de sílice en continuidad óptica sobre un grano detrítico de cuarzo. Nícoles cruzados, objetivo 20X.

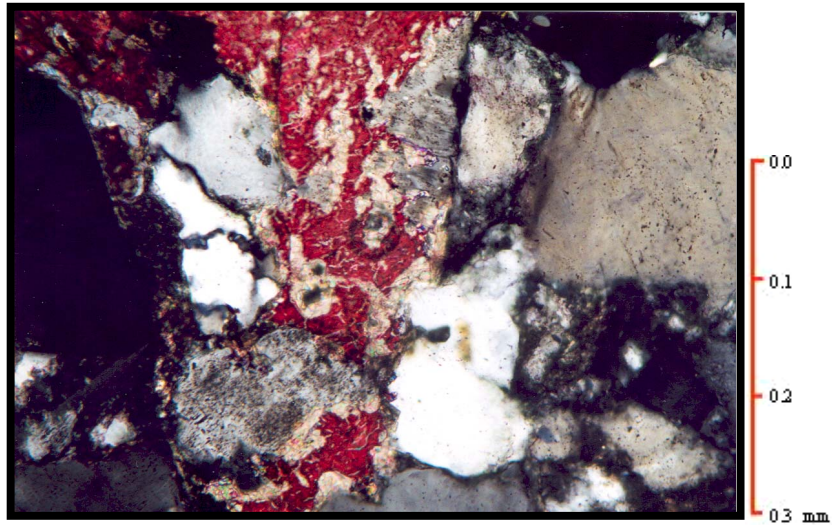
El cemento de calcita no es muy abundante en las muestras de B-6 (fotomicrografía 3.11) pero, sin embargo, se pudo observar comúnmente en B-5 (fotomicrografía 3.12). Se presenta rellenando poros y reemplazando parcialmente feldespatos potásicos y los granos de cuarzo (fotomicrografía 3.13).



Fotomicrografía 3.11. Pozo CC-2A, prof. 5590'-5600'. Cemento de calcita rellenando poros (B-6). Nícoles cruzados objetivo 10X

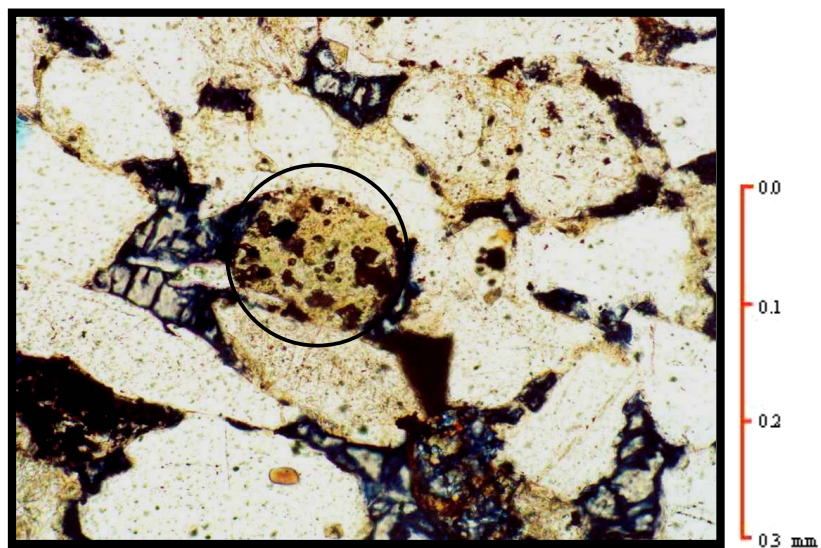


Fotomicrografía 3.12. Pozo CC-2A, prof. 4740'. Cemento de calcita rellenando poros (B-5). Nícoles cruzados, objetivo 20X.



Fotomicrografía 3.13. Pozo CC-2A, prof. 4970'-4980'. Reemplazo de calcita sobre un feldespato potásico. Nícoles cruzados, objetivo 20X.

Mediante la petrografía convencional se pudo determinar que la calcita se encuentra en proporciones que van desde 36.97% hasta 0.5%, de igual manera también se observaron muestras sin ningún contenido de calcita (con valores menores a 1% en B-6) y en proporciones menores al 1% se encontró dolomita (fotomicrografía 3.14) y siderita.

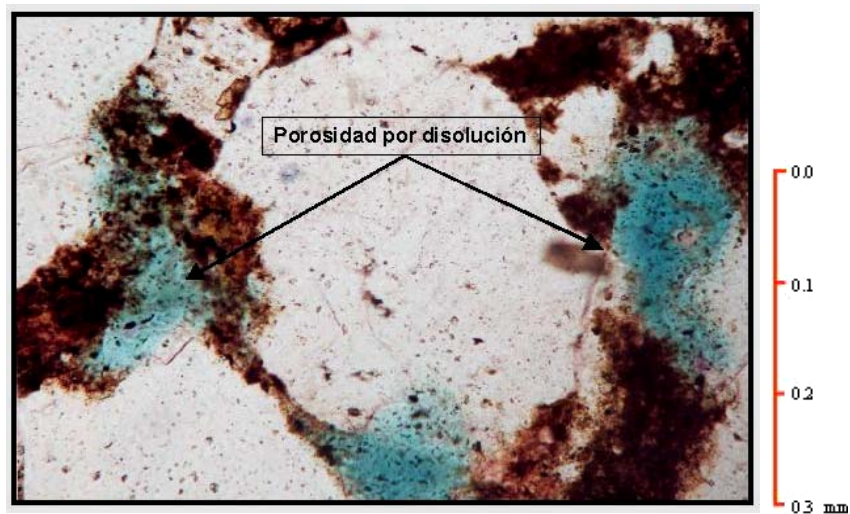


Fotomicrografía 3.14. Pozo CC-2A, prof. 4740'. Dolomita sobre un fragmento de roca alterado. Nícoles cruzados, objetivo 20X.

Porosidad

Las porosidades en estas muestras se encuentran en cantidades que no sobrepasan el 1.4 %, no observándose en muchas muestras, y son básicamente de origen secundario según SCHMIDT Y MC DONALD (1979), producto de procesos de disolución y en algunas ocasiones fracturas.

Las porosidades secundarias producto de procesos de disolución se generaron a partir de la disolución de la matriz (en el caso de B-5), feldespatos y fragmentos de roca, debido a que estos últimos son los más solubles o inestables (fotomicrografía 3.15).



Fotomicrografía 3.15. Pozo CC-2A, prof. 5261'. Porosidad por disolución de la matriz. Nícoles paralelos, objetivo 20X.

En el caso de la microporosidad estos autores la diferencian de la macroporosidad por ser poros cuyo radio es menor a 0.5 micras, en este caso las muestras analizadas presentan un pequeño contenido de microporosidad producto de la disolución de fragmentos de roca y de la matriz.

3.2.- Campo Punta Benitez

POZO PB-694

En el siguiente estudio se analizaron 259' continuos de núcleo, el cual comprende los yacimientos B-5-X.67 y B-6-X.29 pertenecientes a la Formación Misoa.

La información obtenida de los núcleos ha sido catalogada dentro de dos litofacies definidas a partir de litologías similares. Una secuencia de arcilitas, limolitas y areniscas que pueden agruparse dentro de un facies heterolítica, la cual consta de dos subfacies, y otra de arcilitas con materia orgánica que corresponde a la facies dos, como se indica en la tabla 3.1.

FACIES	NOMBRE DE LAS FACIES
Facies 1	Heterolítica
Subfacies 1a	Arcilitas con estratificación lenticular y areniscas con estratificación flaser
Subfacies 1b	Areniscas con estratificación flaser y cruzada
Facies 2	Arcilitas con materia orgánica

Tabla 3.1. Tabla de litofacies del pozo PB-694, en el intervalo 5909'-6159'.

❖ Descripción del núcleo del pozo PB-694

Facies 1. Heterolítica

Subfacies 1a: Arcilitas con estratificación lenticular y areniscas con estratificación flaser 5900'-5935'.

Esta subfacies está compuesta por arcilitas, areniscas y limolitas en poca proporción. Las areniscas presentan un color que va de gris a marrón, con tamaño de grano fino a muy fino, bien consolidadas con delgadas interlaminaciones de limolitas. Las arcilitas varían de gris a gris muy oscuro y las limolitas son grises, ambas se presentan bien consolidadas. Se observó que existe un dominio de lutitas hacia el tope de la unidad con estratificación lenticular y ondulada (foto 3.16 y 3.19) y hacia la base dominan las areniscas con estratificación flaser (foto 3.17).



Foto 3.16. Núcleo del pozo PB-694, profundidad 5900' Estratificación ondulada.



Foto 3.17. Núcleo del pozo PB-694, profundidad 5903', Aumento en el contenido de arenas hacia la base de la subfacies 1a.

Localmente se observaron algunas bioturbaciones muy pronunciadas (foto 3.18), de igual manera se pudo distinguir los icnogéneros *Skolithos*, *Ophiomorpha* y *Planolites*. La porosidad visual es muy baja, debido a que no se puede apreciar. En las zonas más arenosas de la unidad se observaron clastos de arcilla embebidos.



Foto 3.18. Núcleo del pozo PB-694, profundidad 5925', Alto grado de bioturbación de la subfacies 1a.



Foto 3.19. Núcleo del pozo PB-694, profundidad 5911', Delgadas intercalaciones y lentes de areniscas produciendo la estratificación lenticular.

Subfacies 1b: Areniscas con estratificación flaser y cruzada 5935'-6145'.

Areniscas de color gris a marrón, de grano fino a medio, moderadamente consolidadas y bien escogidas, en algunas zonas es micácea y se pueden observar delgados niveles de materia orgánica. La estratificación dominante es de tipo flaser (foto 3.20 A y B) y también estratificación cruzada. Se observaron clastos de arcilla embebidos en una matriz arenosa, dispuestos de manera aleatoria.

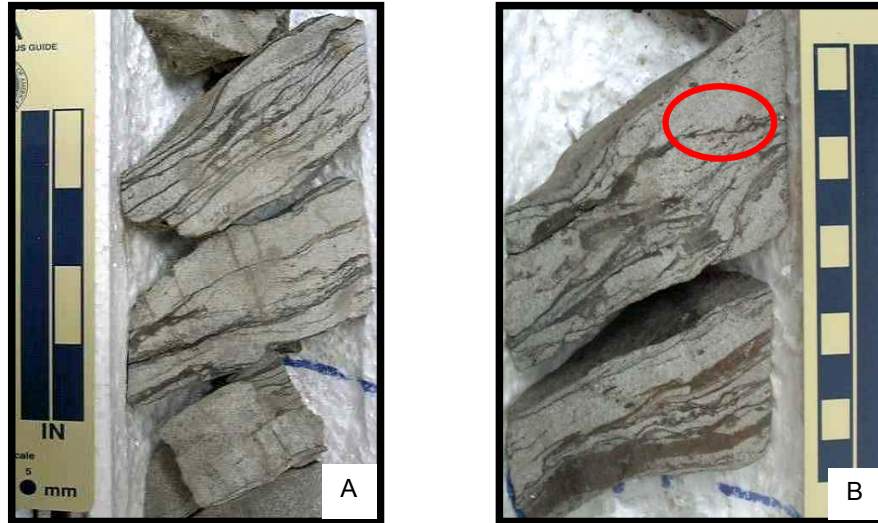


Foto 3.20 A y B. Núcleo PB-694, profundidad de la foto 6046', Estratificación flaser en A y B.
En B **clástos de arcilla**.

La porosidad visual es muy baja, y se observan esporádicas impregnaciones de petróleo.

En la foto 3.21 se observa que el contenido de areniscas aumenta con respecto a las lutitas, lo que quiere decir en que la facies 1 dominan las areniscas en la base y las lutitas en el tope.



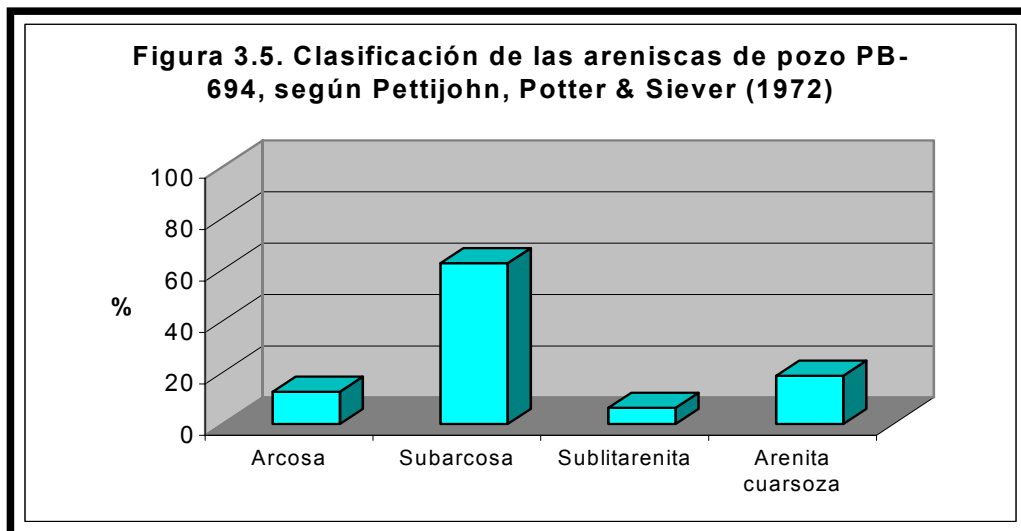
Foto 3.21. Núcleo PB-694, profundidad 6116'.
Areniscas de color marrón claro a gris con laminaciones de lutitas.

Facies 2: Arcilitas ricas en materia orgánica 6145'-6159'.

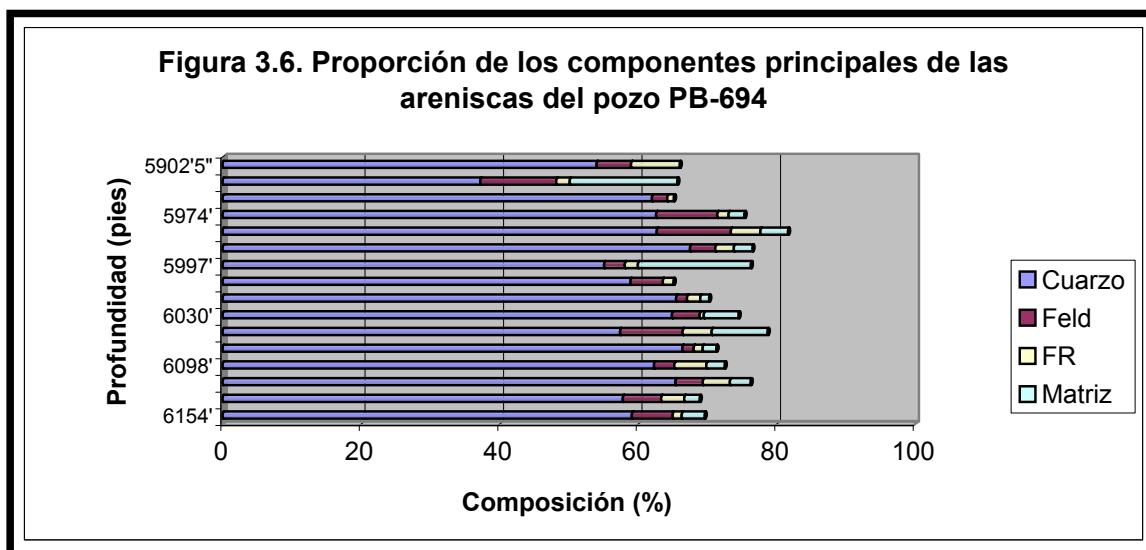
Esta facies está compuesta principalmente por arcilitas de color gris oscuro a negro, ricas en materia orgánica, se observan leves variaciones en el tamaño de grano hacia el tope de la facies pasando de limolitas muy finas a areniscas de grano muy fino con delgados niveles de materia orgánica interestratificados, ocasionalmente se observa estratificación lenticular. Se observan huellas de carga y estratificación cruzada.

❖ **Descripción Petrográfica del pozo PB-694**

Según la clasificación de PETTIJOHN, POTTER Y SIEVER (1972), las muestras analizadas del pozo PB-694 a través del microscopio polarizante corresponden a un 6.25% sublitarenitas, 62.5% subarcosas, 12.5% arcosas y 18.75% cuarzo arenitas (figura 3.5). El anexo 1 y 2 contienen los resultados petrográficos y diagenéticos obtenidos a partir de la petrografía y el anexo 5 contiene las características sedimentológicas más resaltantes para B-6 en el pozo PB-694.



El constituyente principal de la roca es cuarzo, pero también posee un alto contenido de feldespatos potásicos, presentando un contenido moderado a bajo de matriz (figura 3.6), además de estar altamente cementadas por sílice en continuidad óptica y calcita.



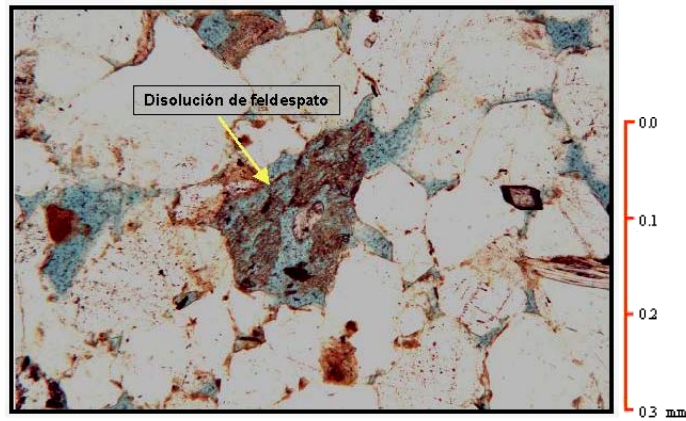
Cuarzo

El cuarzo en estas muestras es el componente dominante. Los más abundantes son los cuarzoes monocristalinos ígneo plutónico con valores que van desde 65.9% hasta 29%, el cuarzo monocristalino metamórfico con valores desde 2.3% hasta 20%, y en menores cantidades se encuentran los granos de cuarzo policristalinos tanto ígneo plutónico como metamórficos en proporciones muy bajas.

Feldespatos

Los feldespatos son constituyentes muy importantes de estas rocas y se encuentran en cantidades que varían desde 1.59% - 10.97%. Los feldespatos potásicos fueron los más comunes encontrándose valores desde 10.65% hasta cantidades menores a 1%, mientras que las plagioclasas se encontraron desde 0.2% hasta 1%.

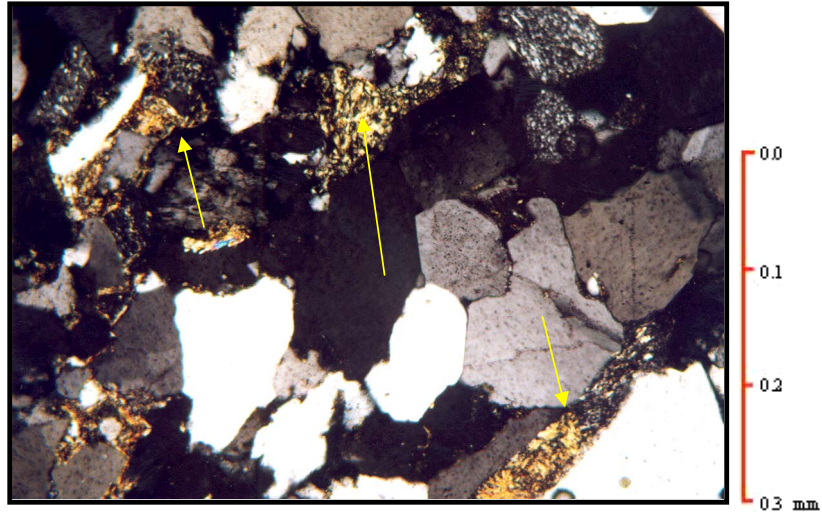
Estos feldespatos están siendo afectados por procesos diagenéticos de alteración, reemplazo y disolución (fotomicrografía 3.22). En particular la disolución es el fenómeno más marcado debido a la inestabilidad química de los feldespatos, lo cual influye directamente en la generación de porosidad secundaria. En algunas ocasiones se encontró sobrecrecimiento de feldespatos en continuidad óptica con granos de feldespato potásico.



Fotomicrografía 3.22. Pozo PB-694, prof. 5974'. Disolución de feldespatos generando porosidad. Nícoles paralelos, objetivo 10X

Fragmentos de Rocas

Los fragmentos de roca también son constituyentes en menor proporción de la roca y se encuentran en el orden de 0.6 - 7.58%, son de origen ígneo, metamórfico y sedimentario. En rasgos generales los fragmentos líticos presentes en las muestras estudiadas están deformados y alterados, y en algunas ocasiones hasta llegan a formar pseudomatrix (fotomicrografía 3.23).



Fotomicrografía 3.23. PB-694, prof. 6123'. Alteración de fragmentos líticos. Nícoles cruzados, objetivo 20 X:

Los de origen ígneo son de tipo volcánico de grano fino a muy fino y probablemente de naturaleza félsica, debido a que los productos de alteración son minerales de arcilla del tipo illita/esmectita, se presentan de manera escasa, debido a que son muy susceptibles a alterarse y a ser deformados.

Los fragmentos de roca metamórficos constituyen desde el 0.3% hasta el 1.83% del volumen de la roca, son principalmente esquistos y filitas cuarzosas y en ocasiones micáceos.

Los fragmentos de roca sedimentarios son los más abundantes en cuanto a fragmentos líticos se refiere con valores desde cantidades menores a 1% hasta 4.58%, básicamente son areniscas cuarzosas de grano medio a fino y limolitas. El chert generalmente se presenta a veces con cristales de pirita reemplazando.

Minerales accesorios

Estos minerales representan <3% de la fracción detrítica de las areniscas y están constituidos principalmente por biotita, limonita y pirita en

proporciones mayores y leucoxeno, circón y turmalina en proporciones menores, las micas se encontraron parcialmente alteradas y deformadas.

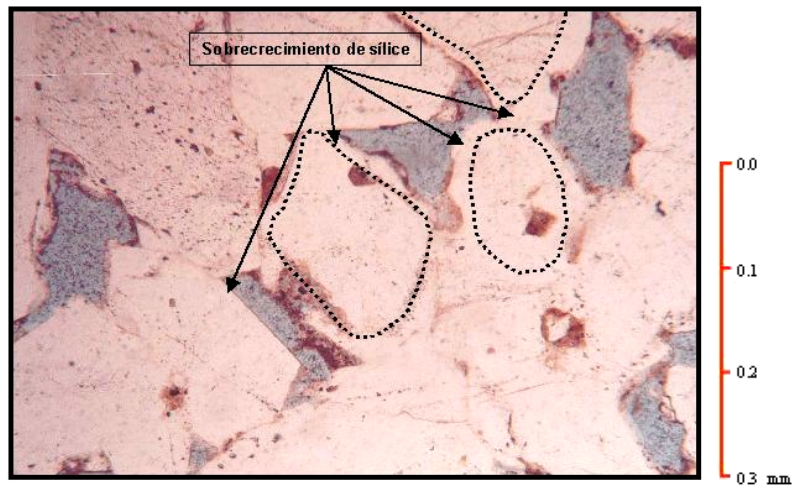
Matriz

La matriz está representada por valores que van desde 15.53% hasta 0.3%, está compuesta principalmente por minerales de arcilla y óxido de hierro.

En el caso de las muestras 5912' y 5997' que tienen un contenido de matriz total del 15.53% y 15.3% respectivamente, sin embargo, fueron clasificadas como arcosas según la clasificación de PETTIJOHN, POTTER Y SIEVER (1972), debido a que se tomó en cuenta la matriz original depositacional, no la matriz (arcillosa infiltrada) de origen biogénico, producto de la actividad de organismos, los cuales a medida que van horadando incluyen arcillas en el sistema. Esta actividad orgánica fue determinada a nivel de núcleo, y se puede observar en las fotos 3.17 y 3.18.

Cemento

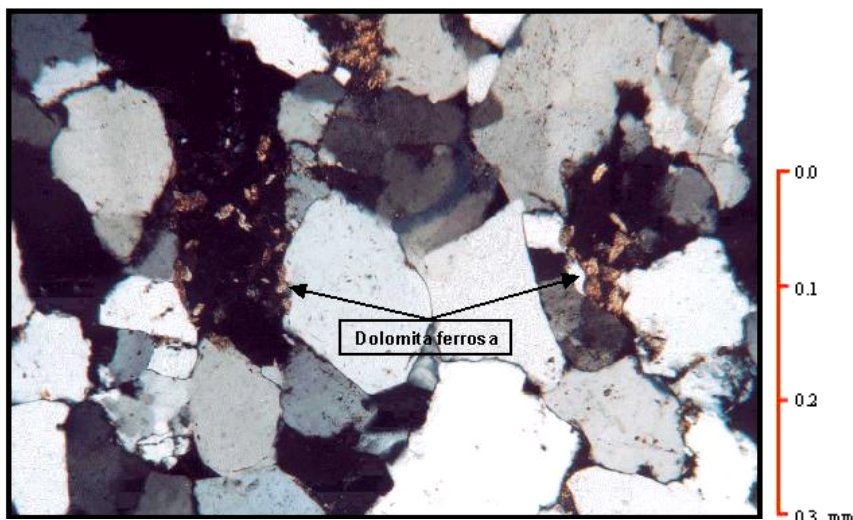
El cemento de silíceo es el más abundante y común, ya que llega a alcanzar valores de hasta de 25.23%, se presenta en forma de sobrecrecimiento en continuidad óptica sobre granos detríticos de cuarzos, este tipo de cementación es muy prominente, ya que crece hasta formar terminaciones euhedrales en los granos generando contactos longitudinales con los sobrecrecimientos adyacentes (fotomicrografía 3.24).



Fotomicrografía 3.24. Pozo PB-694, prof. 6030'. Sobrecrecimiento de sílice en continuidad óptica sobre granos detríticos de cuarzo. Nícoles paralelos, objetivo 10X.

La calcita se presenta en proporciones desde un 31.06% a 0.27% (a excepción de las muestras que no contienen calcita) rellenando poros y reemplazando parcialmente los granos detríticos de cuarzo y feldespato. Este cemento, se encuentra mayormente hacia el tope de la unidad en estudio, específicamente en las muestras 5902'5" y 5912'.

Otros cementos carbonáticos importantes presentes en las rocas aunque en muy poca proporción son la siderita y dolomita (fotomicrografía 3.25), estos se observan en algunas ocasiones de manera uniforme rellenando poros y en otras distribuidos como parches sobre los granos detríticos sobre todo fragmentos de roca tipo chert y en feldespatos alterados.



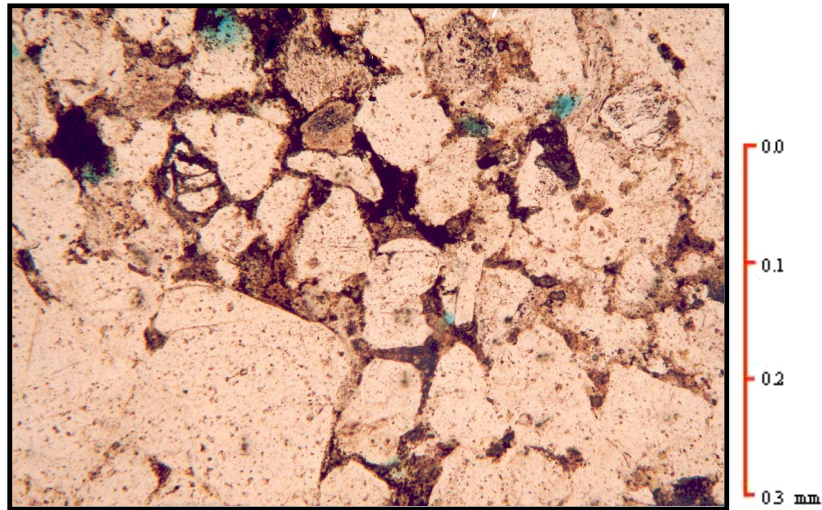
Fotomicrografía 3.25. Pozo PB-694, prof. 5974'. Dolomita ferrosa sobre granos de cuarzo detríticos. Nícoles cruzados, objetivo 10X

La caolinita presente en estas muestras se encuentra en valores que van desde 2.9% a 0.3% (de igual manera hay muestras que no contienen caolinita), y se manifiesta en forma de agregados microcristalinos bien desarrollados a manera de “libritos” relleno de poros.

El óxido de hierro y los minerales de arcilla de la matriz se presentan mezclados en muchas ocasiones en forma de envoltorios o forros de granos detríticos de cuarzo, estos minerales se encuentran en cantidades muy bajas.

Porosidad

Las porosidades en estas muestras son muy variadas y van desde 13.09% hasta porcentajes menores que uno, y son básicamente de origen secundario aunque también prevalecen las de origen primario (fotomicrografía 3.26).



Fotomicrografía 3.26. Pozo PB-694, prof. 5902'. Porosidad por disolución. Nícoles cruzados, objetivo 20X

Las porosidades primarias son en su mayoría interpartícula, las cuales forman parte del arreglo original de la roca, este tipo de porosidad se vio afectada parcialmente por el sobrecrecimiento de sílice en continuidad óptica sobre granos detríticos de cuarzo, ya que la forma de los poros en estas muestras está determinada por las terminaciones euhedrales de los sobrecrecimientos, por la precipitación de calcita y la compactación.

Las porosidades secundarias son producto de posteriores procesos de disolución de la matriz. Por último, la microporosidad presente en estas rocas es producto de la disolución de caolinita y fragmentos líticos, tomando en cuenta que la microporosidad se define por aquellos poros cuyo radio es menor a 0.5 micras, según SCHMIDT Y MC DONALD (1979).

POZO PB-689

En el siguiente estudio se analizó el intervalo de núcleo continuo comprendido entre 5600'-6245' de la Formación Misoa, conformado por una secuencia de arcilitas, areniscas y limolitas en menor proporción que pueden agruparse en dos litofacies, como se muestra en la tabla 3.2.

FACIES	NOMBRE DE LAS FACIES
Facies 1	Heterolítica
Subfacies 1a	Arcilitas con estratificación lenticular
Subfacies 1b	Areniscas con estratificación flaser y cruzada
Facies 2	Arcilitas ricas en materia orgánica

Tabla 3.2. Tabla de litofacies del pozo PB-689, en el intervalo 5600'-6245'

❖ Descripción del núcleo del pozo PB-689

Facies 1. Heterolítica

Subfacies 1a: Arcilitas con estratificación lenticular 5600'-5750'.

Arcilitas de color gris oscuro a negro, moderadamente dura con algunas intercalaciones de limolitas de color gris, pobremente escogidas y con escasos horizontes de areniscas de grano fino a muy fino, ocasionalmente micáceas (foto 3.27). Se observa estratificación lenticular, estructuras de carga y localmente se aprecia bioturbación lo cual genera icnofacies de *Planolites* (foto 3.28), *Skolithos* y *Ophiomorpha*. No se aprecia porosidad visual.

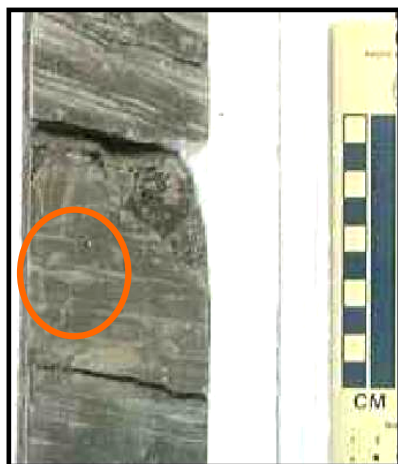


Foto 3.27. Pozo PB-689, prof. 5680'5". Estratificación lenticular dentro de la subfacies 1a. **Lentes de areniscas**



Foto 3.28. Pozo PB-689, Prof. 5684'. Lutitas con algunas intercalaciones de limolitas y areniscas de grano fino. **Planolites**

Subfacies 1b: Areniscas con estratificación flaser y cruzada 5750'-6130'

Areniscas de color gris o marrón raramente blanca, de grano fino y ocasionalmente medio, bien consolidada y bien escogida; en parte micácea y con laminaciones muy finas de carbón. La estratificación dominante es flaser y cruzada de bajo ángulo (foto 3.29) y laminaciones paralelas (foto 3.30). También se encuentran efectos de bioturbación. La porosidad visual es baja, aunque ocasionalmente se observa impregnación de hidrocarburo.

En esta subfacies se observaron algunas lutitas intercaladas de color marrón oscuro a negro, lo que indica que la subfacies 1 es más arenosa hacia la base y lutítica hacia el tope.



Foto 3.29. Pozo PB-689, prof. 5901'5. Carácter arenoso de la subfacies 1b, estratificación flaser.



Foto 3.30. Pozo PB-689, prof. 6975'. Areniscas masivas de color marrón oscuro, levemente impregnada de petróleo

Facies 2: Arcilitas ricas en materia orgánica (6130'-6245').

Arcilitas de color gris oscuro a negro, ocasionalmente con estratificación lenticular en delgados lentes de areniscas de grano fino y limolitas. En esta facies hay un intervalo que esta muy fracturado, probablemente producto de algún fallamiento cercano (foto 3.31), se observa un alto contenido de materia orgánica, así como estructuras de flujo.

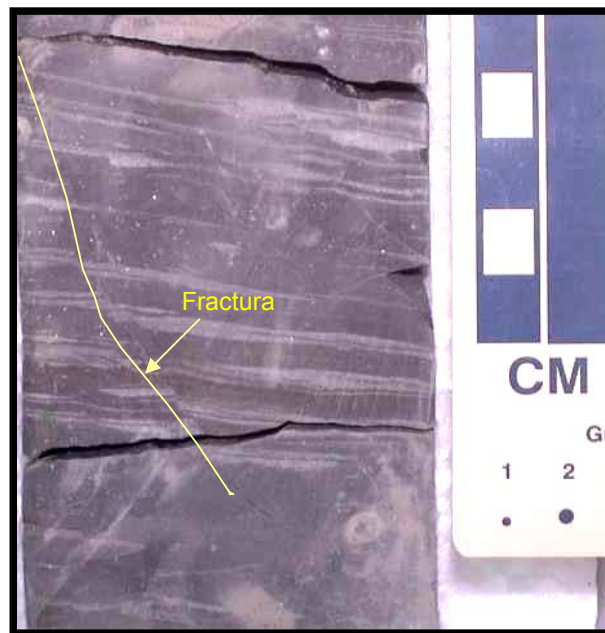
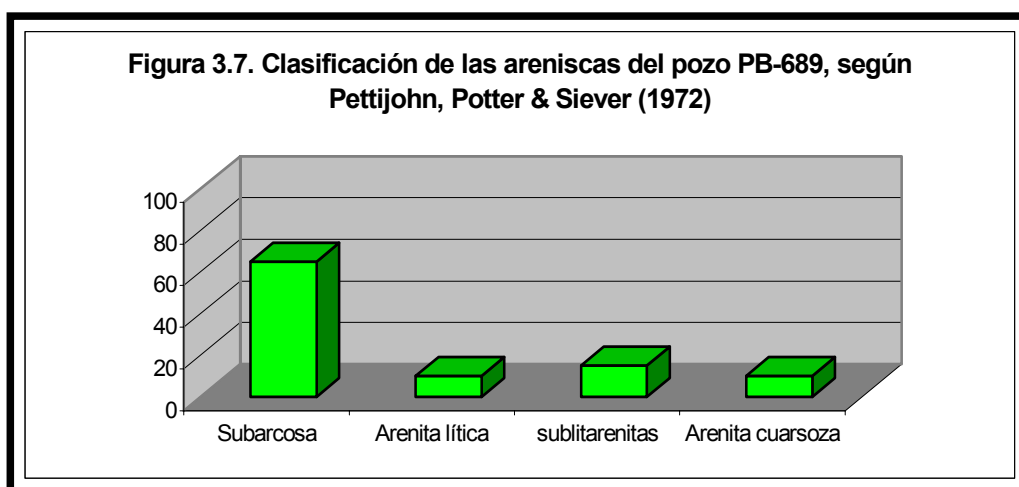


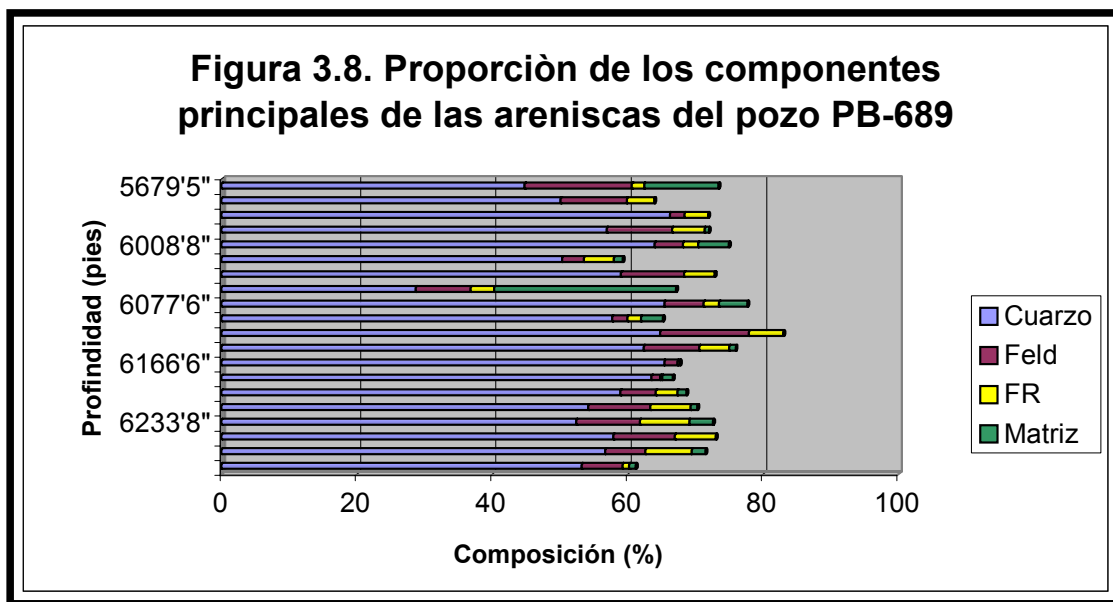
Foto 3.31. Núcleo PB-689, profundidad 6139'6". Lutitas de colores gris oscuro a negra con algunos lentes de areniscas de grano muy fino, se observa claramente una fractura que atraviesa el núcleo con 2mm de desplazamiento.

❖ Descripción Petrográfica del pozo PB-689

Según la clasificación de PETTIJOHN, POTTER & SIEVER (1972), las muestras analizadas del pozo PB-689 a través del microscopio polarizante corresponden a un 15% sublitarenitas, 65% subarcosas, 10% arenita lítica, 10% arenitas cuarzosas (figura 3.7). El anexo 1 y 2 contienen los resultados petrográficos y diagenéticos obtenidos a partir de la petrografía, y en el anexo 6 se encuentran las principales características sedimentológicas del B-6 en el pozo PB-689.



El constituyente principal de la roca es cuarzo pero también posee un alto contenido de feldespatos potásicos, las muestras analizadas presentaron un contenido moderado de matriz (figura 3.8), además de estar altamente cementadas por sílice en continuidad óptica, dolomita ferrosa y siderita en menor proporción.



Cuarzo

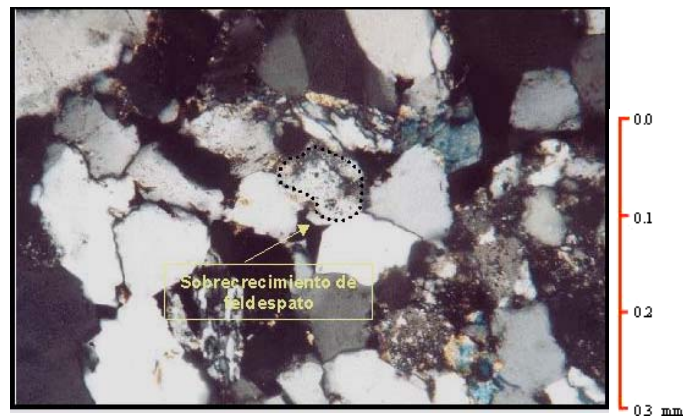
El cuarzo en estas muestras es el componente dominante. Los granos de cuarzo monocristalino ígneo plutónico son los más abundantes y se encuentran en proporciones que varían entre 61.97% y 24.06%, el cuarzo monocristalino metamórfico con cantidades de 13.11% y 0.97%, y en menores cantidades se encuentran los granos de cuarzo policristalinos tanto ígneo plutónico como metamórficos (con porcentajes menores al 2%).

Feldespatos

Los feldespatos son constituyentes muy importantes de estas rocas y se encuentran en cantidades que varían desde 2.4% - 15.84%. Los feldespatos potásicos fueron los más comunes (1.26%-15.54%), mientras que las plagioclasas se encontraron en valores no mayores a 1.08%.

Estos feldespatos están siendo afectados por procesos diagenéticos de alteración y disolución. En particular la disolución es el proceso mas marcado

debido a la inestabilidad química de los feldespatos, lo cual influye directamente en la generación de porosidad secundaria. El sobrecrecimiento de feldespatos en continuidad óptica sobre feldespatos potásicos fue un proceso muy común encontrado en estas muestras, como se observa en la fotomicrografía 3.32.



Fotomicrografía 3.32. Pozo PB-689, prof. 5716'. Sobrecrecimiento de feldespato y feldespatos alterados. Nícoles cruzados, objetivo 20X.

Fragmentos de Rocas

Los fragmentos de roca también son constituyentes en menor proporción de la roca y se encuentran en el orden de 0.33 – 7.27%, son de origen ígneo, metamórfico y sedimentario. Los fragmentos líticos presentes en las muestras estudiadas están deformados y alterados.

Los de origen ígneo son de tipo volcánico de grano fino a muy fino y probablemente de naturaleza máfica, debido a que los productos de alteración son minerales de arcilla del tipo illita/esmectita, se presentan de manera escasa (valores menores a 1.26%), debido a que son muy susceptibles a alterarse y a ser deformados.

Los fragmentos de roca metamórficos están representados por valores entre 1.57% y cantidades trazas, son principalmente esquistos y filitas cuarzosas y en ocasiones micáceos.

Los fragmentos de roca sedimentarios son los más abundantes en cuanto a fragmentos líticos (0.33% y 4.71%), básicamente son areniscas cuarzosas de grano medio a fino y limolitas. El chert se presenta en proporciones que varían entre 0.2% y 2.87%, generalmente es de grano muy fino.

Minerales accesorios

Estos minerales representan cantidades trazas de la fracción detrítica de las areniscas y están constituidos principalmente por biotita, limonita y pirita en proporciones mayores y leucoxeno, circón y turmalina en proporciones menores, las micas se encontraron parcialmente alteradas y deformadas.

Matriz

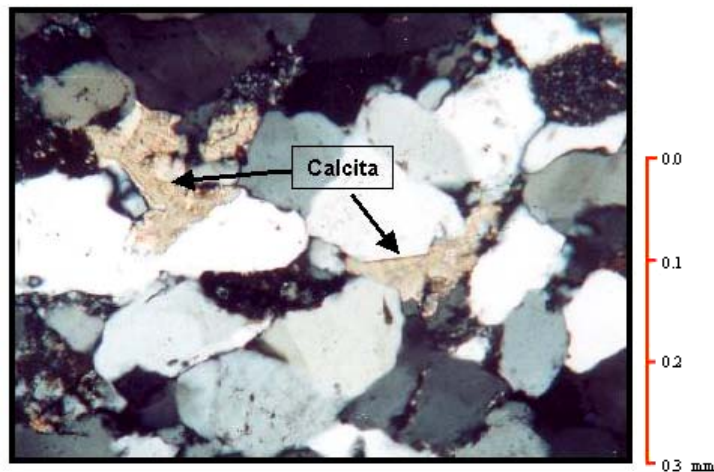
La matriz detrítica está representada por valores desde 10.97% y 0.64%, está compuesta principalmente por minerales de arcilla y óxido de hierro.

En el caso de la muestra 6073'5" que tienen un contenido de matriz de 26.87%, fue clasificada como arcosa según la clasificación de PETTIJOHN, POTTER & SIEVER (1972), debido a que se tomó en cuenta la matriz original depositacional de la roca, no la matriz (arcillosa) de origen biogénico, producto de la actividad de organismos, los cuales a medida que van horadando incluyen arcillas en el sistema. Esta actividad orgánica fue determinada a nivel de núcleo, el cual se puede observar en las fotos 3.27 y 3.28.

Cemento

El cemento de sílice es el más común presente en las muestras, y llega a alcanzar valores de hasta un 33.08%, se presenta en forma de sobrecrecimiento en continuidad óptica sobre granos detríticos de cuarzos, este tipo de cementación es la más importante en las muestras estudiadas, ya que crece hasta formar terminaciones euhedrales en los granos generando contactos longitudinales y hasta suturados con los sobrecrecimientos adyacentes posteriores procesos de presión solución.

El cemento de calcita se presenta en proporciones altas de hasta un 27.2%, pero no es constante en toda la secuencia, las muestras con mayor cantidad de calcita son 5716'1" (11.9%) y 6073'5" (27.2%). La ocurrencia de este cemento se presentó rellenando poros y reemplazando parcialmente los granos detríticos de cuarzo (fotomicrografía 3.33).



Fotomicrografía 3.33 PB-689, prof. 6259'2". Cemento de calcita rellenando poros y reemplazando parcialmente. Nícoles cruzados, objetivo 10X

Otros cementos carbonáticos importantes presentes en las rocas aunque en muy poca proporción son la siderita (fotomicrografía 3.35), dolomita (fotomicrografía 3.34) y dolomita ferrosa, estos se observan en algunas

ocasiones de manera uniforme rellenando poros y en otras distribuidos como parches sobre los granos detríticos sobre todo de chert, fragmentos de roca y en feldespatos alterados.

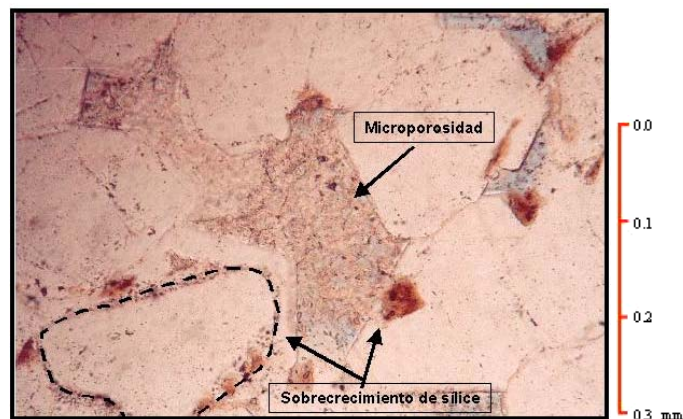


Fotomicrografía 3.34. Pozo PB-689, prof. 6118'6". Cristales de dolomita sobre un grano de chert. Nícoles cruzados, objetivo 20X.



Fotomicrografía 3.35. Pozo PB-689, prof. 5961'8". Pequeños cristales de siderita sobre granos de cuarzo y rellenando poros. Nícoles cruzados,

La caolinita presente en estas muestras es muy importante, ya que se encuentra en valores que van desde 0.3% a 6.52 % (hay muestras en las que no se reportó caolinita), y se manifiesta en forma de agregados microcristalinos bien desarrollados a manera de “libritos” rellenando poros y están siendo disueltos y generando microporosidad, como se observa en la fotomicrografía 3.36.



Fotomicrografía 3.36. Pozo PB-689, prof. 6167'5". Caolinita siendo disuelta y generando microporosidad, y la cantidad de sobrecrecimiento de sílice en las muestras. Nícoles paralelos, objetivo 20X.

El óxido de hierro es muy esporádico y cuando aparecen se presentan mezclado con la matriz arcillosa para formar envoltorios o forros de granos detríticos de cuarzo, este mineral se encuentran en cantidades muy bajas (<1%).

Porosidad

Las porosidades en estas muestras son relativamente bajas y van cantidades traza hasta 7.93%, y son básicamente de origen secundario, según SCHMIDT & MC DONALD (1979), producto de posteriores procesos de disolución y en algunas ocasiones se observaron porosidades por fractura.

Las porosidades primarias son en su mayoría interpartícula, las cuales forman parte del arreglo original de la roca, este tipo de porosidad se vio afectada por el sobrecrecimiento en continuidad óptica sobre granos detríticos de cuarzo, ya que la forma de los poros en estas muestras está determinada por las terminaciones euhedrales de los sobrecrecimientos y por el relleno de poro de calcita y/o colinita.

La microporosidad estos autores la diferencian de la macroporosidad por ser poros cuyo radio es menor a 0.5 micras, en este caso las muestras analizadas presentan un pequeño contenido de microporosidad producto de la disolución de caolinita, fragmentos líticos y de la matriz.

4.- Diagénesis

Generalidades

El presente capítulo resalta la importancia que tienen los procesos diagenéticos que actuaron en las rocas y que han alterado en diferentes formas su textura y composición original, ya que, estos factores están directamente relacionados con la calidad de estas para almacenar hidrocarburos. Los factores determinantes en la evolución diagenética de las rocas son (según SANDOVAL, 2000):

- ❖ Composición original de la roca: mineralogía, tipo de matriz y características texturales originales.
- ❖ Tiempo durante el cual estuvieron expuestas a diferentes condiciones de presión, temperatura y química del fluido de poro, el cual está ligado íntimamente con la historia de soterramiento que sufrieron dichas rocas.

De igual manera, el objetivo principal del mismo radica en establecer un modelo diagenético para la secuencia que corresponde al miembro informal “B-6-X” de la Formación Misoa en el área de Cabimas-Punta Benitez, de edad Eoceno Medio, para el cual se utilizó como referencia los trabajos realizados por SURDAM *et al* . (1989), DUNOYER DE SEGONZAC (1970), SANDOVAL (2000) Y HOFFMAN & HOWER (1979). Los autores mencionados anteriormente se fundamentan en un modelo predictivo de diagénesis para secuencias de areniscas sometidas a un soterramiento progresivo, tomando en cuenta la fabrica depositacional, los procesos mecánicos y las interacciones de componentes orgánicos e inorgánicos que son los que controlan las reacciones minerales durante la diagénesis. Estas interacciones incluyen una serie de procesos físicos y químicos que proporcionan una explicación de los mecanismos de las secuencias paragenéticas que serán mostradas a continuación y es tan común en areniscas que han sufrido progresivo y continuo soterramiento y diagénesis.

En base a los cambios mineralógicos y texturales establecidos de acuerdo a la bibliografía antes mencionada, las reacciones y procesos diagenéticos están divididos en 3 etapas: soterramiento diagenético somero, intermedio y profundo. Siguiendo estos parámetros se realizó una metodología para establecer predicciones de la distribución de productos de reacciones diagenéticas en espacio de tiempo-temperatura.

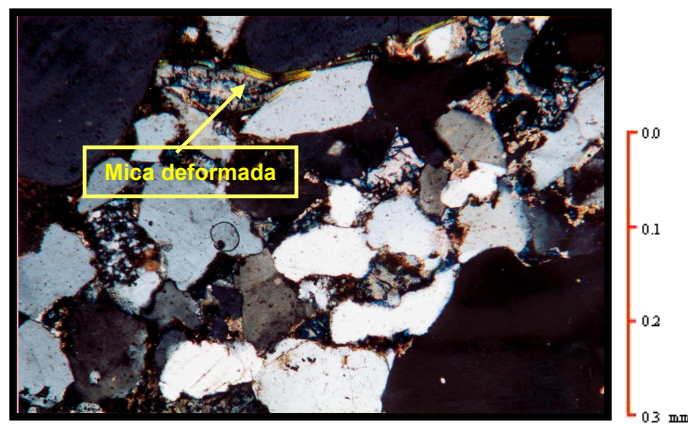
Características y procesos diagenéticos en el área de estudio

4.1- Pozo CC-2A

❖ Compactación

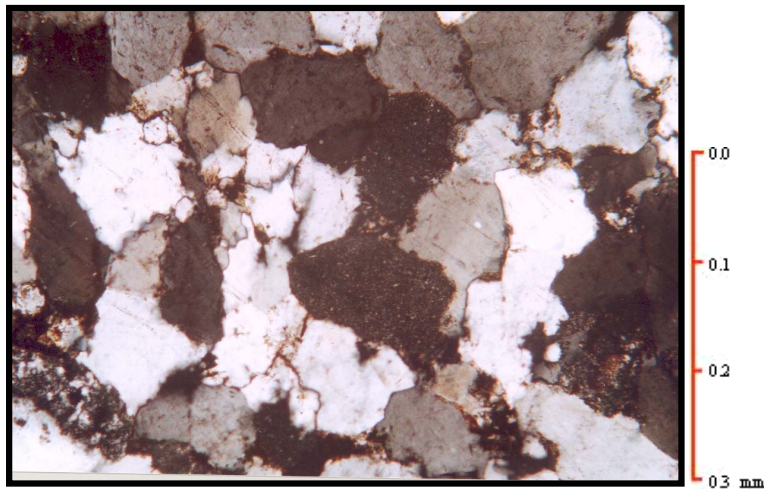
La compactación se observó en todas las muestras analizadas, sin embargo, los efectos de la misma no son iguales a lo largo de toda la unidad en estudio, va a depender de la mayor a menor proporción de partículas dúctiles, contenido de matriz y las cantidades de cemento precipitado en las etapas iniciales de soterramiento. Según SURDAM *et al* (1989) en los primeros pies de soterramiento la compactación puede reducir la porosidad original de las rocas hasta en un 40%.

Para el caso de las areniscas estudiadas en este pozo se observaron signos de compactación, evidenciado por una ligera deformación de micas y de fragmentos de roca ígneos y metamórficos (fotomicrografía 4.1), los cuales son más susceptibles a la deformación mecánica.



Fotomicrografía 4.1. Pozo CC-2A, prof. 5261' . Mica deformada. Nícoles paralelos, objetivo 20X.

El bajo grado de compactación reflejado se debe a la cementación de sílice en continuidad óptica y posteriormente la precipitación de calcita (fotomicrografía 4.2), la cual es una manera de conservar la porosidad original y contrarrestar los efectos de la compactación. Sin embargo, según SCHMIDT & Mc DONALD (1979) afirman que esta potencial porosidad para volverse eficaz posteriormente, el cemento de calcita debe removerse durante el soterramiento subsecuente, cosa que no ha sucedido aun en estas rocas.



Fotomicrografía 4.2. Pozo CC-2A, prof. 5560'-5570'. Subarcosa con empaquetamiento apretado, producto de la cementación de sílice. Nícoles cruzados, objetivo 20X.

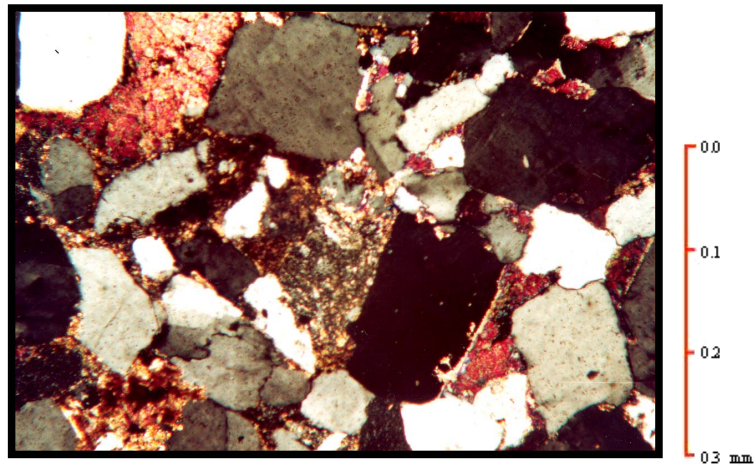
❖ Cementación

Este proceso es uno de los más importantes, ya que, de él va a depender la evolución de la porosidad en la historia diagenética de las rocas. Debido a que estas rocas estudiadas están fuertemente cementadas, se observaron diferentes tipos de cementos, provocados por una sobresaturación de fluidos de poros en ciertas sustancias, dando lugar a la formación de minerales de diversa composición química, como se muestran en la secuencia paragenética para el pozo CC-2A (figura 4.3).

Sílice: Este tipo de cemento se encuentra en proporciones mayores en B-6. Se presenta en forma de sobrecrecimiento en continuidad óptica sobre

granos de cuarzo detrítico (fotomicrografía 4.2). Una posible fuente de sílice proviene de las lutitas que se encuentran intercaladas con las areniscas.

Calcita: Este cemento se encuentra en menor proporción en las muestras de B-6, aunque en B-5 es el predominante (fotomicrografía 4.3), encontrándose en cantidades que varían desde 36.97% hasta trazas. Se presenta rellenando poro y reemplazando parcialmente granos de cuarzo y feldespatos. Una posible fuente de calcio para la cementación temprana de calcita, además de las condiciones alcalinas necesarias, es la disolución y posterior migración de fluidos ricos en Ca^{++} de la Formación Guasare, ubicada infrayacente a la Formación Misoa.



Fotomicrografía 4.3. Pozo CC-2A, prof. 5261'. Cemento de calcita rellenando poros y reemplazando. Nícoles cruzados, objetivo 10X.

En la figura 4.1 se puede observar que hay mayor proporción de calcita hacia el tope (correspondiente a la base de B-5), a diferencia de la sílice en continuidad óptica representada en la figura 4.2, donde no se observa ningún patrón preferencial de aparición, pero hay mayor proporción de sílice en B-6.

Figura 4.1. Relación calcita Vs profundidad en el pozo CC-2A

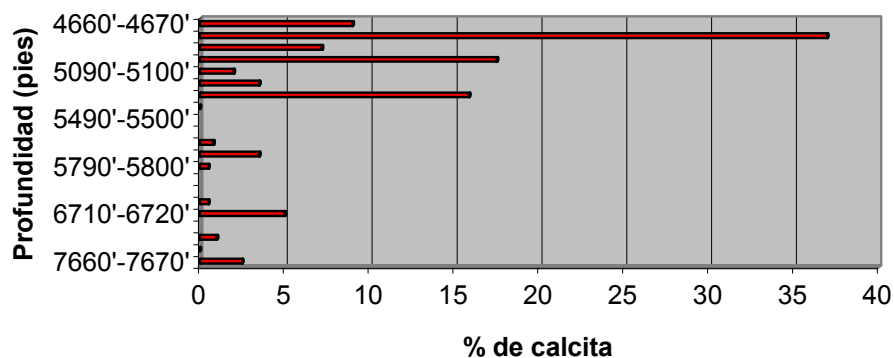
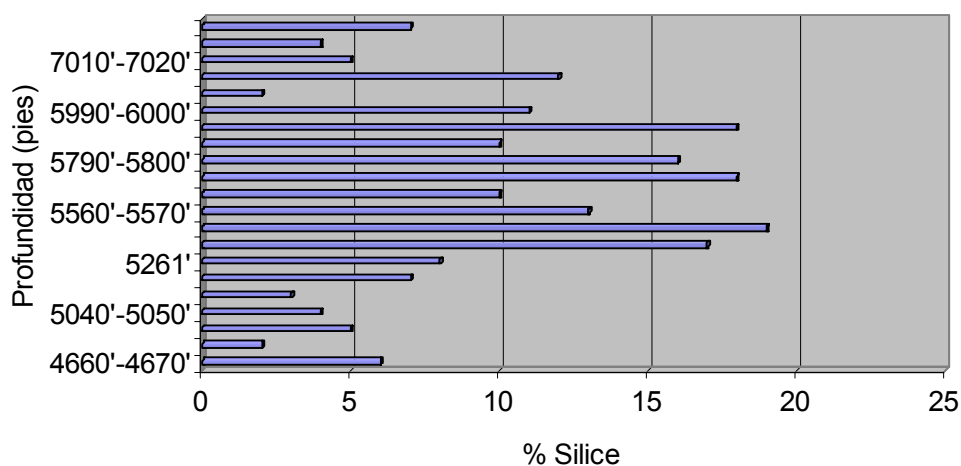


Figura 4.2. Relación de sílice Vs profundidad en el pozo CC-2A



Otro cemento importante, aunque aparece en poca proporción son los sobrecrecimientos de feldespatos en continuidad óptica sobre granos de feldespato potásico. Según SANDOVAL (2000) las condiciones químicas para su formación son suficientes concentraciones de sílice disuelta y una alta cantidad de Na^+/H^+ o K^+/H^+ , y en este caso la sílice necesaria para este proceso provino de la alteración de fragmentos de roca, feldespatos y el reemplazo por calcita

Dolomita y siderita: Estas se presenta esporádicamente en las muestras reemplazando. La dolomita se presenta en rombos euhedrales reemplazando principalmente fragmentos líticos y la siderita se presenta en cantidades traza como rombos euhedrales sobre los granos detríticos de cuarzo.

❖ **Reemplazo**

Los efectos del reemplazo son de mucha importancia, ya que mediante él ocurren reacciones en las que un mineral crece a expensas de y en lugar de otro, total o parcialmente (SANDOVAL 2000). Este proceso se notó en las rocas con un contenido considerable de calcita (B-5), en donde los minerales con alto contenido de sílice se vieron afectados por los carbonatos principalmente hacia los bordes, en algunos casos los feldespatos potásicos y plagioclasas se encontraron reemplazados parcialmente, obteniendo de allí una fuente considerable de sílice para los demás procesos.

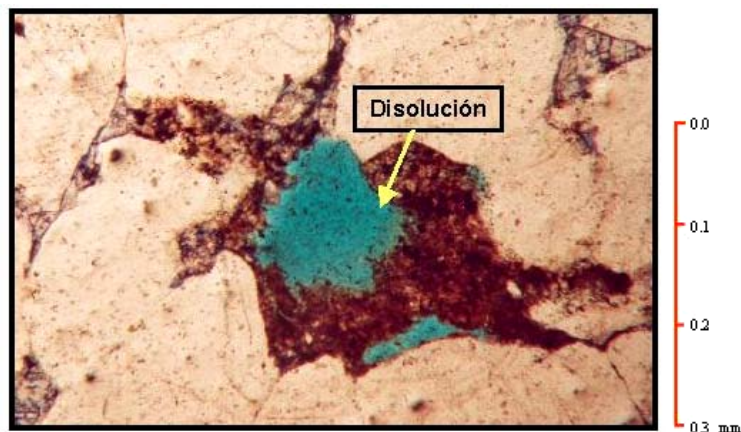
❖ **Alteración**

El proceso de alteración se observó marcadamente en los feldespatos, fragmentos de roca y micas a minerales de arcilla del tipo illita, clorita e illita/esmectita (allevardita) determinado a partir de la petrografía y corroborado través de análisis de difracción de rayos X (DRX). La posible fuente de potasio para esta transformación puede provenir básicamente de la alteración y disolución de feldespatos potásicos y micas (muscovita), los cuales son constituyentes importantes dentro de la roca.

❖ **Disolución**

Este proceso se observa en todas las muestras analizadas, aunque en B-6 no es tan común, y afecta a la matriz en (mayor proporción) y a otros

constituyentes como fragmentos líticos y feldespatos, producto de la disolución selectiva de materiales solubles e inestables, este proceso es de gran importancia para las muestras debido a que, a partir de el se genera tanto macroporosidad como microporosidad (fotomicrografía 4.4).



Fotomicrografía 4.4. Pozo CC-2A, prof. 5261'. Disolución de la matriz, generando porosidad por disolución. Nícoles paralelos, objetivo 10X.

❖ Análisis de difracción de rayos X (DRX) para el pozo CC-2A

Para realizar este análisis se utilizaron 2 muestras que fueron examinadas para determinar la mineralogía del volumen de roca total y la fracción de arcillas (<2 μ m), los resultados se presentan en la tabla 4.1 para el volumen de roca total, en la tabla 4.2 para la fracción de arcillas y los difractogramas correspondientes a este análisis se incluyen en el Apéndice 1.

Tabla 4.1. Porcentaje de roca total para el pozo CC-2A

Muestra	Calcita (%)	Feld-Na (%)	Arcillas (%)	Cuarzo (%)
4740'	22	9	19	50
5261'	12		6	82

Tabla 4.2. Fracción de arcilla para el pozo CC-2A

Muestra	Caolinita (%)	Clorita (%)	Ilita (%)	Ilita/esmectita (%)
4740'	28	35	19	18
5261'	6	30	24	40

El análisis de difracción de rayos X arrojó un alto contenido de calcita, cuarzo y arcillas. Mientras que en la fracción arcillosa se determinó un alto contenido de clorita y de capas mixtas del tipo illita/esmectita, estas capas se encuentran ordenadas y contienen un 80% de illita, para lo cual HOFFMAN & Hower (1979) determinó que la interlaminación de capas de arcilla de este tipo a profundidades iguales o mayores a los 3500 metros es ordenada del tipo allevardita y se produce con temperaturas máximas de 130°

❖ **Secuencia paragenética para el pozo CC-2A**

La secuencia de formación de minerales autigénicos y de los diferentes procesos diagenéticos que afectaron estas rocas durante el soterramiento progresivo, se muestra en la figura 4.3.

Tomando como base el modelo diagenético propuesto por SURDAM *et al.* (1989) Y SANDOVAL (2000) para las subdivisiones de los estados diagenéticos y el orden de los eventos ocurridos, pueden resumirse de la siguiente manera:

Soterramiento Somero

Esta etapa se definió con temperaturas que alcanzan hasta los 80°C y con profundidades de soterramiento que van hasta 5.000 pies.

En esta fase se observaron leves signos de compactación evidenciados por la deformación de micas y de algunos fragmentos líticos, llamado también deformación de granos dúctiles.

Durante este estado los procesos físicos no son relevantes, ya que, la cementación de sílice en continuidad óptica a finales del soterramiento somero inhibió los efectos de la compactación en grandes rasgos. De igual manera

precipita siderita reemplazando granos detríticos como cuarzo y fragmentos de roca en esta fase de soterramiento temprano.

En la fase terminal del soterramiento somero se produce la alteración de las micas, feldespatos y fragmentos líticos a minerales de arcilla del tipo illita, illita/esmectita y clorita, de igual manera se inicia la precipitación de caolinita y la disolución de fragmentos líticos y de los feldespatos. El sobrecrecimiento de feldespato a finales de esta fase es importante, aunque no es abundante.

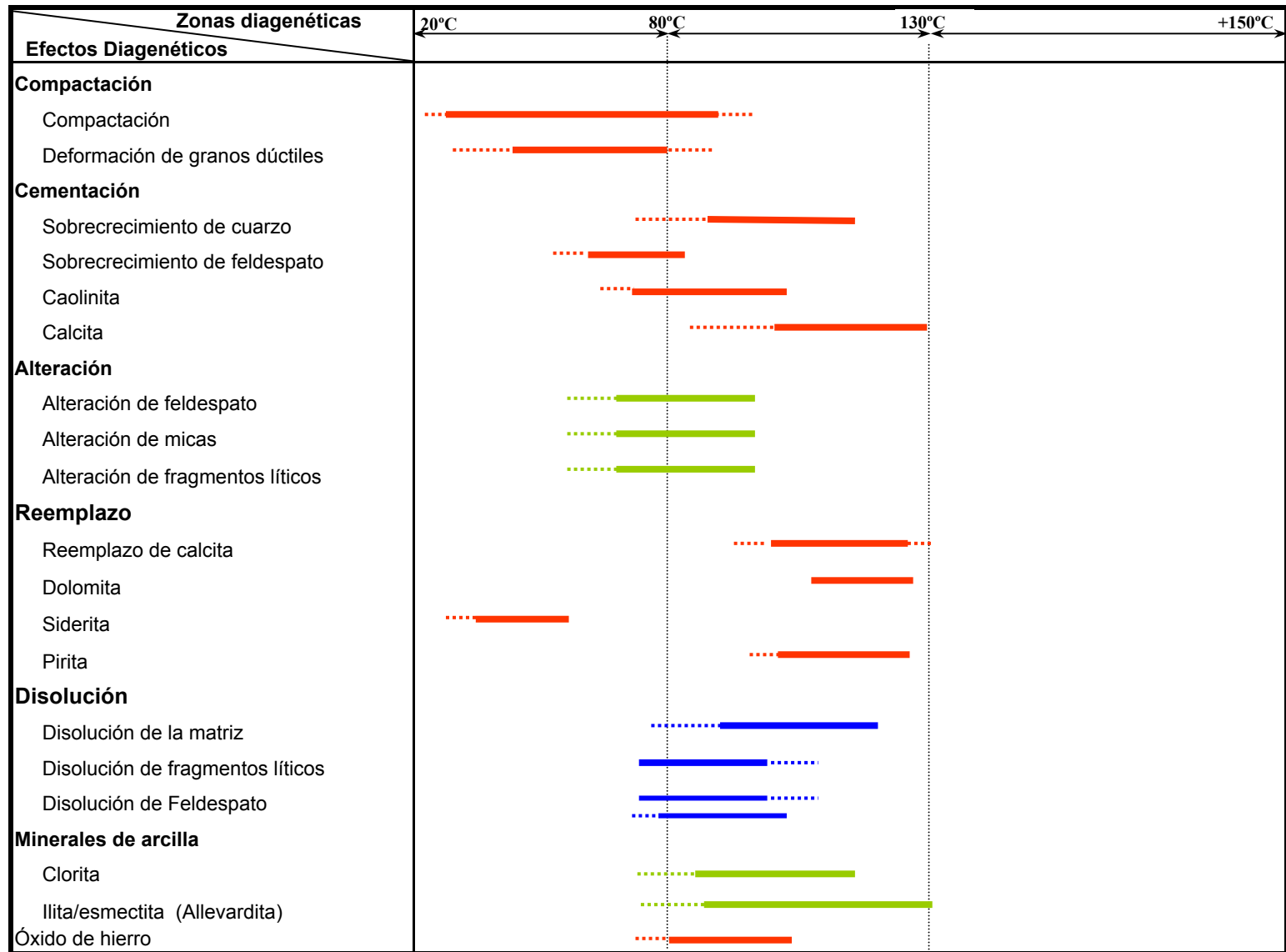
Soterramiento Intermedio

Dentro de este intervalo es donde se producen las reacciones más importantes que toman lugar en el aumento o la disminución de la porosidad, llamado también “ventana diagenética”, el intervalo de temperatura propuesto por el autor antes mencionado para el soterramiento somero es de 80°C a 130°C.

Durante esta fase los eventos más relevantes son la precipitación de sílice en continuidad óptica, calcita y el reemplazo por calcita, existen paralelamente reemplazo por dolomita y pirita pero en menor proporción. Otros eventos importantes es la alteración de fragmentos de roca, micas y feldespatos a minerales de arcilla, y su posterior disolución generando tanto macroporosidad como microporosidad, es importante resaltar que la disolución de la matriz es lo que más favorece a la formación de porosidades secundarias.

Para el soterramiento profundo se proponen temperaturas superiores a los 130°C, pero tomando en consideración las características y evidencias diagenéticas que presentan las rocas, se puede decir que ellas no alcanzaron a estar bajo condiciones de soterramiento profundo.

Figura 4.3. Secuencia Paragenética del pozo CC-2A



- Procesos que destruyen porosidad
- Procesos que generan porosidad
- Procesos que generan microporosidad

4.2. Pozo PB-689

❖ Compactación

La compactación se observó en todas las muestras analizadas en poca proporción, ya que, la compactación en estas muestras quedó inhibida por la cementación de sílice en continuidad óptica y posteriormente la de calcita, sin embargo, se observaron algunos efectos de compactación producto de la deformación de partículas dúctiles como micas y algunos fragmentos líticos.

❖ Cementación

Este proceso es uno de los más importantes, ya que, de él va a depender la evolución de la porosidad en la historia diagenética de las rocas. Debido a que estas rocas estudiadas están fuertemente cementadas, tenemos diferentes tipos de cementos, provocado por una sobresaturación de fluidos de poros en ciertas sustancias, dando lugar a la formación de minerales de diversa composición química (figura 4.6).

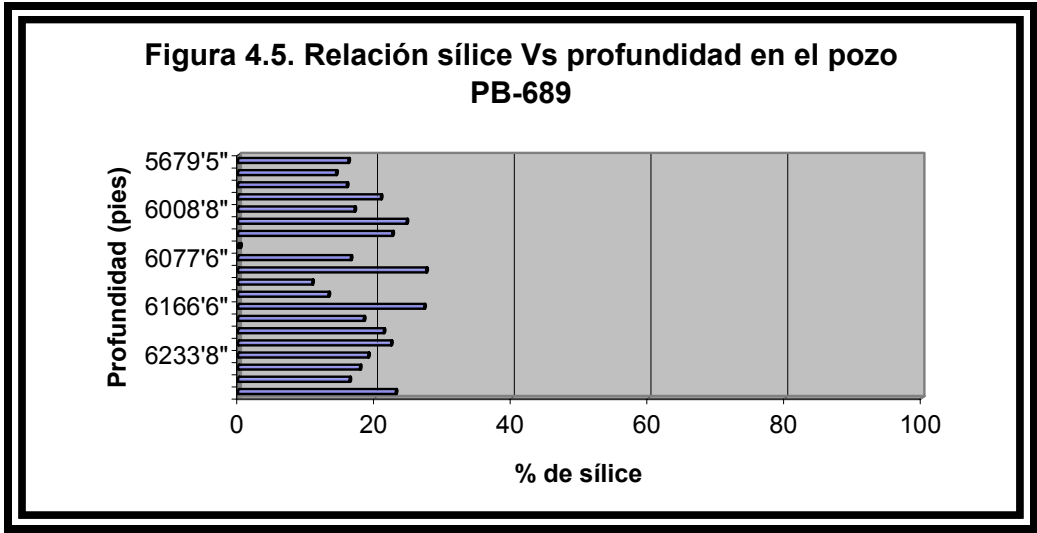
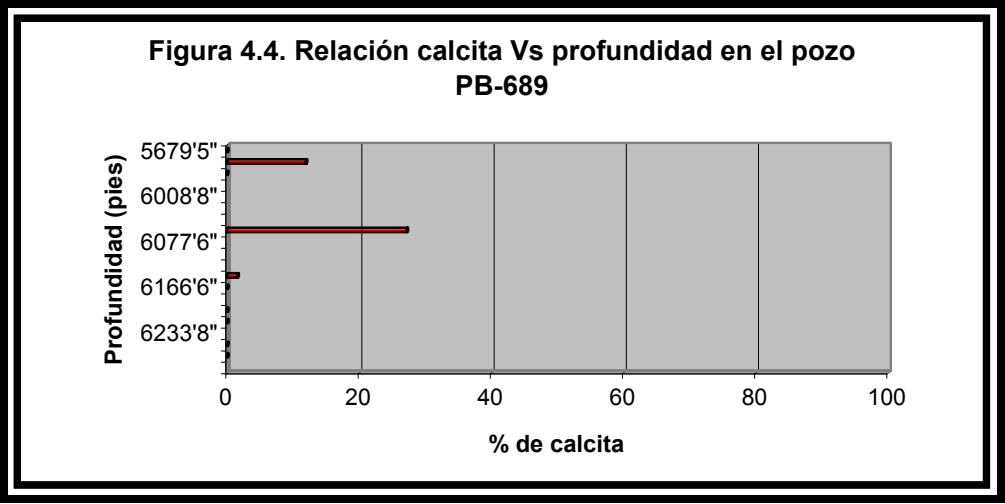
Sílice: Este tipo de cemento es el predominante en las muestras observadas, se presenta en forma de sobrecrecimiento en continuidad óptica sobre granos de cuarzo detrítico, en cantidades de 22.58% hasta 0.31% y es el causante principal de la reducción de la porosidad en estas rocas, aunque no la obstruye totalmente.

Calcita: Este cemento es importante en las muestras estudiadas, ya que su ocurrencia es rellenando los poros que no fueron totalmente obstruidos por el sobrecrecimiento de cuarzo. En algunas ocasiones se encuentra reemplazando parcialmente (en los bordes) granos de cuarzo y de feldespatos.

En la gran mayoría de los casos las muestras del pozo PB-689 presenta un mayor contenido de cemento de sílice con respecto a las muestras analizadas en los pozos CC-2A y R-801, debido a que la cementación de

calcita fue posterior a la de sílice, y no pudo inhibir el sobrecrecimiento de cuarzo.

En la figura 4.4 se observa que el cemento de calcita es muy poco con respecto al cemento de sílice en continuidad óptica (figura 4.5), el cual está presente en todas la muestras analizadas sin ningún patrón específico.



Dolomita ferrosa y dolomita: La dolomita ferrosa se presenta esporádicamente en las muestras reemplazando los granos detríticos de cuarzo y feldespatos. La dolomita de igual manera está presentes en cantidades trazas reemplazando de manera de rombos euhedrales principalmente sobre granos de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos.

Siderita: Igualmente se presenta en cantidades traza reemplazando primordialmente granos detríticos de cuarzo.

Minerales de arcilla: Los minerales de arcilla encontrados son illita, esmectita y clorita en menor proporción como producto de alteración de feldespatos, fragmentos líticos y micas, y también están asociadas a la disolución de los feldespatos potásicos.

Caolinita: Se presenta con valores que oscila entre 6.52% y valores menores que 1% en casi todas las muestras ocupando la porosidad intergranular.

Pirita: La pirita está presente en cantidades trazas y ocurre como granos euhedrales y subhedrales sin afectar la porosidad.

❖ Reemplazo

Este proceso se notó en las rocas con un contenido considerable de calcita, en donde los minerales con alto contenido de sílice se vieron afectados por los carbonatos principalmente hacia los bordes, en algunos casos los feldespatos potásicos y plagioclasas se encontraron reemplazados parcialmente, obteniendo de allí una fuente considerable de sílice para los demás procesos.

❖ **Alteración**

Este proceso se observó marcadamente en los feldespatos, fragmentos de roca y micas a minerales de arcilla del tipo illita e illita/esmectita (allevardita) determinado a través de análisis de DRX. La posible fuente de potasio para esta transformación puede provenir básicamente de la alteración y disolución de feldespatos potásicos y micas (muscovita), los cuales son constituyentes importantes dentro de la roca.

❖ **Disolución**

Este proceso se observa en casi todas las muestras analizadas y afecta principalmente a la matriz en mayor proporción y a otros constituyentes como fragmentos líticos y feldespatos, al igual que al cemento de caolinita generando microporosidad, como producto de infiltración de fluidos dentro del sistema atacando a los minerales mas solubles e inestables.

❖ **Análisis de difracción de rayos X (XRD) para el pozo PB-689**

Este análisis fue realizado por PROSERCA (1992), para el cual utilizaron diez muestras que fueron analizadas para determinar la mineralogía del volumen de roca total y la fracción de arcillas ($<2\mu\text{m}$), los resultados se presentan en la tabla 4.3 para el volumen de roca total, en la tabla 4.4 para la fracción de arcillas y los difractogramas correspondientes se incluyen en el Apéndice 2.

Tabla 4.3. Volumen total de roca para el pozo PB-689. Tomado de PROSERCA (1992).

Muestra	Cuarzo	Feldespatos	Plagioclasa/ ortoclasa	siderita	Fracción de arcilla
5679'5"	72,3	6,5	T		17,6
5916'6"	93,3	3,7	1,2		3
5961'8"	92,1	3,7	2,5		4,2
6040'6"	89,1	7,1	4		3,8
6118'6"	89,6	4,5	0,7		5,9
6166'6"	97,3				2,7
6167'5"	97,1				2,9
6217'	91,5	4,6	Tz		3,9
6259'2"	90,1	5,4	Tz		4,5
6292'	85,3	4,3	Tz	2,5	7,9

Tabla 4.4. Fracción de arcilla (<2µm) para el pozo PB-689. Tomado de PROSERCA (1992).

Muestra	Caolinita	Clorita	Ilita	Esmectita
5679'5"		6,8[39]	7,2[41]	3,6[20]
5916'6"	1,5 [50]	0,4[14]	0,7[24]	0,4[12]
5961'8"	2,5 [59]		1,6[38]	0,1[3]
6040'6"	0,4 [10]		2,5[65]	0,9[24]
6118'6"	1,5 [25]		2,4[41]	2,0[34]
6166'6"	1,5 [57]		0,6[22]	0,6[21]
6167'5"	2,0 [69]		0,7[23]	0,2[8]
6217'	2,2 [57]		1,1[27]	0,6[16]
6259'2"	2,5 [56]		1,2[27]	0,8[17]
6292'	2,8 [35]	1,4[18]	2,2[28]	1,5[19]

Los análisis de difracción de rayos X indican que los minerales más frecuentes detectados en el estudio de roca total son:

- ❖ Cuarzo con porcentajes entre 72.3% y 93.3%.
- ❖ Feldespatos hasta un 7.1%, en ocasiones está ausente.
- ❖ Plagioclasa/ortoclasa con porcentajes menores a 4%.
- ❖ Pirita en forma esporádica.
- ❖ Fracción de arcilla variando entre 2.9% y 7.9% (la muestra 5679'5" presenta un 17.6% de arcilla).

El análisis de fracción arcillosa arrojó:

- ❖ Dominio mineralógico compartido entre la illita y la esmectita, con predominio de illita, estableciéndose una relación 2:1 en la mayoría de las muestras.
- ❖ La caolinita está presente en todas las muestras excepto en la 5679'5", donde es mayor el contenido de clorita.
- ❖ La clorita se presenta en trazas en la mayoría de las muestras.

❖ **Resultado de Microscopía Electronica S.E.M para el pozo PB-689**

Este análisis fue realizado y tomado de PROSERCA (1992), para los cuales fueron analizadas diez muestras del pozo PB-689, usando el equipo S.E.M. Las descripciones detalladas se encuentran en la tabla 4.5 y las fotomicrografías correspondientes se encuentran en el Apéndice 2.

Las muestras analizadas revelan un grupo de minerales detríticos y autigénicos; los detríticos dominados por cuarzo con menores cantidades de feldespato potásico y arcilla detrítica. Los minerales autigénicos están dominados por sobrecrecimiento de cuarzo, illita y caolinita con rara presencia de dolomita y dolomita ferrosa.

El cemento de cuarzo se presenta de manera significativa rellenando poros, produciendo poros con formas geométricas. La illita ocurre asociada con feldespatos disueltos y con arcillas detríticas.

La caolinita ocurre como "libritos" rellenando poros, también con illita y arcilla detrítica pobremente formadas.

La dolomita y dolomita ferrosa se presenta en menor proporción, sin obstruir la porosidad secundaria del feldespato potásico disuelto.

Muestra	Tgrano (micrones)			Redond	Contactos	Tporo (micrones)	Minerales identificados	Relación y comentario
	Min.	Prom.	Max.					
5679'5"	60	300	500	SA-SR	Long y C-C		Qz, feld, clotita, Caolinita, dolomita, sobrecrecimiento de Qz	Porosidad primaria intergranular obstruyendo poros por sobrecrecimiento de cuarzo. Caolinita e illita rellenanando poros. Porosidad por disolución de feldespatos. Abundante microporosidad
5913'6"	100	200	600	SA-SR	Long, CC y P	50	Qz, Feld, Sobrecrec. de Qz, Illita, Caolinita y dolomita	Porosidad primaria intergranular obstruida por sobrecrecimiento de cuarzo. Caolinita e illita rellenanando poros. Porosidad por disolución de feldespatos
5961'8"	70	150	300	SA-SR	Long y Punt	60	Qz, Feld, Sbrecrec. Qz, Caolinita, illita, esmectita y pirita	Porosidad primaria intergranular obstruida por sobrecrecimiento de cuarzo. Caolinita e illita rellenanando poros. Porosidad por disolución de feldespatos
6040'6"	70	150	250	SA-R	Long y C-C	100	Qz, Feld, Sobrec. Qz, Caolinita, illita y esmectita?	Porosidad primaria intergranular obstruida por sobrecrecimiento de cuarzo. Caolinita e illita rellenanando poros. Porosidad por disolución de feldespatos
6118'6"	60	150	350	SA-SR	Long y C-C	50	Qz, Feld, Sobrec. de Qz, Illita, Caolinita y micas	Porosidad primaria intergranular obstruida por arcillas detríticas, sobrecrec. de Qz, Caolinita e illita. Hay abundante microporosidad
6166'6"	100	300	400	SA-R	Long y C-C	50	Qz, Feld, Sobrec. Qz, Caolinita y illita	Porosidad primaria intergranular obstruida por sobrecrecimiento de cuarzo. Caolinita e illita rellenanando poros. Porosidad por disolución de feldespatos
6167'5"	100	250	450	SA-SR	Long y C-C	40	Qz, Feld, Sobrec. de Qz, Illita, Caolinita y dolomita	Porosidad primaria intergranular obstruida por sobrecrecimiento de cuarzo. Caolinita y dolomita rellenanando poros. Porosidad por disolución de feldespatos, con trazas de illita
6217'	60	200	350	SA-SR	Long y C-C	40	Qz, Feld, Sobrec. Qz, Caolinita y illita	Porosidad primaria intergranular obstruida por sobrecrecimiento de cuarzo. Caolinita e illita rellenanando poros. Porosidad por disolución de feldespatos
6259'2"	80	150	300	SA-SR	Long y C-C	50	Qz, Feld, Sobrec. de Qz, Illita, Caolinita y dolomita	Porosidad primaria intergranular obstruida por sobrecrecimiento de cuarzo. Caolinita y illita rellenanando poros. Porosidad por disolución de feldespatos
6292'	50	150	350	SA-SR	Long y C-C	<20	Qz, Feld, Sobrec. de Qz, Illita, Caolinita, dolomita y clorita	Porosidad primaria intergranular obstruida por sobrecrecimiento de cuarzo. Caolinita y illita rellenanando poros. Porosidad por disolución de feldespatos. Abundante microporosidad.

Tabla 4.5. Resultados del análisis de microscopía electrónica S.E.M para el pozo PB-689. Tomado de PROSERCA (1992)
SA: subanquuloso, SB: subredondeado, C-C: concavo-convexo, p: puntual y Long: longitudinal.

❖ **Secuencia paragenética para el pozo PB-689**

La secuencia de formación de minerales autigénicos y de los diferentes procesos diagenéticos que afectaron estas rocas, se muestra en la figura 4.6.

Tomando en cuenta los modelos diagenéticos propuesto por SURDAM *et al* (1989) y SANDOVAL (2000) para las subdivisiones de los estados diagenéticos y para el orden de los eventos ocurridos, se establecieron los siguientes límites:

Soterramiento Somero

Esta etapa se definió con temperaturas que alcanzan hasta los 80°C, y profundidades que van hasta los 5.000’.

Durante este estado los procesos físicos son los mas relevantes, evidenciados por micas y algunos fragmentos líticos. Otro cemento carbonático temprano es la siderita, reemplazando principalmente granos detríticos de cuarzo y fragmentos de roca.

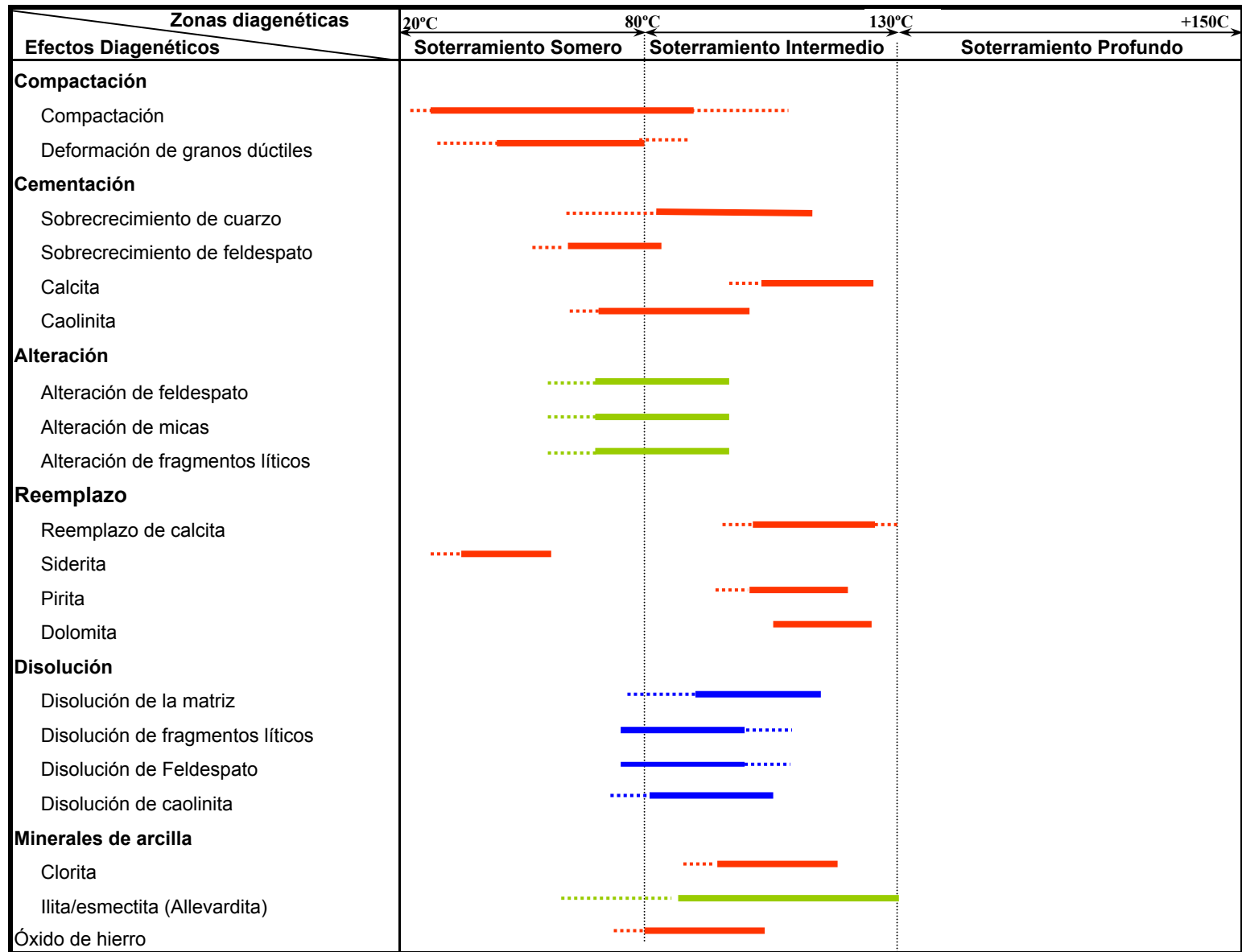
En la fase terminal del soterramiento somero se produce la precipitación de sílice en continuidad óptica, la alteración de las micas, feldespatos y fragmentos líticos a minerales de arcilla del tipo illita y clorita, y la matriz a illita/esmectita. El sobrecrecimiento de feldespatos comienza a formarse a finales de este estado somero

Soterramiento Intermedio

Esta etapa se definió entre temperaturas que varían entre 80°C y 130°C, durante este intervalo se producen las reacciones más importantes que dan lugar al aumento o la disminución de la porosidad, llamado también “ventana diagenética”.

Durante esta fase los efectos más importantes son la cementación de sílice en continuidad óptica, precipitación y reemplazo de calcita y la alteración de micas, feldespatos, fragmentos de roca y precipitación de caolinita y su posterior disolución, para generar así, tanto macroporosidad como microporosidad. Otros procesos relevantes son el reemplazo de dolomita, pirita y calcita y la alteración de la matriz a illita/esmectita (allevardita), lo que nos indica que las rocas no alcanzaron temperaturas superiores a los 130°C.

Figura 4.6. Secuencia Paragenética del pozo PB-689



- Procesos que destruyen porosidad
- Procesos que generan porosidad
- Procesos que generan microporosidad

4.3.- Pozo PB-694

❖ Compactación

La compactación se observó en todas las muestras analizadas pero en muy poca proporción, algunas micas y fragmentos de roca fueron deformadas por efectos de la misma.

El bajo grado de compactación reflejado en las muestras se debe a la cementación de sílice en continuidad óptica sobre granos detríticos de cuarzo a finales del soterramiento somero, lo cual inhibió de manera sustancial los efectos de la compactación y afectó la porosidad y permeabilidad original de la roca.

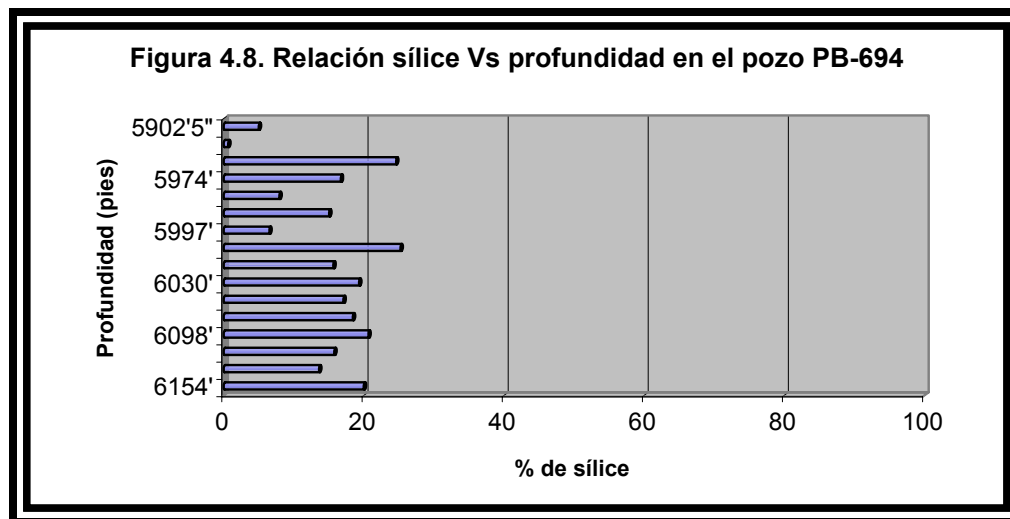
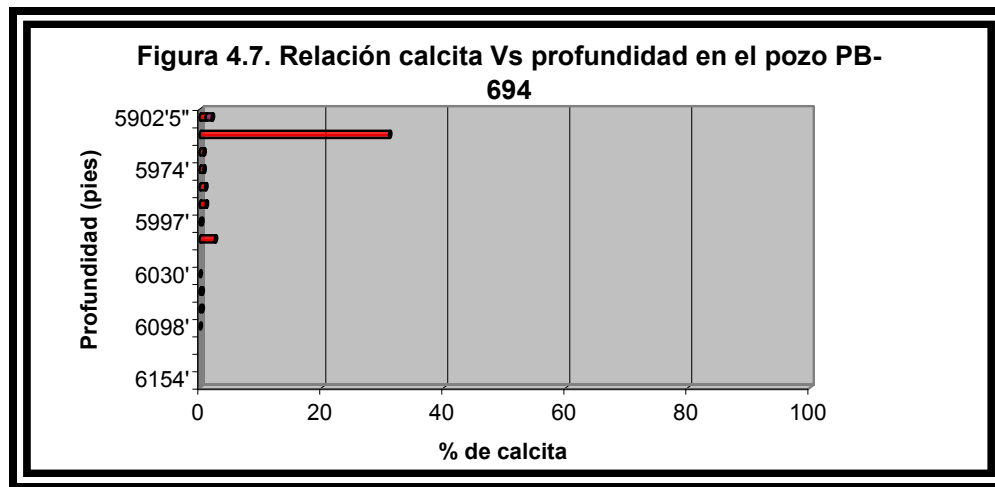
❖ Cementación

Este proceso es uno de los más importantes, ya que, de él depende la evolución de la porosidad en la historia diagenética de las rocas, en este caso tenemos diferentes tipos de cementos generados en condiciones diferentes (figura 4.9).

Sílice: Este tipo de cemento es el más abundante en las muestras observadas. Se presenta en forma de sobrecrecimiento en continuidad óptica sobre granos de cuarzo detrítico. Es el causante principal de la reducción de la porosidad en estas rocas, aunque no la obstruye totalmente.

Calcita: Este cemento aunque no es muy abundante (excepto en la muestras 5912' que contiene 31.06%) su ocurrencia es rellenando los poros que no fueron totalmente obstruidos por el sobrecrecimiento de cuarzo. En algunas ocasiones se encuentra reemplazando parcialmente los feldespatos y en otras se encuentra reemplazando los bordes de los granos de cuarzo.

En la figura 4.7 se observa que la cantidad de calcita es muy poca con respecto a la cantidad de cemento de sílice en continuidad óptica, y que su presencia es mas notoria hacia el tope de la unidad en estudio, mientras que el cemento de sílice se presenta en todas la muestras analizadas sin ningún patrón específico (figura 4.8).



Dolomita ferrosa y dolomita: La dolomita ferrosa se presenta esporádicamente en las muestras como relleno de poro y reemplazando los granos de cuarzo y feldespato. La dolomita de igual manera están presentes en cantidades trazas precipitando de manera de rombos euhedrales reemplazando principalmente a fragmentos líticos.

Siderita: Se presenta en cantidades traza reemplazando como rombos euhedrales sobre los granos detríticos de cuarzo.

Caolinita: Se presenta como relleno de poros intergranulares, y como placas u “libritos” entrelazadas con arcillas detríticas y autigénicas.

Pirita: La pirita está presente en cantidades trazas en ocasiones reemplazando y ocurre como granos euhedrales y subhedrales.

❖ **Reemplazo**

Este proceso se notó en las rocas con un contenido considerable de calcita, en donde los minerales con alto contenido de sílice se vieron afectados por los carbonatos principalmente calcita, y en menor proporción dolomita, dolomita ferrosa y siderita, en algunos casos los feldespatos potásicos y plagioclasas se encontraron reemplazados parcialmente por estos carbonatos, obteniendo de allí una fuente considerable de sílice para los demás procesos.

❖ **Alteración**

El proceso de alteración se observó marcadamente en los feldespatos, fragmentos de roca y micas a minerales de arcilla del tipo illita, esmectita y caolinita. La matriz también presenta un notorio grado de alteración a illita/esmectita (allevardita). La posible fuente de potasio para esta transformación puede provenir básicamente de la alteración y disolución de

feldespatos potásicos y micas (muscovita), los cuales son constituyentes importantes dentro de la roca.

❖ **Disolución**

Este proceso se observa en casi todas las muestras analizadas, y afecta principalmente a la matriz en mayor proporción y a otros constituyentes como fragmentos líticos y al cemento de caolinita generando microporosidad, como producto de infiltración de fluidos dentro del sistema atacando a los minerales más solubles e inestables.

❖ **Análisis de difracción de rayos X (XRD) para el pozo PB-694**

Este análisis fue realizado por PROSERCA (1992), para el cual utilizaron diez muestras que fueron analizadas para determinar la mineralogía del volumen de roca total y la fracción de arcillas (<2 μ m), los resultados se presentan en la tabla 4.6 para el volumen de roca total, en la tabla 4.7 para la fracción de arcillas y los difractogramas correspondientes se incluyen en el apéndice 3.

Tabla 4.6. Volumen total de roca para el pozo PB-694. Tomado de PROSERCA (1992)

Muestra	Cuarzo	Feldespato	Plagioclasa/ ortoclasa	Caolinita	Ilita	Esmectita
5995'	97.5			0.5	1.6	0.4
6028'	97.3			0.6	2.1	
6030'	97			0.3	2	0.7
6097'	94.7	2.8	Tz	0.5	2	
6098'	92.4	3.7	Tz	2.3	1.2	0.4

Tabla 4.7. Fracción de arcilla (<2 μ m) para el pozo PB-694.
Tomado de PROSERCA (1992).

Muestra	Arcilla total	Caolinita	Ilita	Esmectita
5995'	2.5	21	63	16
6028'	2.6	21	79	
6030'	2.9	9	68	23
6097'	2.5	20	80	
6098'	3.9	58	31	11

Los análisis de difracción de rayos X indican que los minerales más frecuentes detectados en el estudio de roca total son:

- ❖ Cuarzo con porcentajes entre 92.4% y 97.5%.
- ❖ Arcillas entre 2.5% y 3.9%.
- ❖ Feldespato potásico en forma esporádica, al igual que plagioclasa/oligoclasa, micas, illita, esmectita y clorita .

En el análisis de fracción arcillosa que oscila entre 2.5% y 3.9% del total de la roca arrojó:

- ❖ Dominio mineralógico de la illita sobre la caolinita. La composición de illita está incluyendo micas
- ❖ La esmectita está presente en tres de las muestras en proporciones que van desde trazas hasta 23%. La esmectita representa una mezcla irregular de capas de esmectita/illita.

Resultado de Microscopía Electronica S.E.M para el pozo PB-694

Este análisis fue realizado y tomado de PROSERCA (1992), para los cuales fueron analizadas cinco muestras del pozo PB-694, usando el equipo S.E.M.. Las descripciones detalladas se encuentran en la tabla 4.8 y las fotomicrografías correspondientes se encuentran en el apéndice 3.

Las muestras analizadas revelan un grupo de minerales detríticos y autigénicos; los detríticos dominados por cuarzo con menores cantidades de feldespato potásico y arcilla detrítica. Los minerales autigénicos están dominados por cuarzo sobrecrecido, illita y caolinita con rara presencia de dolomita y dolomita ferrosa.

El cuarzo sobrecrecido se presenta de manera significativa rellenando poros, produciendo poros con formas geométricas. La illita ocurre asociada con feldespatos disueltos y con arcillas detríticas.

La caolinita ocurre rellenando poros, también con illita y arcilla detrítica en placas o “libritos” pobremente formadas.

Profundidad (pies)	T de grano (micrones)			Redondez	T de poro (micrones)	Conectividad de los poros	Minerales identificados
5995'	60	150	600	SA-SR	50	Moderada	Esmectita asociada a la disolución de feldespatos, sobrecrecimiento de cuarzo con terminaciones prismáticas, illita rellenando poros y caolinita ilitizandose
6028'	70	150	250	SA-SR	50	Pobre	Illita sobre las terminaciones prismáticas de los sobrecrecimientos de cuarzo. Porosidad secundaria por disolución de feldespatos
6030'	80	300	350	SA-SR	60	Moderada	Porosidad secundaria producto de la disolución de feldespatos. Sobrecrecimiento de cuarzo con terminaciones euhedrales e illita
6097'	70	150	350	SA-SR	40	Pobre	Porosidad secundaria producto de la disolución de feldespatos. Sobrecrecimiento de cuarzo con terminaciones euhedrales e illita
6098'	70	200	250	SA-SR	40	Pobre	Porosidad secundaria producto de la disolución de feldespatos. Sobrecrecimiento de cuarzo con terminaciones euhedrales e illita

Tabla 4.8. Resultados del análisis de microscopía electrónica S.E.M para el pozo PB-694. Tomado de PROSERCA (1992)
SA: subanguloso y SR: subredondeado

❖ **Secuencia paragenética para el pozo PB-694**

La secuencia de formación de minerales autigénicos y de los diferentes procesos diagenéticos que actuaron sobre estas rocas se muestran en la figura 4.9.

Tomando como base los modelos diagenéticos propuestos por SURDAM *et al* (1989) y SANDOVAL (2000) para las subdivisiones de los estados diagenéticos y para el orden de los eventos ocurridos, se establece el siguiente orden para la secuencia estudiada:

Soterramiento Somero

Esta etapa se definió con temperaturas y profundidades que alcanzan los 80°C y 5000 pies respectivamente.

En esta fase se produce la reducción de la porosidad producto de los efectos de la compactación en poca proporción. Durante este estado, los procesos físicos no son los más relevantes, ya que quedaron inhibidos por el sobrecrecimiento de cuarzo a finales de este estado, sin embargo, se observa la deformación de micas y de algunos fragmentos líticos (deformación de granos dúctiles).

En esta fase temprana de diagénesis se observó de siderita y dolomita asociada a un proceso de reemplazamiento en granos detríticos de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca.

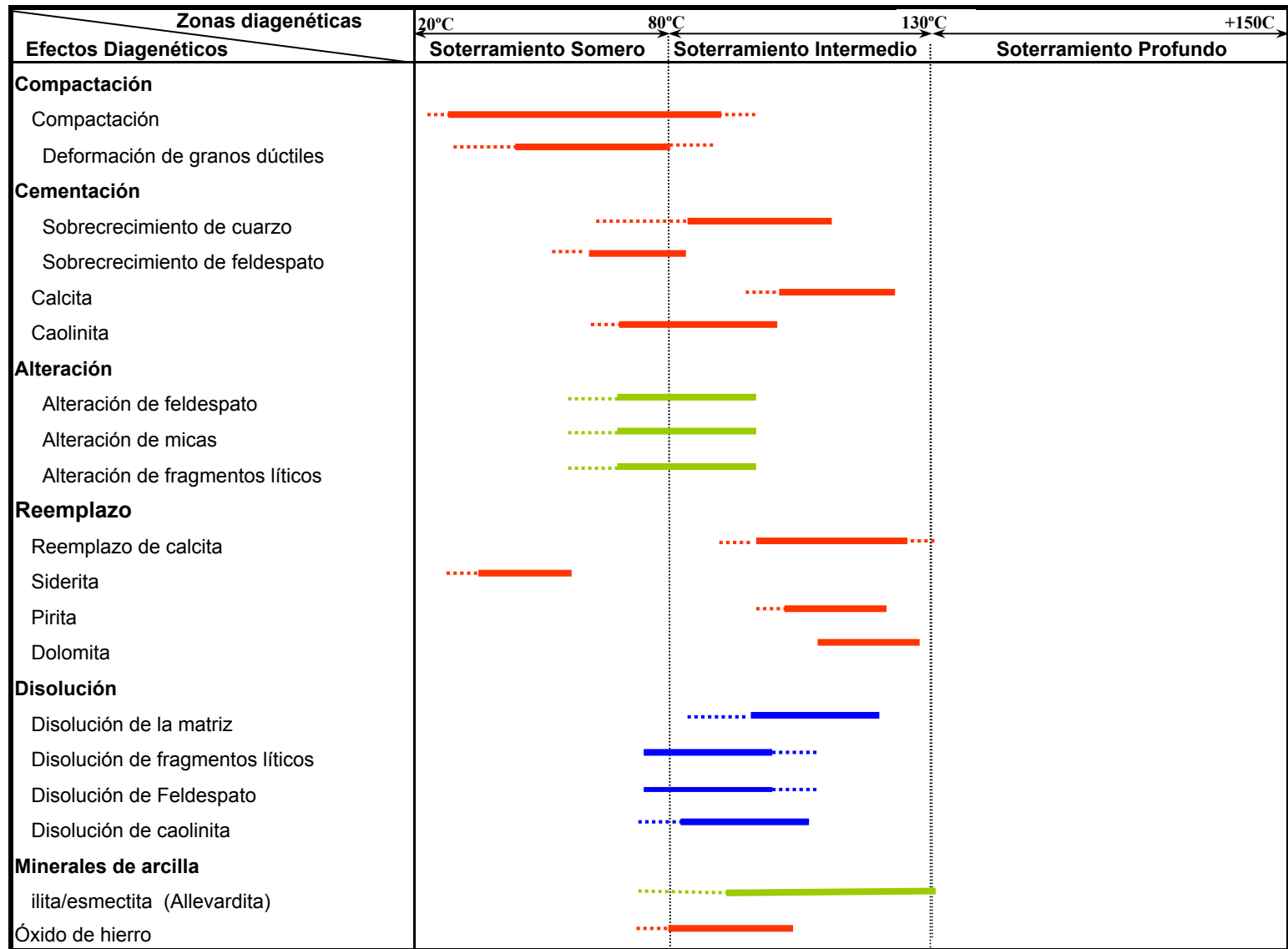
En la fase terminal del soterramiento somera se produce la precipitación de calcita, la alteración y disolución de las micas, feldespatos y fragmentos líticos. El sobrecrecimiento de feldespato también comienza a generarse en la fase final del soterramiento somero.

Soterramiento Intermedio

Dentro de este intervalo es donde se producen las reacciones más importantes que toman lugar en el aumento o la disminución de la porosidad. El intervalo de temperatura propuesto para el soterramiento somero es de 80°C a 130°C.

Durante esta fase los eventos más relevantes son la cementación de sílice en continuidad óptica, precipitación y reemplazo de calcita, alteración de los componentes esenciales (fragmentos líticos, micas y feldespatos) y su posterior disolución. La presencia de caolinita rellenando poros y su posterior disolución generando microporosidad, también es un proceso relevante que caracteriza el soterramiento intermedio, al igual que los sobrecrecimientos de feldespatos. La alteración de la matriz generando illita/esmectita en capas ordenadas (allevardita), tuvo gran importancia para determinar el grado diagenético que alcanzaron las rocas

Figura 4.9. Secuencia Paragenética del pozo PB-694



- Procesos que destruyen porosidad
- Procesos que generan porosidad
- Procesos que generan microporosidad

5.- Interpretación Ambiental

A continuación se propondrá una interpretación paleoambiental para la Formación Misoa en el área de estudio, basada principalmente en la asociación de trazas fósiles (icnofacies) y características litológicas, observadas en los núcleos de los pozos CC-2A, PB-689 y PB-694. Se presentaran evidencias de las icnofacies presentes en los niveles B superior en el pozo CC-2A, así como los resultados que arrojaron los análisis bioestratigráficos en el pozo CC-2A, con la finalidad de tener un marco ambiental más sólido.

5.1 Consideraciones ambientales de los icnofósiles

Durante la descripción sedimentológica de los diferentes núcleos, se identificaron una serie de icnofósiles, para lo cual se describirán las consideraciones ambientales hechas para cada uno de los icnofósiles encontrados en las diferentes unidades estratigráficas, así como la icnofacies a la que se encuentran asociados mayormente y la ubicación de las mismas en un contexto de ambientes marinos someros. Las descripciones están extraídas de PEMBERTON, VAN WAGONER & GRANT (1990)

5.1.1. Icnofósiles

***Arenicolites*:** Poseen forma de tubo vertical sin separación entre los limbos, las paredes exteriores generalmente son suaves y carentes de ornamentación. En núcleo el *Arenicolites* se conoce basado en las características que sugieren la forma de “U”. En planta el *Arenicolites* se presenta como pares de aberturas, aunque en muchos especímenes

presentan dos madrigueras abiertas con idénticos tamaños, un gran número de especímenes pueden desplegar una sola apertura.

Arenicolites se asocia con sustratos arenosos de baja energía o areniscas de ambientes de marea, y es un común elemento de la icnofacies *Skolithos*.

***Anconichnus*:** Madrigueras meándricas e irregulares con carencia de núcleo, y un halo pálido de limo grueso, en sección transversal las madrigueras son elípticas a sub-circulares, y en perfil longitudinal tienen forma de “U” con una distribución esporádica. La bioturbación extensiva crea una textura moteada que oscurece muchas trazas. En núcleo el *Anconichnus* comúnmente tienen una apariencia de delgadas, gruesas y oscuras manchas de tamaño de las cabeza de un alfiler (sección transversal) o oscuras líneas en forma de “U” (sección longitudinal), las cuales pueden ser discontinuas y rodeadas por un pálido alo de limo.

El *Anconichnus* es un elemento común de la icnofacies *Cruziana*, y frecuentemente se encuentra como colonias oportunistas de depósitos de arenas de tormenta.

***Chondrites*:** Es un complejo sistema de horadación en forma de raíces, de ramas regulares que forman túneles de alimentación de diámetro uniforme, que nunca se entrelazan ni se interpenetran ni se cortan entre sí (figura 5.1). Representan un complejo de estrategia de depósito y alimentación. En núcleos los *Chondrites* aparecen comúnmente como un arreglo de puntos delgados elípticos, donde la traza vertical que atraviesa el núcleo trunca a los numerosos túneles enramados. En algunos casos se encuentran expuestas secciones longitudinales a través de túneles individuales y porciones rotas de las ramas.

Representan túneles producidos por depósitos de alimentación de sinpicúlidos. Sin embargo algunos *Chondrites* penetran muy profundo dentro del sustrato. Los *Chondrites* son un elemento común de la icnofacies *Cruziana*. Ésta representa un complejo de conductas de alimentación y por lo tanto está comúnmente asociado con condiciones completamente marinas. La asociación monoespecífica de *Chondrites* ha sido interpretada como indicativa de zonas bajas en oxígeno.

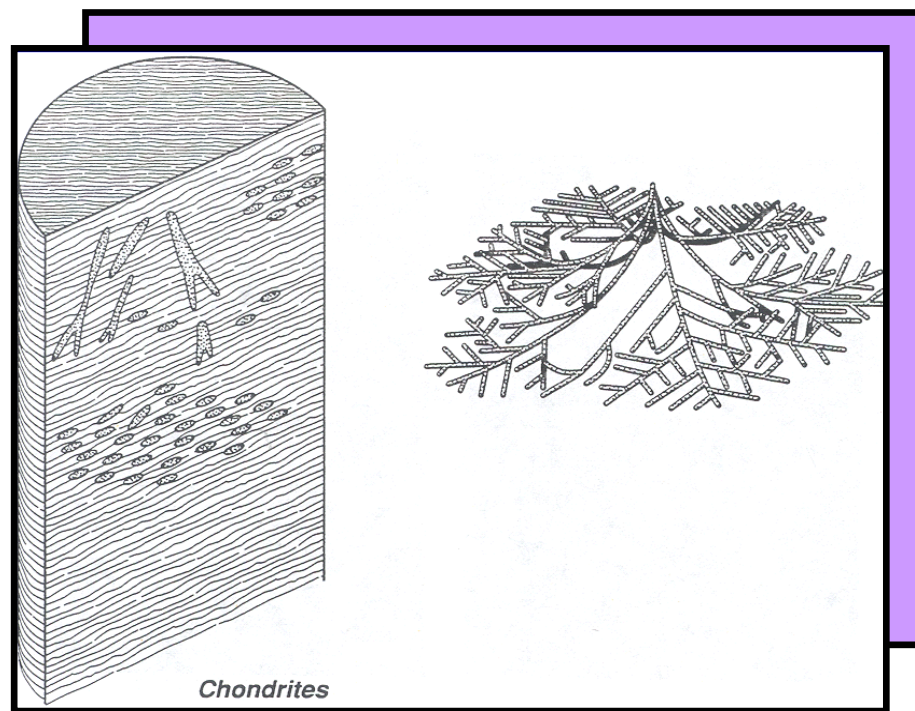


Figura 5.1. Chondrites. PEMBERTON & FREY (1983)

***Ophiomorpha*:** la cual se encuentra generalmente en areniscas de grano fino, de mal a moderadamente escogidas, y consiste en madrigueras alineadas distintivamente con sedimento aglutinado peloidal, excavadas habitualmente en sustratos arenosos inestables. Está comúnmente asociada a la icnofacies *Skolithos* y puede ser encontrada en cantidades prolíferas en

ambientes de ante playa marina MARQUEZ (2002), lo que nos indica condiciones de alta energía (figura 5.2).

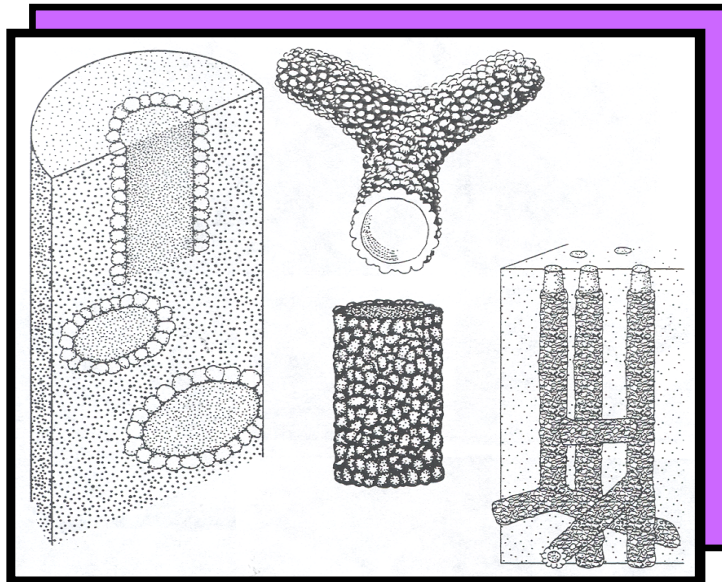


Figura 5.2. *Ophiomorpha*. PEMBERTON & FREY (1983).

***Palaeophycus*:** Consiste de madrigueras cilíndricas, que pueden ser horizontales o inclinadas, alineadas distintivamente y sin forma de enramado, en las cuales el relleno sedimentario es de la misma litología y textura que el estrato huésped. La cobertura de las paredes puede ser suave, estriada longitudinalmente o como anillos transversales (figura 5.3). Las madrigueras son de vivienda, producidas por poliquetos predadores.

Palaeophycus está asociada con la ichnofacies *Skolithos*, tanto en ambientes de anteplaya de baja energía, como en los de anteplaya de alta energía. También puede ser encontrado en arenas de tormentas episódicas y en asociaciones de aguas salobres.

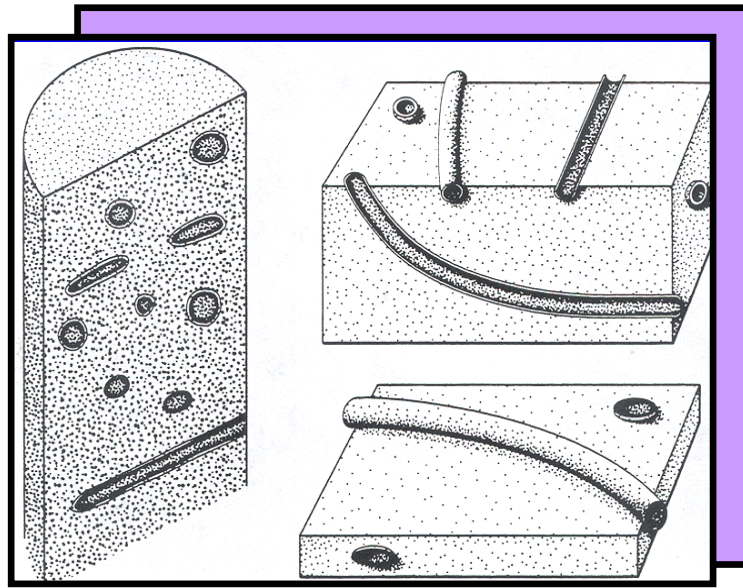


Figura 5.3 *Palaeophycus*. PEMBERTON & FREY (1983).

***Planolites*:** Son madrigueras ligeramente tortuosas, sin ningún tipo de alineación, las cuales son circulares o elípticas en sección transversal. El relleno de estas madrigueras difiere en litología de la roca huésped. Los *planolites* se encuentran en ambientes que van desde marino somero a nerítico interno (figura 5.4).

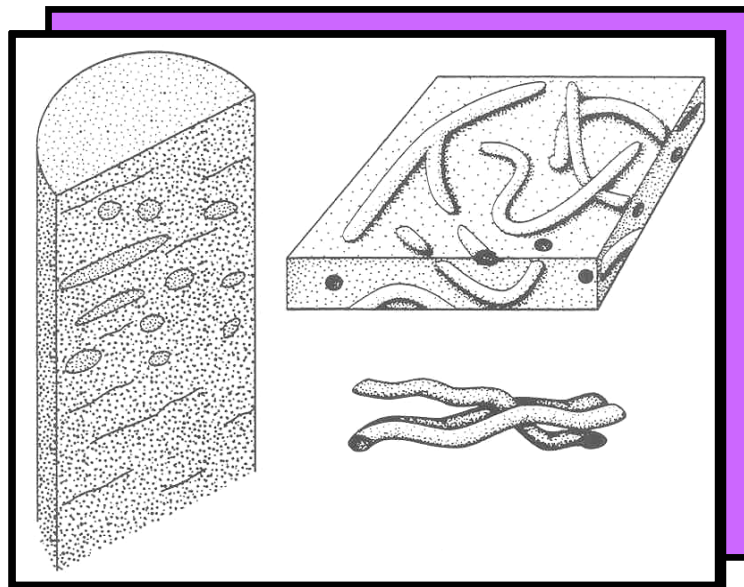


Figura 5.4. *Planolites*, madrigueras tortuosas sin ningún tipo de alineación. PEMBERTON AND FREY (1983).

Thalassinoides, son sistemas de madrigueras relativamente grandes, que consisten de paredes lisas, esencialmente cilíndricas. Las ramas tienen forma de “Y” o “T” y se alargan en los puntos de bifurcación. Las dimensiones de las madrigueras pueden variar mucho dentro de un sistema dado y las secciones transversales tienen forma de media luna o elíptica (figura 5.5). Aunque la mayoría de los sistemas son horizontales otros pueden presentarse ligeramente inclinados. Si los rellenos de las madrigueras son carentes de estructura a laminados paralelamente o gradados representan una sedimentación pasiva (inducida por gravedad) mientras que, si son en forma de meniscos o laminados como “chevron” representan un relleno activo por parte del constructor de la traza.

El *Thalassinoides* es considerado generalmente como una madriguera de vivienda y/o alimentación de un decápodo crustáceo (camarón *thalasínido*). Se encuentra asociado con la ichnofacies *Cruziana* en ambientes de anteplaya baja a costa afuera. También se encuentran en baja diversidad en asociaciones de aguas salobres.

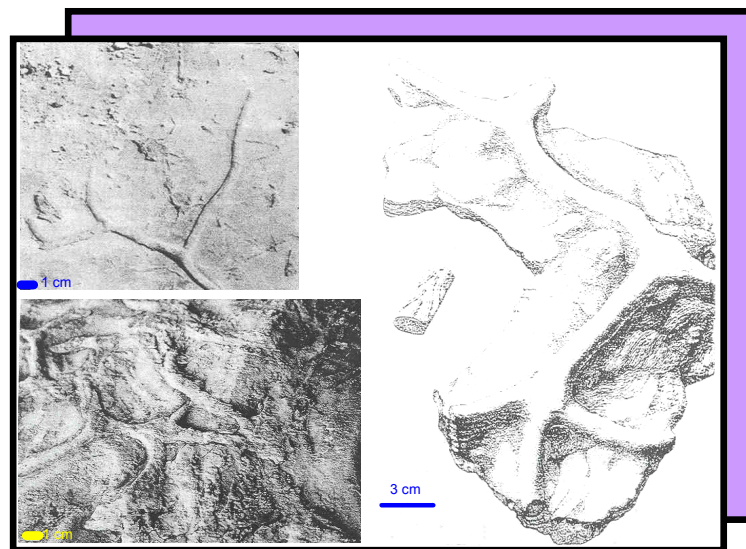


Figura 5.5. *Thalassinoides*. Tomado de MÁRQUEZ (2002).

***Teichichnus*:** Se observan muy a menudo trazas alargadas de sección más o menos rectangular y con relleno arenoso, aisladas dentro de términos más finos y predominantemente lutíticos. Se interpretan como surcos de excavación, originalmente abiertos y producidos por artrópodos sobre un substrato relativamente firme.

***Terebilina*:** Son madrigueras sub-cilíndricas, verticales, fuerte a ligeramente curvas, con sección transversal circular a elíptica. La alineación es muy distinta, oscilando en espesor desde 1,5 mm a 5 mm y está compuesta por carbonato de calcio o por granos de arena, lo cual la hace más resistente a la meteorización que la matriz que la rodea e incluso que el relleno de la propia madriguera. Éste material de relleno es de la misma composición que la roca huésped. En núcleo, los especímenes generalmente parecen ser horizontales debido a la curvatura del tubo (figura 5.6).

La *Terebilina* puede ser interpretada como una madriguera de vivienda de un poliqueto que se alimenta por suspensión. Es común encontrarla asociada en la parte distal de la icnofacies *Cruziana*, que caracteriza a los ambientes marinos de costa afuera.

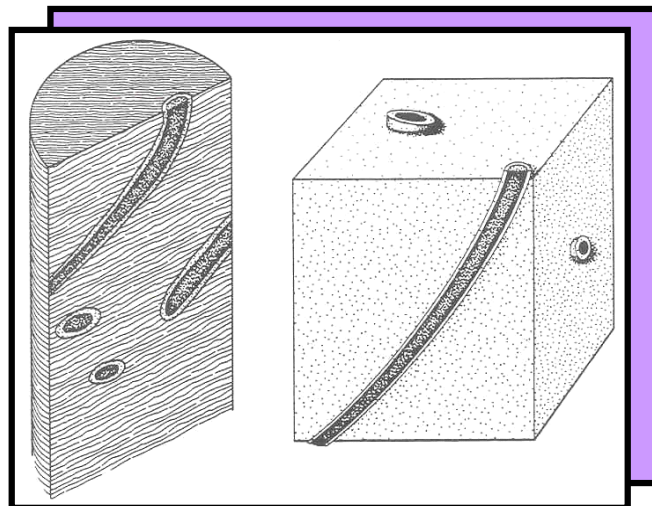


Figura 5.6. *Terebilina*. PEMBERTON & FREY (1983).

5.1.2.- Icnofacies

Las que serán descritas a continuación fueron identificadas dentro del contexto sedimentológico en base a las descripciones de núcleos utilizando a Pemberton, Van Wagoner & Grant (1990).

Icnofacies *Skolithos*: La icnofacies *Skolithos* es indicativa de altos niveles de oleaje o energía y típicamente es desarrollada en substratos ligeramente lodosos a limpios y bien escogidos. El incremento de energía aumenta el retrabajo, así obligatoriamente se preservan las estructuras sedimentarias físicas. Tales condiciones comúnmente ocurren en la anteplaya y playa, pero similares condiciones también ocurren en deltas de marea y abanicos submarinos (figura 5.7). Debido a las relaciones fundamentales entre la agitación del agua, transporte de sedimentos y distribución de los animales, las trazas fósiles encontradas son de organismos que se alimentan por suspensión. En La figura 5.8 se pueden observar las trazas fósiles características de esta icnofacies.

La icnofacies *Skolithos* esta caracterizada por:

- ❖ Madrigueras predominantemente verticales, cilíndricas o en forma de “U”.
- ❖ Pocas estructuras horizontales.
- ❖ Pocas estructuras generadas por organismos móviles.
- ❖ Baja diversidad, aunque existen formas individuales que pueden ser muy abundantes.
- ❖ Generalmente las madrigueras de vivienda son construidas por organismos que se alimentan por suspensión o por carnívoros pasivos.
- ❖ Las trazas vertebradas se encuentran en los sitios intermareales de baja energía.

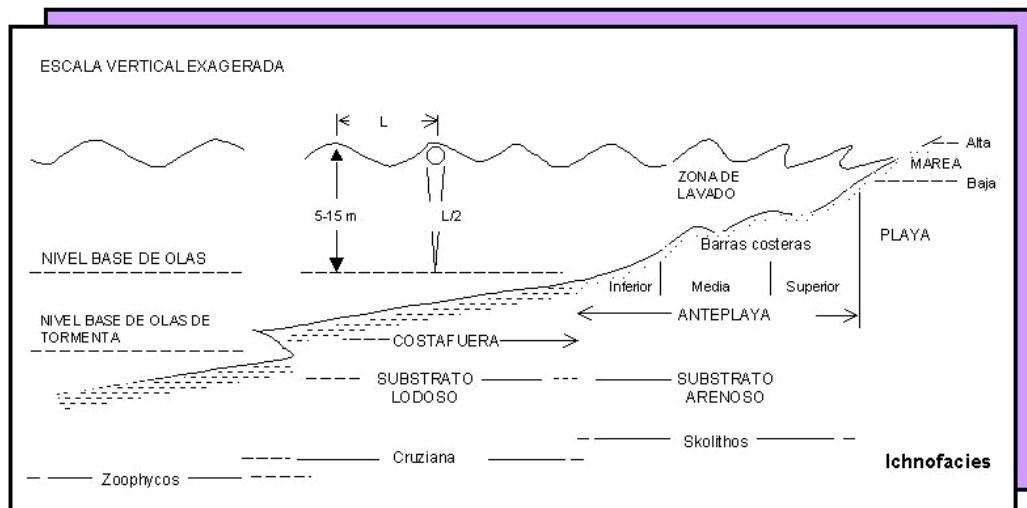


Figura 5.7. Perfil de línea de costa a marino somero, localizando áreas de playa, antepuerto y costa afuera, así como el nivel base de las olas y las ocurrencias aproximadas para diferentes icnofacies. El nivel base de las olas yace a profundidades entre 5 m y 15 m. Modificado de WALKER Y PLINT (1992) en MÁRQUEZ (2002).

Icnofacies Cruziana: Está caracterizada por sustratos submareales, pobremente soportados y poco consolidados. Las condiciones del medio alcanzan desde moderados niveles de energía en aguas poco profundas por debajo del nivel de las olas pero por arriba del nivel de las olas de tormenta (figura 5.7). Esta icnofacies se encuentra en las zonas litorales y sublitorales de algunos estuarios, bahías, lagunas y llanuras mareales. La tasa de depositación de los sedimentos puede ser insignificante o apreciable, pero normalmente no es rápida.

Con reducidos niveles de energía, el suministro de alimento consiste en componentes tanto en suspensión como depositados, cualquiera de los dos puede dominar localmente, o pueden mezclarse. Por lo cual los organismos incluyen tanto aquellos que se alimentan por suspensión como a los que lo hacen de los depósitos, y también es común encontrar algunos excavadores y carnívoros móviles.

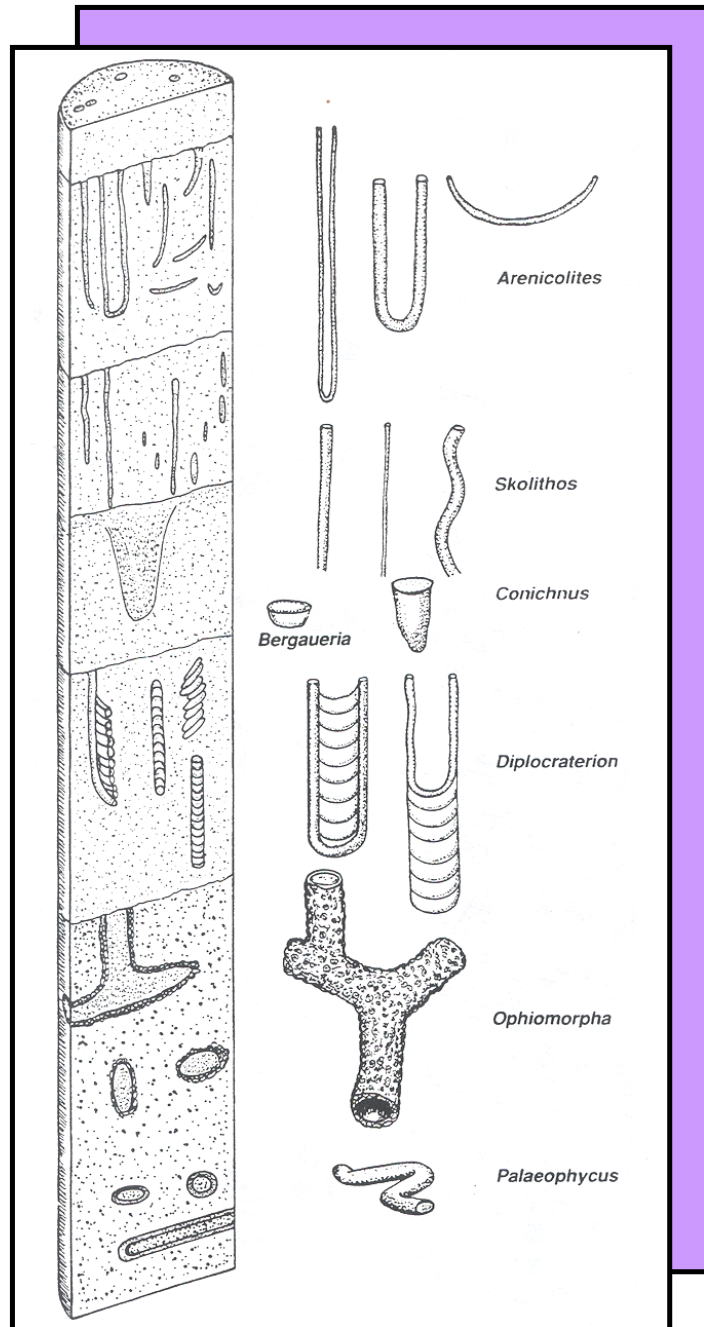


Figura 5.8. Diagrama esquemático de varias secciones de trazas fósiles características de la icnofacies *Skolithos* como se ven en un núcleo cortado. (Modificado de EKDALE *e.t a.l.*, 1984)

La icnofacies *Cruziana* está caracterizada por (figura 5.9):

- ❖ Mezcla de asociaciones de estructuras verticales, inclinadas y horizontales.
- ❖ Presencia de estructuras construidas por organismos vagantes.
- ❖ Generalmente alta diversidad y abundancia.
- ❖ Generalmente estructuras de alimentación construidas por organismos que se alimentan de depósitos.

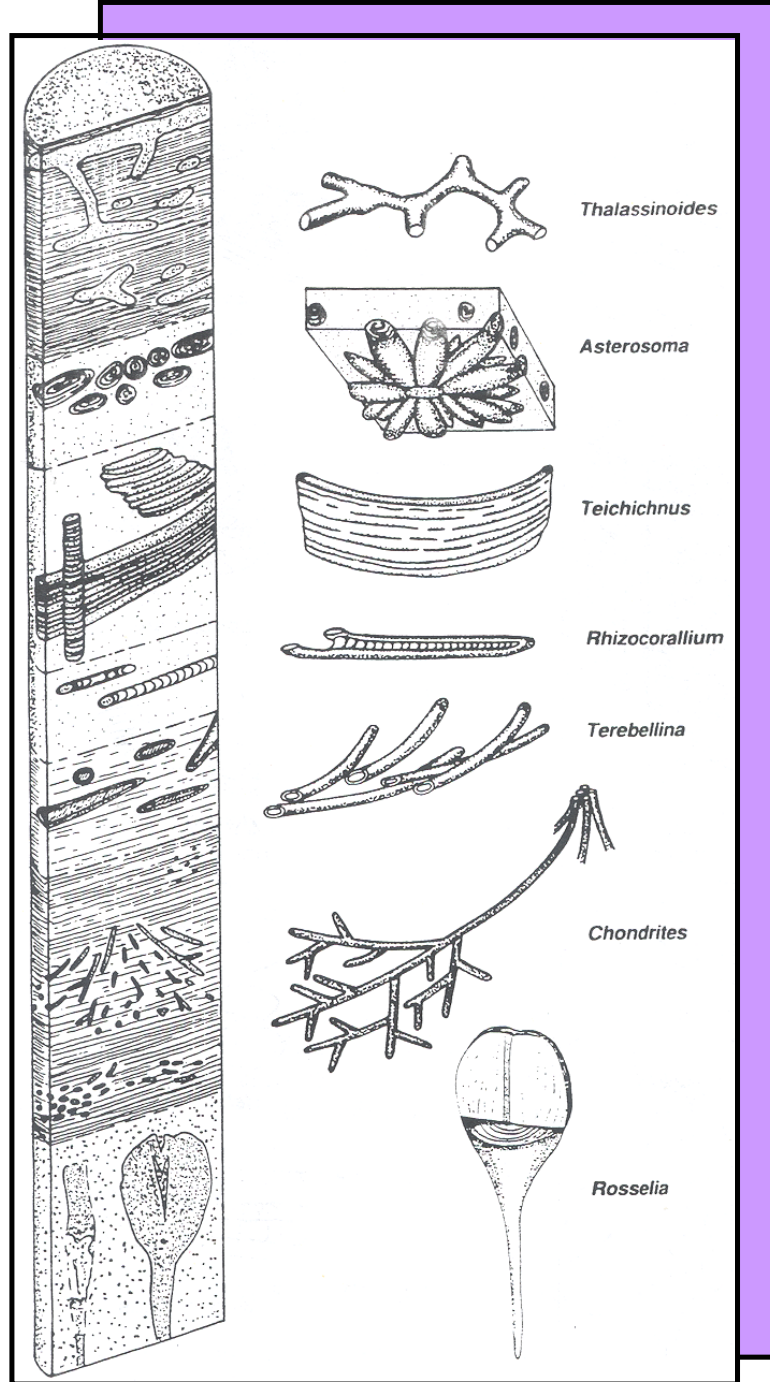


Figura 5.9. Diagrama esquemático de varias secciones de trazas fósiles característica de la icnofacies *Cruziana*, como se ve en el núcleo cortado. Modificado de EKDALE *et al.*, (1984)

5.2. Interpretación paleoambiental.

A continuación se presentará el manejo de las evidencias encontradas en los núcleos de los pozos CC-2A, PB-689 y PB-694, a nivel litológico, bioestratigráfico y de trazas fósiles.

5.2.1. Pozo CC-2A

El pozo CC-2A carece de núcleo en el intervalo de B-6, sin embargo, se dispone de la información de los intervalos superiores como B-3 y B-4 del mismo pozo, tomado del PGP Cabimas-Aurare, en el informe sedimentológico (MÁRQUEZ F. en elaboración). Considerando la uniformidad en el patrón heterolítico que presentan los núcleos en el pozo, se puede hacer una buena aproximación al marco ambiental del miembro informal B-6 de la Formación Misoa en el área de Cabimas (figura 5.10).

Miembro informal B-4: Este intervalo contiene un carácter básicamente heterolítico de aproximadamente 25% areniscas y 75% lutitas, en donde la bioturbación es uno de los aspectos más resaltantes en todos los núcleos.

Litológicamente el núcleo está compuesto por areniscas de grano fino a muy fino, color gris claro, de carácter masivo, localizadamente calcáreas, en ocasiones se puede observar que las areniscas no poseen un patrón de estratificación definido, producto del alto grado de bioturbación. Se observa estratificación ondulada paralela. En general las lutitas son de color gris oscuro, muy compactadas y no calcáreas.

Hacia el tope de la unidad se observaron abundantes clastos de arcillas y delgadas láminas localizadas de restos carbonosos. Entre los icnofósiles que se reconocieron se encuentran *Planolites*, *Terebilina*, *Anconichnus*, *Ophiomorpha*, *Thalassinoides* y *Palaeophycus* (fotos 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4).

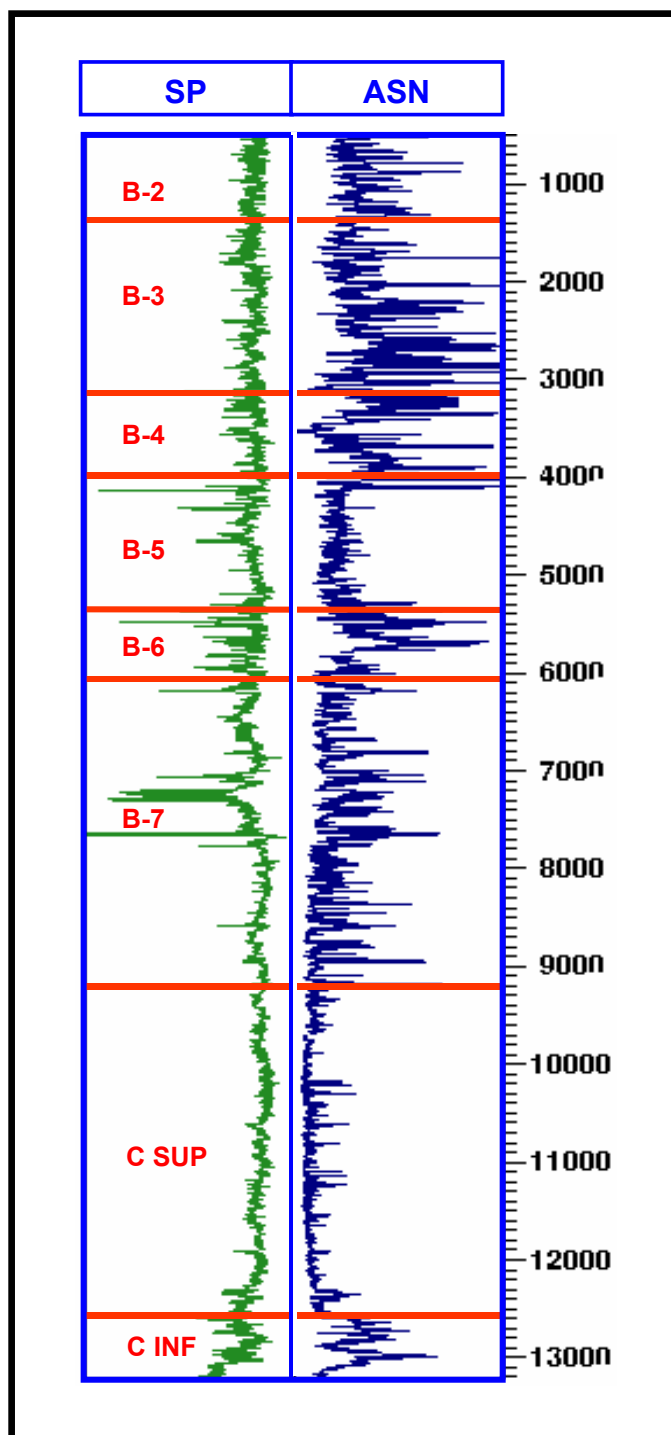


Figura 5.10. División en unidades informales para la Formación Misoa en el pozo CC-2A.



Foto 5.1. Pozo CC-2A, miembro B-4 de la Formación Misosa. Alto grado de bioturbación. Pueden identificarse los icnofósiles *Planolites* y posiblemente *Terebilina* y *Anconichnus* (profundidad 3873'-3874'42").



Foto 5.2. Pozo CC-2A, miembro B-4 de la Formación Misosa. Intervalo que se presenta heterolítico hacia la base y el tope y lutítico en la parte media. Precisamente en el intervalo lutítico se aprecia estratificación planar ondulada. (profundidad 3873'-3874'42").

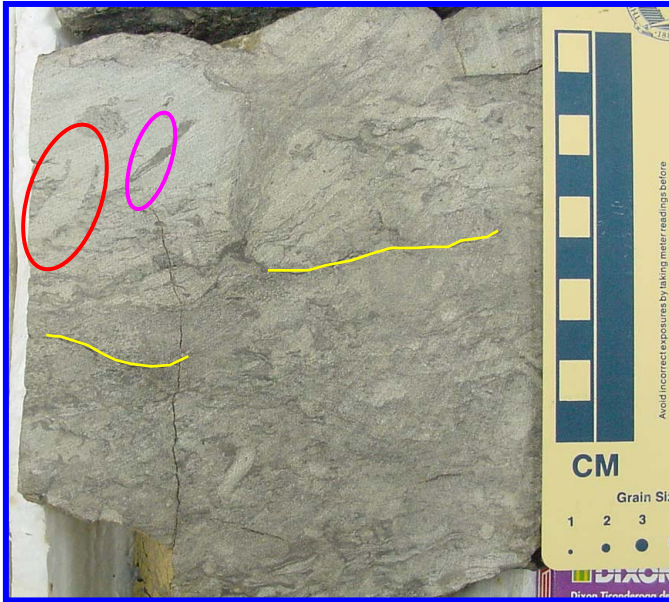


Foto 5.3. Pozo CC-2A, miembro B-4 de la Formación Misoa. Alto grado de bioturbación presente en la arenisca, lo que le imparte un carácter masivo sin estructuras sedimentarias aparentes. Entre los icnofósiles reconocidos más evidentes están *Ophiomorpha* y *Terebilina*. Se observan algunas laminillas de restos carbonosos que parecieran sugerir una laminación ondulada. Profundidad 3726'67"-3727'25"



Foto 5.4. Pozo CC-2A, miembro B-4 de la Formación Misoa. Entre los icnofósiles reconocidos se encuentran *Planolites* y en un primer plano *Thalassinoides*. Profundidad 3693'33"-3694'50".

En general las características observadas parecieran ser indicativas de ambientes transicionales (figura 5.11). La presencia de bioturbaciones del tipo *Terebilina*, *Anconichnus* y *Thalassinoides* está comúnmente asociada con la icnofacies *Cruziana* lo que la ubica en ambientes de influencia costera (figura 5.7), pero a su vez la presencia de bioturbaciones del tipo *Ophiomorpha* y *Palaeophycus* nos indica que estamos en la parte mas proximal de la icnofacies *Cruziana*.

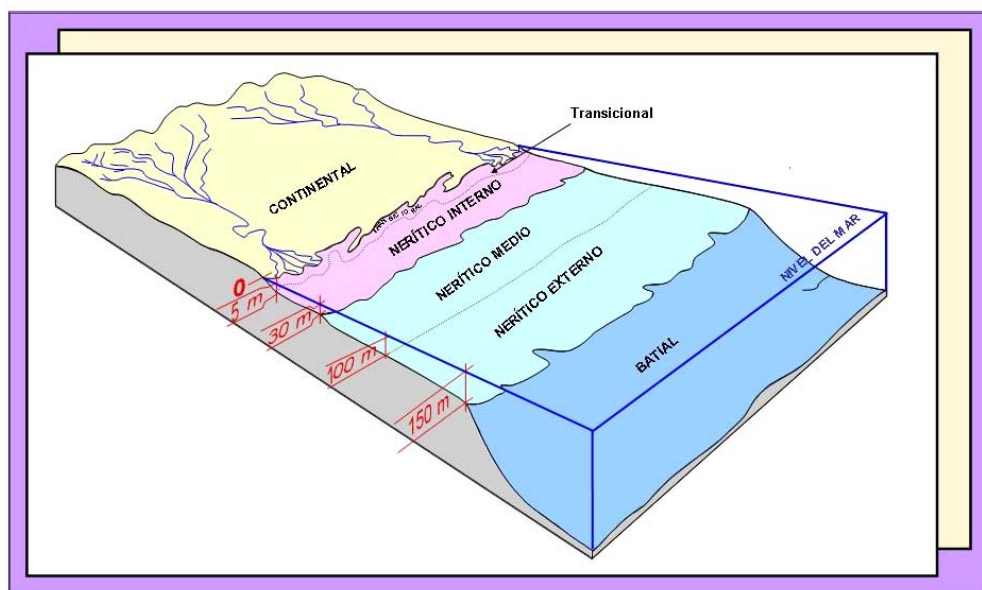


Figura 5.11. Clasificación de paleobatimetría. Modificado por VIPA, 2000 (comunicación personal).

Miembro informal B-3: En este intervalo los núcleos son bastante compactos, compuestos en más de un 50% por facies heterolíticas, las cuales son aproximadamente 80% areniscas y 15% lutitas. Presentan fuerte bioturbación.

El núcleo está compuesto principalmente por areniscas de grano fino a muy fino, color gris claro, de carácter masivo. Se observa generalmente laminación lenticular y ondulada paralela, láminas de restos carbonosos y clastos de arcillas. Las lutitas son de color negro a gris oscuro, muy

compactadas, no calcáreas, expresando en su mayoría una leve componente heterolítica.

Entre los icnofósiles que se reconocieron se encuentran *Chondrites*, *Teichicnus*, *Planolites*, *Terebilina*, *Ophiomorpha* y *Thalassinoides*. Lo que indica que de igual manera que B-4, el miembro informal B-3 pertenece a la parte proximal de la icnofacies *Cruziana*, con influencia costera (figura 5.7 y foto 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8).

5.2.1.1. Evidencias Bioestratigráficas en el pozo CC-2A

El estudio bioestratigráfico del pozo CC-2A fue realizado y proporcionado por HIDALGO, ECHEVERRÍA Y FARÍAS (informe actualmente en elaboración), en donde realizaron el análisis de tres disciplinas: palinología, nanoplacton calcáreo y microforaminíferos.

Se seleccionaron 37 muestras de manera que cubriera el intervalo correspondiente a la Formación Misoa. Desde el punto de vista temporal, la unidad estudiada se define con una edad de Eoceno Medio (Zona N6), por la presencia y abundancia de *Echitricolporites trianguliformis* en los intervalos 790' y 1495'. Entre 1597'-1755', 2828'-2860' y 3872'-3963' se observa una disminución en la abundancia de *Echitricolporites trianguliformis*, lo que es indicativo del paso a la zona N5 también de edad Eoceno Medio. De igual manera en estos intervalos se tiene la presencia de las especies *Retitricolpites magnus* y *Psilaperiporites operculatus* los cuales son muy comunes en esta zona. Infrayacente a estos intervalos se determinó una secuencia de 2027' de espesor estéril en palinomorfos ubicada entre 3963' y 5990' (entre B-3 y B-6).

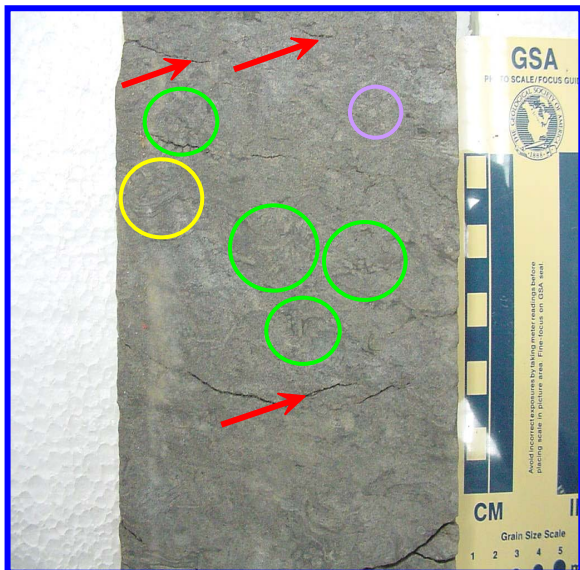


Foto 5.5. Pozo CC-2A, miembro B-3 de la Formación Misoa. Arenisca fuertemente bioturbada, carente de estructuras sedimentarias. Dentro de los icnogéneros identificados destaca *Chondrites* y *Teichichnus*. La presencia de *Planolites* es un poco dudosa. Nótese las láminas de restos carbonosos. Profundidad 3377'-3377'42"

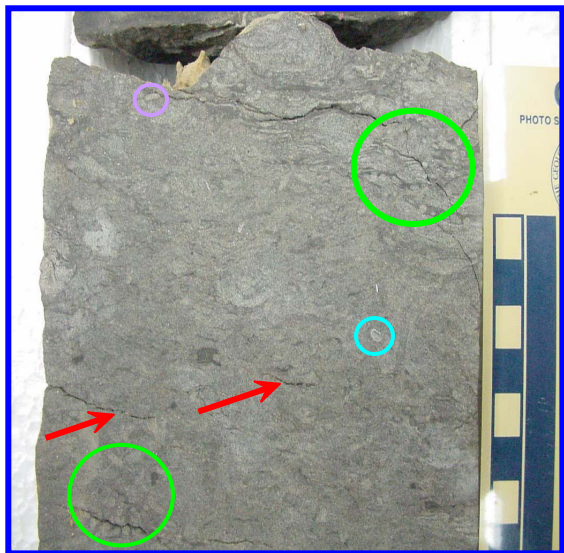


Foto 5.6. Pozo CC-2A, miembro B-3 de la Formación Misoa. Dentro de los icnogéneros identificados destaca *Chondrites* y *Terebilina*. La presencia de *Planolites* es un poco dudosa. Nótese las láminas de restos carbonosos. Profundidad 3377'-3377'42"



Foto 5.7. Pozo CC-2A, miembro B-3 de la Formación Misoa. Se sospecha la presencia del icnofósil *Thalassinoides* por ser su presencia de carácter dudoso. El resto de las bioturbaciones no se pudieron identificar. Profundidad 2872'92"-2873'42".

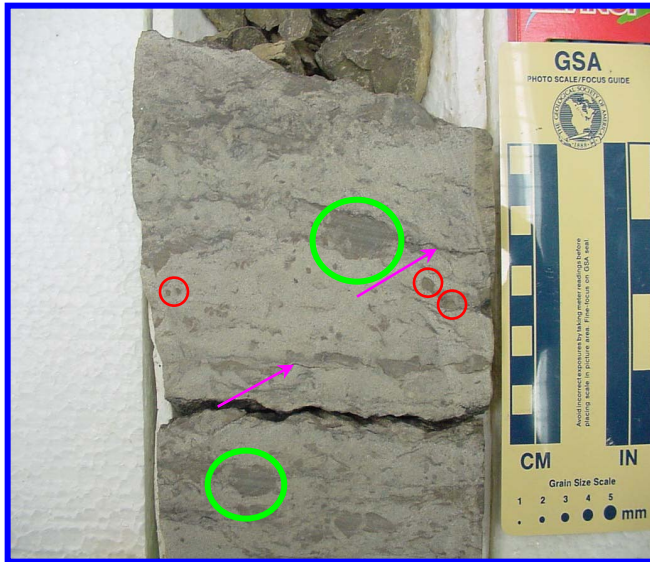


Foto 5.8. Pozo CC-2A, miembro B-3 de la Formación Misoa. Arenisca bioturbada. Se observan los abundantes clastos de arcilla, así como laminaciones localizadas de restos carbonosos. Se logra apreciar sectores con el patrón de estratificación original (heterolítico). Profundidad 2830'83"-2831'50".

Entre 6935'-7010' solo se identificó la especie *Echitricolporites trianguliformis*, indicativa de Eoceno Medio. Por debajo de esta sección (arenas C de la Formación Misoa) se diferenciaron dos niveles, uno de edad Eoceno Medio (9340'-9420') y otro posiblemente de la misma edad Eoceno Medio? (entre 10777'-11148').

Las autoras proponen desde el punto de vista ambiental, que las asociaciones presentes son muy pobres para definir un ambiente o subambiente de manera precisa. Sin embargo, se pudo inferir que el mismo corresponde a condiciones bastante costeras con influencia marina evidente solo entre 1495', 1597', 4008' y 11148'-11166', por la presencia de microplancton y de algunas especies de manglar.

Por otro lado, las muestras analizadas en las disciplinas de nanoplancton calcáreo y microforaminíferos resultaron estériles, sin embargo, para mejorar las tendencias paleoambientales se tomó en cuenta la revisión de algunas muestras hechas por especialistas de Creole Petroleum Corporation, pudiéndose observar la variación entre los ambientes transicional y nerítico interno.

Basándose en lo antes expuesto y en las características texturales de las rocas del intervalo B-6, se estableció que el miembro informal B-6 de la Formación Misoa pertenece a la parte más proximal de la icnofacies *Cruziana* y la parte más distal de la icnofacies *Skolithos*, es decir, en una anteplaya inferior. Las evidencias que se manejaron para llegar a esta conclusión son las siguientes:

En las muestras de canal correspondientes a la unidad informal B-6 se encuentran los mayores porcentaje de arenas (entre 60% y 25% de areniscas) (figura 5.12), a diferencia de lo descrito anteriormente en B-3 y B-4, en donde

se observó un alto contenido de lutitas. Esto nos indica una influencia más costera que las propuestas para B-3 y B-4.

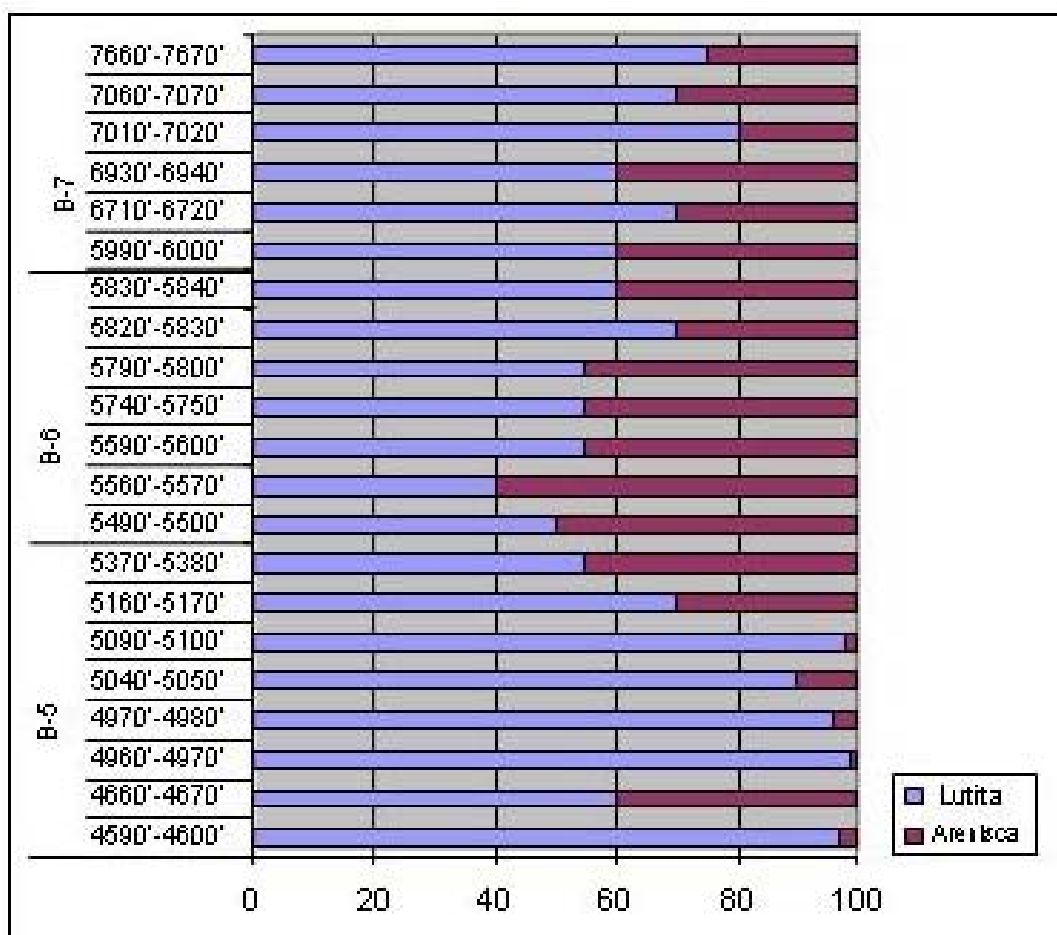


Figura 5.12. Proporción de areniscas/lutitas en los ripios del pozo CC-2A.

En el anexo 3 se puede apreciar las características más resaltantes de los litotipos arenosos encontrados en los ripios de B-6 en el pozo CC-2A, entre las cuales resaltan: areniscas de color gris claro, de grano fino a medio, de bien a medianamente escogidas, con granos redondeados a subredondeados y con muy bajo contenido de arcillas.

Petrográficamente B-6 son areniscas con un alto contenido de cuarzo y cemento de cuarzo, mineralógicamente maduras debido al bajo contenido de

feldespatos y fragmentos dúctiles, y con un bajo contenido de arcillas. Estas características ubican a B-6 en un contexto de alta energía, donde el retrabajo es el proceso imperante producto del alto nivel de energía, permitiendo que actualmente se presenten las arenas más limpias que las anteriormente descritas (B-3 y B-4), subredondeadas a redondeadas y con buen escogimiento.

5.2.2. Pozo PB-694

A continuación se propondrá una interpretación paleoambiental para la unidad informal B-6 de la Formación Misoa, basada principalmente en la asociación de trazas fósiles (icnofacies) y características litológicas, observadas en el núcleo del pozo PB-694 en el área de Punta Benitez.

El núcleo en general presentó un carácter heterolítico con areniscas de grano fino a medio, de color gris y medianamente escogidas (foto 5.11). Entre las estructuras sedimentarias observadas se encontraron estratificación flaser, lenticular y cruzada, también se observaron delgados niveles de materia orgánica y clastos de arcilla (foto 5.9 y 5.10), de igual manera se encontró un alto grado de bioturbación. (foto 5.12).



Foto 5.9. Pozo PB-694, prof. 6046'.
Estratificación flaser.



Foto 5.10. Areniscas del pozo PB-694
Prof. 6046'.



Foto 5.11. Pozo PB- 694, prof. 5900'. Carácter heterolítico del núcleo. Foto5.12.Pozo PB-694, prof. 5903'. Alto grado de bioturbación.

Entre las trazas fósiles encontradas en el núcleo se encuentran *Planolites*, *Skolithos* y *Ophiomorpha*, los que nos indica que estamos bajo la icnofacies *Skolithos*, es decir, a lo largo de una anteplaya inferior y media (figura 5.7).

5.2.3. Pozo PB-689

Seguidamente se presentará una interpretación paleoaambiental correspondiente al nivel estratigráfico B-6 de la Formación Misoa, basada en la asociación de trazas fósiles y características litológicas observadas en el núcleo del pozo PB-689 en el área de Punta Benitez.

El núcleo generalmente presenta un carácter heterolítico, sin embargo, se observa un dominio de areniscas sobre lutitas. Las areniscas de color gris o marrón raramente blanca, de grano fino y ocasionalmente medio, bien consolidadas y escogidas; en parte micáceas y con laminaciones muy finas de

carbón (foto 5.13). La estratificación dominante es flaser y cruzada de bajo ángulo y laminaciones paralelas. La porosidad visual es baja, aunque ocasionalmente se observa impregnación de hidrocarburo. Las lutitas son de color gris oscuro a negro, ocasionalmente con estratificación lenticular en delgados lentes de areniscas de grano fino y limolitas, se observa un alto contenido de materia orgánica (foto 5.14).



Foto 5.13. Areniscas del pozo PB-689.
Profundidad 5901'5"

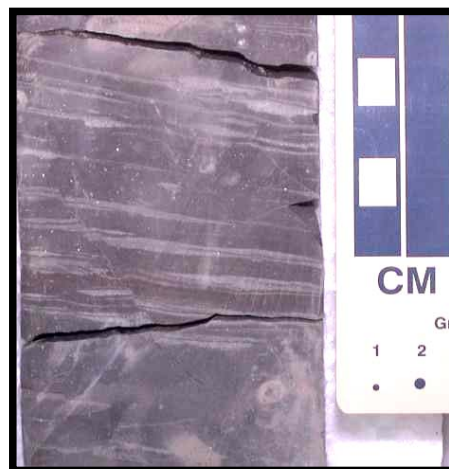


Foto 5.14. Pozo PB-689, prof. 6139'6".
Estratificación lenticular.

Entre las trazas fósiles encontradas, se observó la presencia de *Ophiomorpha*, *Skolithos* y *Arenicolites* (comúnmente asociado a la icnofacies *Skolithos*), por otro lado también se encontró *Chondrites* (comúnmente asociado a la icnofacies *Cruziana*), lo cual nos indica junto con las evidencia litológicas que estas rocas fueron depositadas en la parte proximal de la icnofacies *Cruziana* y en la parte distal de la icnofacies *Skolithos*, lo que sugiere la zona entre costafuera y una anteplaya inferior a media (figura 5.7).

5.3. Discusión de resultados.

Debido a lo antes expuesto en la interpretación paleoambiental de los pozos CC-2A, PB-689 y PB-694, se propone un cambio lateral de facies entre

los pozos del área de Cabimas (CC-2A) y Punta Benitez (PB-689 y PB-694), con base en las asociaciones de trazas fósiles encontradas y la litología.

Básicamente entre los pozos en estudio del área de Cabimas y Punta Benitez se observó una variación de icnofósiles en función del nivel de energía, al encontrarse por un lado estructuras cilíndricas y verticales y por otro una mezcla de estructuras cilíndricas, verticales y horizontales, lo que sugiere un régimen energético relativamente alto a moderado indicativo de las icnofacies *Skolithos* y *Cruziana* (figura 5.13).

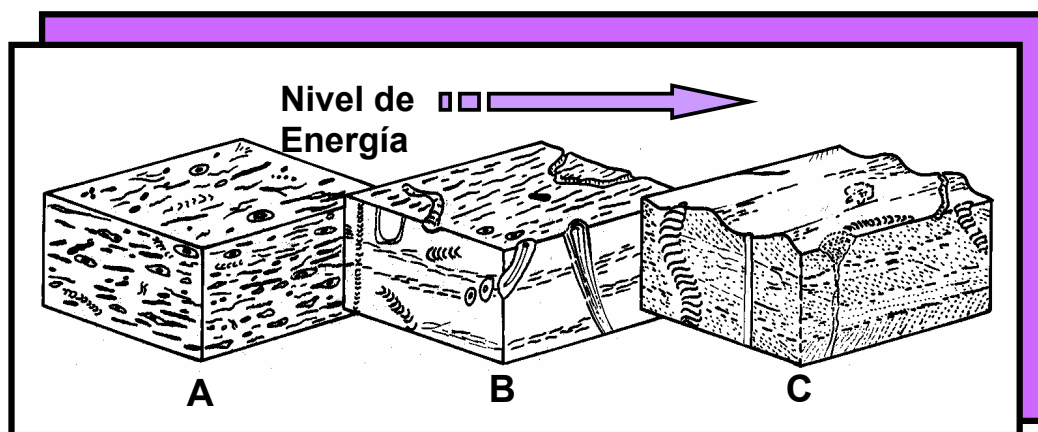


Figura 5.13. Variación en el grado de bioturbación y en el carácter de las estructuras orgánicas con respecto al nivel de energía. Tomado de HOWARD (1966)

En el anexo 7 (elaborado y proporcionado por BERTORELLI Y MÁRQUEZ, actualmente en elaboración) se puede apreciar que en la zona central es donde se encuentran la mayor cantidad de arenas (Punta Benitez) y hacia el oeste (Cabimas) la secuencia se hace más arcillosa. Debido a que no existe ninguna estructura entre estas dos áreas, se propone un cambio lateral de facies de este (Cabimas) a oeste (Punta Benitez), desde condiciones ambientales que alcanzan moderados niveles de energía en aguas poco profundas hasta condiciones de altos niveles de oleaje o energía.

Las zonas arenosas en los núcleos están representadas por areniscas de grano medio a muy fino, moderadamente escogidas, con presencia de materia orgánica y algunas arcillas, con granos redondeados y subserdondados las cuales están asociadas a facies de anteplaya. Mientras que las secuencias heterolíticas identificadas presentan estratificación flaser, planar y lenticular, indican condiciones más costafuera enmarcada batimétricamente dentro del ambiente nerítico interno (5m – 30m) (figura 5.11).

6.- Evolución de la porosidad y calidad de la roca yacimiento

La interpretación de la calidad de las rocas como yacimientos de las diferentes areniscas estudiadas está basada, principalmente sobre las porosidades estimadas visualmente en las secciones finas.

Las porosidades en los pozos ubicados en el área de Punta Benitez (PB-689 y PB-694) son mayores (valores entre 13.% y traza) y son arenas impregnadas de hidrocarburo, mientras que la porosidad en el pozo CC-2A es muy baja (entre 1.4% y cantidades trazas).

Los procesos diagenéticos en los tres pozos fueron determinantes para la pérdida, incremento secundario y/o conservación de la porosidad en la secuencia estudiada.

En las unidades estudiadas en los pozos PB-689 y PB-694 el proceso de compactación y la precipitación de sílice fueron las principales causas en la pérdida de la porosidad original de la roca.

No obstante, a mayor profundidad y temperatura, los fragmentos de roca y micas forman una pseudomatriz, los cuales junto con los feldespatos se alteran y se disuelven originando porosidades secundarias y microporosidades, las cuales son ocluidas por la precipitación temprana de caolinita, quedando pocos poros secundarios los cuales fueron ocupados por el paso del hidrocarburo. Posteriormente, en una diagénesis intermedia, continúan los procesos de alteración y disolución que inciden en la generación de caolinita, dolomita y dolomita ferrosa; las cuales destruyen la porosidad secundaria.

Con respecto a la unidad estudiada en el pozo CC-2A, el factor que mayor incidencia tuvo en la pérdida de porosidad original fue la cementación de

cuarzo, lo cual se traducen en la pérdida casi total de la porosidad original, hasta cantidades menores a 1.4%.

Sin embargo, a mayor profundidad y temperatura, se produce la alteración y disolución de fragmentos de rocas, feldespatos y matriz, formando porosidad secundaria. En una diagénesis intermedia los procesos de alteración y disolución continúan permitiendo la precipitación en orden de abundancia de, illita, illita/esmectita y dolomita, con lo cual se destruyen las porosidades secundarias existentes, restando calidad como roca yacimiento.

A partir de lo expuesto anteriormente, se infiere que las condiciones sedimentológicas y diagenéticas no eran las más adecuadas para el momento de la llegada del hidrocarburo en el pozo CC-2A (los pozos del área de Punta Benitez son productores de hidrocarburo actualmente), ya que, los procesos de disolución y fracturamiento que involucran el aumento de la calidad como roca yacimiento por la generación de porosidades secundarias, se presentan escasos e incipientes a lo largo de toda la unidad estudiada (en el pozo CC-2A), probablemente también hubo un problema de sincronización entre el momento de la migración del hidrocarburo y el entrapamiento del mismo.

7.- Modelaje Diagenético

Para la realización del modelaje diagenético se utilizó el *software Touchstone 2.0* de **Geocosm**, que simula matemáticamente la compactación y cementación de cuarzo, con lo cual predice las porosidades de las areniscas cuarzosas y areniscas ricas en granos dúctiles, siguiendo la metodología utilizada por LANDER & WALDERHAUG (1999).

Los datos que se incluyen para la simulación del modelaje son: esfuerzo efectivo, historia termal, composición y textura de las areniscas a estudiar.

El *software* toma en cuenta las areniscas ricas en cuarzo porque son las más comunes en reservorios de areniscas. Además la porosidad de este tipo de roca está controlada básicamente por la compactación y la cementación de cuarzo.

La compactación en las areniscas produce la reducción del volumen de roca, la cual ocurre en respuesta a 4 procesos: reordenamiento de granos, deformación plástica, disolución y deformación dúctil (WILSON & STANTON, 1994).

La compactación puede ser evaluada en areniscas con medidas directas: tipos de contactos, empaquetamiento y volumen intergranular (*IGV*). Para este caso *Touchstone* utiliza sólo como medida directa de compactación el *IGV*, ya que los tipos de contacto y empaquetamiento son medidas muy subjetivas. Sin embargo, el *software* le adiciona al *IGV* la porosidad depositacional que contienen las areniscas, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$IGV = IGV_f + (\phi_0 + m_0 - IGV_f)e^{-\beta \sigma_{es}}$$

Donde:

IGV: suma del espacio de poro, cemento y material de matriz (fracción de volumen de roca).

IGV_f: configuración estable del empaquetamiento (fracción de volumen de roca).

ϕ_0 : porosidad depositacional.

m_0 : porción inicial de matriz (fracción de volumen).

β : tasa exponencial de disminución de *IGV* con el esfuerzo efectivo (MPa⁻¹).

σ_{es} : máximo esfuerzo efectivo (MPa).

En líneas generales, el *IGV* esta definido como matriz, espacio de poro intergranular y cemento. El marco de referencia para el volumen utilizado por el modelo es 1-cm³, definido por la descompactación de los sedimentos en la superficie depositacional. Este marco de referencia es comprobable a escala de sección fina y de núcleo. El volumen de compactación de las rocas se obtiene de la siguiente expresión:

$$v = v_0 \left[\frac{1 - \phi'_0 - m'_0}{1 - IGV} \right]$$

Donde:

v : volumen de roca compactada (cm³).

v_0 : volumen de roca depositacional (cm³).

IGV': suma del espacio de poro intergranular, cemento y matriz en el paso del tiempo (fracción de volumen de roca).

ϕ'_0 : porosidad depositacional (fracción de volumen de roca).

m'_0 : matriz depositacional (fracción de volumen de roca).

En cuanto a la cementación de cuarzo, *Touchstone* asume que el cuarzo se precipita bajo las siguientes condiciones:

- ❖ Áreas donde los granos de cuarzo no se encuentren en contacto con zonas ricas en arcillas, tales como arcillas detríticas o autigénicas.
- ❖ Disolución o precipitación de sílice y cualquier otra fuente posible de Si producto de efectos diagenéticos.
- ❖ Que exista el área de superficie disponible para la precipitación de cuarzo, la cual es función del tamaño, fracción y extensión del recubrimiento de los granos de cuarzo, la cual depende también de la porosidad total de la roca.

Los elementos esenciales para el modelo de cementación de cuarzo son: la cinética de la precipitación de cuarzo y el área de superficie disponible para que crezca el cemento. La tasa de cementación de cuarzo por unidad de superficie de área se muestra en la siguiente ecuación en función de temperatura:

$$r = a 10^{(bT)}$$

Donde:

r: tasa de cementación de cuarzo por unidad de superficie de área en función de la temperatura.

a: tasa de cementación de cuarzo constante (mol/cm²s).

b: tasa de precipitación de cuarzo exponencial constante (°C⁻¹).

T: temperatura (°C).

La superficie de área disponible para precipitar sílice juega un papel muy importante en la tasa neta de cementación de cuarzo. La superficie de área de cuarzo en el modelo es función de la abundancia de granos de cuarzo

detríticos de los sedimentos iniciales, en promedio el tamaño de los granos de cuarzo y la porosidad a través del tiempo, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$A = (1 - \text{coat}) \left\{ \frac{6qgf_0v_0}{D (\phi / \phi_0)} \right\}$$

Donde:

A: superficie de área de cuarzo (cm²).

qgf₀: abundancia de granos de cuarzo en los sedimentos iniciales (fracción de volumen de roca)

V₀: volumen de roca inicial (cm³)

D: promedio del diámetro de los granos de cuarzo iniciales (cm)

φ: porosidad en el paso del tiempo (fracción de volumen de roca)

φ₀: porosidad inicial (fracción de volumen de roca)

coat: superficie de área de cuarzo que es cubierta por sílice en continuidad óptica, y sobre la cual aun se puede adicionar mas cemento de cuarzo (fracción de volumen de roca)

El modelo asume que los envoltorios en la estructura de los granos reduce la superficie de área proporcionalmente disponible para la cementación de cuarzo.

Los recubrimientos de granos están asociados con materiales detríticos, arcillas, óxidos e hidróxidos de Fe, fases autigénicas como carbonatos o cuarzo microcristalino (figura 7.1).

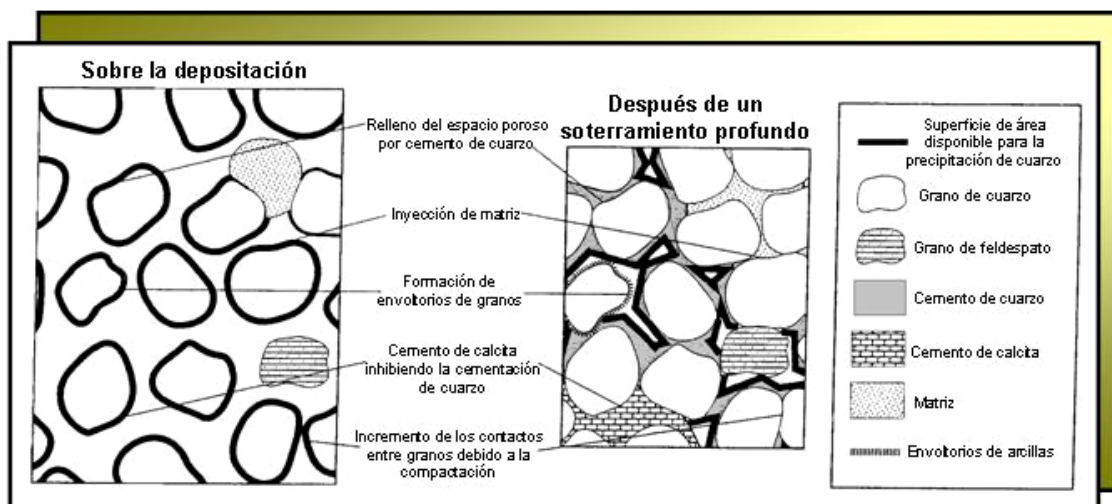


Figura 7.1. Causas de la reducción de la superficie de área durante la diagénesis de areniscas. Tomado de LANDER & WALDERHAUG (1999).

El modelo permite la aparición de otros cementos definidos a través del tiempo que no sea cuarzo. Cuando no hay precipitación de cuarzo, esto puede extender la compactación, donde los valores de *IGV* aumentan, es decir, la compactación puede terminar cuando comienza la cementación de cuarzo, ya que ésta fortalece la estructura de las areniscas. El modelo también permite que la precipitación de cuarzo varíe a través del tiempo.

Las porosidades de las areniscas de hoy en día es función de la textura, características composicionales e historia de soterramiento. Para estos cálculos *Touchstone* usa estos valores de los efectos de la historia termal, desarrollo de la presión de fluidos, tamaño de grano y recubrimientos en los granos para determinar la calidad de las rocas para almacenar hidrocarburos.

El programa considera dos tipos de porosidades: porosidad intergranular y secundaria. Tomando en cuenta que la porosidad intergranular es toda aquella porosidad que se encuentre entre los granos, bien sea por disolución de la matriz, porosidad primaria intergranular, etc. La porosidad secundaria es aquella que se encuentra dentro de los granos, generada por fractura o disolución.

Para obtener los datos termales necesarios para realizar el modelaje diagenético, se contó con el *software* de modelaje geoquímico *Basinmod 1D*, entre algunos de los datos de entrada se tiene: unidades estratigráficas involucradas (incluyendo espesores actuales y erosionados), edades, litología y los parámetros geoquímicos.

La historia termal de una cuenca detalla las temperaturas a las que han sido sometidos los sedimentos durante el transcurso de su soterramiento (VIVAS, 2000). Para poder calcular o estimar la evolución termal de una zona, es de vital importancia contar con indicadores paleotermales o contar con el flujo de calor actual, el cual es calculado a partir de las temperaturas de fondo de pozo (BHT) disponibles.

El flujo de calor representa la cantidad de calor por unidad de tiempo y de superficie que atraviesa la interfase sólida de la tierra. La historia termal se puede representar por una curva de variación del flujo de calor en el tiempo, en la cual se representa el efecto termal producto de una sucesión de eventos geológicos en una determinada región (VIVAS, *op cit.*). Para tal fin, es necesario disponer de la temperatura actual de superficie, la paleotemperatura de superficie y las temperaturas de fondo de pozo (BHT) (HERNÁNDEZ, 2001).

El resultado del comportamiento de los principales parámetros a medir en el modelaje diagenético, como lo son cemento de cuarzo, *IGV* y porosidad intergranular, proviene de la calibración de la petrografía con la historia termal del pozo. En líneas generales para realizar el modelaje diagenético la figura 7.2 muestra un flujograma resumen con la metodología a seguir

Es importante resaltar, que los resultados que se obtienen con *Touchstone* se originan de un equilibrio entre el cemento de cuarzo, porosidad, matriz y el recubrimiento de los granos (*grain coating*), medidos petrográficamente, con la historia termal del pozo, es decir, los datos petrográficos introducidos en el programa son muy sensibles a cambios

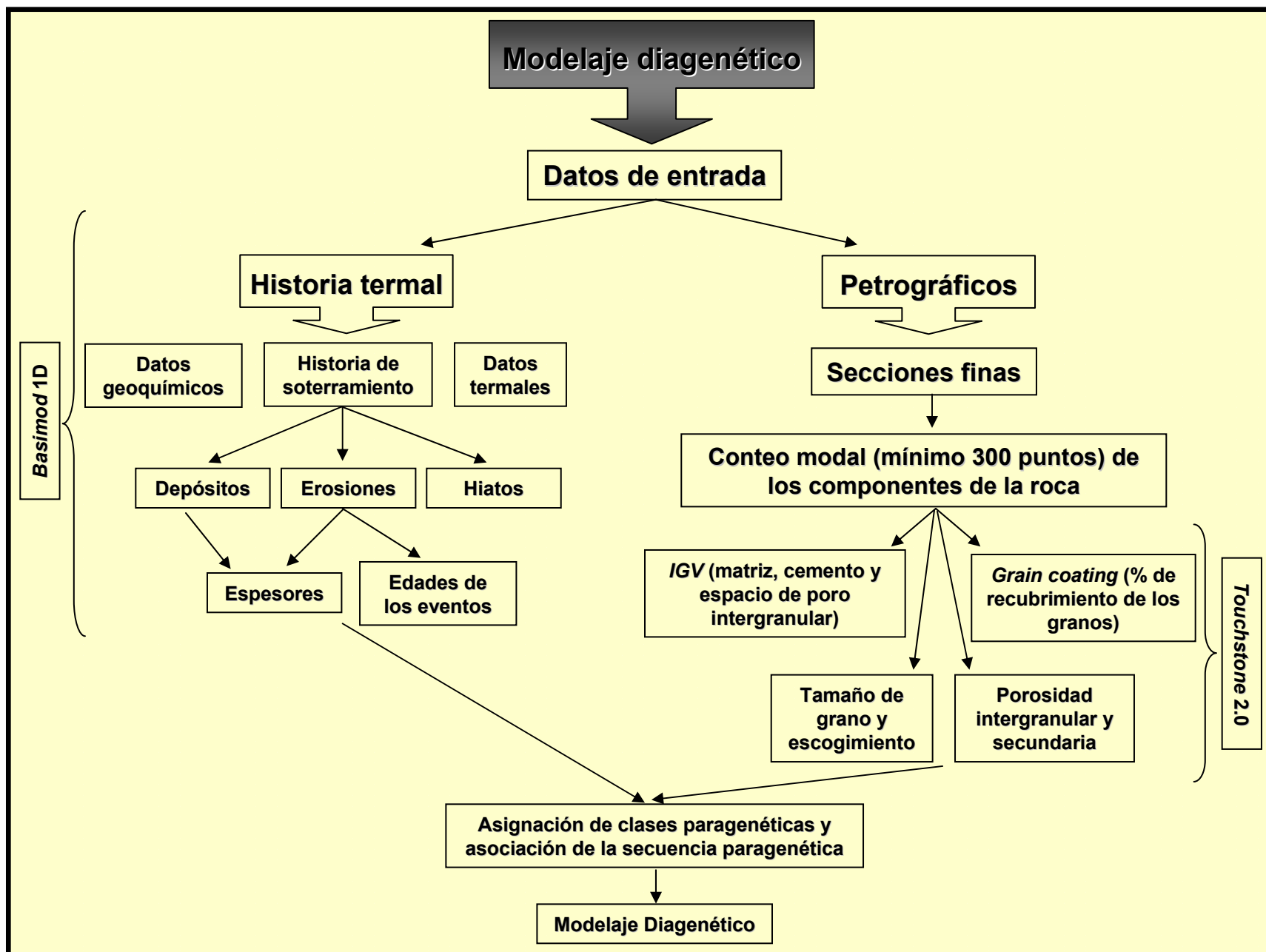


Figura 7.2. Diagrama de flujo con la metodología a seguir para realizar el modelaje diagenético.

subjetivos, y de no obtener el grado de calibración necesario, es recomendable realizar la petrografía nuevamente y revisar detalladamente la historia termal del pozo.

Para realizar el modelaje en la base del miembro informal B-6-X de la Formación Misoa se utilizaron como clases paragenéticas las etapas de profundización y levantamiento que experimentó la secuencia en estudio con sus respectivas profundidades (figura 7.3). De igual manera se asociaron los eventos diagenéticos principales con las etapas de soterramiento y levantamiento definidas anteriormente (figuras 7.4 y 7.5).

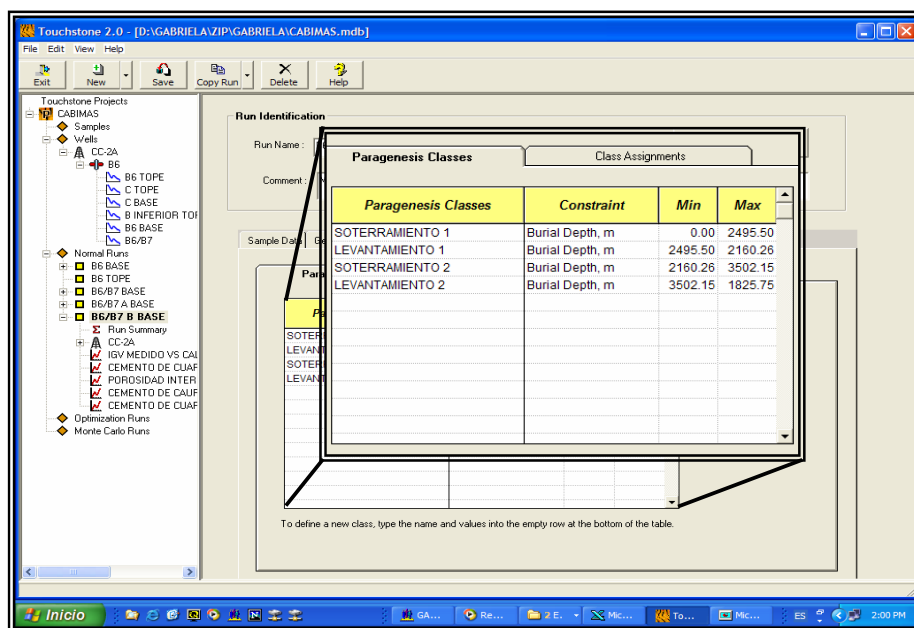


Figura 7.3. Asignación de clases paragenéticas para las corridas en *Touchstone*.
Obtenido del *Touchstone* 2.0.

Las etapas de profundización y levantamiento que experimentó la secuencia (miembro informal B-6 de la Formación Misoa) en estudio fueron obtenidas mediante el *software* de modelaje geoquímico *Basinmod* 1D, para lo cual, todos los parámetros necesarios para realizar las historias termales (figura 7.2) fueron proporcionados por el equipo de trabajo del Proyecto Generador de Prospectos (PGP) Cabimas (Informe actualmente en elaboración)

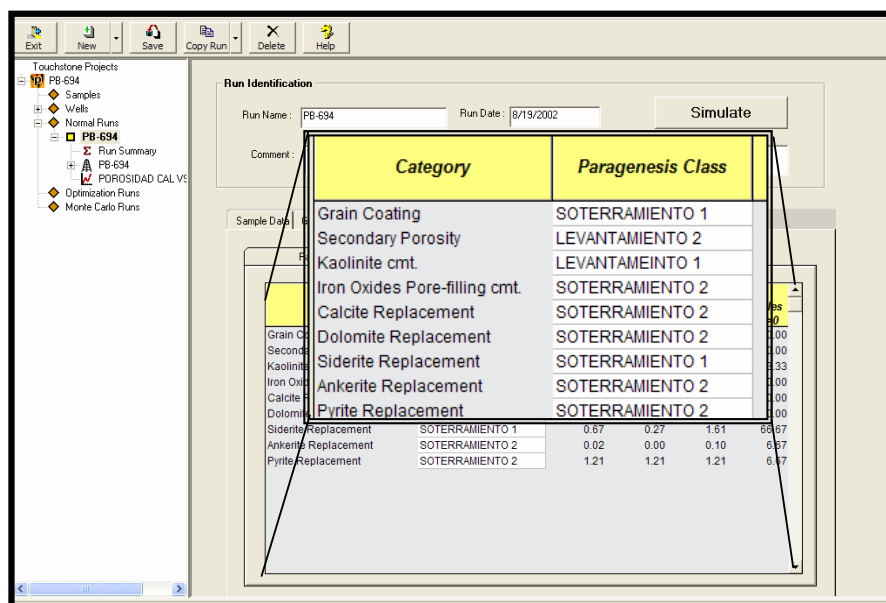


Figura 7.4. Secuencia paragenética asociada a períodos de soterramiento y levantamiento. Obtenido del Touchstone 2.0.

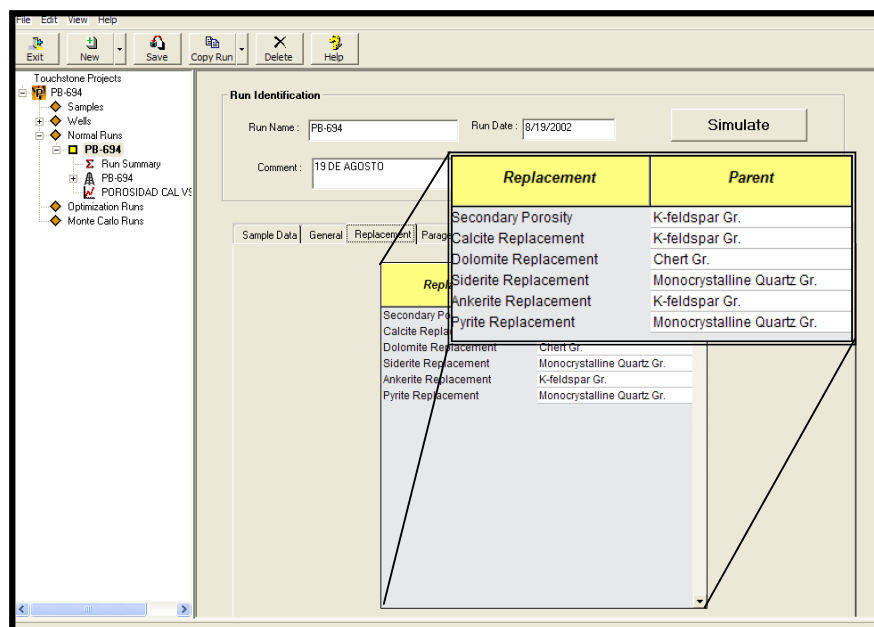


Figura 7.5. Fracción detrítica asociados a sus principales reemplazos. Obtenido del Touchstone 2.0.

En el caso del pozo CC-2A en el área de Cabimas, la historia de soterramiento refleja un primer período de profundización de la secuencia (denominado soterramiento 1, para efectos del modelaje diagenético), el cual comienza en el Eoceno Medio y culmina en el Eoceno Tardío, posteriormente se inicia un fase de levantamiento (levantamiento 1), que empieza en el

Eoceno Tardío y termina en el Oligoceno Tardío, consecutivamente al levantamiento comienza una etapa de soterramiento que va desde el Oligoceno Tardío al Mioceno Temprano (soterramiento 2), para luego iniciarse un período erosivo o de levantamiento que abarca del Mioceno Temprano a comienzos del Mioceno Tardío (levantamiento 2). Durante el Mioceno Tardío se produjo un período de profundización o soterramiento (soterramiento 3) hasta el Plioceno, en donde a partir de allí se aprecia la erosión hasta el Reciente (levantamiento 3) (figura 7.35).

En el área de Punta Benítez la historia de soterramiento refleja que el miembro informal B-6 de la Formación Misoa comienza a soterrarse en el Eoceno Medio hasta el Eoceno Tardío, lo que se denominó soterramiento 1 para realizar el modelaje diagenético, posteriormente se inicia un período de levantamiento desde el Eoceno Tardío al Oligoceno Tardío, el cual se designó como levantamiento 1. Seguidamente, desde el Oligoceno Tardío hasta el Plioceno se tiene una segunda etapa de profundización o soterramiento (soterramiento 2 para efectos del modelaje diagenético) de la secuencia en estudio, para luego comenzar una etapa erosiva o de levantamiento desde el Plioceno hasta el Reciente (levantamiento 2) (figura 7.6 y 7.20).

En tiempo geológico estos eventos erosivos tienen su origen con la tectónica que afectó el norte de Venezuela (Cuenca de Maracaibo) a partir del Paleoceno - Eoceno, en el caso del levantamiento 1 (Eoceno Medio - Tardío) este periodo erosivo es producto de la formación de la cuenca *foreland* con la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, el levantamiento 2 (Mioceno Temprana - Mioceno Tardío) es producto del levantamiento de la Sierra de Perijá, y por último el levantamiento 3 (Plioceno – Reciente) se genera por levantamiento de las Andes de Mérida (Lugo, 1991).

7.1.- Modelaje diagenético por pozo

7.1.1.- Pozo PB-694

Para realizar el modelaje de B-6 se utilizaron como clases paragenéticas los períodos de soterramiento y levantamiento reflejados en el diagrama de soterramiento para el pozo PB-694 (figura 7.6 y 7.7, tabla 7.1), y se asoció la secuencia paragenética de B-6 con estos períodos de levantamiento y soterramiento definidos (figura 7.8).

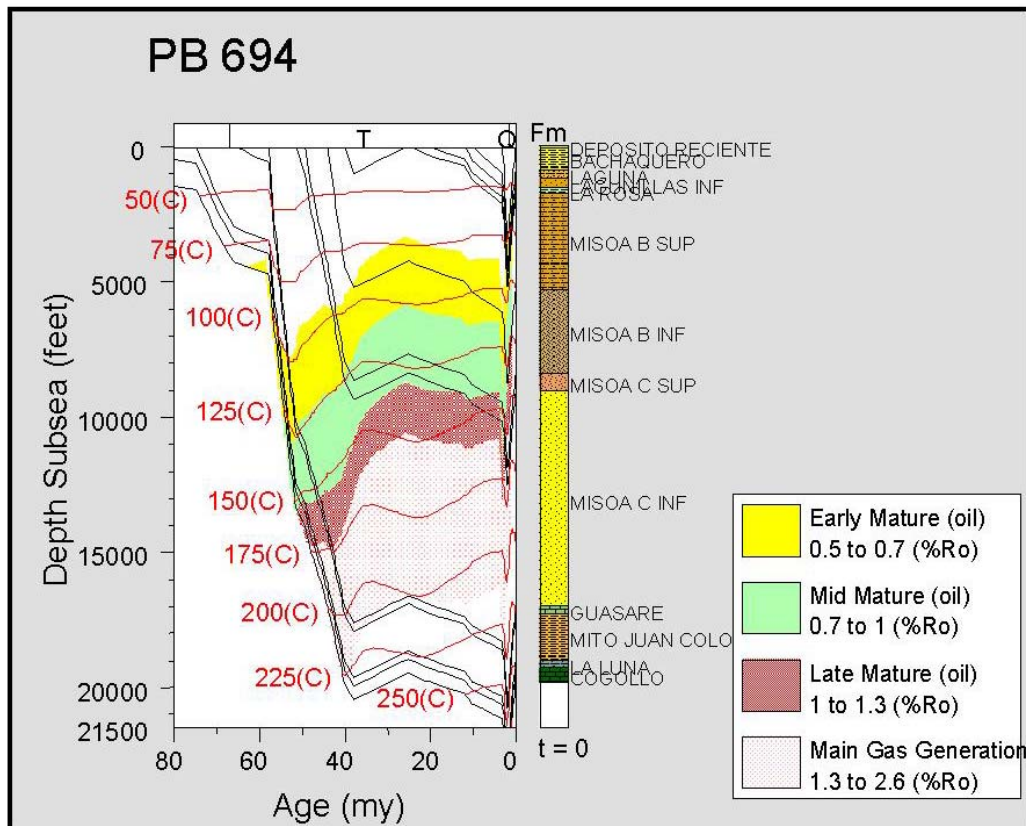


Figura 7.6 Diagrama de soterramiento para el pozo PB-694.
Obtenido del *Basin Mod 1D* (proporcionado por el equipo de trabajo
del PGP Cabimas).

Clases paragen.	Time (Ma)	Temperature (C)	Burial Depth (m)
SOTERRAMIENTO 1	49,5	25,6	0
	49,08	31,22	123,08
	48,65	36,42	241,08
	48,23	41,32	354,78
	47,81	45,95	464,77
	47,38	50,38	571,5
	46,96	54,62	675,37
	46,54	58,7	776,68
	46,12	62,64	875,71
	45,69	66,45	972,67
	45,27	70,15	1067,75
	44,85	73,76	1161,12
	44,42	77,27	1252,92
	44	80,71	1343,28
	43,71	83,47	1427,89
	43,43	86,33	1511,37
	43,14	89,2	1593,81
	42,86	92,05	1675,27
	42,57	94,88	1755,82
	42,29	97,68	1835,5
	42	100,44	1914,37
	41,71	103,18	1992,48
	41,43	105,89	2069,87
	41,14	108,57	2146,57
	40,86	111,22	2222,63
	40,57	113,84	2298,07
	40,29	116,44	2372,93
	40	119,02	2447,24
	39,33	123,05	2513,2
	38,67	126,23	2578,99
	38	129,06	2644,6
LEVANTAMIENTO 1	36	130,66	2597,71
	33,53	128,96	2539,76
	31,36	126,73	2489,02
	29,2	124,31	2438,29
	27,1	121,94	2389,05
	25	119,58	2339,8
Clases paragen.	Time (Ma)	Temperature (C)	Burial Depth (m)
SOTERRAMIENTO 2	23	120,87	2386,72
	21	122,84	2432,95
	20	123,72	2449,04
	18,25	125,55	2476,97
	16,5	127,45	2504,63
	14,25	129,94	2539,8
	12	132,42	2574,57
	11,1	135,6	2646,67
	10,2	138,55	2694,85
	7,8	142,23	2761,27
	5,4	145,03	2827,89
	3	147,67	2894,62
	2,91	147,98	2965,2
	2,82	148,67	3034,65
	2,73	149,66	3103,13
	2,64	150,85	3170,76
	2,55	152,18	3237,66
	2,45	153,61	3303,89
	2,36	155,13	3369,53
	2,27	156,71	3434,63
	2,18	158,34	3499,23
	2,09	160,01	3563,39
	2	161,72	3627,12
LEVANTAMIENTO 2	1,78	164,28	3511,52
	1,58	164,97	3401,52
	1,38	164,27	3296,17
	1,19	162,55	3194,77
	1,01	160,06	3096,75
	0,83	156,97	3001,69
	0,65	153,44	2909,24
	0,49	149,57	2819,1
	0,32	145,44	2731,03
	0,16	141,13	2644,83
	0	136,69	2560,32

Tabla 7.1. Clases paragenéticas definidas a partir de la historia termal del pozo PB-694. Obtenido del *Basin Mod* 1D (proporcionado por el equipo de trabajo del PGP Cabimas)..

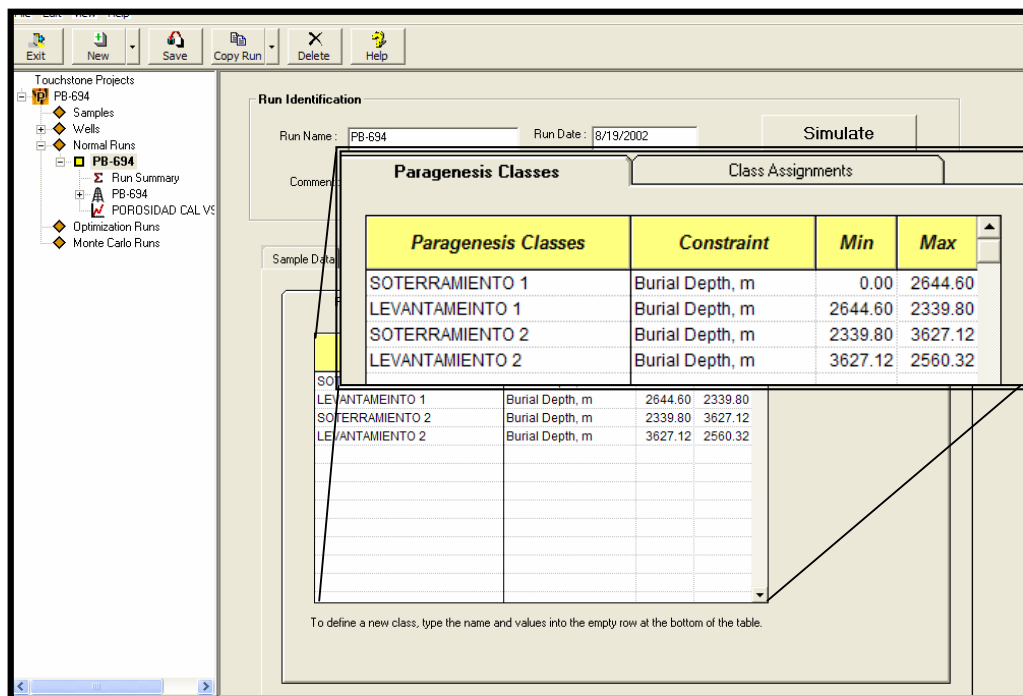


Figura 7.7. Asignación de clase paragenéticas, para la corrida de las muestras del pozo PB-694. Obtenido del Touchstone 2.0.

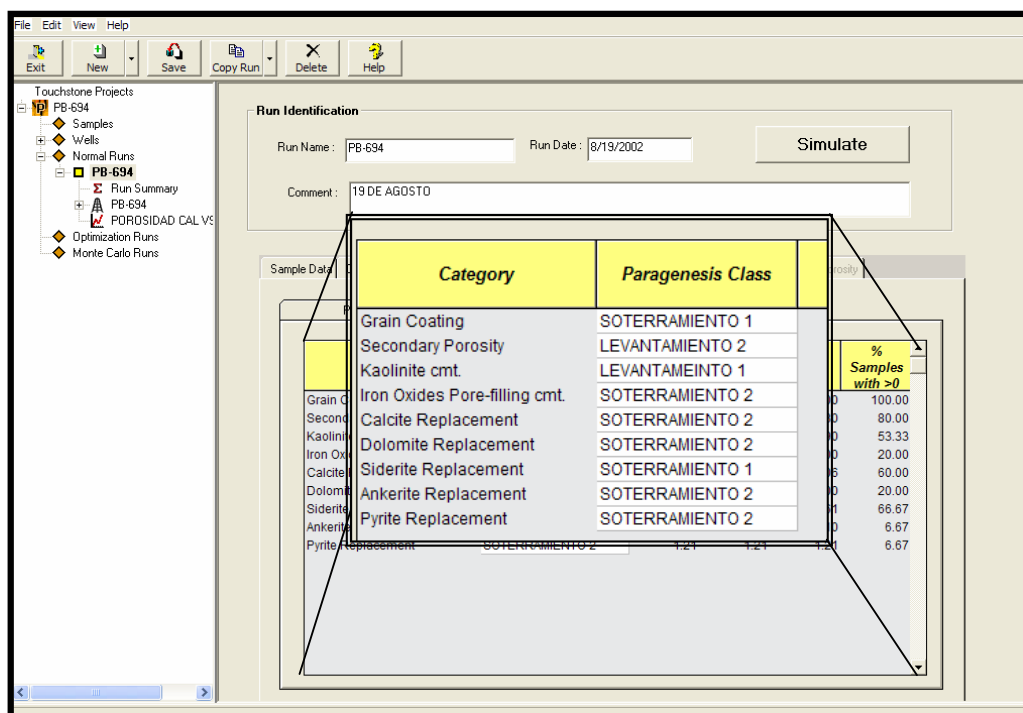


Figura 7.8. Secuencia paragenética asociada a las clases paragenéticas definidas para B-6 en el pozo PB-694. Obtenido del Touchstone 2.0.

Los resultados obtenidos en la ejecución del programa de las muestras para el modelaje diagenético de este pozo, arrojaron un error menor al 4% (figura 7.9), en las figuras 7.10, 7.11 y 7.12 se puede apreciar el grado de calibración entre los valores medidos petrográficamente y los calculados por el software.

Run Results Summary :

Well	Unit	Sample	IGV			Quartz Cement			Intergranular Porosity		
			Mea	Calc	Error	Mea	Calc	Error	Mea	Calc	Error
PB-694	B6	5912'	16.47	17.32	0.85	1.00	0.80	0.20	0.00	1.19	1.19
PB-694	B6	5946'	22.03	26.32	4.29	17.92	20.96	2.94	2.99	4.39	1.40
PB-694	B6	5974'	24.42	24.82	0.11	16.95	19.82	2.37	5.19	2.71	2.49
PB-694	B6	5997'	20.66	21.04	0.37	5.03	2.52	2.41	0.00	2.84	2.84
PB-694	B6	6028'	23.46	25.57	2.11	13.00	11.41	1.59	9.09	12.82	3.73
PB-694	B6	6030'	25.05	21.38	3.67	16.00	14.60	1.40	4.05	1.54	2.51
PB-694	B6	6046'	23.91	22.17	1.74	13.00	9.80	3.20	0.00	1.21	1.21
PB-694	B6	6097'	26.14	25.55	0.59	18.32	19.96	1.64	5.85	3.51	2.24
PB-694	B6	6098'	27.42	23.84	3.58	18.00	17.21	0.79	4.50	1.47	3.03
PB-694	B6	6154'	28.05	24.80	3.25	18.00	14.63	3.37	3.65	3.48	0.17
PB-694	B6	59778''	25.38	22.49	2.89	13.00	12.31	0.19	3.05	0.00	3.05
PB-694	B6	5995'	20.62	24.17	3.55	13.00	14.02	1.02	4.95	7.60	2.65
PB-694	B6	6019'	25.97	27.68	1.71	20.05	21.38	1.34	3.12	3.55	0.44
PB-694	B6	6123'	23.04	24.19	1.09	13.00	15.99	2.99	4.51	2.69	1.82
PB-694	B6	6141'	26.16	23.38	2.78	13.62	10.01	3.61	7.50	8.14	0.64

Figura 7.9. Porcentaje de error estimado por *Touchstone*, para los datos medidos petrográficamente y los calculados por el programa, para las muestras del pozo PB-694. Obtenido del *Touchstone* 2.0.

Debido a que el cemento de cuarzo es el principal responsable de la reducción de la porosidad en el miembro en estudio, se estableció su relación con la paleopropundidad y el tiempo.

En relación con el tiempo, el cemento de cuarzo comienza a formarse hace 39 Ma aproximadamente, aumentando progresivamente hasta hoy en día (figura 7.13). En cuanto a la paleopropundidad a 1700 metros aproximadamente (± 94.88 °C) comienza a precipitar sílice en continuidad óptica, generándose los mayores valores durante el levantamiento 1 y soterramiento 2, abarcando

un rango de temperatura desde 94.88 °C hasta ~140 °C y de profundidad 1700 m hasta ~2800 m (figuras 7.14).

La porosidad intergranular se ve afectada bruscamente por los efectos de la compactación en el primer período de soterramiento, llegando a reducir hasta un 25% de la porosidad intergranular primaria. Mediante el gráfico de la figuras 7.15 y 7.16 se puede interpretar que la porosidad desde 48 Ma hasta 39 Ma (aproximadamente 2500 metros de soterramiento) se reduce un 25% debido a la compactación, y que desde 39 Ma hasta hoy en día se reduce un 12% producido principalmente por la cementación de cuarzo.

La porosidad secundaria comienza a formarse a 2500 metros de profundidad (39 Ma), aunque los mayores valores de porosidad se generan a partir de los 11 Ma hasta hoy en día (figura 7.17 y 7.18).

El *IGV* es una medida directa de la compactación y en la figura 7.19 se puede observar su comportamiento exponencial en respuesta al esfuerzo efectivo. La figura 7.20 representa el *IGV* en función del tiempo, donde se observa una reducción importante del mismo desde la depositación hasta 39 Ma, para luego mantenerse constante, lo que representa el período donde la compactación tuvo sus efectos más relevantes.

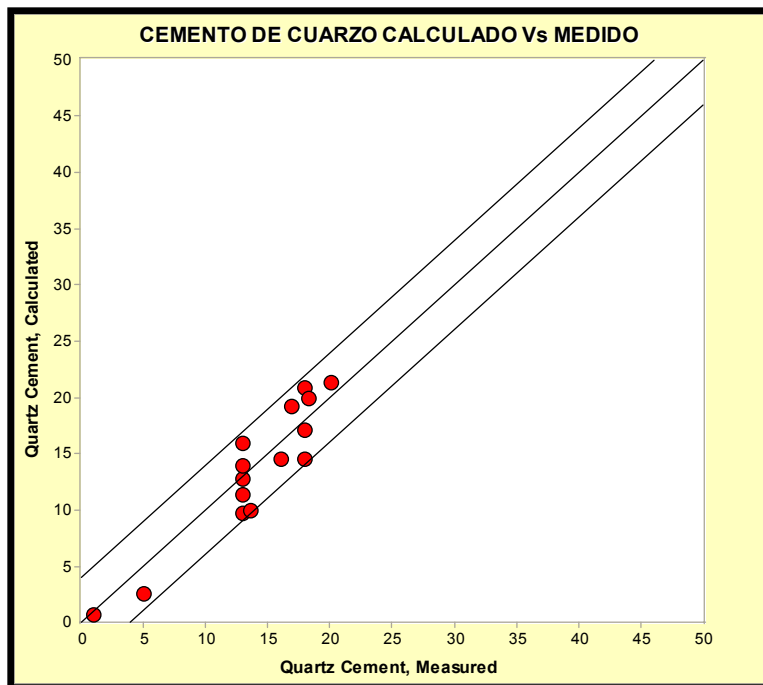


Figura 7.10. Relación entre el cemento de cuarzo calculado Vs medido en el pozo PB-694. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

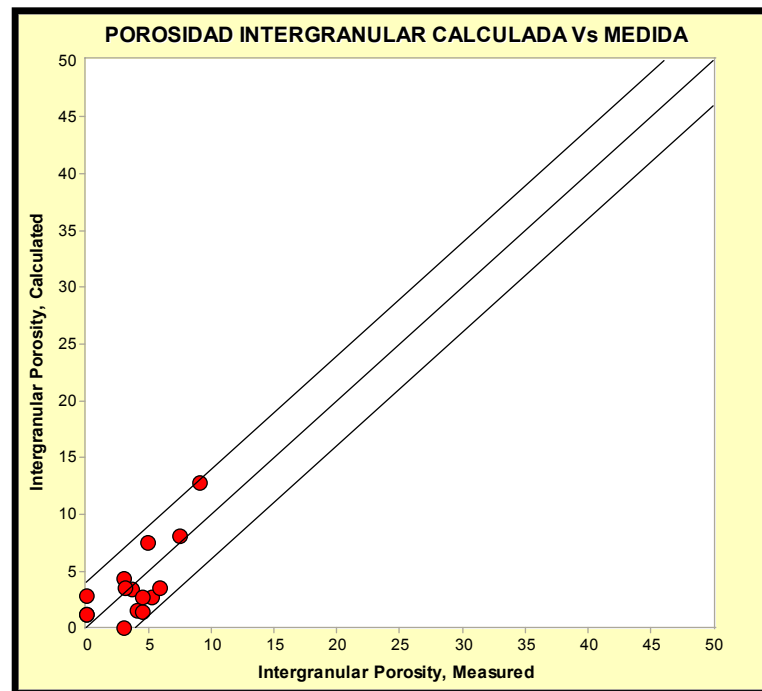


Figura 7.11. Relación entre la porosidad intergranular calculada Vs medida en el pozo PB-694. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

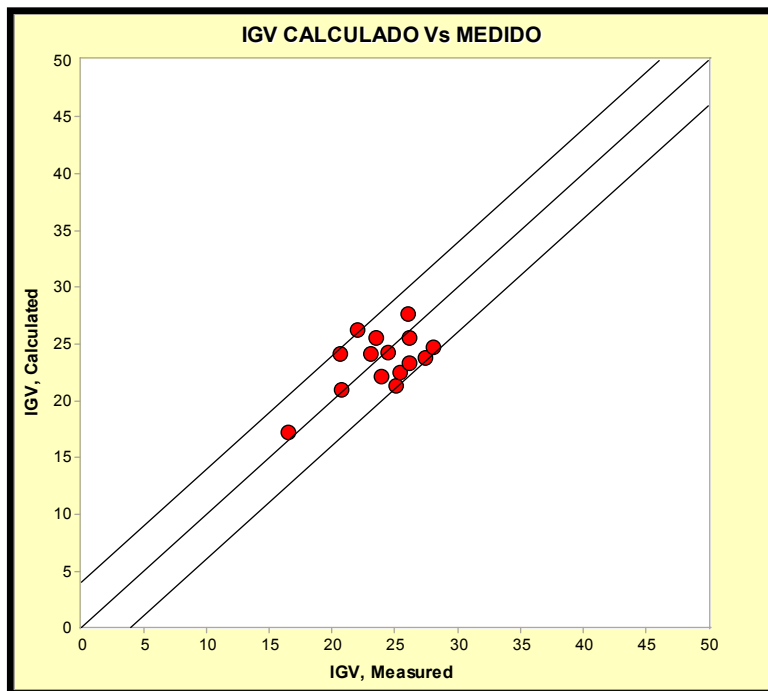


Figura 7.12. Relación entre el IGV calculado Vs IGV medido en el pozo PB-694. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

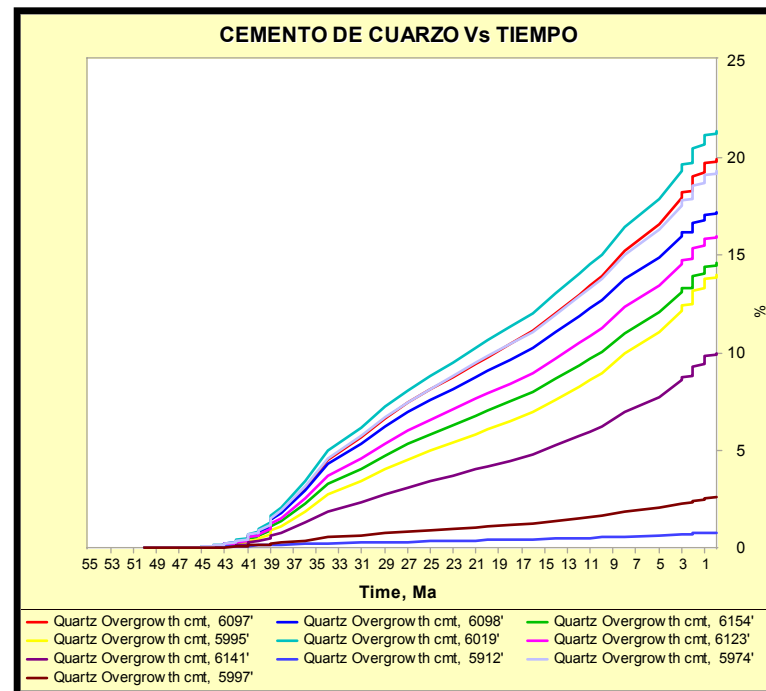


Figura 7.13. Cemento de cuarzo Vs tiempo en el pozo PB-694. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

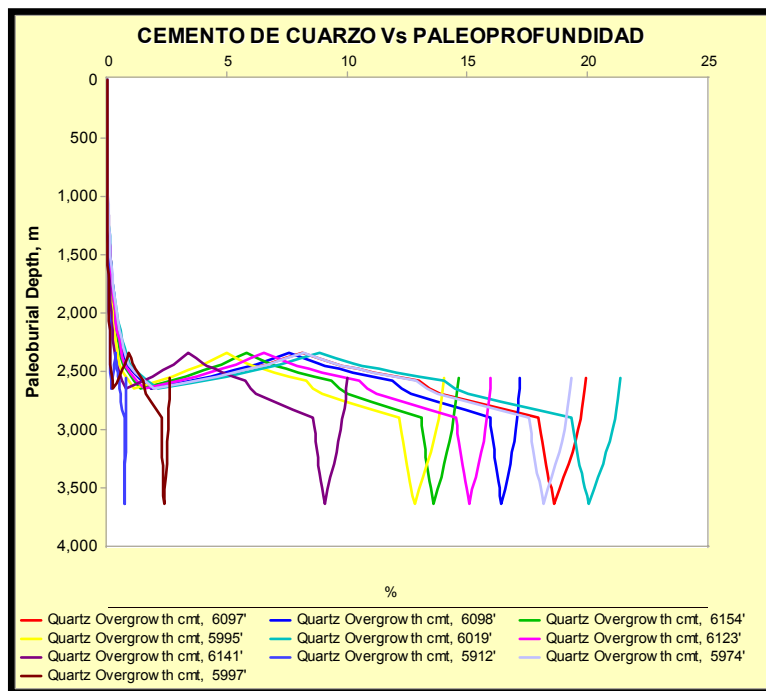


Figura 7.14. Cemento de cuarzo Vs paleoprofundidad para el pozo PB-694. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

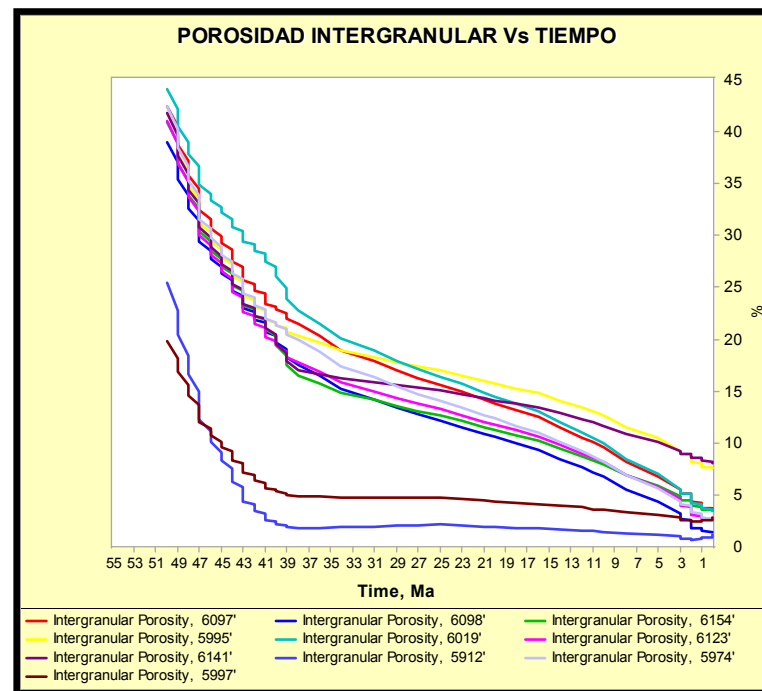


Figura 7.15. Porosidad intergranular Vs tiempo en el pozo PB-694. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

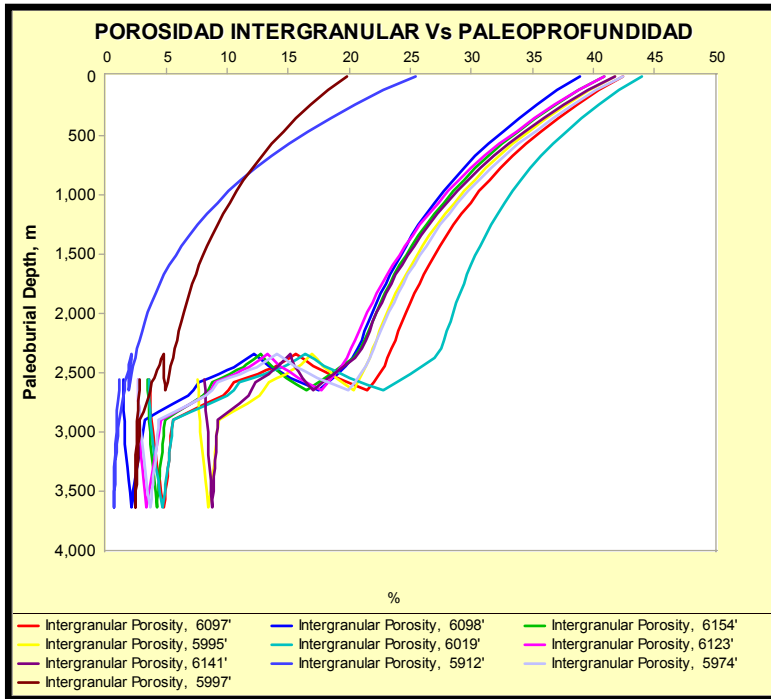


Figura 7.16. Porosidad intergranular Vs paleopropundidad en el pozo PB-694. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

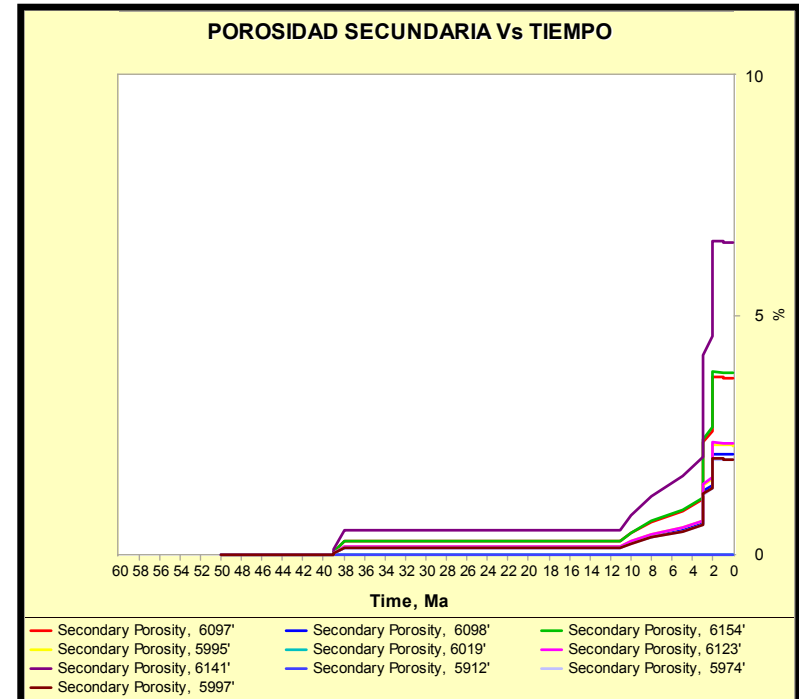


Figura 7.17. Porosidad secundaria Vs tiempo en el pozo PB-694. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

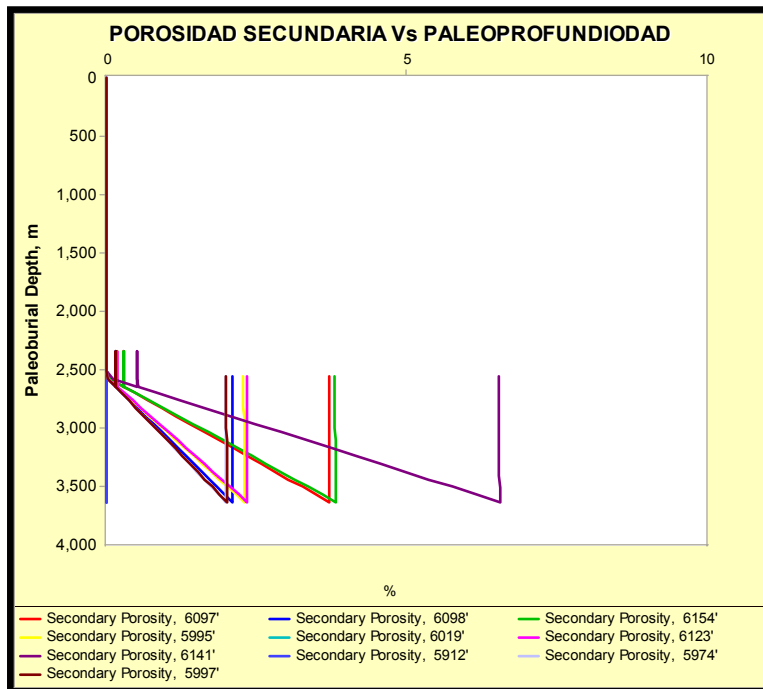


Figura 7.18. Porosidad secundaria Vs paleopropundidad en el pozo PB-694. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

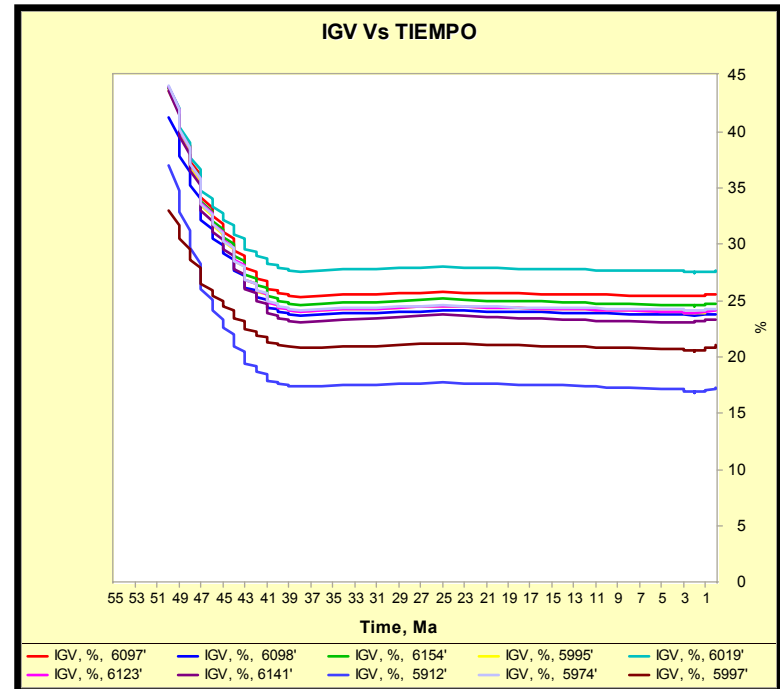


Figura 7.19. IGV Vs tiempo en el pozo PB-694. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

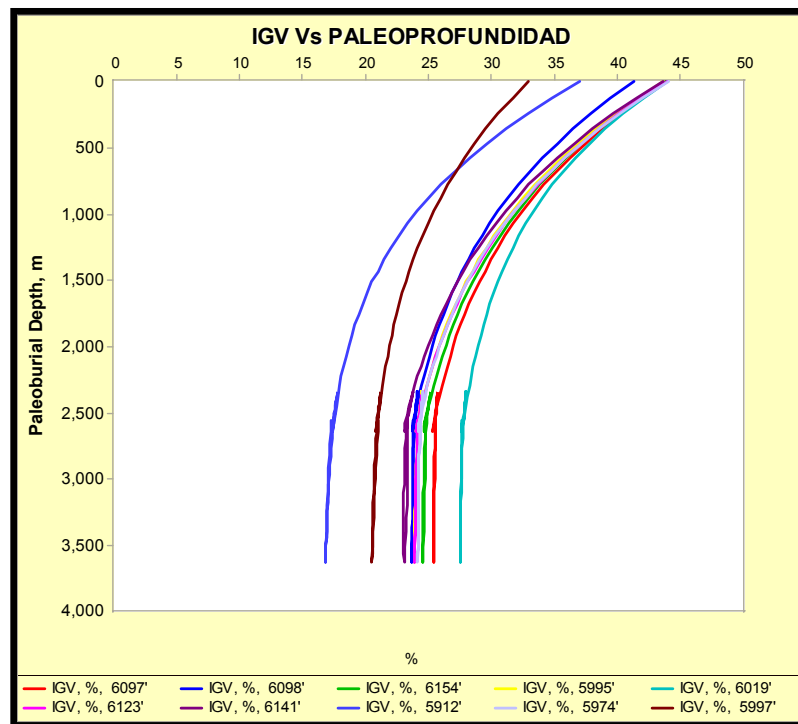


Figura 7.20. *IGV* Vs paleoprofundidad en el pozo PB-694.
Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

7.1.2.- Pozo PB-689

Para realizar la corrida de las muestras del miembro informal B-6, se establecieron las clase paragenéticas en base a los períodos de soterramiento y levantamiento que refleja la historia de soterramiento para el pozo (figura 7.21, 7.22 y tabla 7.2), y se asoció la secuencia paragenética de B-6 a estas clases paragenéticas definidas anteriormente (figura 7.23).

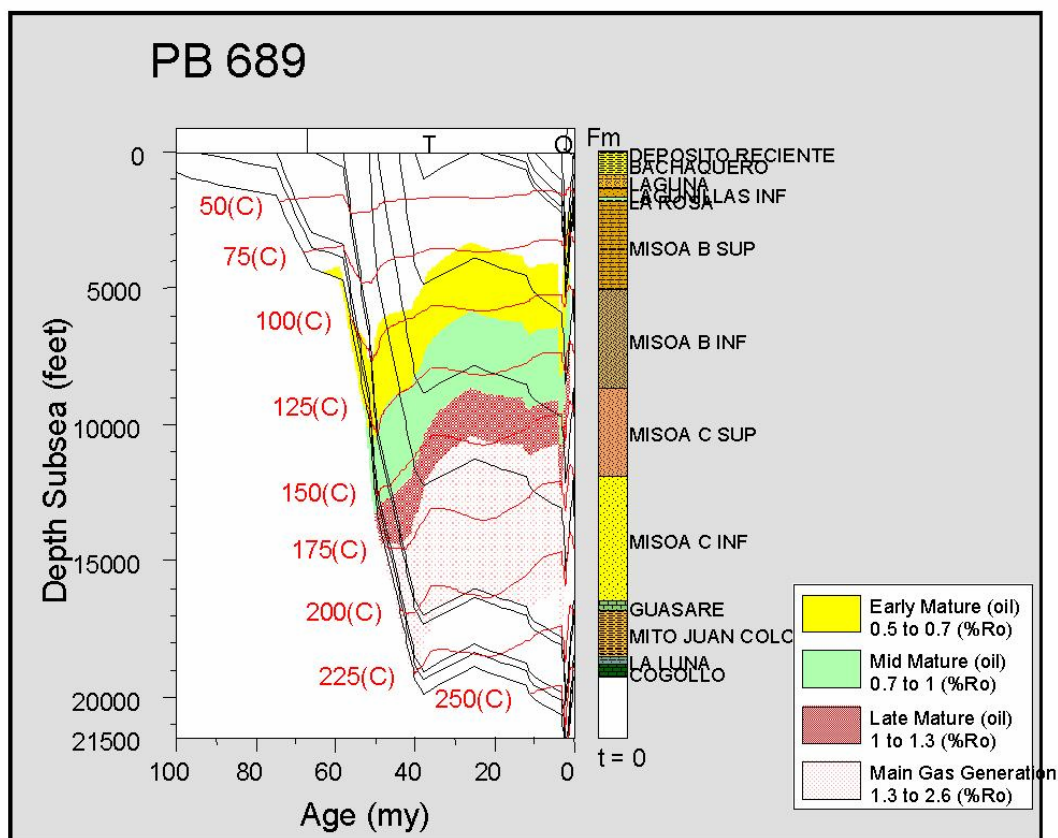


Figura 7.21. Diagrama de soterramiento para el pozo PB-689.
Obtenido del *Basin Mod 1D* (proporcionado por el equipo de trabajo del PGP Cabimas)..

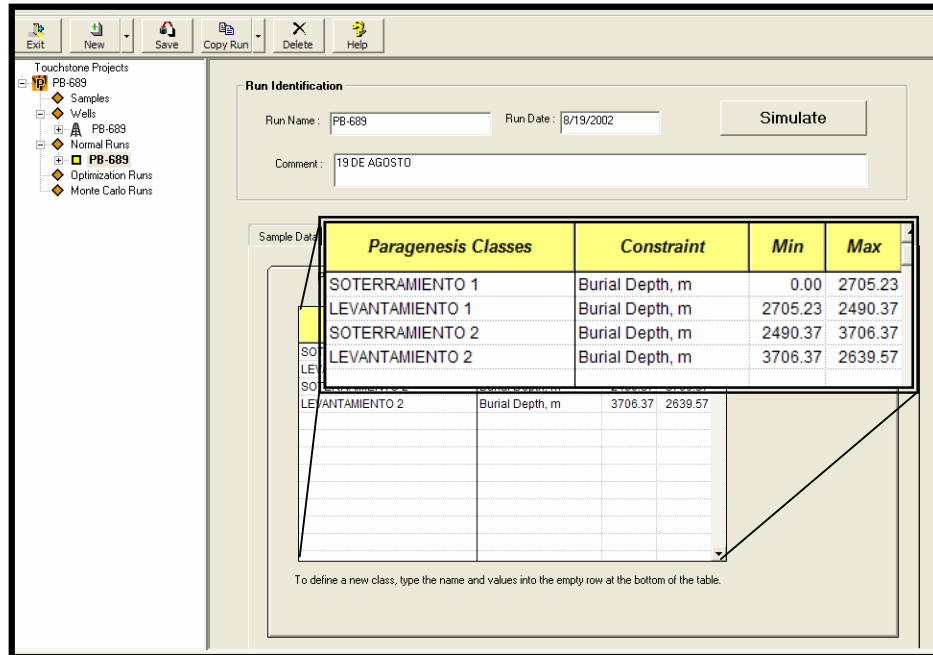


Figura 7.22. Asignación de clase paragenéticas, para la corrida de las muestras del pozo PB-689. Obtenido del *Touchstone* 2.0.

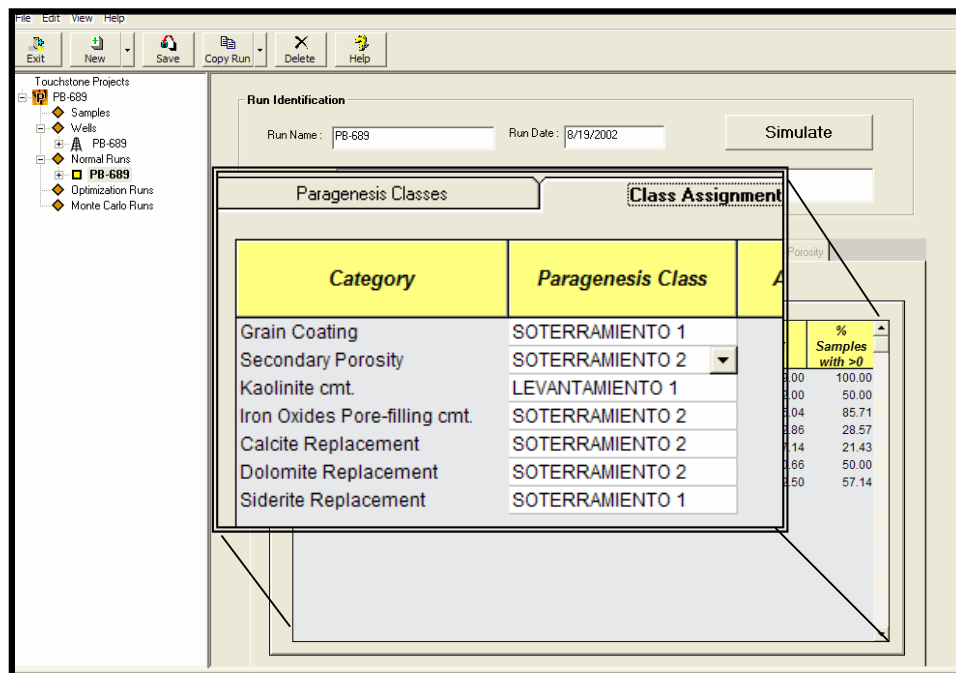


Figura 7.23. Secuencia paragenética asociada a las clases paragenéticas definidas para B-6 en el pozo PB-689. Obtenido del *Touchstone* 2.0.

Clases parage.	Time (Ma)	Temperature (C)	Burial Depth (m)
SOTERRAMIENTO 1	49,5	25,6	0
	49,13	31	122,35
	48,77	36,17	239,69
	48,4	41,07	352,76
	48,03	45,7	462,15
	47,67	50,1	568,32
	47,3	54,31	671,65
	46,93	58,35	772,45
	46,57	62,24	870,98
	46,2	66	967,45
	45,83	69,64	1062,06
	45,47	73,18	1154,98
	45,1	76,64	1246,33
	44,73	80,01	1336,24
	44,37	83,31	1424,83
	44	86,54	1512,18
	43,69	89,37	1593,52
	43,38	92,21	1673,9
	43,08	95,03	1753,39
	42,77	97,83	1832,04
	42,46	100,59	1909,9
	42,15	103,32	1987,01
	41,85	106,02	2063,42
	41,54	108,69	2139,15
	41,23	111,34	2214,26
	40,92	113,96	2288,77
	40,62	116,55	2362,7
	40,31	119,13	2436,09
	40	121,68	2508,96
	39,33	125,49	2574,54
	38,67	128,55	2639,97
	38	131,3	2705,23
LEVANTAMIENTO 1	36	132,82	2658,34
	33,53	131,06	2600,38
	31,36	128,8	2549,65
	29,2	126,37	2498,92
	27,1	123,99	2449,67
	25	121,63	2400,43
	23	122,58	2438,07
	21	124,16	2475,27
	20	124,94	2490,37
Clases parage.	Time (Ma)	Temperature (C)	Burial Depth (m)
SOTERRAMIENTO 2	18,25	126,67	2516,6
	16,5	128,51	2542,58
	14,25	130,9	2575,65
	12	133,29	2608,36
	11,1	137,47	2707,82
	10,2	141,32	2773,35
	7,8	145,52	2841,67
	5,4	148,45	2910,28
	3	151,14	2979,08
	2,91	151,42	3049
	2,82	152,07	3117,84
	2,73	153,01	3185,76
	2,64	154,15	3252,87
	2,55	155,44	3319,28
	2,45	156,84	3385,06
	2,36	158,33	3450,27
	2,27	159,89	3514,96
	2,18	161,5	3579,19
	2,09	163,17	3642,98
	2	164,87	3706,37
LEVANTAMIENTO 2	1,78	167,47	3590,77
	1,58	168,21	3480,77
	1,38	167,53	3375,42
	1,19	165,8	3274,01
	1,01	163,28	3176
	0,83	160,15	3080,94
	0,65	156,56	2988,49
	0,49	152,63	2898,35
	0,32	148,44	2810,28
	0,16	144,08	2724,07
	0	139,59	2639,57

Tabla 7.2. Clases paragenéticas definidas a partir de la historia termal del pozo PB-689. Obtenido del *Basin Mod* 1D (proporcionado por el equipo de trabajo del PGP Cabimas).

En el modelaje de las muestras correspondientes al miembro informal B-6 en el pozo PB-689, se puede observar el nivel de calibración entre los resultados medidos petrográficamente y los calculados por el programa (figuras 7.25, 7.26 y 7.27), el margen de error entre los valores calculados y los medidos es menor al 7.75% (figura 7.24).

Run Results Summary :

			IGV			Quartz Cement			Intergranular Porosity		
Well	Unit	Sample	Mea	Calc	Error	Mea	Calc	Error	Mea	Calc	Error
PB-689	B6	5961'8"	27.05	24.70	2.35	20.95	19.06	1.89	0.64	0.00	0.64
PB-689	B6	6008'8"	28.29	24.43	3.86	17.09	16.36	0.73	3.50	0.00	3.50
PB-689	B6	6023'4"	27.64	24.42	3.22	18.00	18.34	0.34	3.84	0.00	3.81
PB-689	B6	6040'6"	26.23	24.31	1.92	22.54	22.65	0.11	2.08	0.00	2.08
PB-689	B6	6077'6"	25.10	25.11	0.01	16.49	18.52	2.03	2.05	0.03	2.02
PB-689	B6	6161'8"	23.55	22.04	1.51	16.00	18.42	2.42	5.36	1.38	3.98
PB-689	B6	6167'5"	33.53	25.76	7.75	20.00	16.51	3.49	5.93	0.78	5.15
PB-689	B6	6217'	19.29	22.52	3.23	13.00	16.67	3.67	0.31	0.10	0.21
PB-689	B6	6073'5"	23.15	23.11	0.04	0.31	0.25	0.06	0.00	0.00	0.00
PB-689	B6	6095'	23.06	26.33	2.73	20.00	21.52	1.52	5.05	0.64	4.41
PB-689	B6	6118'6"	22.24	22.23	0.01	18.00	18.84	0.84	0.95	0.10	0.85
PB-689	B6	6166'6"	24.73	27.70	2.97	21.78	24.35	2.56	2.95	3.38	0.40
PB-689	B6	6181'	28.70	23.76	4.94	19.88	19.04	0.84	6.86	2.63	4.23
PB-689	B6	6233'8"	27.98	21.17	6.81	13.00	10.52	2.48	3.17	0.00	3.17

Figura 7.24. Porcentaje de error estimado por *Touchstone*, para los datos medidos petrográficamente y los calculados por el programa, para las muestras del pozo PB-689. Obtenido del *Touchstone* 2.0.

El cemento de cuarzo en estas muestras comienza a generarse de manera abrupta hace 41 Ma hasta 33 Ma, de allí en adelante sigue desarrollandose en menor proporción pero de manera constante hasta hoy día (figura 7.28).

En términos de paleopropundidad, el cemento de cuarzo comienza a formarse a 1500 metros de profundidad aproximadamente (86.24°C), generándose los mayores valores entre 2500 y 3000 metros, lo cual nos indica temperaturas entre 119°C y 145°C (figura 7.29).

La porosidad intergranular en función del tiempo, indica que la roca desde el momento de su depositación hasta llegar a los 38 Ma, sufrió una pérdida sustancial del espacio poroso intergranular de un 25% aproximadamente producto de la compactación, y a partir de los 38 Ma hasta hoy día se le atribuye la pérdida de porosidad a efectos diagenéticos, principalmente cementación de cuarzo (figura 7.30).

En función del paleosoterramiento la pérdida de porosidad intergranular por compactación se le atribuye al primer período de soterramiento, el cual finaliza a 2702.23 metros de profundidad (figura 7.31).

La porosidad secundaria comienza a generarse hace 38 Ma (2500 metros en términos de profundidad), para mantenerse constante hasta llegar a 10 Ma, en donde comienza a aumentar, asociada a la fase final del soterramiento 2 y todo el levantamiento 2 (figuras 7.32 y 7.33).

El IGV debido a que es una medida directa de la compactación, tiene un comportamiento exponencial en función de la profundidad (figura 7.35). En función del tiempo, el IGV refleja una disminución prominente, producto de la compactación, desde el momento de la depositación hasta llegar a los 38 Ma, lo que corresponde al período del soterramiento 1, posterior a esto, el IGV se mantiene constante, ya que a partir de aquí se abren paso otros procesos diagenéticos (figura 7.34).

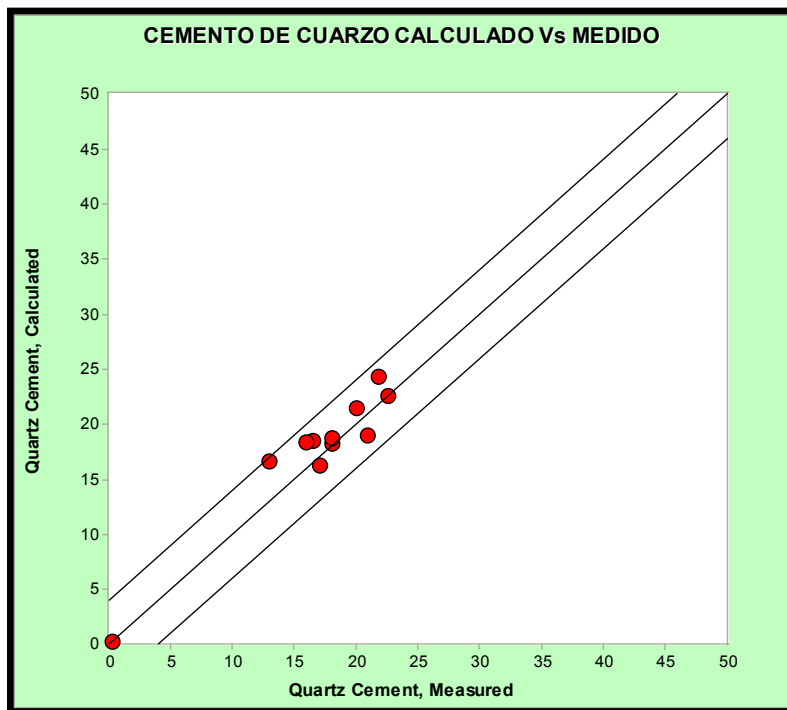


Figura 7.25. Relación entre en el cemento de cuarzo calculado Vs cemento de cuarzo medido en el pozo PB-689. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

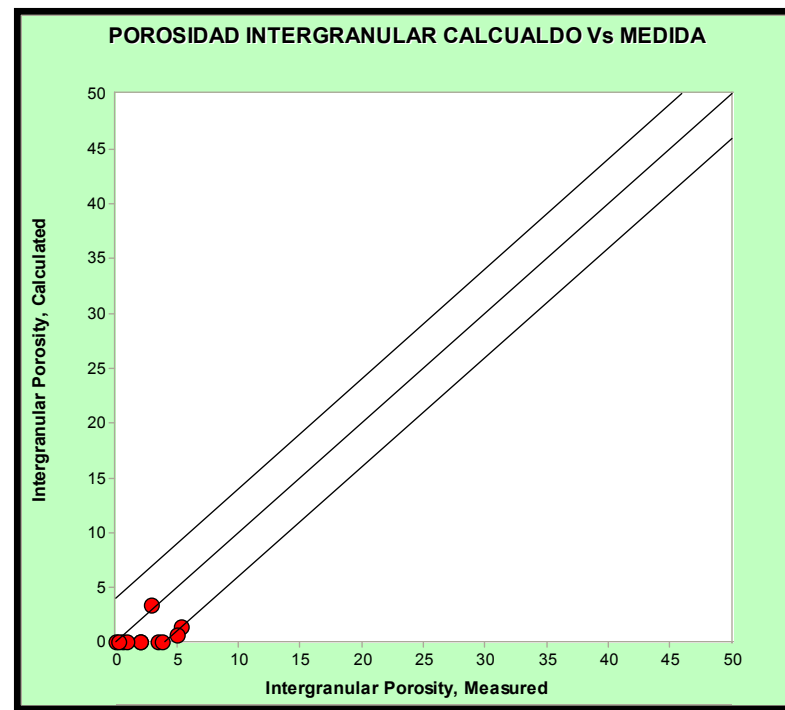


Figura 7.26. Relación entre la porosidad intergranular calculada Vs medida en el pozo PB-689. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

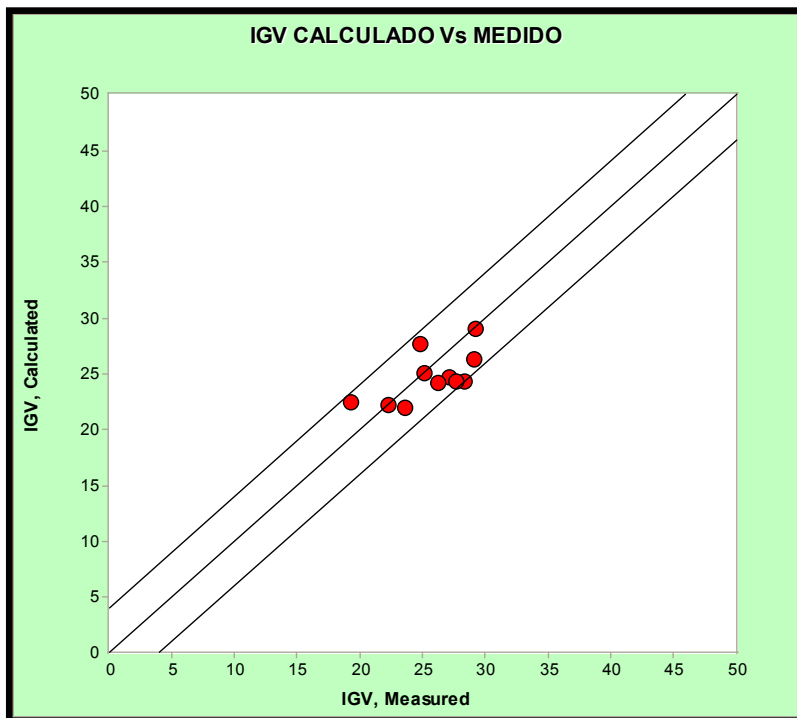


Figura 7.27. Relación entre el IGV calculado Vs IGV medido en el pozo PB-689. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

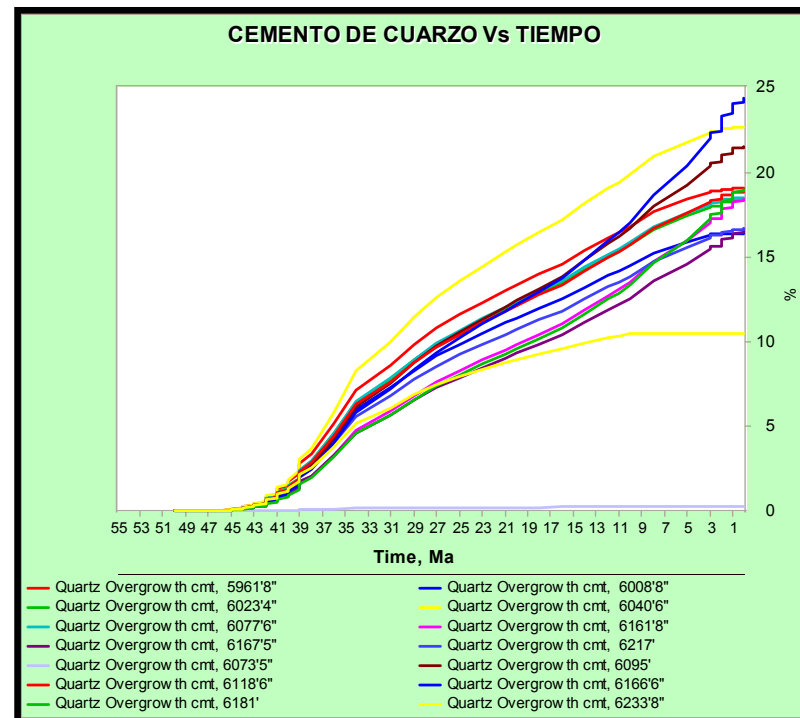


Figura 7.28. Cemento de cuarzo Vs tiempo en el pozo PB-689. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

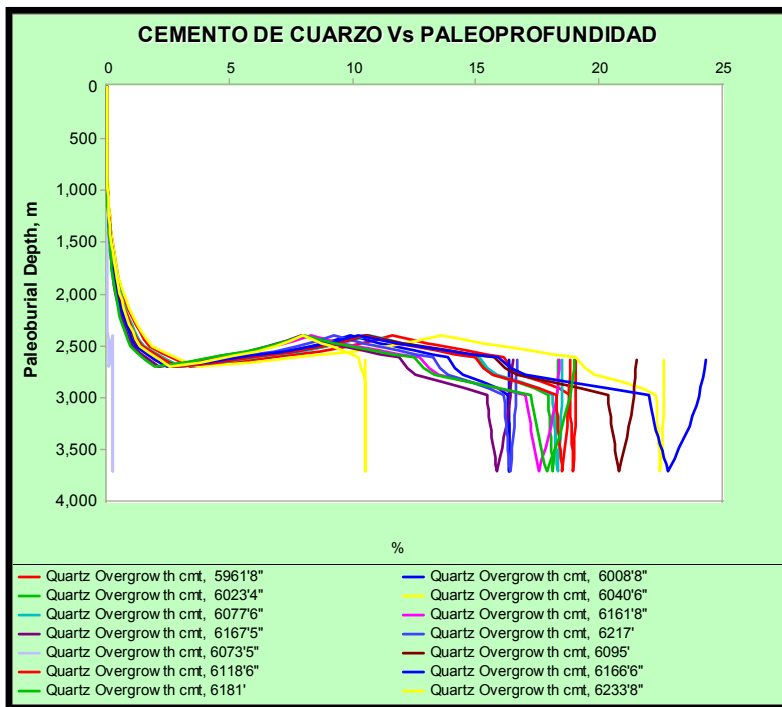


Figura 7.29. Cemento de cuarzo Vs paleoprofundidad en el pozo PB-689. Gráfico obtenido mediante *Touchstone* 2.0.

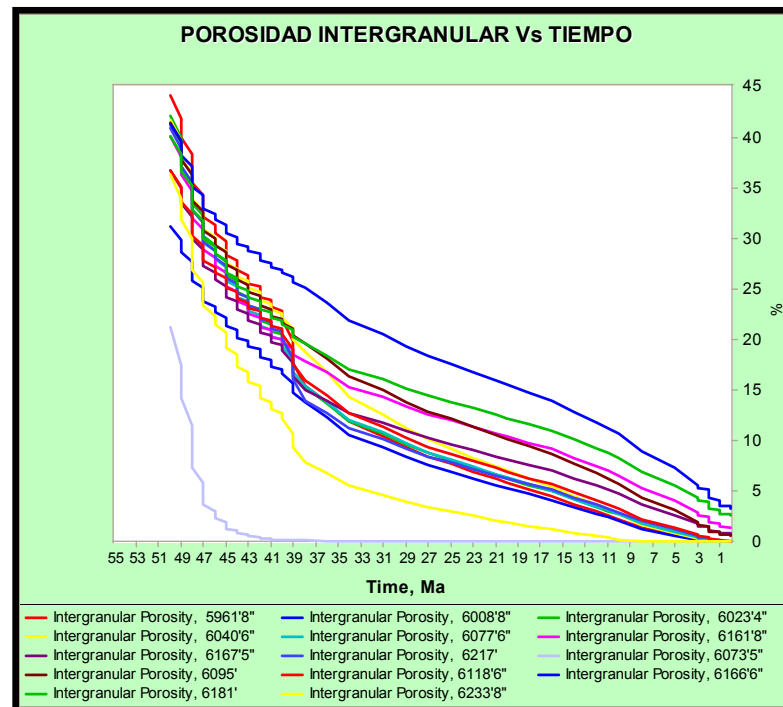


Figura 7.30. Porosidad intergranular Vs tiempo en el pozo PB-689. Gráfico obtenido mediante *Touchstone* 2.0.

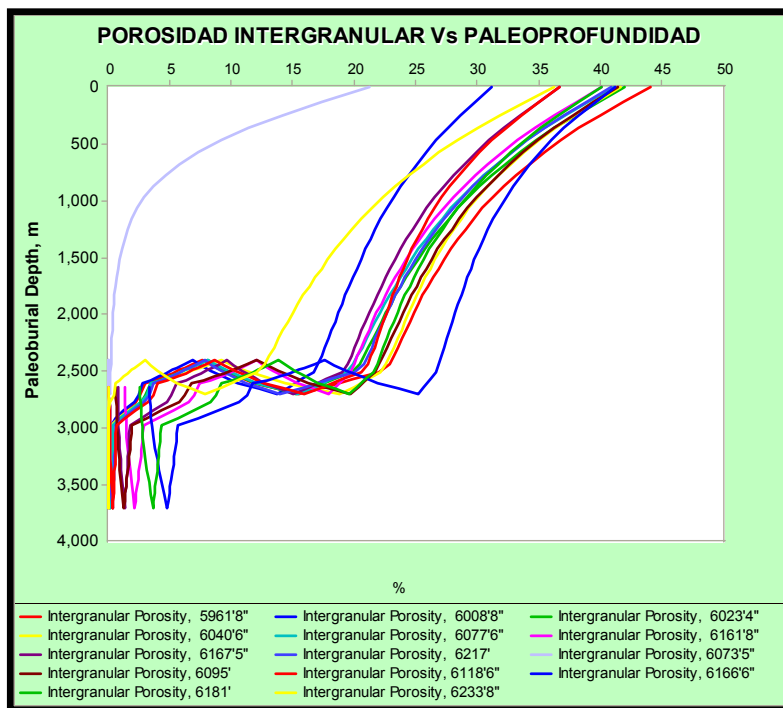


Figura 7.31. Porosidad intergranular Vs paleoprofundidad en el pozo PB-689. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

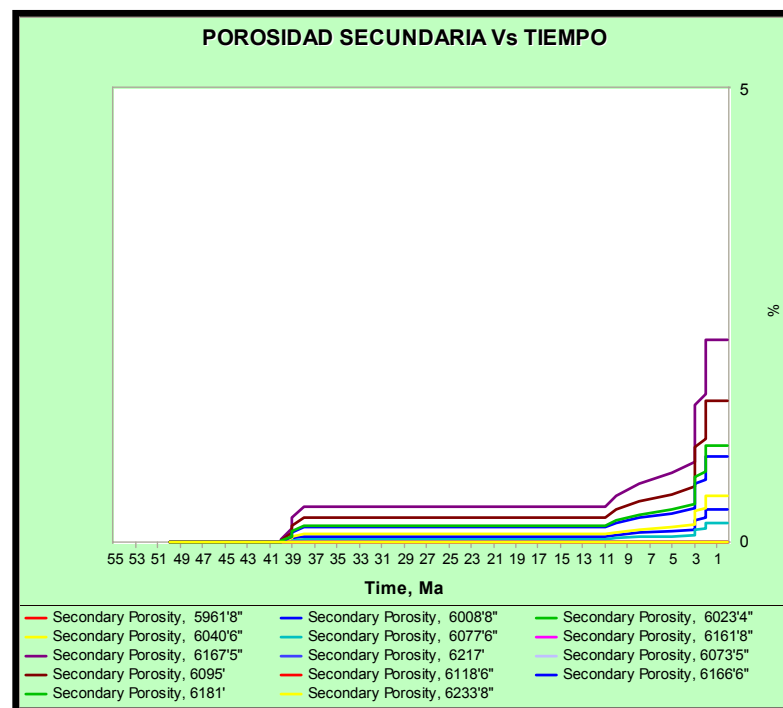


Figura 7.32. Porosidad secundaria Vs tiempo en el pozo PB-689. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

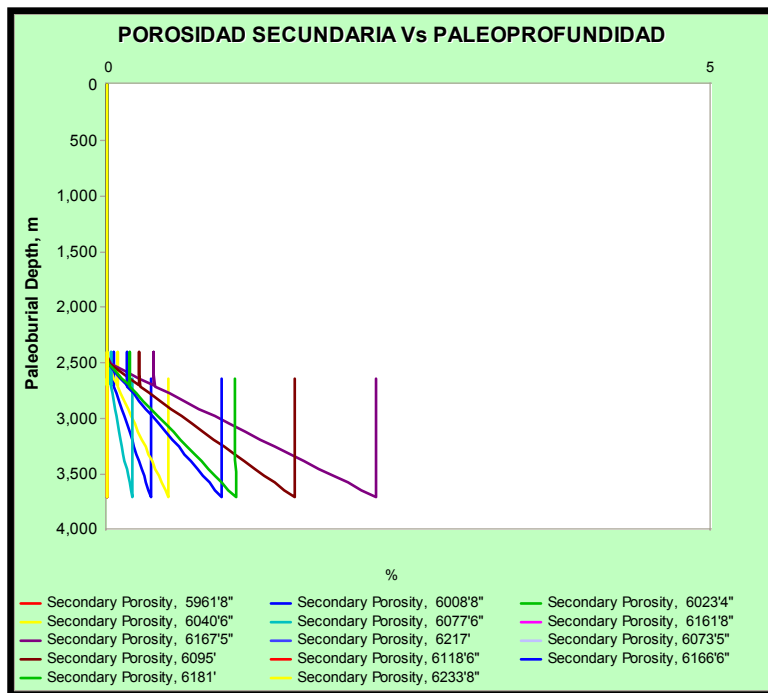


Figura 7.33. Porosidad secundaria Vs paleopropundidad en el pozo PB-689. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

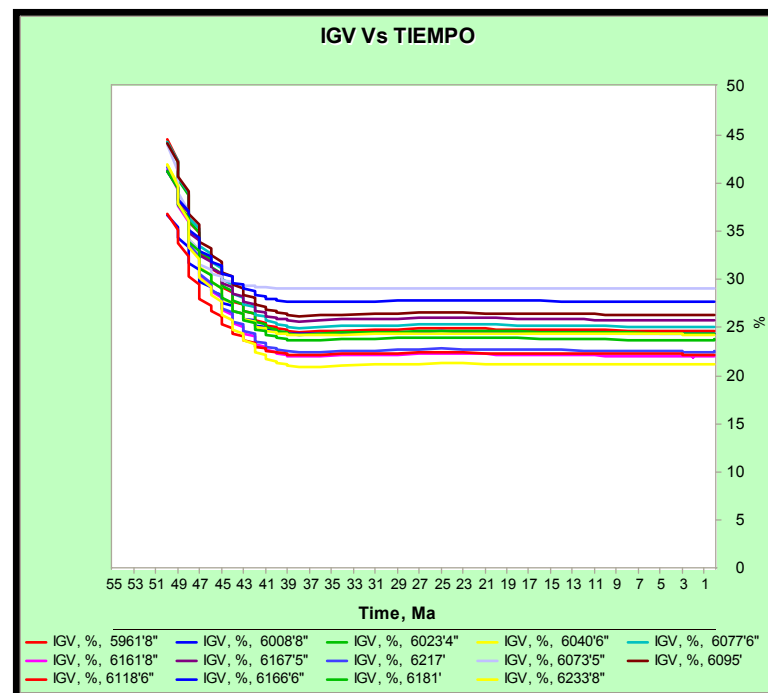


Figura 7.34. IGV Vs tiempo en el pozo PB-689. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

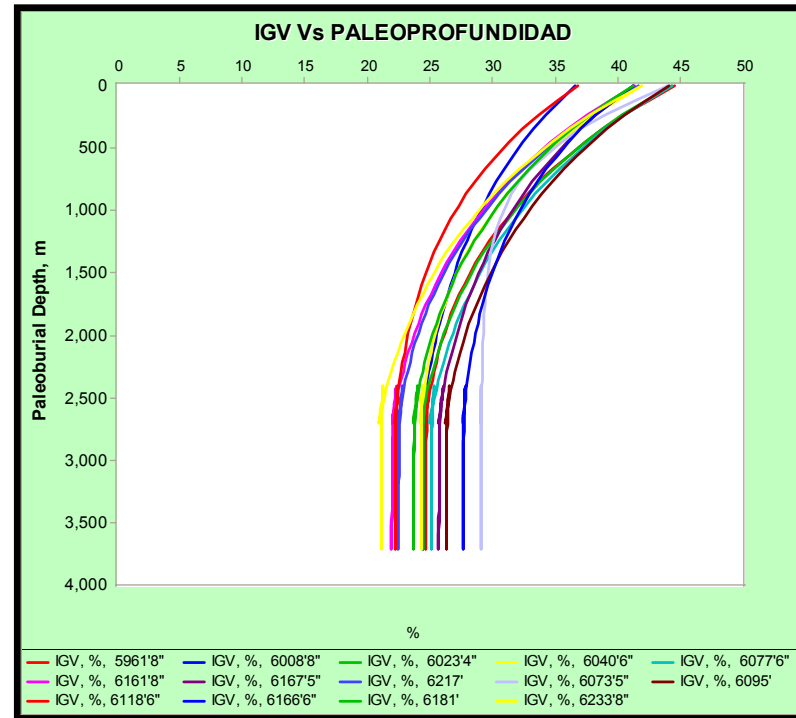


Figura 7.35. *IGV* Vs paleoprofundidad en el pozo PB-689.
Gráfico obtenido mediante *Touchstone* 2.0.

7.1.3. Pozo CC-2A

Para realizar la corrida de las muestras del miembro informal B-6 de la Formación Misoa en el área de Cabimas, se establecieron las clases paragenéticas en base a los períodos de soterramiento y levantamiento que refleja la historia de soterramiento para el pozo CC-2A, la cual es levemente diferente a los de los pozos PB-689 y PB-694 (figura 7.36, 7.37 y tabla 7.3), y se asoció la secuencia paragenética de B-6 a estas clases paragenéticas definidas anteriormente (figura 7.38).

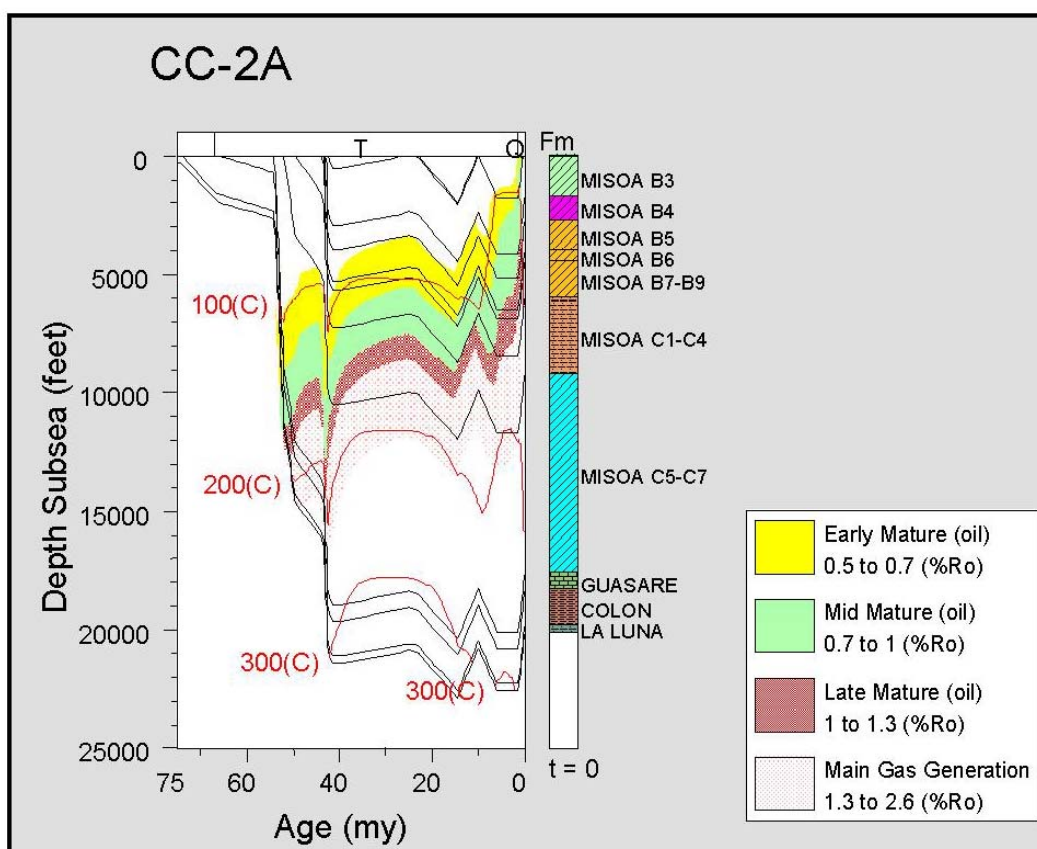


Figura 7.36. Diagrama de soterramiento para el pozo CC-2A.
Obtenido del *Basin Mod 1D* (proporcionado por el equipo de trabajo del PGP Cabimas).

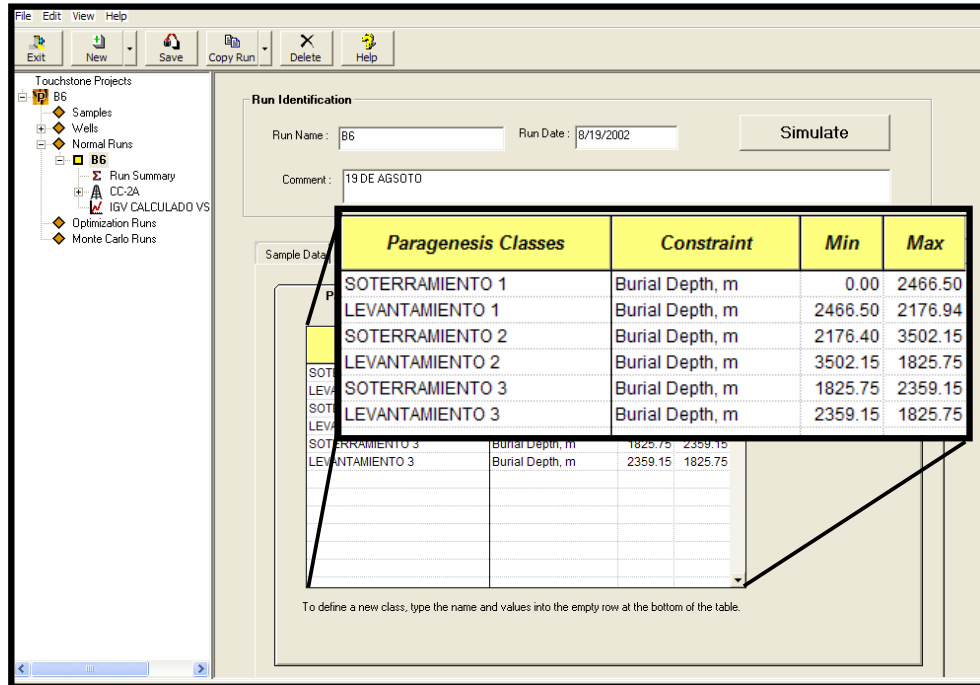


Figura 7.37. Asignación de clase paragenéticas, para la corrida de las muestras del pozo CC-2A. Obtenido del *Touchstone* 2.0.

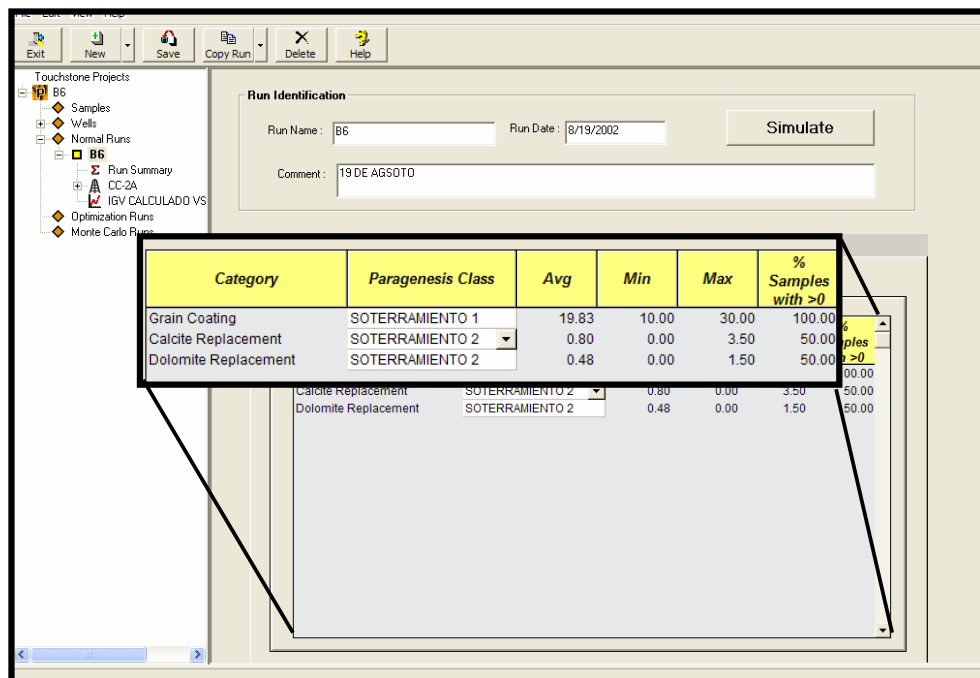


Figura 7.38. Secuencia paragenética asociada a las clases paragenéticas definidas para B-6 en el pozo CC-2A. Obtenido del *Touchstone* 2.0.

Clases paragen.	Time (Ma)	Temperature (C)	Burial Depth (m)
Soterramiento 1	46.00	25.60	0.00
	45.17	31.94	99.36
	44.33	37.98	194.50
	43.50	43.72	286.05
	43.47	47.67	395.14
	43.44	51.82	499.59
	43.41	55.76	600.15
	43.38	59.45	697.39
	43.34	62.91	791.74
	43.31	66.16	883.56
	43.28	69.24	973.14
	43.25	72.15	1060.71
	43.22	74.92	1146.48
	43.19	77.58	1230.62
	43.16	80.12	1313.27
	43.13	82.58	1394.55
	43.09	84.95	1474.59
	43.06	87.25	1553.48
	43.03	89.49	1631.29
	43.00	91.66	1708.12
	42.97	93.79	1784.03
	42.94	95.88	1859.08
	42.91	97.92	1933.32
	42.88	99.93	2006.80
	42.84	101.90	2079.58
	42.81	103.84	2151.70
	42.78	105.76	2223.18
	42.75	107.65	2294.07
	42.50	118.75	2351.90
	42.25	127.25	2409.38
	42.00	134.34	2466.50
Levantamiento 1	40.75	150.64	2466.50
	39.50	158.64	2466.50
	37.84	161.46	2415.96
	36.18	161.42	2365.41
	36.00	161.43	2359.82
	34.51	159.51	2314.49
	33.03	156.91	2269.16
	31.51	153.99	2223.05
Soterramiento 2	30.00	150.99	2176.94
	28.33	150.10	2176.94
	26.67	149.79	2176.94
	25.00	149.68	2176.94
	23.33	150.21	2187.38
	21.67	150.89	2197.74
	20.00	151.62	2208.02
	18.00	148.60	2220.25
	16.00	144.06	2232.38
	15.83	144.86	2346.17
Clases paragen.	Time (Ma)	Temperature (C)	Burial Depth (m)
Soterramiento 2	15.67	146.34	2455.01
	15.50	147.76	2526.11
	15.33	149.12	2592.81
	15.17	150.45	2659.31
	15.00	151.77	2725.59
	14.83	153.08	2791.65
	14.67	154.37	2857.46
	14.50	155.66	2923.02
	14.33	156.94	2988.34
	14.17	158.20	3053.40
	14.00	159.45	3118.22
	13.83	160.69	3182.79
	13.67	161.91	3247.13
	13.50	163.12	3311.22
	13.33	164.31	3375.09
	13.17	165.49	3438.73
	13.00	166.65	3502.15
Levantamiento 2	12.93	166.94	3384.10
	12.86	166.87	3271.96
	12.80	166.41	3164.70
	12.74	165.59	3061.55
	12.68	164.45	2961.94
	12.62	163.05	2865.40
	12.56	161.41	2771.56
	12.51	159.57	2680.11
	12.46	157.55	2590.79
	12.40	155.37	2503.41
	12.35	153.05	2417.77
	12.30	150.60	2333.71
	12.25	148.05	2251.11
	12.21	145.39	2169.85
	12.16	142.65	2089.81
	12.11	139.82	2010.92
	12.06	136.93	1933.08
Soterramiento 3	12.02	133.98	1856.23
	12.00	132.79	1825.75
	10.00	104.92	1825.75
	8.00	95.03	1825.75
	7.10	98.39	1944.02
	6.20	103.18	2055.30
	5.30	108.06	2160.97
Levantamiento 3	4.40	112.60	2262.01
	3.50	116.64	2359.15
	2.72	113.08	2240.88
	1.99	106.38	2129.60
	1.30	98.31	2023.93
	0.64	89.78	1922.89
	0.00	81.28	1825.75

Tabla 7.3. Clases paragenéticas definidas a partir de la historia termal del pozo CC-2A. Obtenido del *Basin Mod* 1D.

En el modelaje de las muestras correspondientes al miembro informal B-6 de la Formación Misoa en el pozo CC-2A, se puede observar el nivel de calibración entre los resultados medidos petrográficamente y los calculados por el programa (figuras 7.40, 7.41 y 7.42), el margen de error entre los valores calculados y los medidos es menor al 4% (figura 7.39).

Exit

New

Save

Copy Run

Delete

Help

Touchstone Projects

B6

Samples

Wells

Normal Runs

B6

Run Summary

CC-2A

IGV CALCULADO VS

Optimization Runs

Monte Carlo Runs

Run Results Summary :

			IGV			Quartz Cement			Intergranular Porosity		
Well	Unit	Sample	Mea	Calc	Error	Mea	Calc	Error	Mea	Calc	Error
CC-2A	B6	5490'-5500'	25.00	27.60	2.60	19.00	21.81	2.81	0.00	0.00	0.00
CC-2A	B6	5560'-5570'	26.50	26.06	0.44	22.00	22.54	0.54	1.00	0.00	1.00
CC-2A	B6	5590'-5600'	23.80	25.37	1.57	13.00	14.37	1.37	0.00	0.42	0.42
CC-2A	B6	5740'-5750'	24.00	20.61	3.39	10.00	6.50	3.50	0.50	0.00	0.50
CC-2A	B6	5790'-5800'	23.50	26.28	2.78	16.00	19.06	3.06	0.00	0.00	0.00
CC-2A	B6	5820'-5830'	22.50	23.95	1.45	13.00	14.62	1.62	0.00	0.00	0.00

Figura 7.39. Porcentaje de error estimado por *Touchstone*, para los datos medidos petrográficamente y los calculados por el programa, para las muestras del pozo CC-2A. Obtenido del *Touchstone 2.0*.

El cemento de cuarzo en estas muestras comienza a generarse a los 42 M.a. aumentando bruscamente hasta llegar a estabilizarse y mantenerse constante a los 14 M.a aproximadamente (figura 7.43). En cuanto a paleopropundidad el cemento de cuarzo precipita entre 2151 y 2176.94 metros (103.84°C - 150.99°C) (figura 7.44).

La porosidad intergranular sufre una reducción significativamente brusca desde el momento de la depositación de las rocas hasta aproximadamente 32 M.a, donde continua disminuyendo pero de manera progresiva (figura

7.45). La figura 7.46 muestra una reducción de la porosidad original de aproximadamente 20% en el soterramiento 1, lo que indica que los mayores porcentajes de pérdida de porosidad se debe a la compactación en primer lugar, y en segundo lugar a la cementación (principalmente de cuarzo).

El *IGV* debido a que es directamente proporcional a los efectos de la compactación, tiene un comportamiento exponencial como se muestra en la figura 7.48, reduciendo un 15% aproximadamente del volumen intergranular en los primeros metros de soterramiento (figura 7.47).

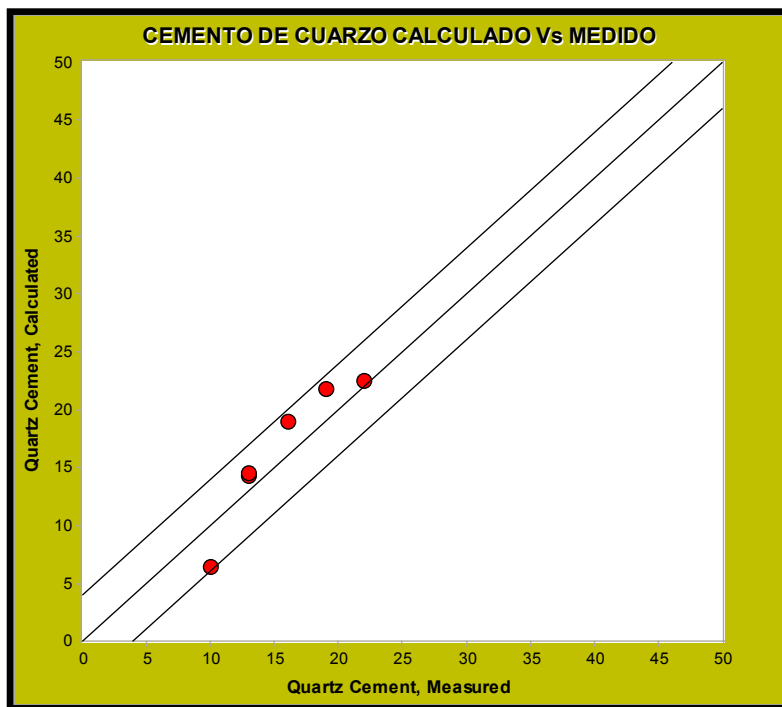


Figura 7.40. Relación entre el cemento de cuarzo calculado Vs cemento de cuarzo medido en el pozo CC-2A. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

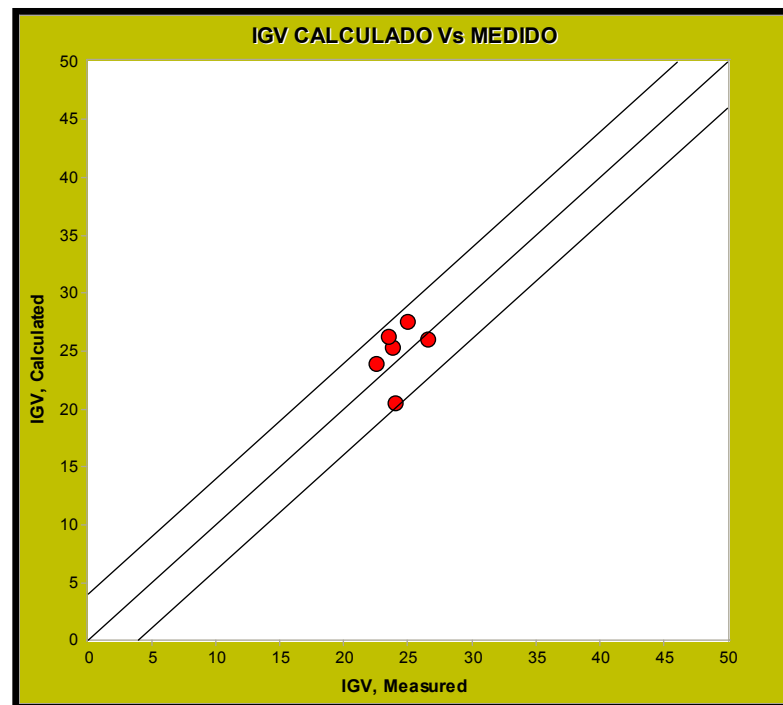


Figura 7.41. Relación entre el IGV calculado Vs IGV medido en el pozo CC-2A. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

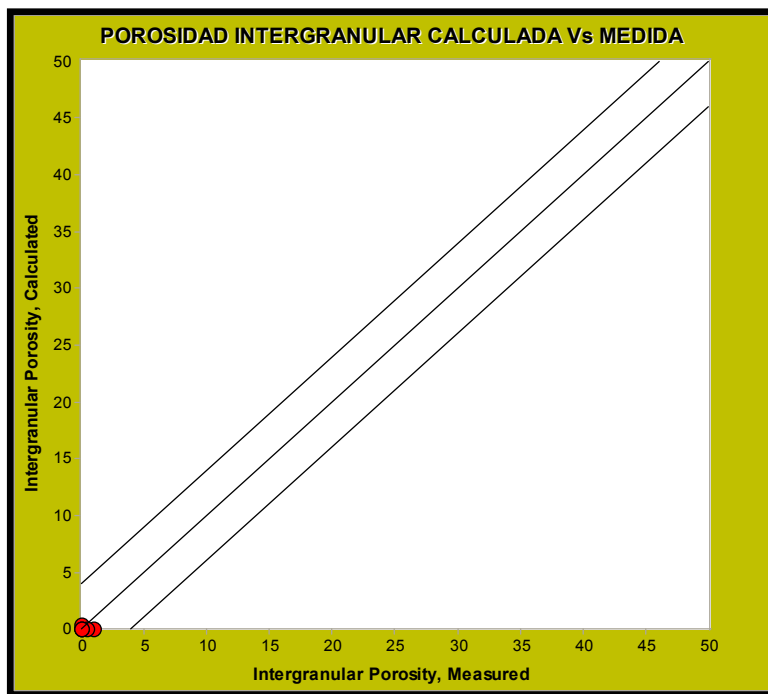


Figura 7.42. Relación entre la porosidad intergranular calculada Vs medida en el pozo CC-2A. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

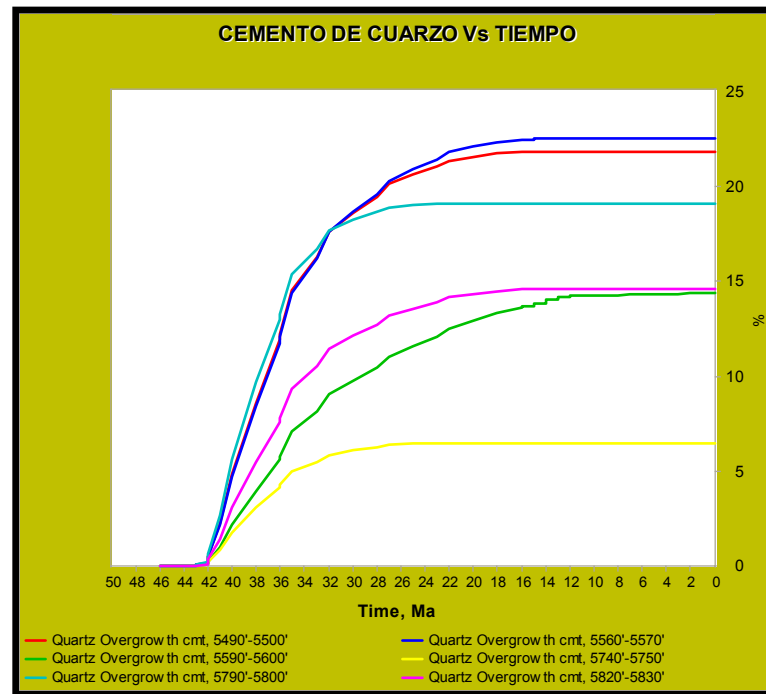


Figura 7.43. Cemento de cuarzo Vs tiempo en el pozo CC-2A. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

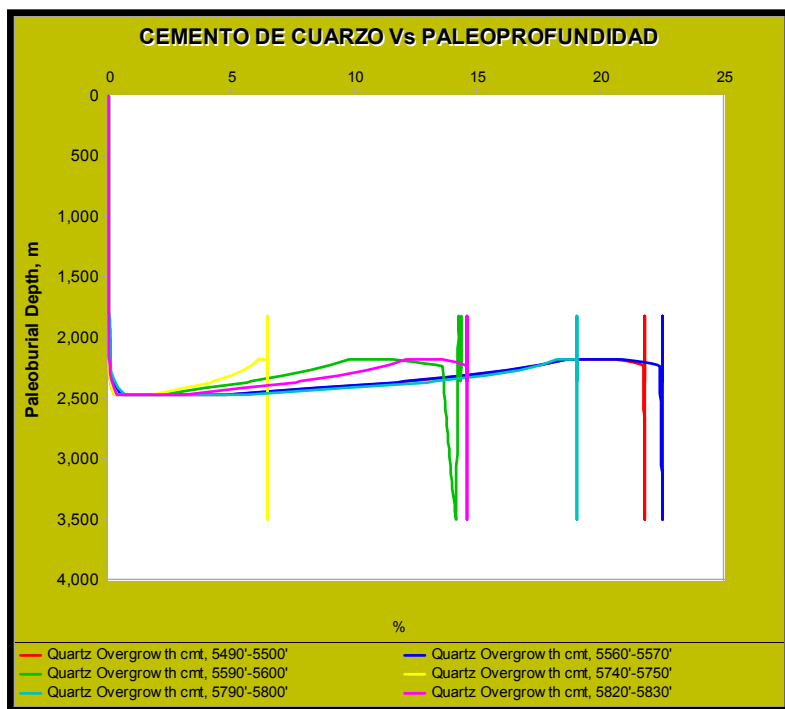


Figura 7.44. Cemento de cuarzo Vs paleoprofundidad para el pozo CC-2A. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

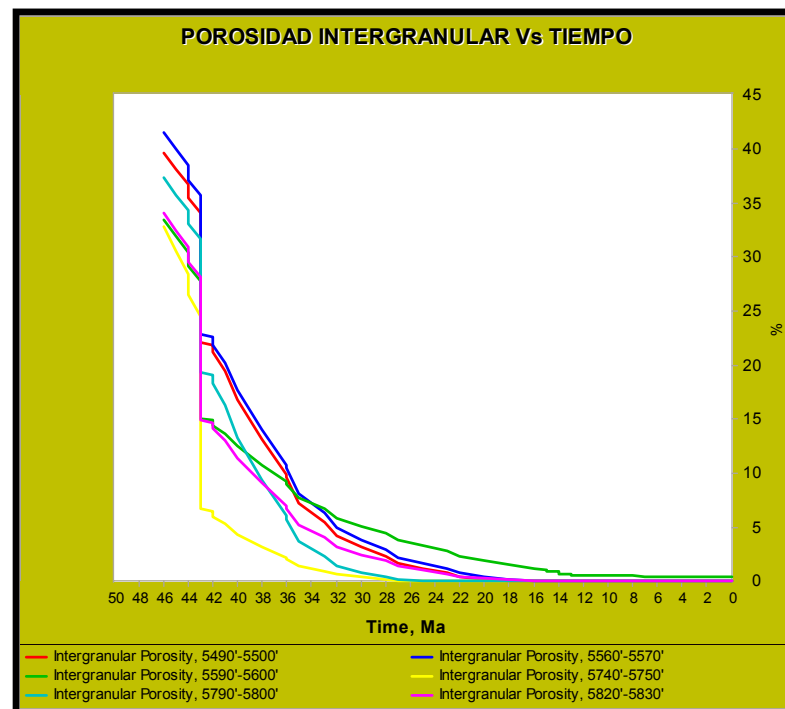


Figura 7.45. Porosidad intergranular Vs tiempo en el pozo CC-2A. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

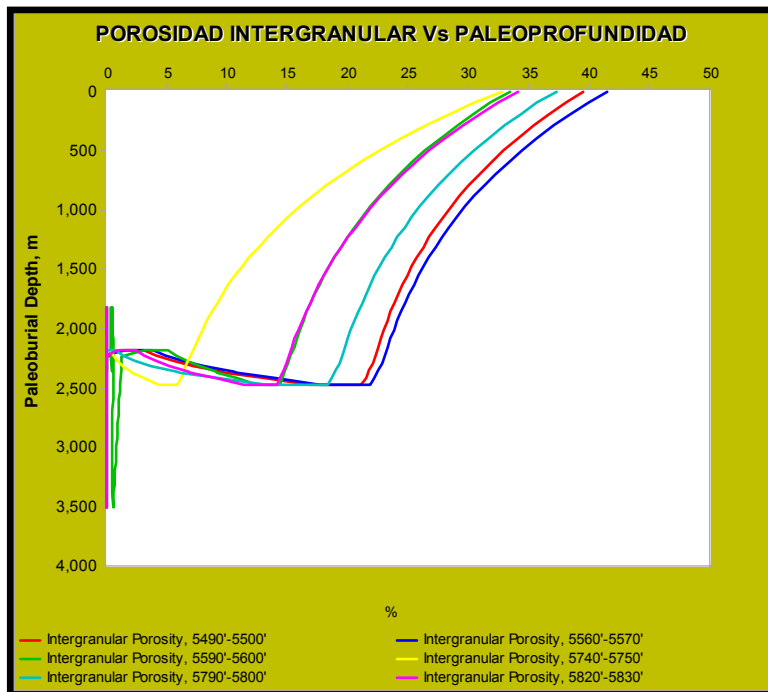


Figura 7.46. Porosidad intergranular Vs paleopropundidad en el pozo CC-2A. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

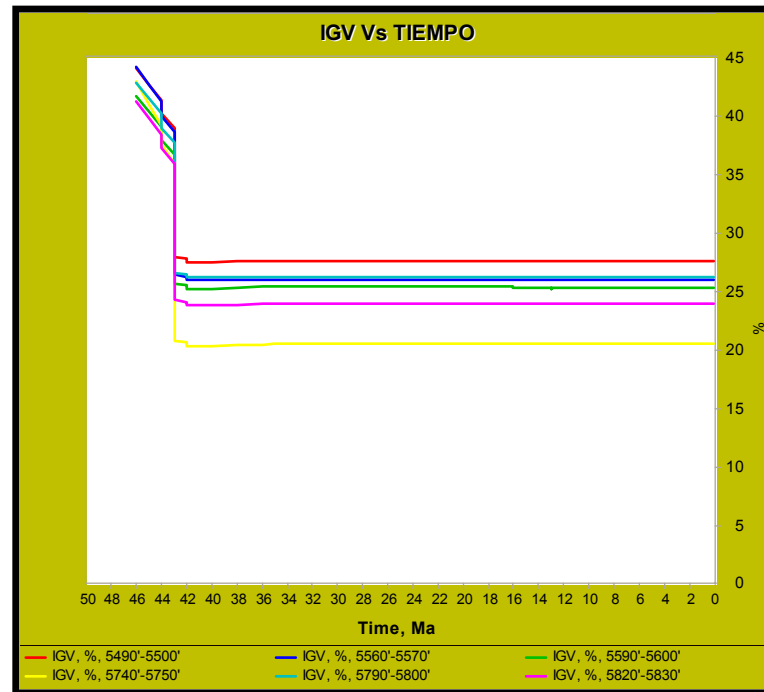


Figura 7.47. IGV Vs tiempo en el pozo CC-2A. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

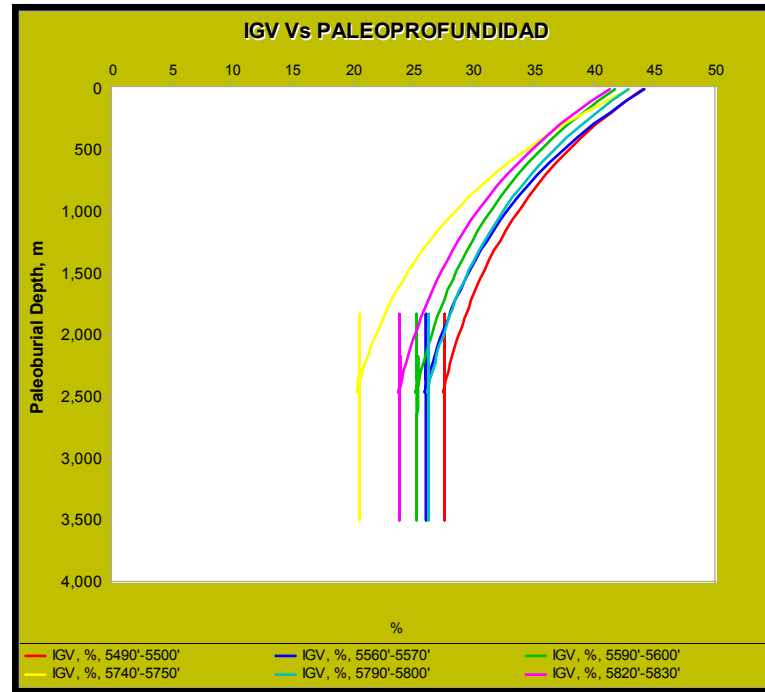


Figura 7.48. IGV Vs paleopropundidad en el pozo CC-2A. Gráfico obtenido mediante *Touchstone 2.0*.

8.- Conclusiones

- ❖ Las rocas pertenecientes a la Formación Misoa, en el nivel estratigráfico informal “B-6-X” de los pozos CC-2A, PB-698 y PB-694, llegaron a alcanzar un grado de diagénesis intermedia, con temperaturas aproximadas hasta los 130°C, evidenciado entre otras cosas, por el ordenamiento de las capas mixta de illita/esmectita, con hasta un 80% de illita.
- ❖ Desde el punto de vista prospectivo, las rocas del miembro informal B-6 de la Formación Misoa en el pozo CC-2A, son de muy baja calidad para almacenar hidrocarburos debido a la fuerte cementación de sílice, lo cual obstruye casi totalmente la porosidad, a diferencia del intervalo en estudio de los pozos PB-694 y PB-689 que si presentan intervalos aptos para la acumulación de hidrocarburo, ya que, a pesar de contener altos porcentajes de cemento de cuarzo, la porosidad original no fue totalmente obstruida, y los procesos de disolución de feldespatos, fragmentos de roca, caolinita y en menor proporción matriz, favorecieron la generación secundaria de la misma.
- ❖ Los principales procesos que causaron los cambios mineralógicos y texturales en las rocas de los pozos CC-2A, PB-694 y PB-689 en el intervalo de interés fueron: compactación, cementación, alteración, reemplazo y disolución.
- ❖ Con base en la descripción de los núcleos, muestras de canal, asociación de trazas fósiles y bioestratigrafía, se pudo establecer que el ambiente de depositación del intervalo en estudio (unidad informal B-6 de la Formación Misoa) varía de transicional a nerítico interno (0 – 30m de profundidad), específicamente anteplaya media a inferior y costafuera. Proponiendo un cambio lateral de facies desde condiciones ambientales que alcanzan moderados niveles de energía en aguas poco profundas, para la secuencia

en estudio del pozo CC-2A (área de Cabimas), hasta condiciones de altos niveles de oleaje o energía, para la secuencia en estudio en los pozos PB-689 y PB-694 (área de Punta Benitez).

- ❖ El estudio petrográfico realizado en todas las muestras de los pozos CC-2A, PB-689 y PB-694, obtuvo resultados consistentes para la historia termal propuesta para cada uno de estos pozos, es decir, que los resultados petrográficos medidos tienen en error menor al 4% con respecto a los resultados petrográficos calculados por el *software* de modelaje diagenético (*Touchstone 2.0*).
- ❖ Para la unidad informal B-6 de la Formación Misoa en el pozo CC-2A, los factores causantes de la reducción de la porosidad original son primordialmente la cementación de cuarzo y la compactación. El cemento de cuarzo comienza a generarse hace 42 M.a, produciéndose los mayores valores de sílice en continuidad óptica entre 2151 y 2276.92 metros de profundidad (entre 100 °C y 150°C). La compactación comienza a generarse desde el mismo momento de la depositación de las rocas, reduciendo aproximadamente entre un 15% y 20% el volumen intergranular (*IGV*), lo cual se ve reflejado directamente en la porosidad intergranular, obteniendo porcentajes de pérdidas de porosidad de alrededor de 20% en el soterramiento 1, y a partir del soterramiento 2 comienza a afectar el espacio poroso intergranular otros procesos, como la cementación de cuarzo primordialmente.
- ❖ Las causas principales de la reducción de la porosidad en el miembro informal B-6 de la Formación Misoa en el pozo PB-694, es la compactación y el cemento de cuarzo, para lo cual se estableció que el cemento de cuarzo comienza a generarse hace 39 M.a, obteniendo los mayores valores de sílice en continuidad óptica entre 1700 y 2800 metros de profundidad (94.88 °C~140 °C). La compactación es la causante de la reducción de la porosidad en el soterramiento 1,

disminuyendo en un 20% aproximadamente el volumen intergranular (*IGV*). Mientras la porosidad intergranular es reducida bruscamente en el soterramiento 1 y progresivamente en el soterramiento 2, la porosidad secundaria comienza a generarse en el soterramiento 2, cuando los procesos de disolución comienzan a actuar.

- ❖ En la unidad informal B-6 de la Formación Misoa en el pozo PB-689, se estableció que los principales causantes de la reducción de la porosidad son la compactación y cemento de cuarzo. El cemento de cuarzo comienza a formarse para este intervalo hace 40 M.a., generándose los mayores valores de sílice en continuidad óptica entre los 2500 y 3000 metros de profundidad (118°C y 145°C). La reducción del espacio poroso intergranular (*IGV*) en el soterramiento 1, está controlada por la compactación. Mientras que la porosidad intergranular se reduce hasta un 25% en el soterramiento 1 producto de la compactación, la porosidad secundaria comienza a generarse en el soterramiento 2, cuando comienzan a actuar los procesos de disolución.

9.- Bibliografía

- AUDEMARD, F** (1991) Tectonics of western Venezuela. Rice University, Houston, Texas, Ph.D.Thesis. Inédito. 250 p.
- BERTORELLI, G. Y MARQUEZ, F.** (1995) Determinación de ambientes sedimentarios y fuente de aporte de sedimentos para el Eoceno en un área de Zulia oriental. U.C.V. Trabajo Especial de Grado. 219 p.
- BLATT, H.** (1979) **Diagenetic proceses in sandstone**. W.H. Freeman and Company, 564 p.
- BOCKELIE, F.** (1991) Ichnofabric mapping and interpretation of Jurassic reservoir rocks of the Norwegian North Sea. *Palaaios*, V 6, p.p. 206-215.
- BOESI, T., GALEA, F.A., ROJAS, G., LORENTE, M.A., DURÁN, I. Y VELÁSQUEZ, M.,** (1988) Estudio estratigráfico del Flanco Norandino en el sector Lobatera - El Vigía. **III Simposio Bolivariano Exploración Petrolera de las Cuencas Subandinas**. Soc. Ven. Geólogos, Caracas, Mem. I: 1-41.
- BROMLEY, R.** (1990) **Trace fossils. Biology and taphonomy**. Unwin Hyman, London, 280 p.
- BRONDIK, J. F.** (1967) Contributions of the AVGMP Maracaibo Basin Eocene Nomenclature Committe. II: The Misoa and Trujillo Formations. Asoc. Venez. Geol., Min., y Pet., Bol. Inform., 10(1): 3-19
- CARDOZO, L.** (1996) Procedencia de las rocas clásticas de la Formación Misoa en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo y su relación con la tectónica

Caribe. **Dpto. de Geol. Universidad Central de Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Inédito.** 265 p.

CASTILLO, V. (1995) Procedencia de rocas clásticas terciarias, en el sector oriental de la Cuenca de Maracaibo y su relación con la tectónica Caribe y Andina. **Dpto. de Geol. Universidad Central de Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Inédito.** 141 p.

DICKINSON, W. R. (1970) Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. Jour. Sed. Petrol., 40(2):695-708.

DUNOYER DE SEGONZAC, G. (1970) The Tranformation of clay minerals during diagénesis and low-grade metamorphism: a review. Sedimentology. Vol. 15, p. 281-346.

FIORILLO, G. (1976) Costa Bolivar, Campo Mene Grande. Revisión geológica post-Eoceno, Informe Interno **Maraven**, 26 p.

EKDALE, A. A., BROMLEY R. G. & PEMBERTON S. G. (1984) Ichnology. **Society of Economic Paleontologist and Mineralogist**, Short Course 15. 317 p.

GARNER, A. H. (1926) Suggested nomenclature and correlation of geological formations in Venezuela. **Amer. Inst. Min. Metall. Eng. Trans:** 677-684.

GHOSH, S. K., MAGUREGUI, J., GARCÍA, L. E & AGUADO, B. (1985) Diagénesis y calidad de las areniscas de la Formación Misoa (Eoceno inferior) al norte de la Cuenca de Maracaibo. Mem. VI Cong. Geol. Venez., Caracas. Tomo II P:749-774.

GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE, J. & PICARD, X. (1980) Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Ediciones Foninves, Caracas, 1031 p.

HAAS, M. W. & HUBMAN, R. G. (1937) Notes on the stratigraphy of the Bolivar Coastal fields, Maracaibo basin, Venezuela. Bol. Geol. y Min (Venezuela), 1:(2-4):113-156.

HERNANDEZ, P. (2001) Modelaje geoquímico de generación de hidrocarburos en el área de Urica-Mundo Nuevo, Edo. Anzoátegui. Venezuela. U.C.V. Trabajo Especial de Grado. 220 pp.

HOFFMAN, J & HOWER, R (1979) Clay mineral assemblages as low grade metamorphic geothermometers: application to the thrust faulted disturbed belt of Montana, USA. S.E.P.M., Spec. Pub. N° 26, p. 55-79.

HOWARD, J. D. (1966) Characteristic trace fossil in Upper Cretaceous sandstone of the book Cliffs and Wasatch Plateau. Central Utah Coal Bull., 80, 35-53.

LANDER, R & WALDERHAUG, O. (1999) Predicting porosity through simulating sandstone compaction and quartz cementation. **AAPG** Bulletin, Vol 83, N° 3, p 433-449.

LEXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA (L.E.V.) 1998.
<http://www.pdv.com/lexico/html/> (10-2001).

LUGO, J. (1991) Tectonics and Stratigraphics History of the Maracaibo Basin. Austin University, Texas, Ph. D. Thesis. Inédito. 142 p.

- MALAVE, G. & SUAREZ, G.** (1995) Intermediate depth seismicity in northern Colombia and western Venezuela and its relationship to Caribbean plate subduction. Tectonics, Vol. 14, N°. 3, 617-628.
- MATHIEU, X.** (1989) La Serranía de Trujillo-Ziruma aux confins du bassin de Maracaibo, de la Sierra du Falcon et de la Chaîne Caribe. L'Université de Bretagne Occidentale. Ph.D. Tesis. Inédito. 264 p.
- MARQUEZ, F.** (2002) Sedimentología detallada de siete sondeos estratigráficos en el área de Capiricual. PGP Capiricual. PDVSA. Documento Técnico, N° EP-18165, 203 p.
- OSTOS, M.** (1990) Evolución tectónica Sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos. Geos # 30. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. UCV. Caracas.
- PEMBERTON, S. G.** (1992) Applications of ichnology to petroleum exploration. A core workshop. **SEPM** # 17. Calgary, Canada. 429 pp.
- PEMBERTON, G. C. & FREY, R. W.** (1983) Biogenic structures in Upper Cretaceous outcrops and cores. **Canadian Society of Petroleum Geologist Conference**, The Mesozoic of Middle America, Field Trip Guidebook No. 8, 161 p.
- PEMBERTON, G. G., VAN WAGONER, J. C. & GRANT, W. D.** (1990) Ichnofacies of a wave-dominated shoreline. Department of Geology, University of Alberta, Edmonton, Alberta. Canada.

- PEREZ, R.** (1998) Calidad como reservorio de la Formación Misoa, Campo Bachaquero tierra, Costa Bolivar. Estado Zulia. **U.C.V. Trabajo Especial de Grado. Inédito**, 199 p.
- PETTIJOHN, E. J, POTTER, P. & SIEVER, R.** (1972) **Sand and sandstone**. Springer-Verlag, 618 p.
- PETTIJOHN, E. J.** (1975) **Sedimentary rocks**. Harper y Row Pub., 3a edit., 628p.
- PROSERCA** (1992) Estudio sedimentológico de la Formación Misoa (Eoceno) en el intervalo 5900'-6159', yacimiento B-5-X.67 y B-6-X.29 en el pozo PB-689. Reporte Final. Informe interno. Lagoven, Inédito: 0T000879.
- PROSERCA** (1992) Estudio sedimentológico de la Formación Misoa (Eoceno) en el intervalo 5642'-6293'6". Yacimiento B-6-X.29, miembros B-5-X (116'+), B-6-X (302') y B-7-X (29'+) en el pozo PB-694. Reporte Final. Informe interno. Lagoven, Inédito: 0T000878.
- ROJAS, A.** (2000) Caracterización de trampas para la costa oriental del Lago de Maracaibo. **Dpto. de Geol. Universidad Central de Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Inédito**. 234 p.
- ROJAS, G. Y A. JOURDAN** (1985) Evolución diagenética de la Formación Misoa (Eoceno inferior medio). Región central de Lago de Maracaibo, Barua - Motatan. Mem. VI Cong. Geol. Venez., Caracas. Tomo IV P:3418-3470.
- ROMERO, P.** (1996) Significado tectónico y procedencia de las rocas clásticas de la Formación Misoa en el sector norte de la cuenca del Lago de Maracaibo. **Dpto. de Geol. Universidad Central de Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Inédito**. 188 p.

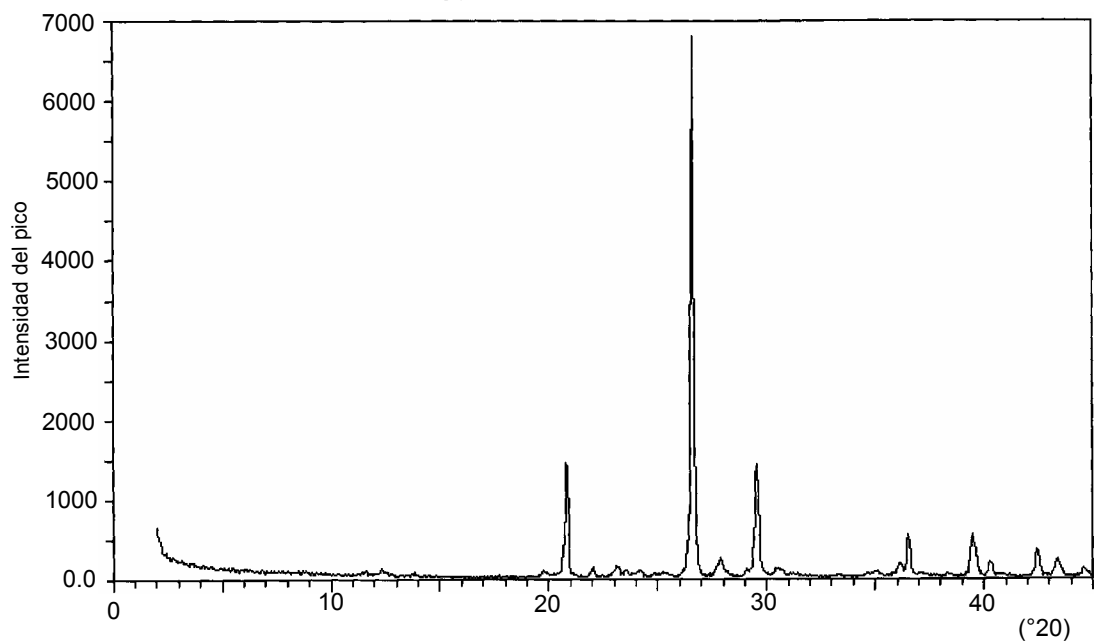
- SANDOVAL, M.E.** (1987) Estudio petrográfico-diagenético de la Formación Río Negro en la subcuenca de Machiques, Lago de Maracaibo. Estado Zulia. **Dpto. de Geol. Universidad Central de Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Inédito.** 138 p
- SANDOVAL, M. E.** (2000) **Diagénesis de areniscas.** Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas. 414 p.
- SCHMIDT, V. & Mc DONALD, D.** (1979) Texture and recognition of secondary porosity in sandstone. **S.E.P.M.**, Spec. Pub. N° 26, p. 209-225.
- SHAGAN, R., KHON, B. P., DASH, L. E., VARGAS, R., RODRIGUEZ, G. I. & PIMENTEL, N.** (1984) Tectonic implications of Cretaceous-Pliocene fission track ages from the Circum-Maracaibo Basin region of western Venezuela and eastern Colombia, **GSA Mem.**, 162, Boulder, Colorado, p. 385-6549.
- SIEVER, R.** (1962) Silica solubility, 0°C-200°C, and the diagenesis of siliceous sediments. **Jour. Geol.**, 70(2): 127-150.
- SUTTON, F. A.** (1946) Geology of Maracaibo basin, Venezuela. Am. Assoc. Petrol. Geol., Bull., 30(10): 1621-1741.
- SURDAM, R. C., DUNN, T. L., HEASLER, H. P. & MacGOWAN, D. B.** (1989) Porosity evolution in sandstone / shale system. Mineralogical Association of Canada. Shore course notes. 61-126.
- VAN ANDEL, T.** (1958) Origin and classification of Cretaceous, Paleocene and Eocene sandstones of western Venezuela. **Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.** 42 (4): 734-736.

- VAN RAADSHOOVEN, B.** (1951) On some Paleocene and Eocene larger foraminifera of western Venezuela, 3rd. World Petrol. Congr., Proc., La Haya, 1951, Sec. I, p. 476-489.
- VAN VEEN, F.R** (1972) Ambientes sedimentarios de las formaciones Mirador y Misoa del Eoceno inferior y medio en la cuenca del Lago de Maracaibo. **Mem. IV Cong. Geol. Venez.**, Caracas, Public. Esp. N° 5, tomo II. P: 1074-1104.
- VIVAS, M.A.** (2000) Identificación de los sistemas petroleros mediante la evaluación y modelaje del potencial generador de hidrocarburos de las secuencias Terciarias y Cretácicas del área de Talara. Documento interno, confidencial, 240 pp.
- WALDERHAUG, O.** (2000) Modeling quartz cementation and porosity in Middle Jurassic Brent Group sandstone of the Kvitebjørn field, northern North Sea. **AAPG Bulletin**, Vol 84, N° 9, p. 1325-1339.
- WALTON, W. M.** (1967) The informal units of the subsurface Eocene. **Asoc. Venez. Geol., Min. Petrol.**, Bol. Inform., 10(1): 21-30.
- WILSON, M. D. & STANTON, P. T.** (1994) Diagenetic mechanisms of porosity and permeability reduction and enhancement, in M. D. Wilson, ed., Reservoir quality assessment and prediction in clastic rocks. **SEPM Short Course 30**, p. 59-119.
- YOUNG, G. A.**, (1960) Stratigraphy of the Miocene La Puerta Formation in the Ceuta Area, Lake Maracaibo. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform., 3(11): 304-315.

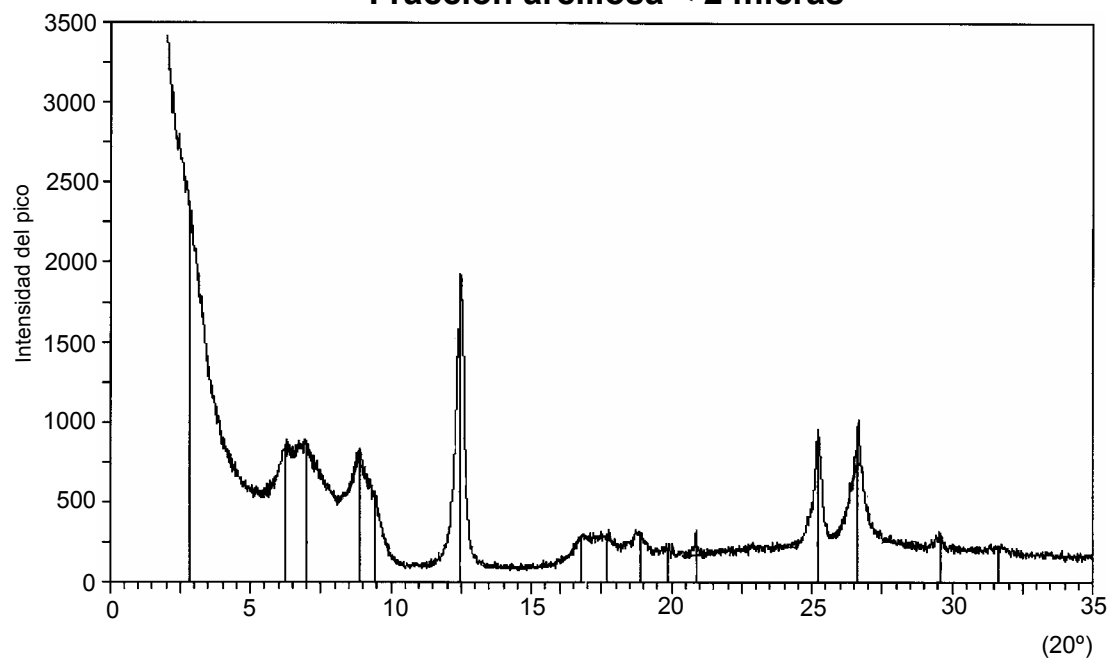
APENDICE 1

Pozo CC-2A. Muestra 5261'

% de roca total

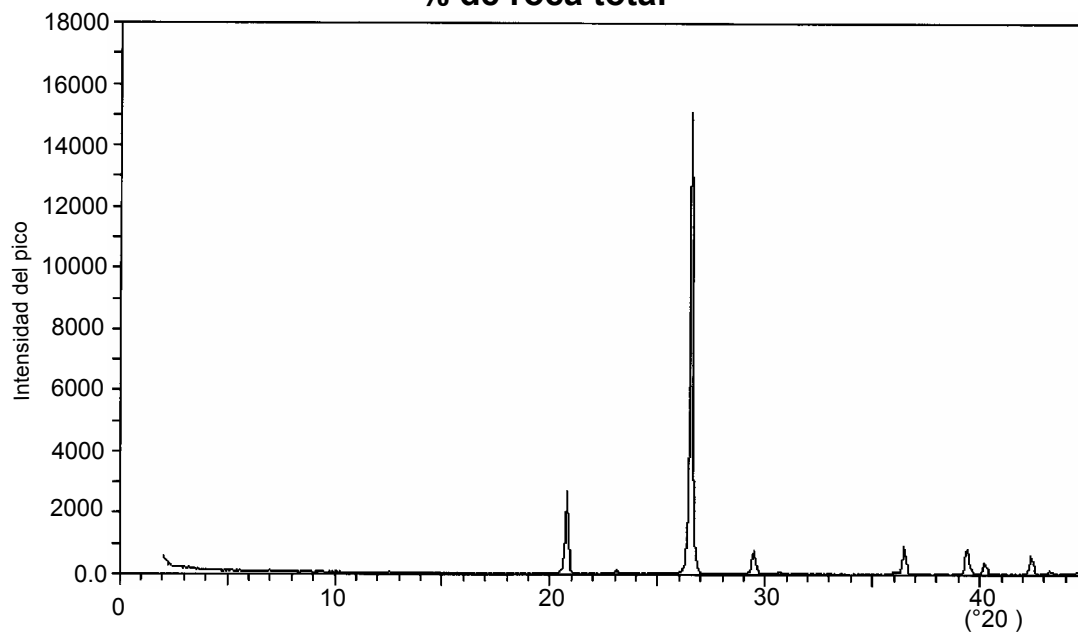


Fracción arcillosa < 2 micras

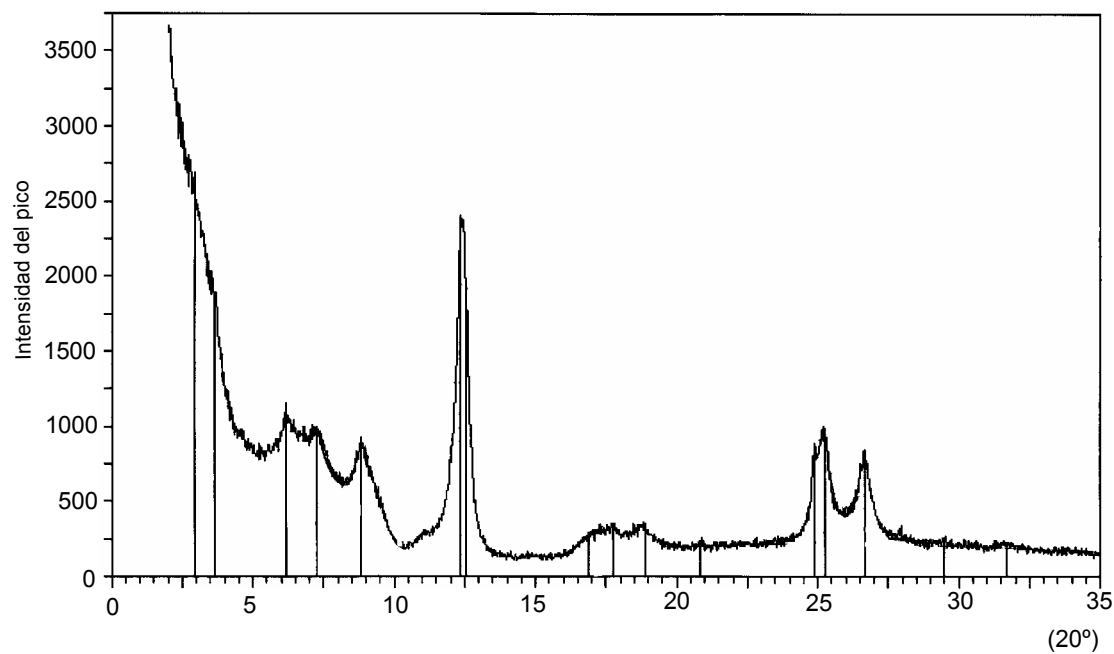


Pozo CC-2A. Muestra 4740'

% de roca total

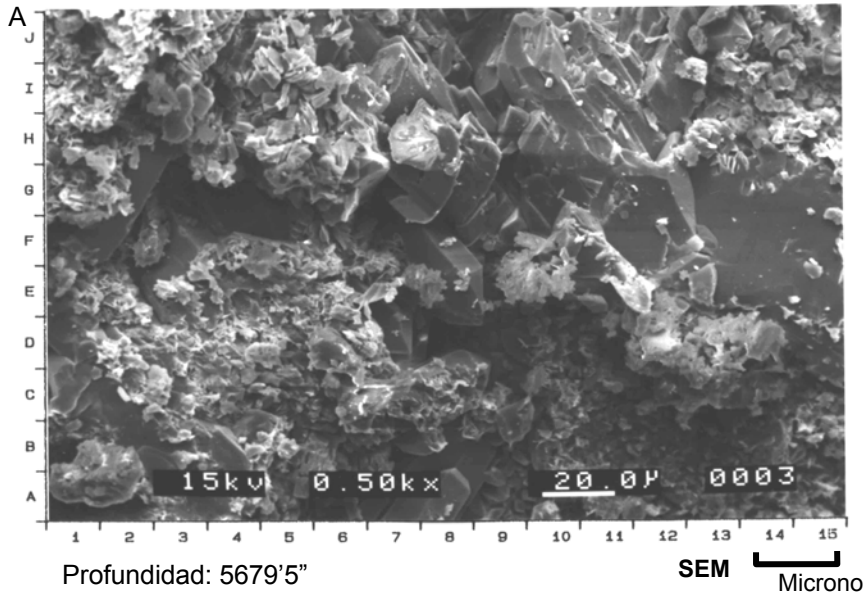


Fracción arcillosa <2 micras

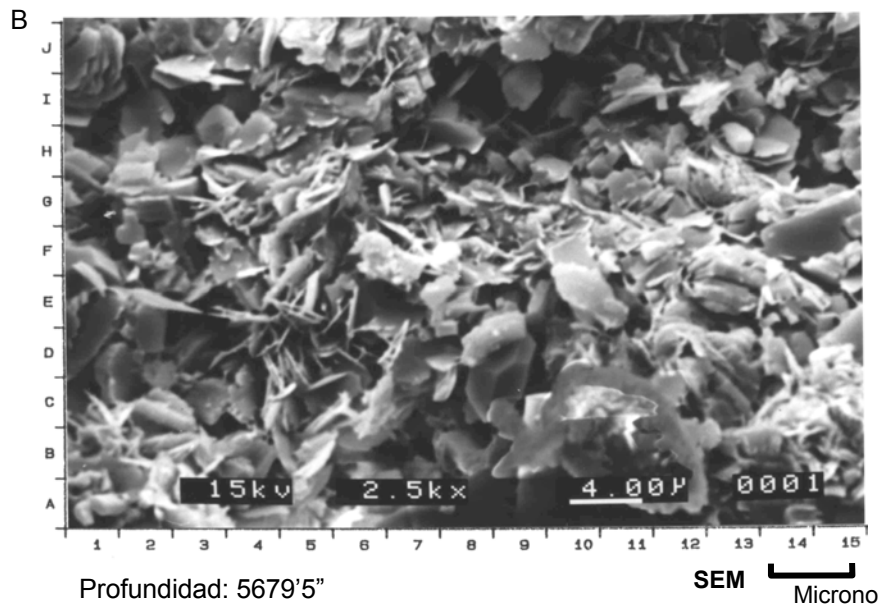


APENDICE 2

Pozo: PB-689



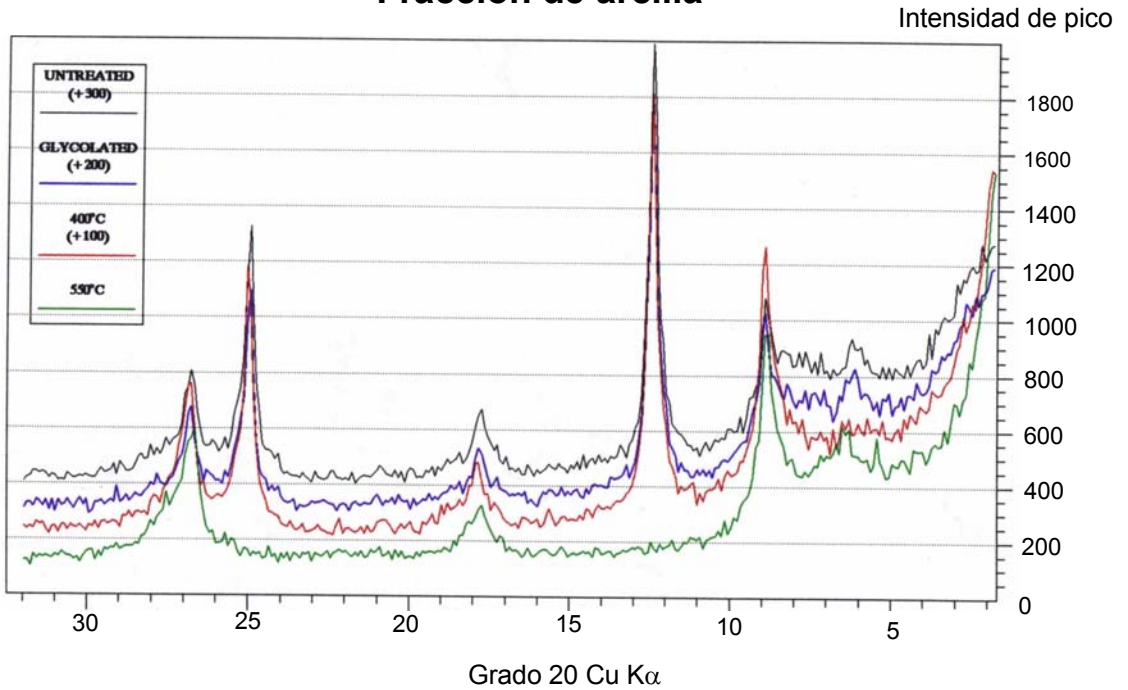
Muestras 5679'5". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X500. Baja magnificación general de una subarcosa mostrando lo pobremente interconectados que se encuentra la porosidad primaria intergranular (G4). Sobrecrecimiento de cuarzo (H10) y caolinita (H4). Note los parches de arcilla del tipo illita-esmectita (E7) posiblemente representando recristalización de las arcillas detríticas



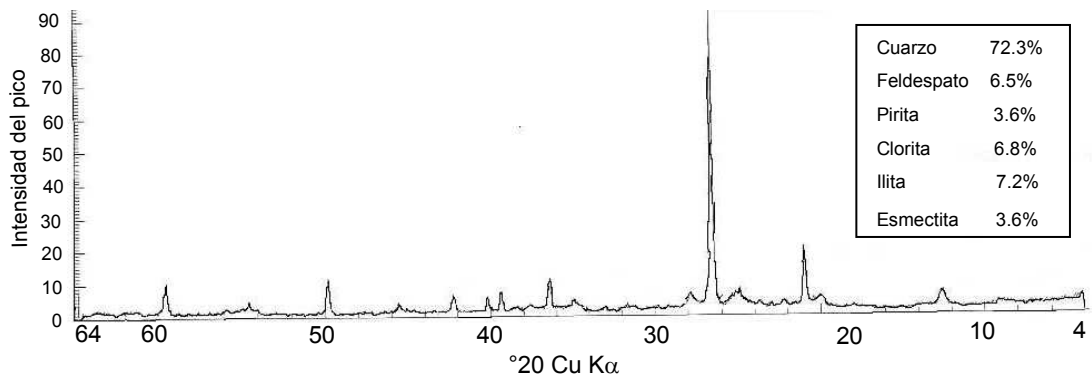
Muestras 5679'5". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X2500. Vista de alta magnificación de clorita y esmectita entrelazada, y la posterior alteración de la illita (H4).

Pozo PB-689. Muestra 5679'5''

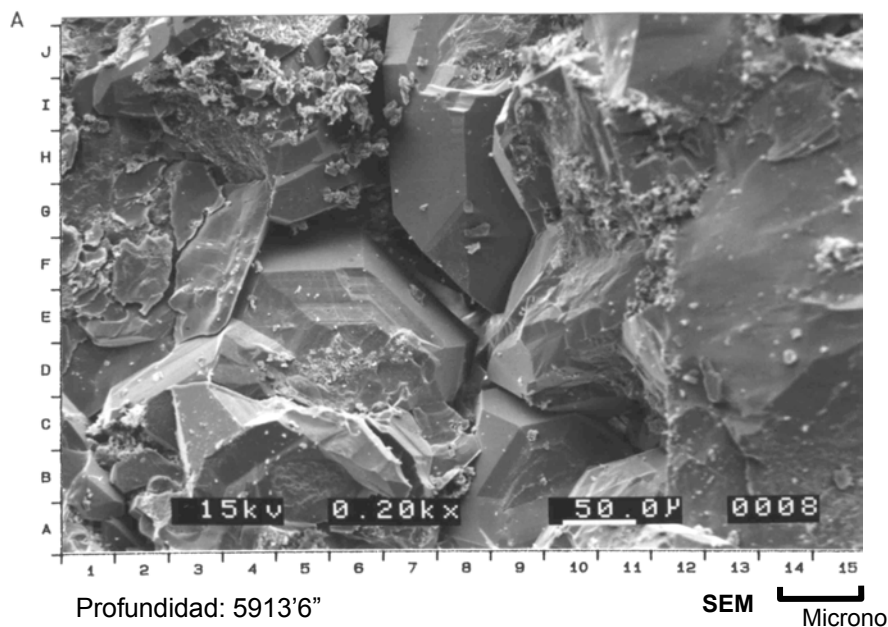
Fracción de arcilla



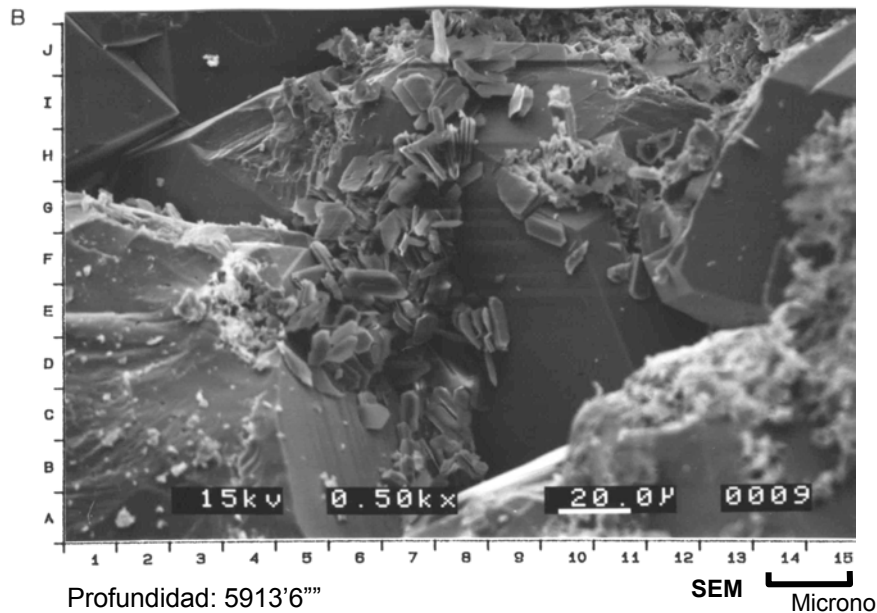
% de roca total



Pozo PB-689



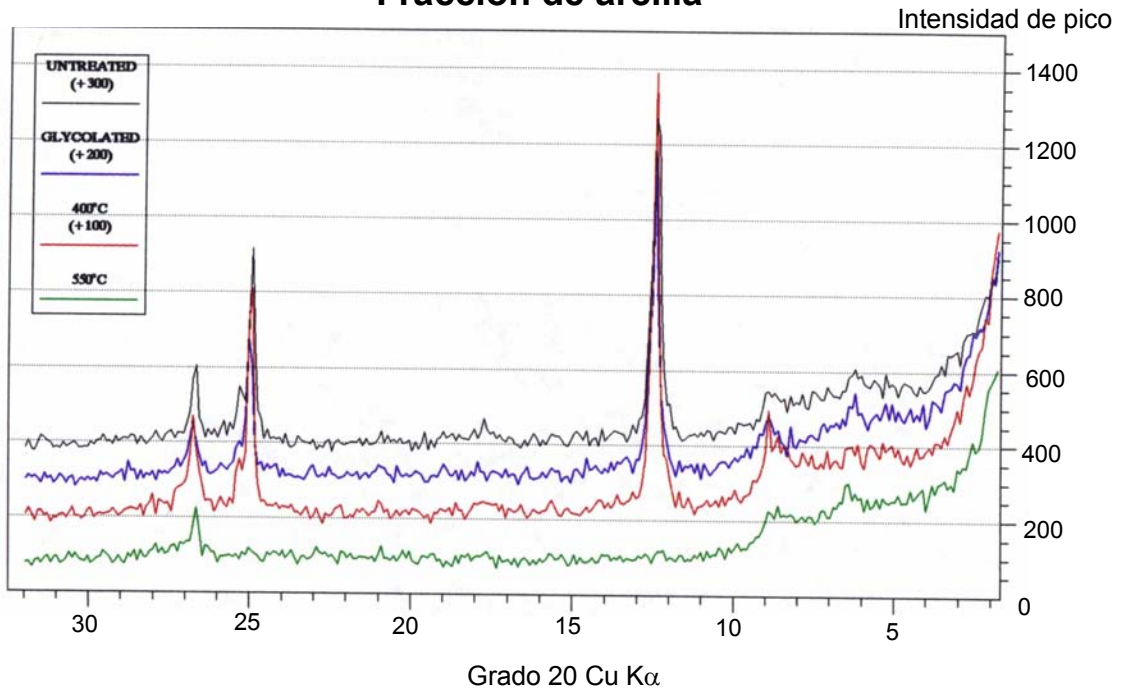
Muestras 5913'6". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X200. Arenisca cuarzoza con un escogimiento moderadamente bueno (D8), casi totalmente cubierta por sobrecrecimiento de cuarzo (E7) y caolinita autigénica (I6).



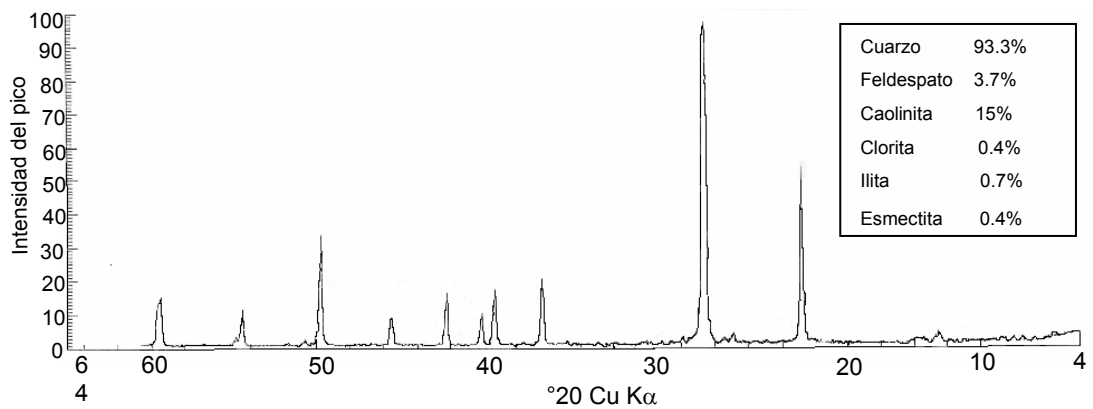
Muestras 5913'6". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X500. Bordes euhedrales de los granos formados por el sobrecrecimiento de cuarzo (E12 y G12) y caolinita autigénica (E7), Granos de feldespatos alterando a minerales de arcilla del tipo illita-esmectita.

Pozo PB-689. Muestra 5913'6''

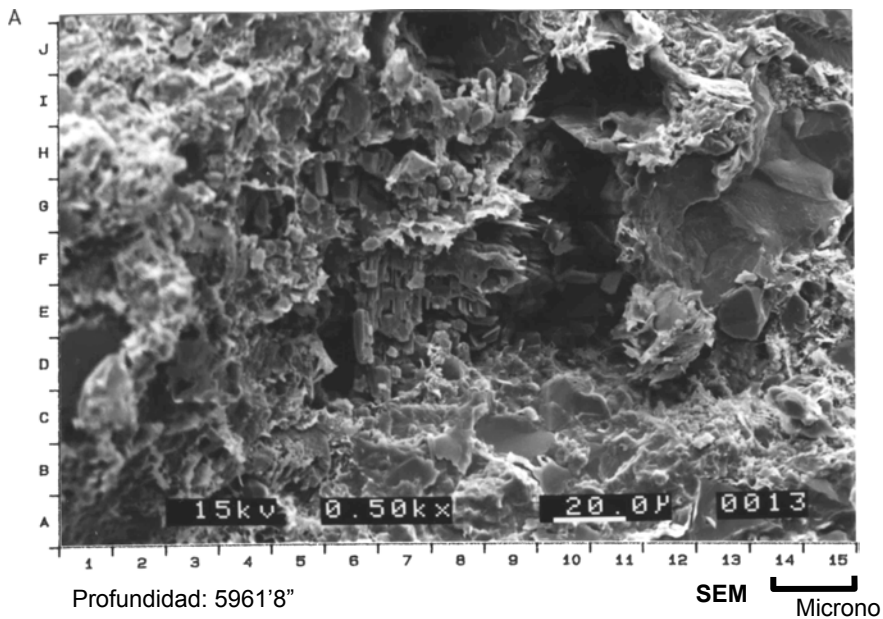
Fracción de arcilla



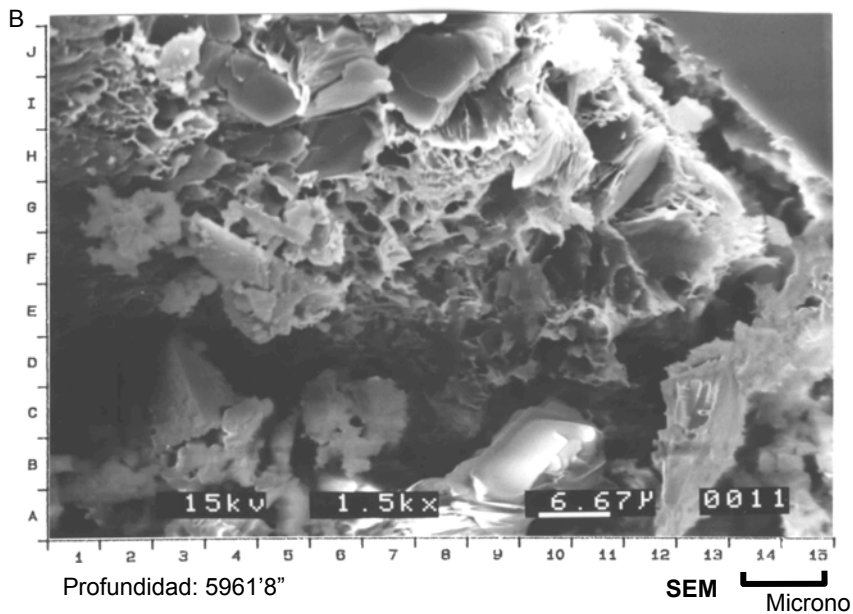
% de roca total



Pozo PB-689



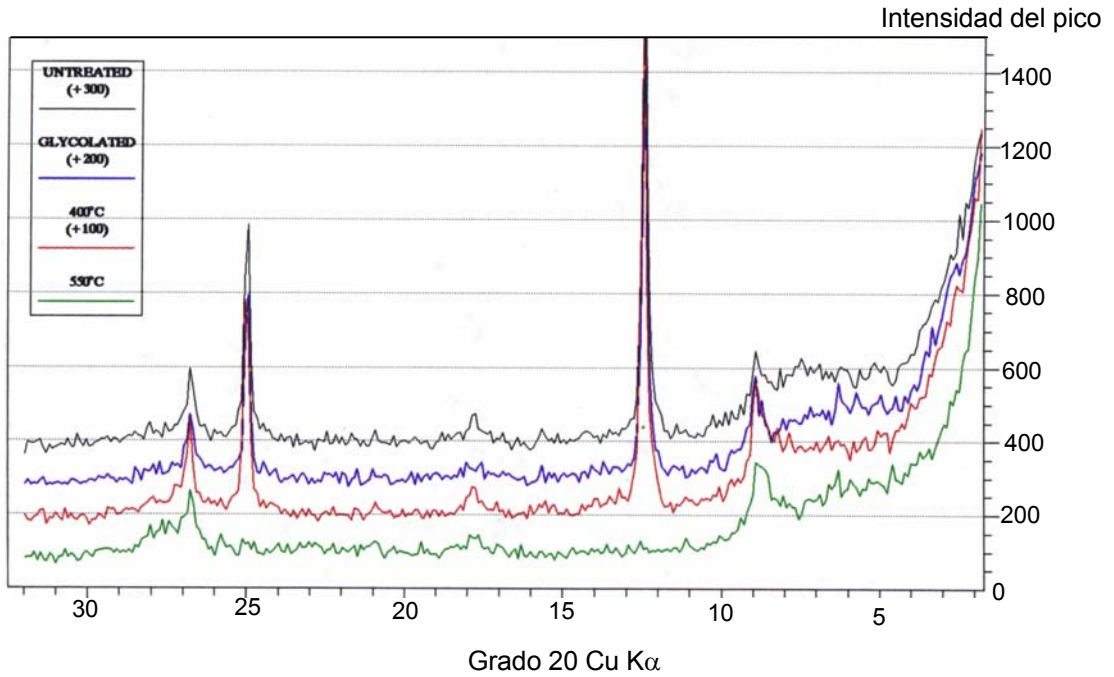
Muestras 5961'8". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X500. La fotomicrografía muestras porosidad por disolución de una grano de feldespato (D8) con pequeñas cantidades de illita (F8).
 Notese la menor cantidad de arcillas detríticas adheridas a los granos.



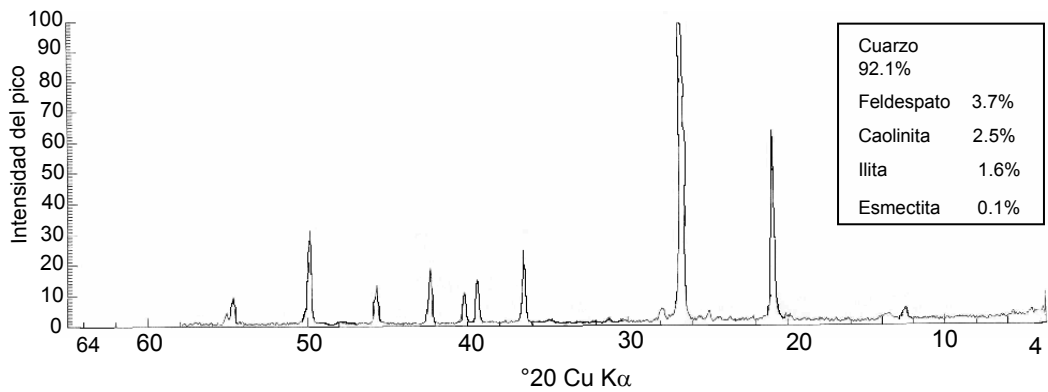
Muestras 5961'8". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X1500. Alteración de arcillas detríticas de esmectita a illita (G13).

Pozo PB-689. Muestra 5961'8"

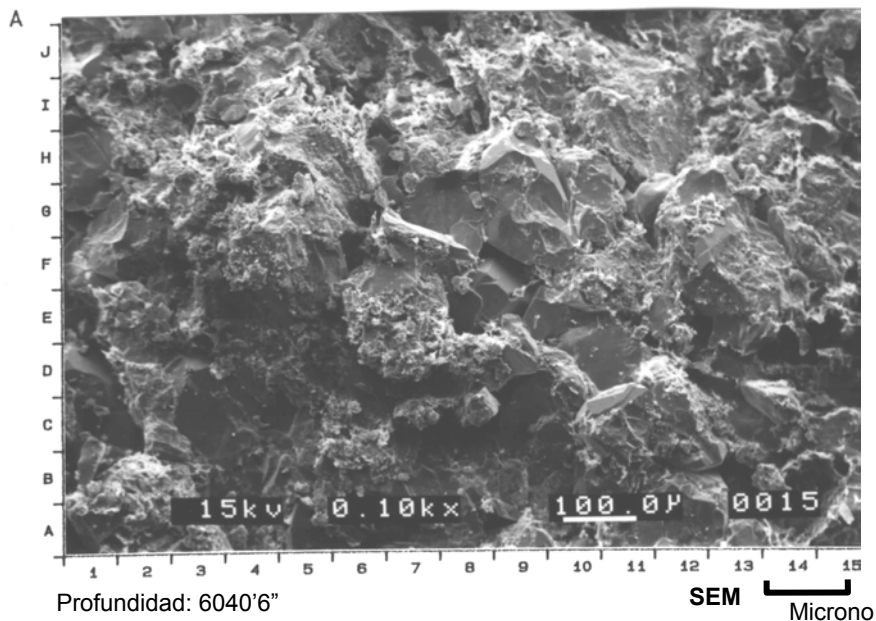
Fracción de arcilla



% de roca total



Pozo PB-689



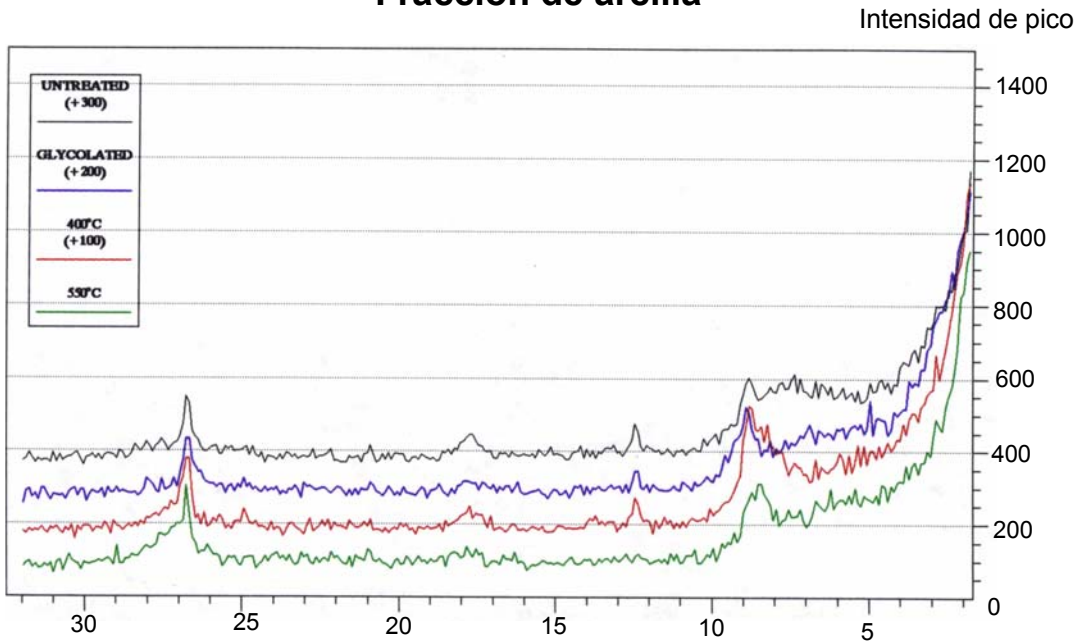
Muestras 6040'6". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X100. Arenasas sublítica mostrando macroporosidad intergranular con paredes de polígonos (F9) producidos por sobrecrecimiento de cuarzo. Notese los arcillas detríticas adheridas a los granos (G13).



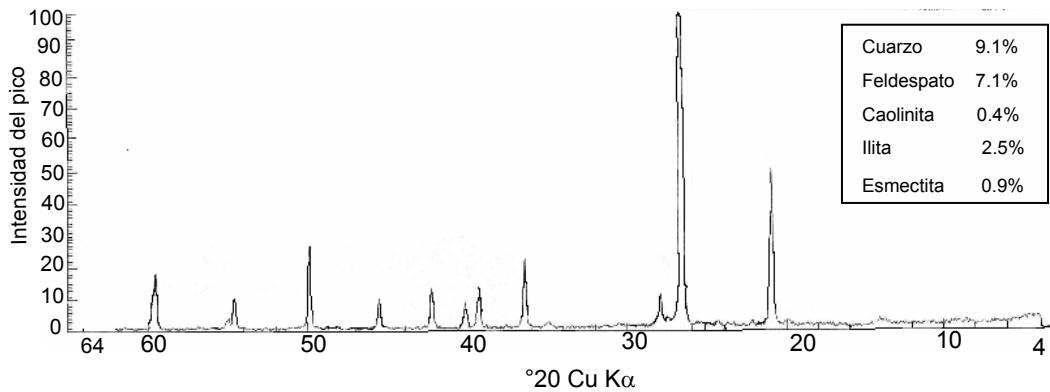
Muestras 5961'8". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X500. Mostrando porosidad intergranular (E7), con bordes euhedrales producto del sobrecrecimiento de cuarzo (E7). Esmeclita detrítica adherida a la superficie de los granos y están parcialmente alteradas a illita (G9)

Pozo PB-689. Muestra 6040'

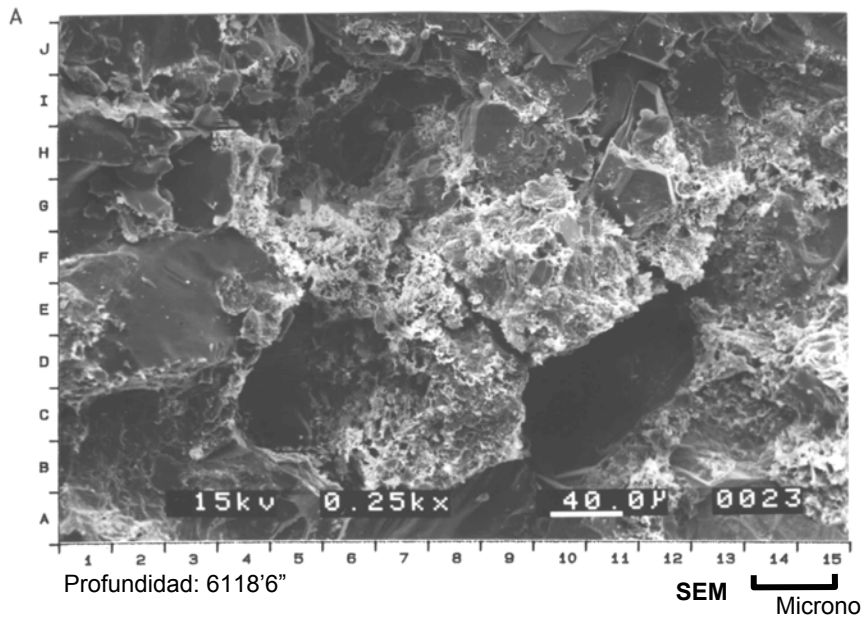
Fracción de arcilla



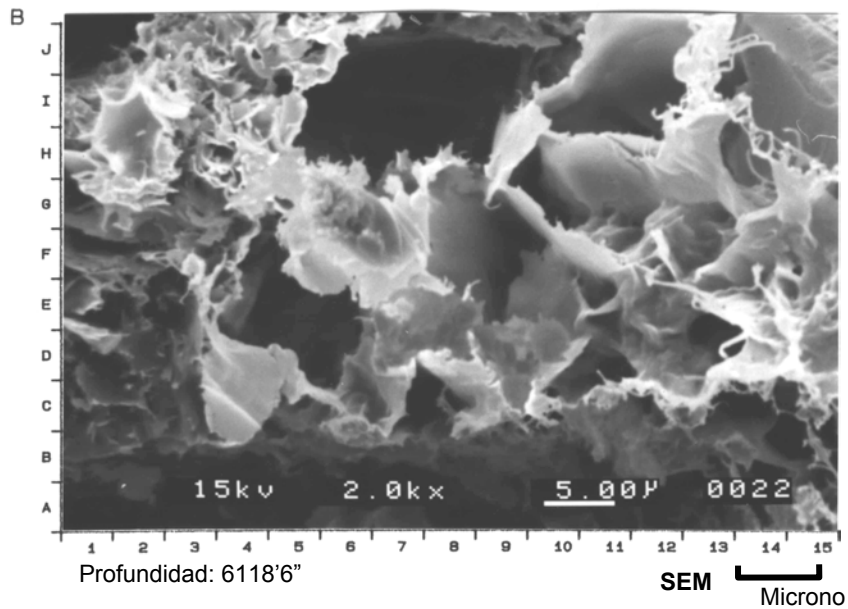
% de roca total



Pozo PB-689



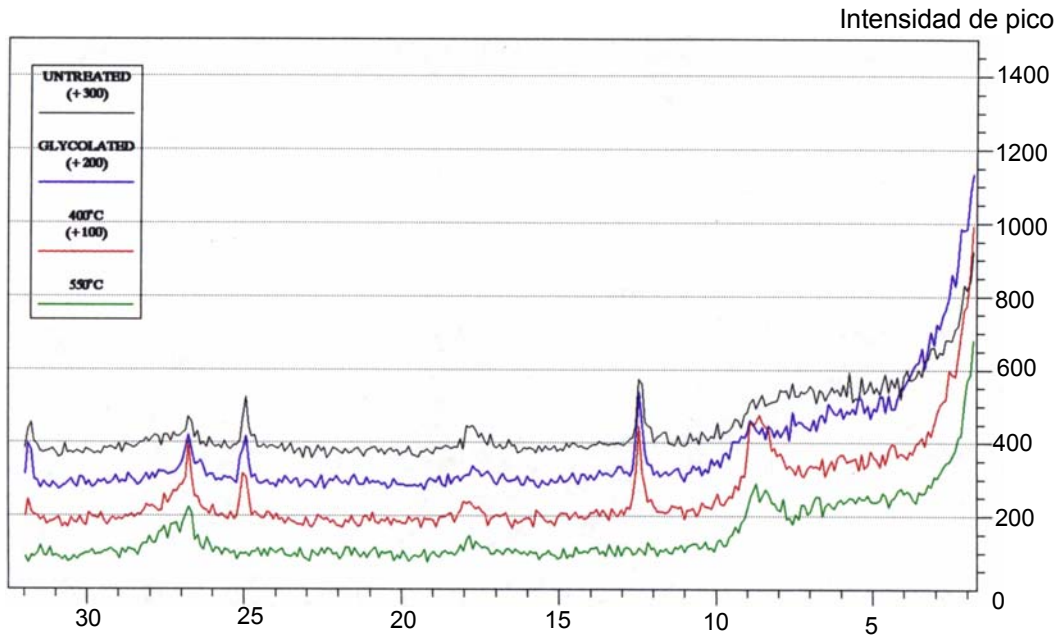
Muestras 6118'6"". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X250. Porosidad por disolución de feldespatos (C6, C10). Notese la cantidad de arcillas detríticas adherida a los granos (C8).



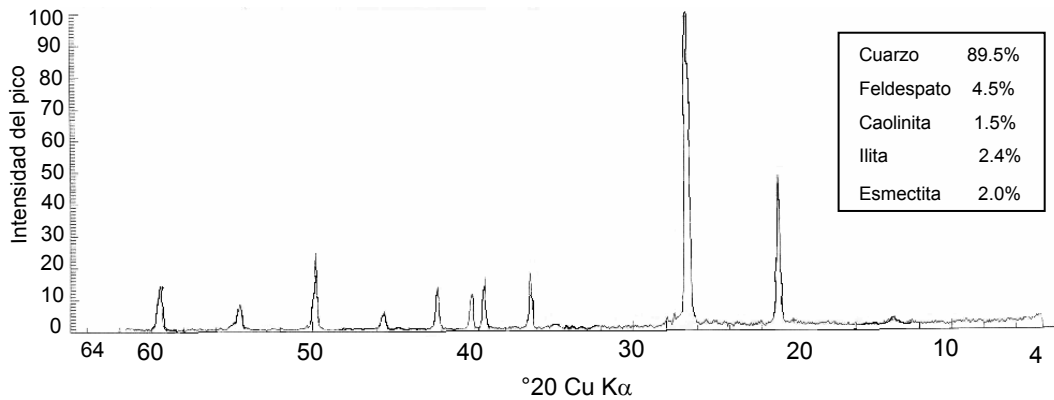
Muestras 6118'6"". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X2000. Esmeectita ilitizándose posiblemente por alteración de feldespatos

Pozo PB-689. Muestra 6118'6"

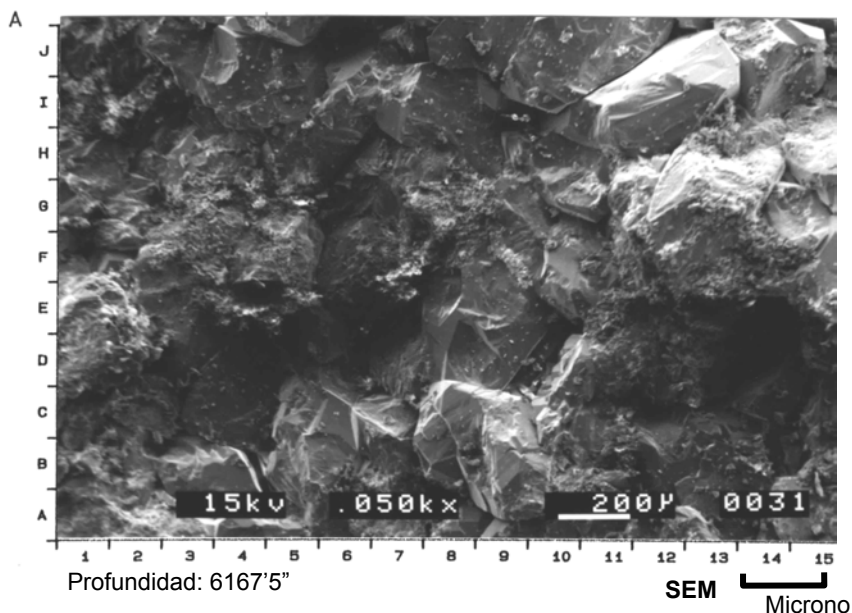
Fracción de arcilla



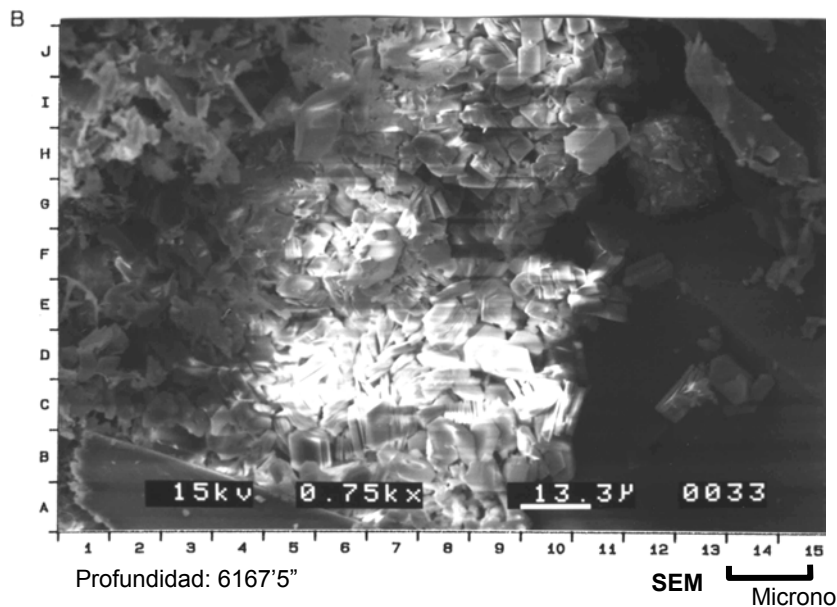
% de roca total



Pozo: PB-689



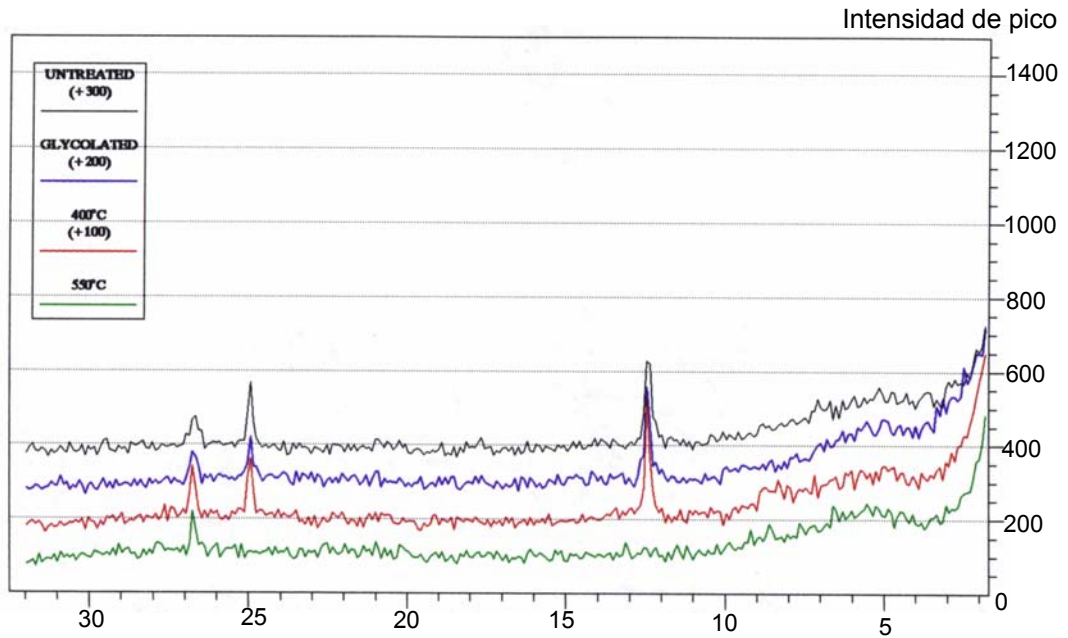
Muestras 6167'5". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X50. Areniscas cuarzoza con porosidad moderadamente interconectada (D10) y parcialmente degradada por arcillas detríticas (E11). Notese le desarrollo d sobrecrecimiento de cuarzo (J12).



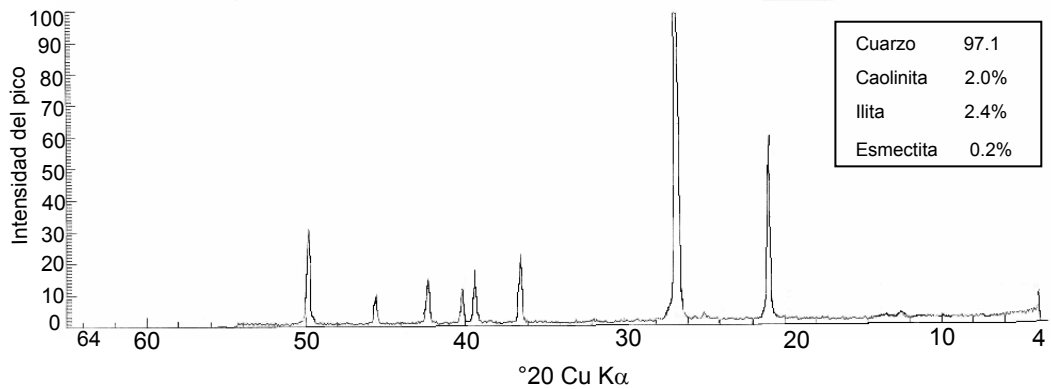
Muestras 6167'5". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X750. Caolinita vermicular generando microporosidad.

Pozo PB-689. Muestra 6167'5"

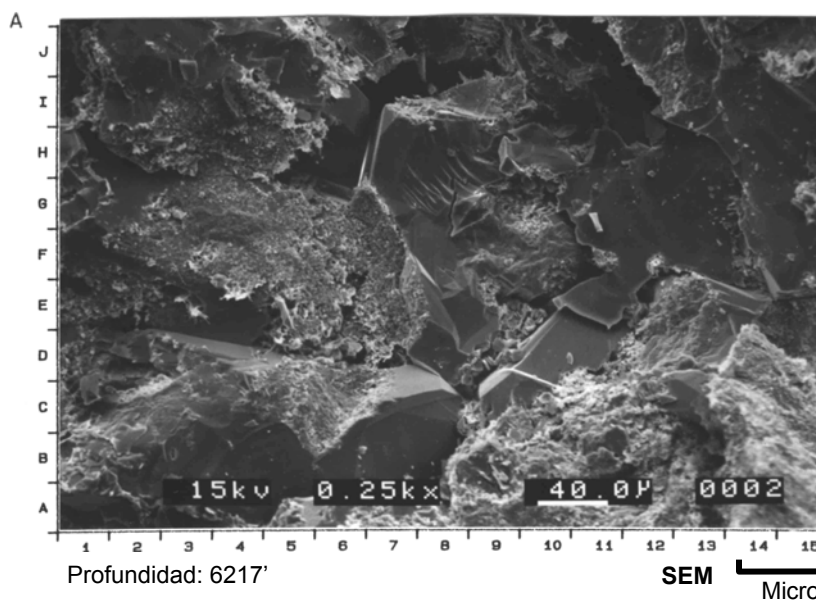
Fracción de arcilla



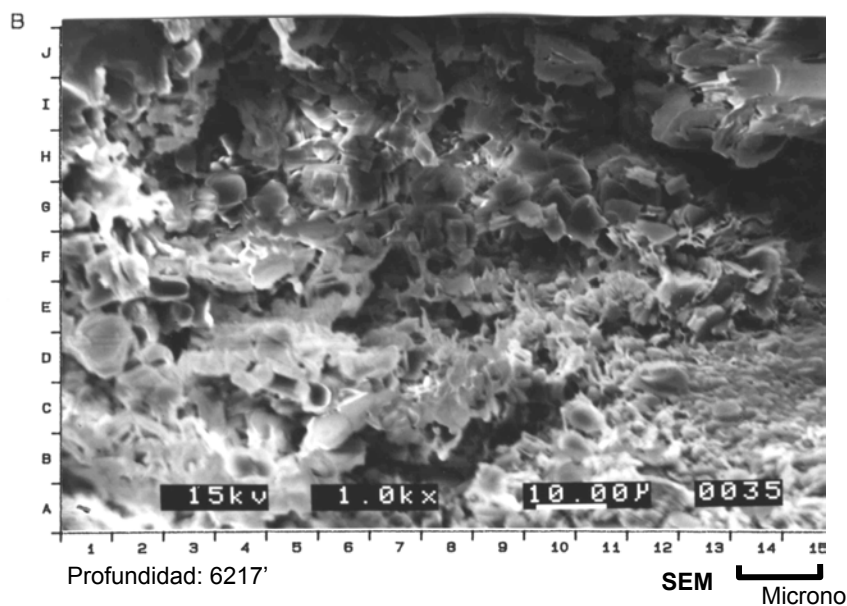
% de roca total



Pozo PB-689



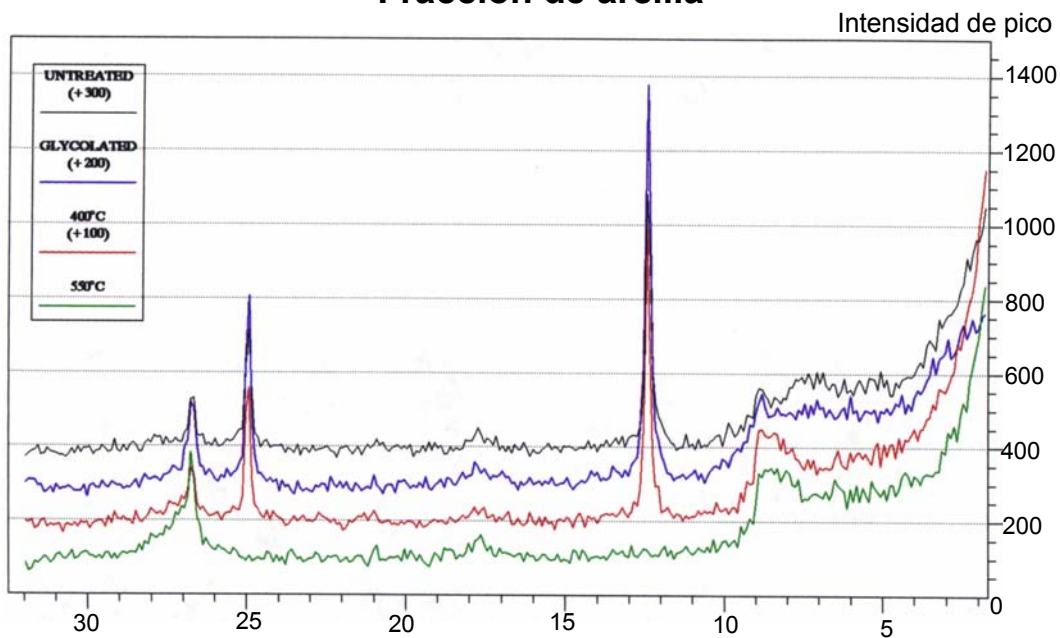
Muestras 6217'. Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X250. Porosidad intergranular (H6) parcialmente degradada por arcillas detríticas (H5) y sobrecrecimiento de cuarzo (I7). Los sobrecrecimientos de cuarzo contienen arcillas detríticas en su superficie (D3). Porosidad secundaria por disolución de feldespatos (E6).



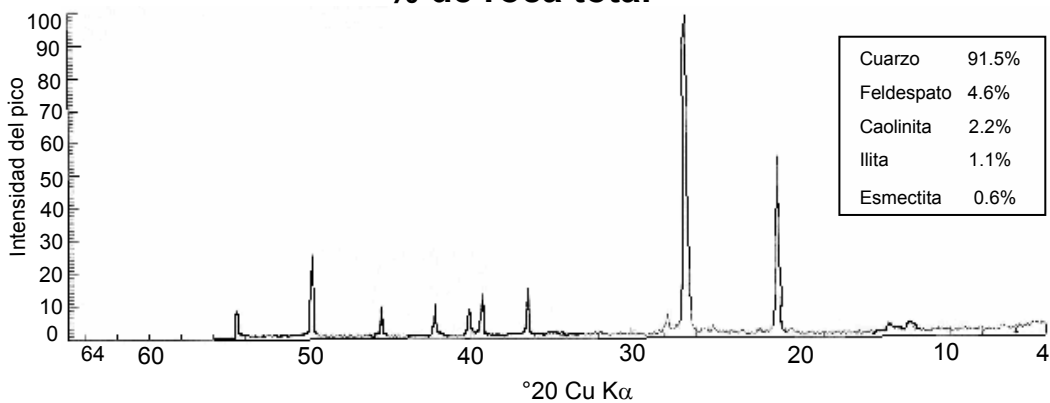
Muestras 6217'. Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X1000. Mostrando caolinita autigénica (G6) y parcialmente esmectita ilitizándose (D9).

Pozo PB-689. Muestra 6217'

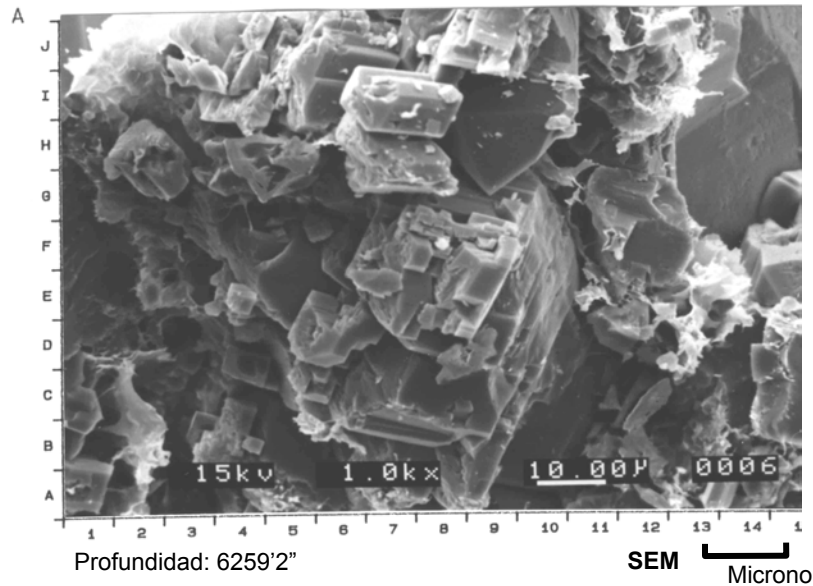
Fracción de arcilla



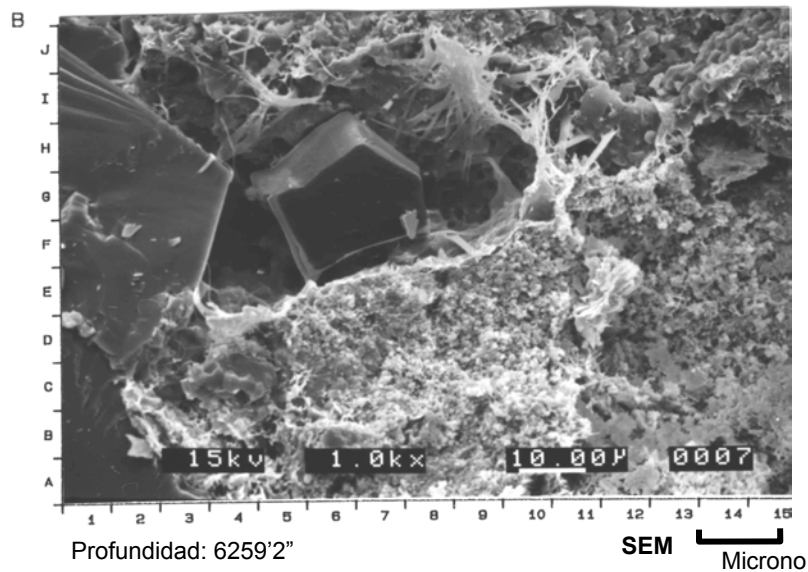
% de roca total



Pozo PB-689



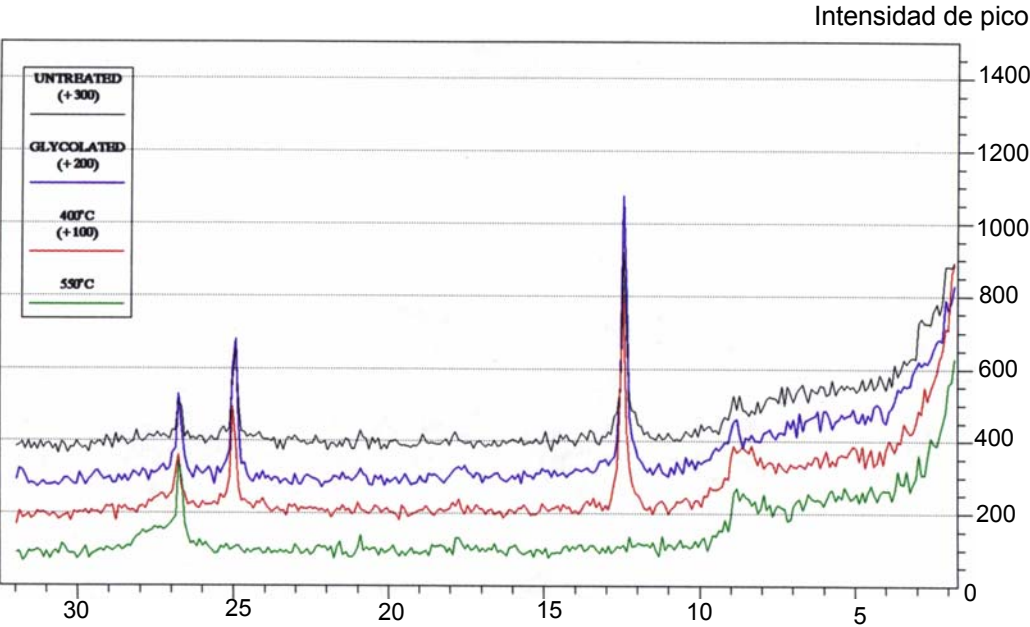
Muestras 6259'2". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X1000. Cemento de calcita ferrosa (F9), sobrecrecimiento de cuarzo (H10) y adherencia de granos del tipo illita-esmectita (H12)



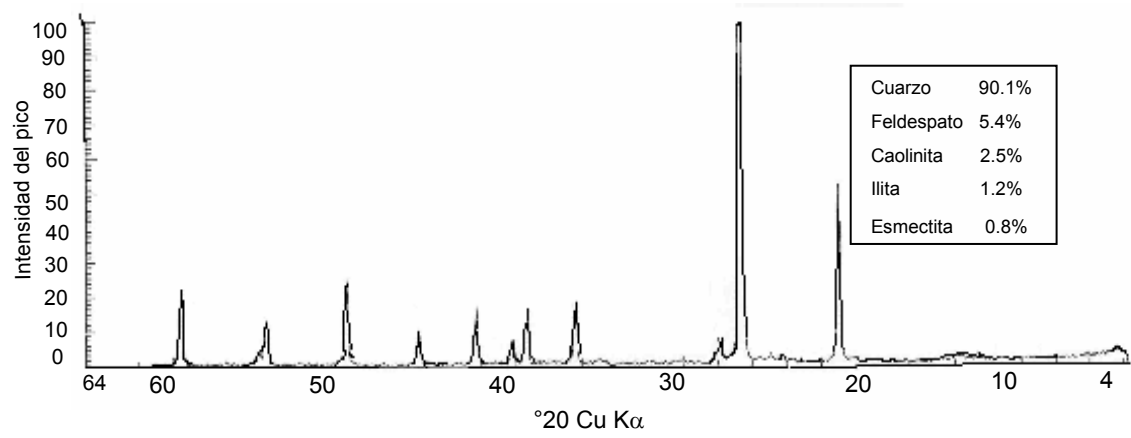
Muestras 6259'2". Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X1000. Granos de cuarzo con sobrecrecimiento (H3), esmectita con arcillas detriticas (I13). Notese también el desarrollo de las fibras de illita (I8).

Pozo PB-689. Muestra 6259'2"

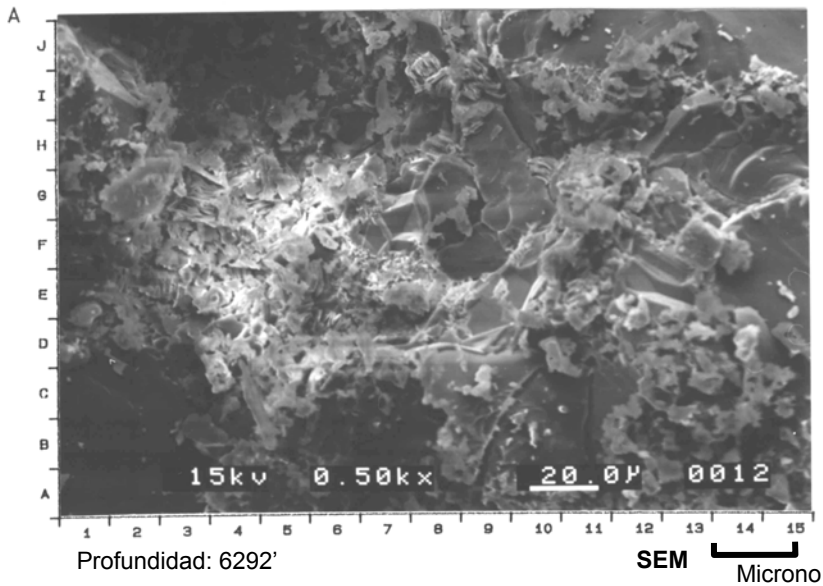
Fracción de arcilla



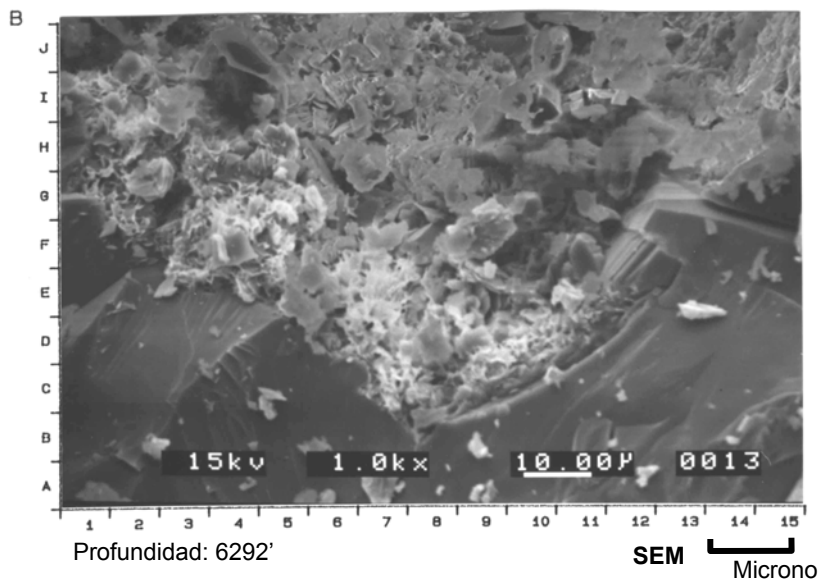
% de roca total



Pozo PB-689



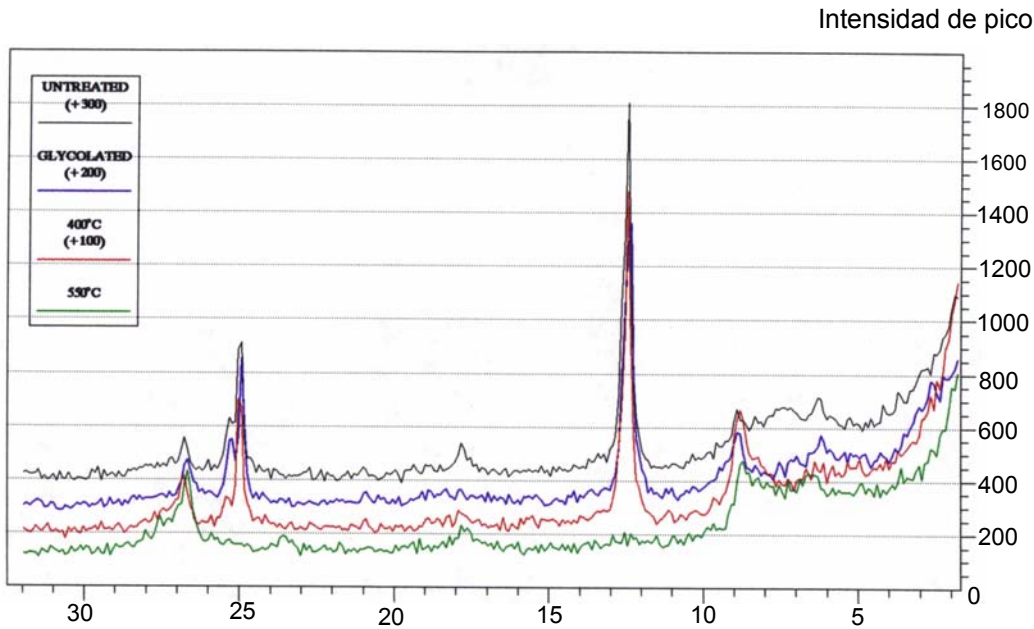
Muestras 6292'. Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X500. Caolinita relleno de poros (F4) al igual que las arcillas detríticas.



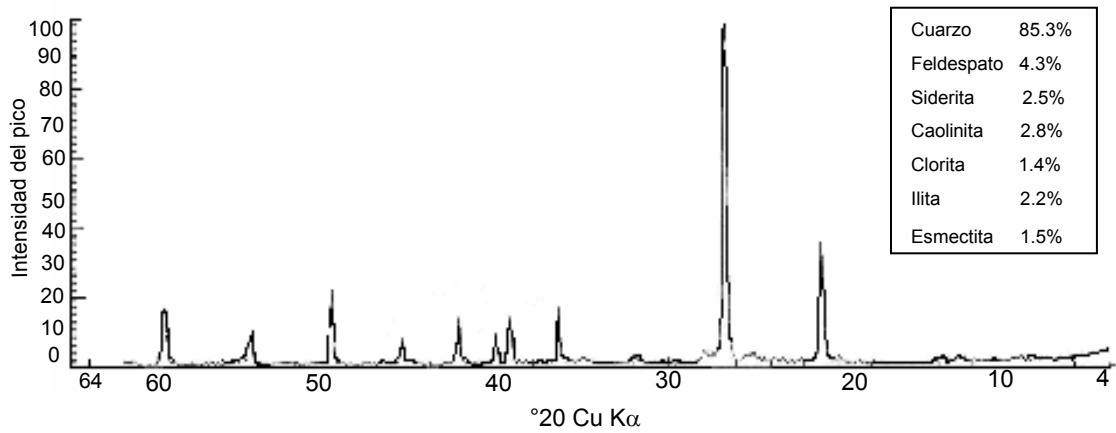
Muestras 6292'. Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X1000. Sobrecrecimiento de cuarzo (F12), esmectita detríticas (D10) y caolinita autógenas (I5).

Pozo PB-689. Muestra 6292'

Fracción de arcilla



% de roca total

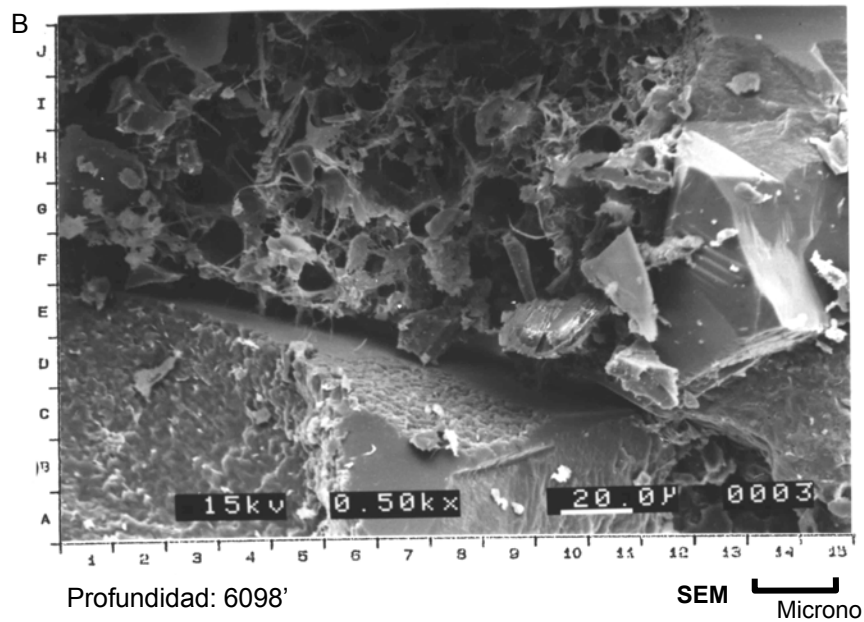


APENDICE 3

Pozo: PB-694



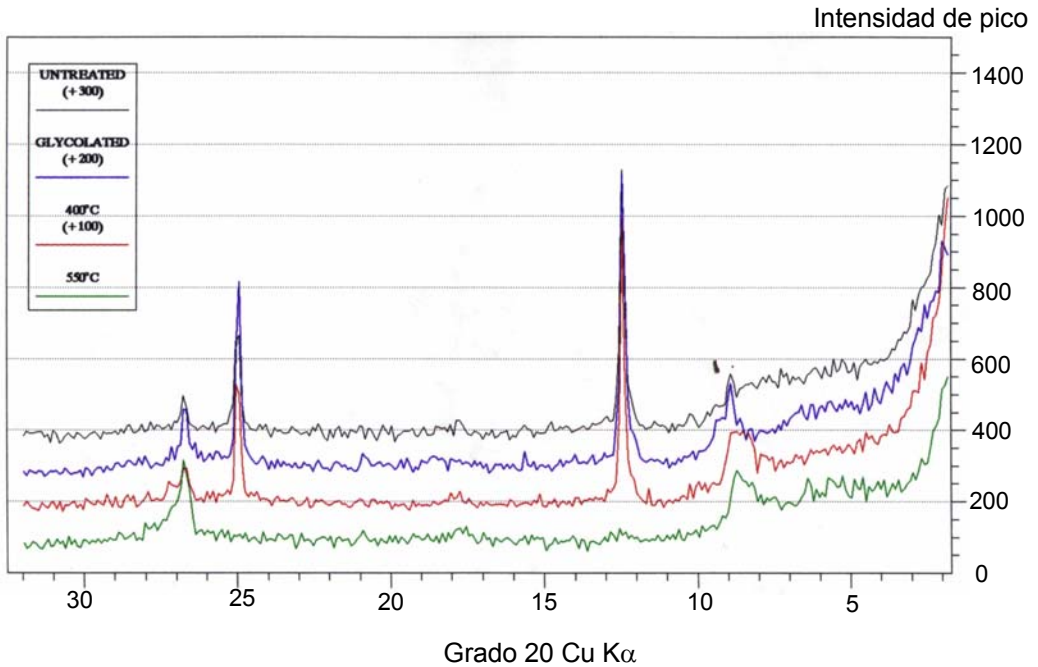
Muestras 6098'. Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X500. Caolinita relleno poros intergranular (G6) sobre el sobrecrecimiento de cuarzo (G2).



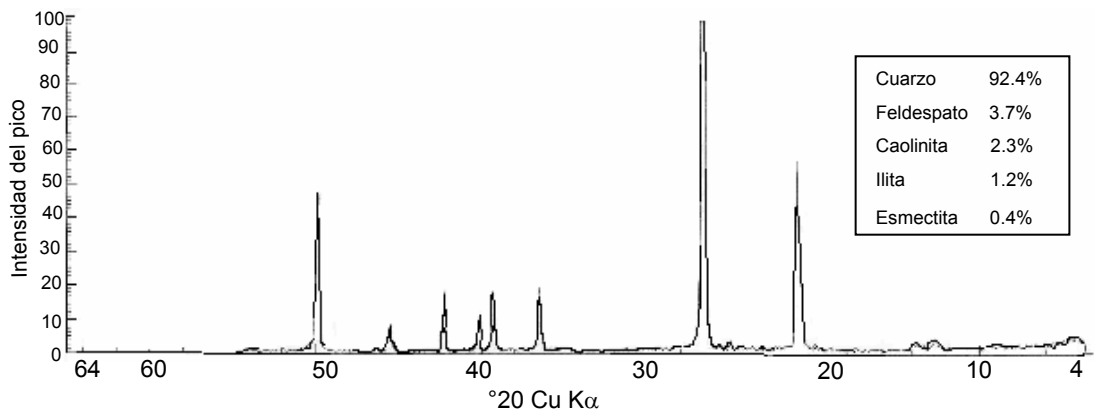
Muestras 6098'. Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X500. Ilita relleno poros (G5, F5), además del desarrollo de sobrecrecimiento de cuarzo parcialmente obstruyendo la porosidad (G12).

Pozo PB-694. Muestra 6098'

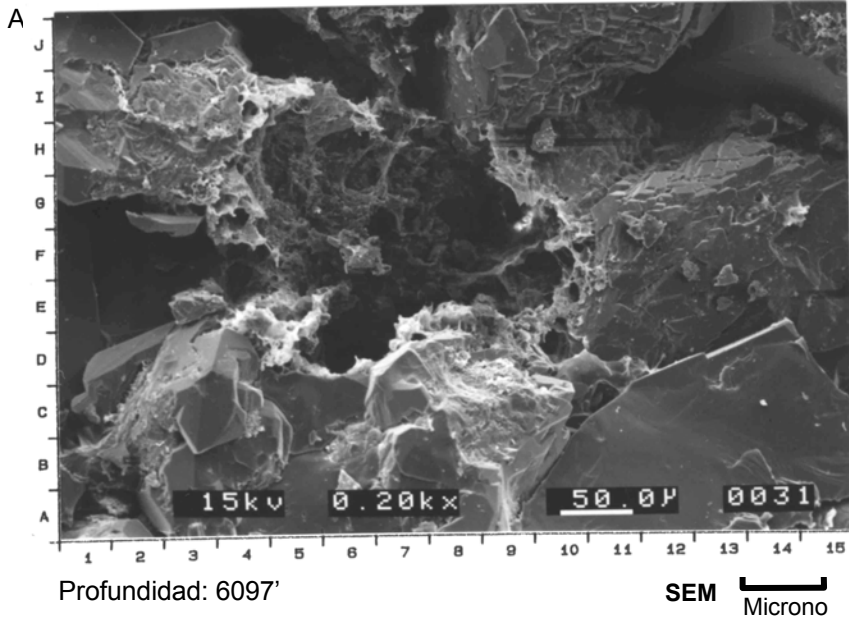
Fracción de arcilla



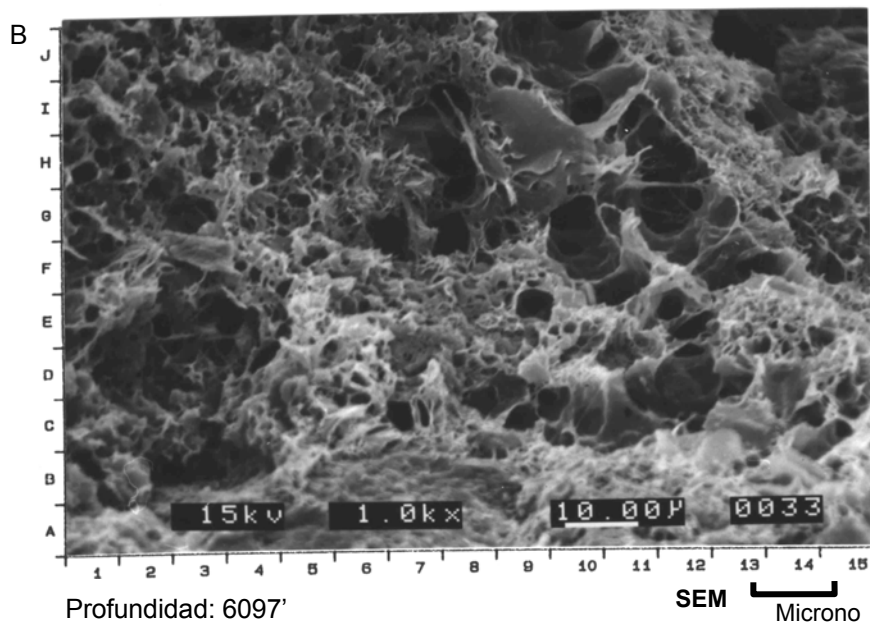
% de roca total



Pozo: PB-694



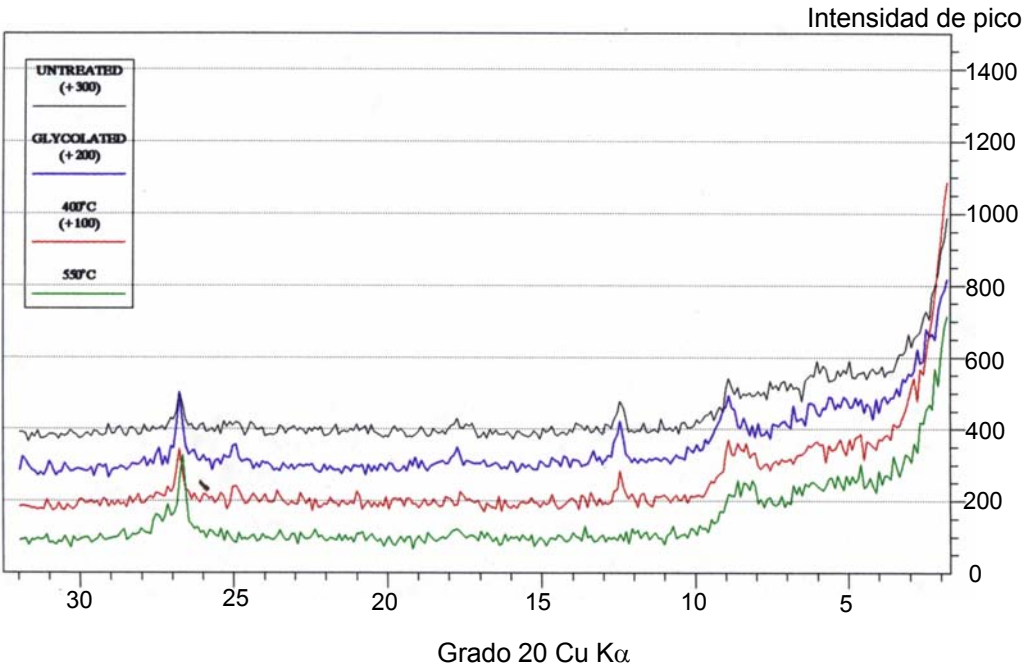
Muestras 6097'. Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X200. Porosidad secundaria formada por disolución y degradación de feldespatos (G8). Illita bordeando poros (D8) y sobrecrecimiento de cuarzo (C3).



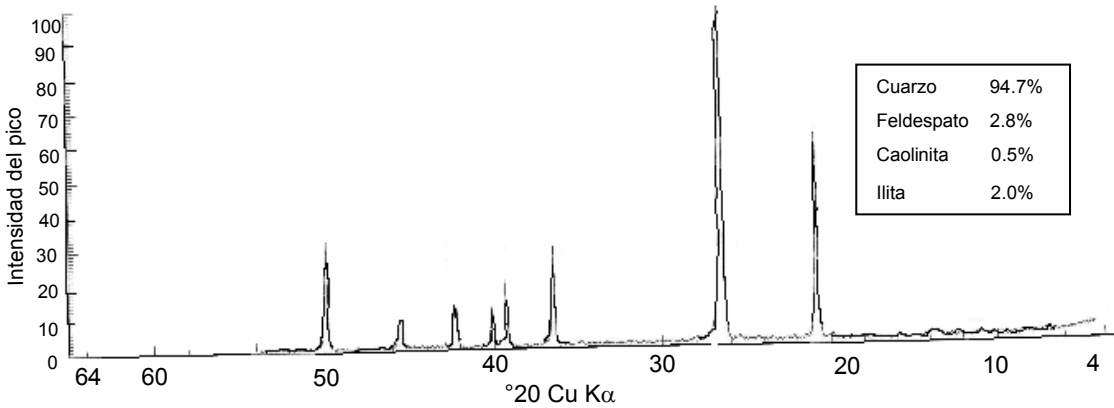
Muestras 6097'. Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X1000. Illita con morfología fibrosa rellenando poros (G6, G11)

Pozo PB-694. Muestra 6097'

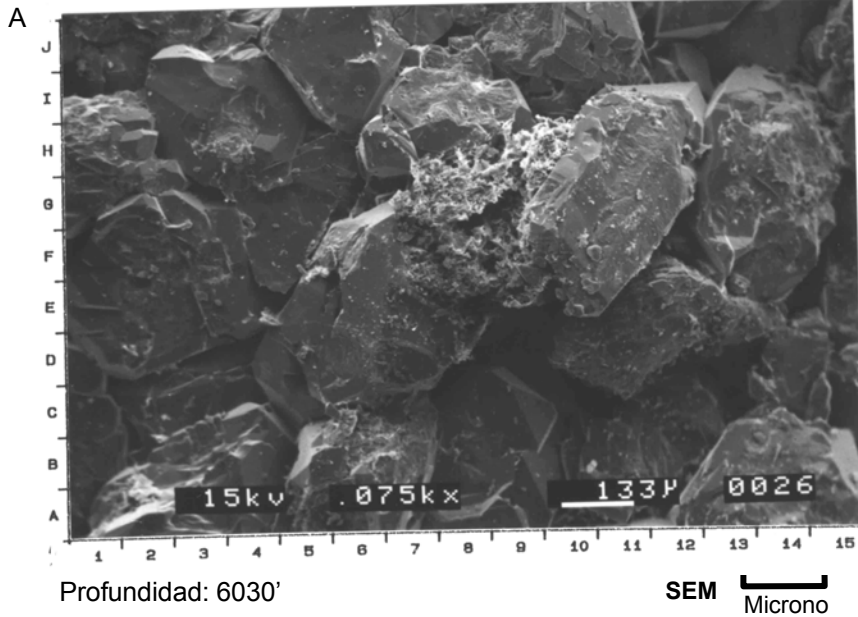
Fracción de arcilla



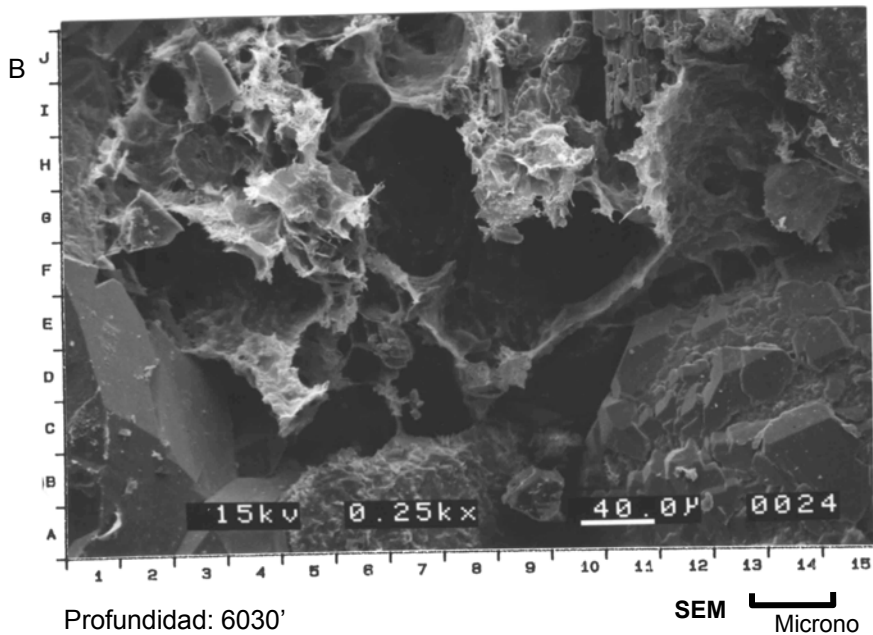
% de roca total



Pozo: PB-694



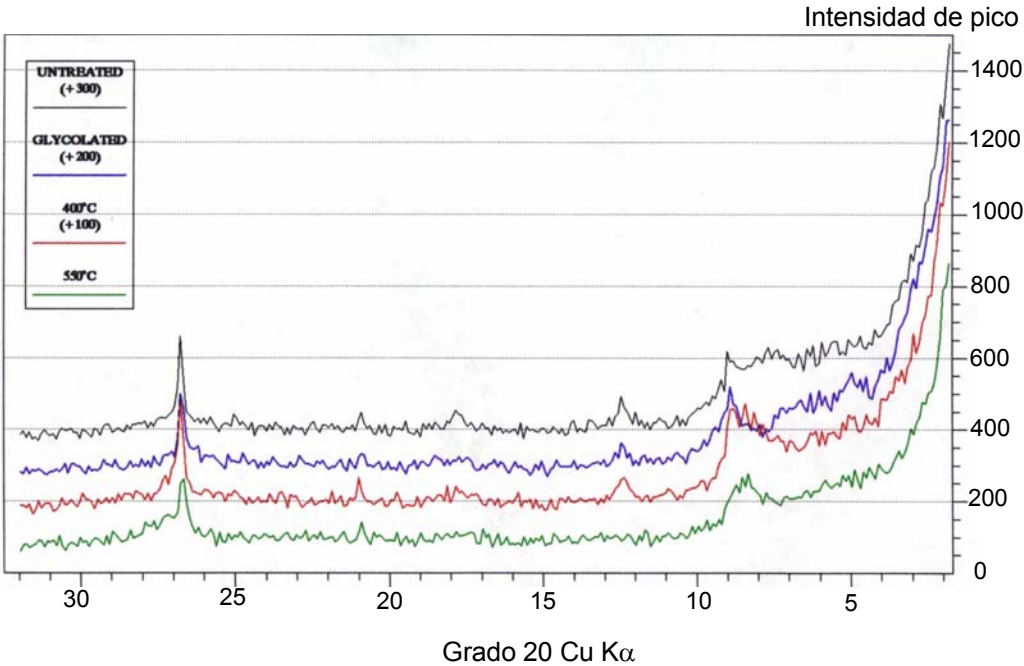
Muestras 6030'. Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X75. Feldespatos severamente degradados (G8) y sobrecrecimiento de cuarzo con terminaciones euhedrales (I12).



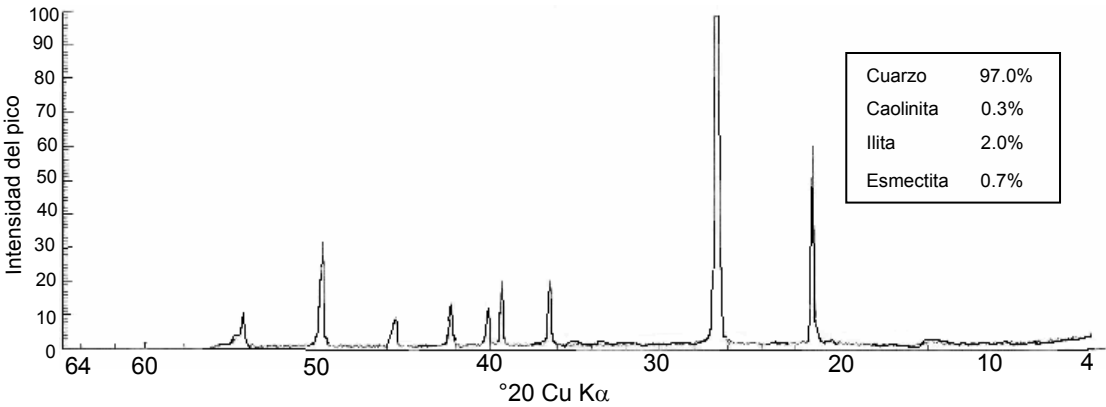
Muestras 6030'. Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X250. Iilita fibrosa nucleada sobre iilita (G6). Notese la discontinuidad de los sobrecrecimientos de cuarzo (C12).

Pozo PB-694. Muestra 6030'

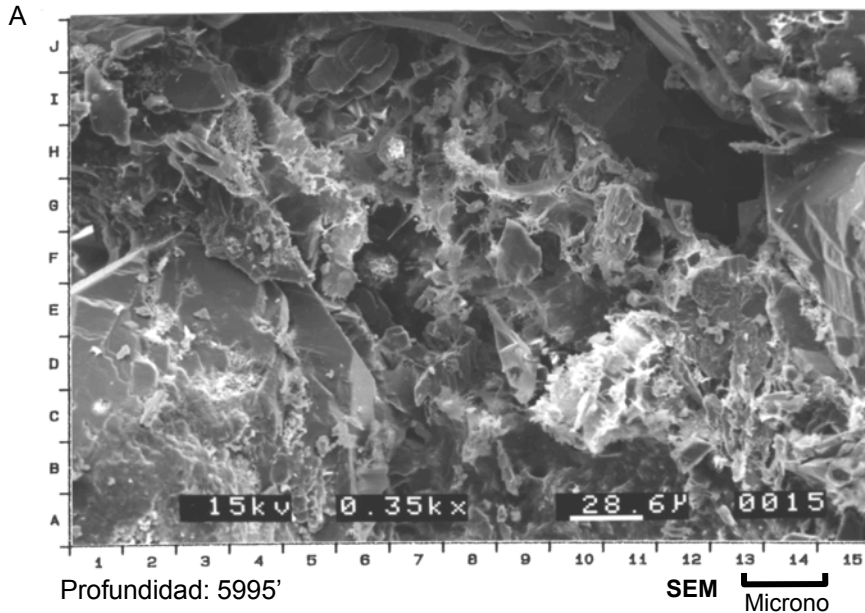
Fracción de arcilla



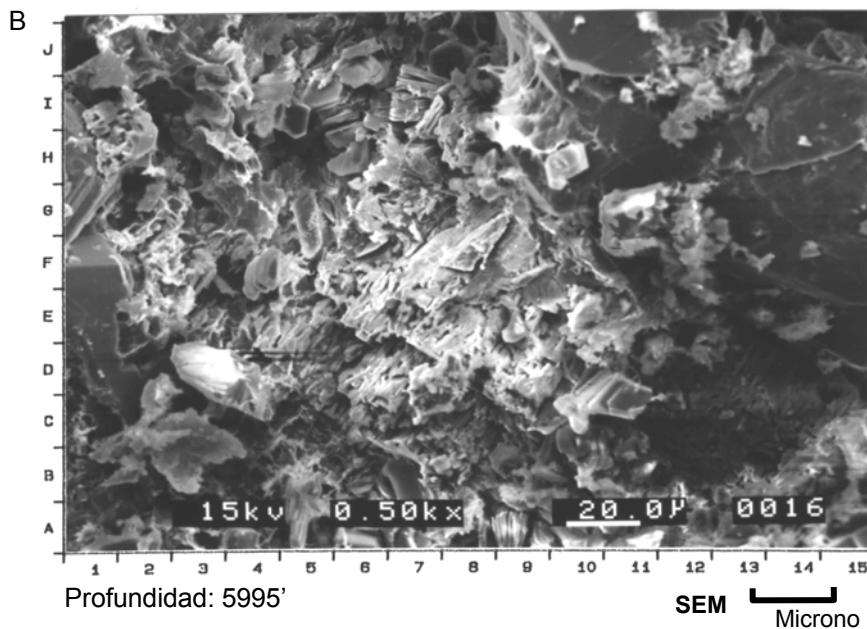
% de roca total



Pozo: PB-694



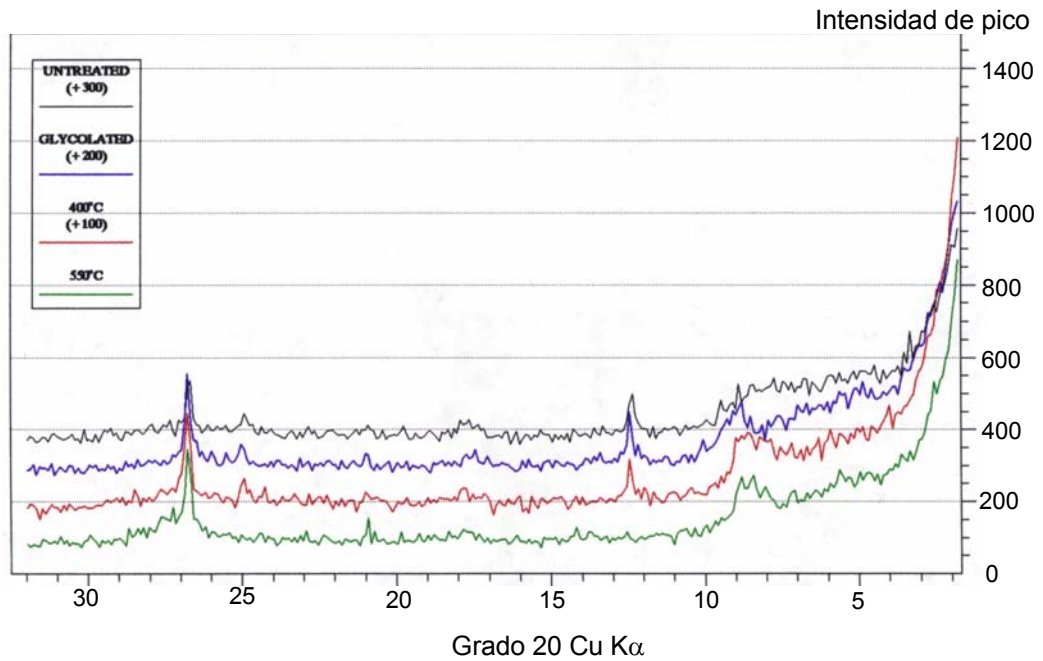
Muestras 5995'. Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X350. Porosidad secundaria parcialmente obstruida por illita fibrosa (G9). Sobrecrecimiento de cuarzo con terminaciones euhedrales (D5, I11). Pequeños parches de arcillas autígenicas, probablemente esmectita (H4), los cuales están asociados a las disolución de los feldespatos



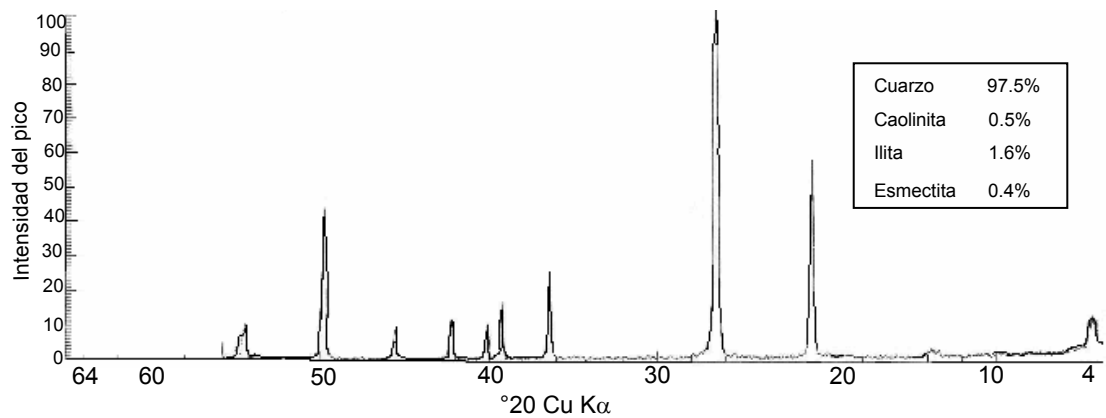
Muestras 5995'. Fotomicrografía de S.E.M, magnificación: X500. Disolución de feldespatos (E6) generando microporosidad. Caolinita euhedral pseudo-hexagonal parcialmente adherido a los poros (I7, A9), la caolinita a sufrido subsecuente ilitización (H7).

Pozo PB-694. Muestra 5995'

Fracción de arcilla



% de roca total



ANEXOS

Anexo 1. Tabla de Resultados petrográficos de textura, composición y clasificación de las muestras de los pozos CC-2A, PB-694 y PB-689

[illegible]

Leyenda: TG: tamaño de grano, Escogimi: escogimiento, Redonz: redondez, S/D: sin diferenciar, ME: mal escogido, MedE: medianamente escogido, BE: bien escogido, SR: subredondeado, R: redondeado, SA: subanguloso, G-C: grano-cemento, Long:longitudinal, Tang: tangencial, G-M: grano-matriz

Omlp: cuarzo monocristalino ígneo plutónico, Qplp: Cuarzo policristalino ígneo plutónico, Qpm: cuarzo policristalino metamórfico, Qmm: cuarzo monocristalino metamórfico, Plagio: plagioclasas, Orto: ortosa, Microd: microdino, Fr meta: fragmento de roca metamórfica.

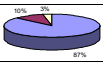
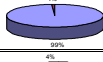
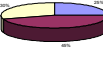
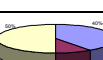
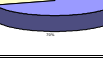
Fr sed: fragmento de roca sedimentario; Fr ign: fragmento de roca igneo metamórfico; Turm: turmalina; Leucx: leucóxeno; Limon: limonita; Min arc: minerales de arcilla; Dol Fe: dolomita ferrosa; Dol: dolomita; Caol: caolinita; Glau: glauconita; MO: materia orgánica; Tz: traza.

Anexo 2. Tabla de efectos diagénéticos producidos en las muestras de los pozos CC-2A, PB-694 y PB-689

Pozo	Número de la muestra	Unidad Informal	Compacción				Cementación			Disolución			Alteración y Autigénesis		Presión-Solución			
			Contacto pred	Grado de porosidad	Deform gran dúctil	Frac gran dúctil	Cemento pred	Ocurrencia de cementos			Componente disuelto	Resi comp disuelto	granos flotantes	Min alterado	Min autigénico	Contacto longitudi	Contacto C-C	Estiloli
								Relle poro	Sobrecr grano	Envolt de grano								
CC-02	4660'-4670'	B5	G-C	Bajo	x	x	Calcaréo			x	Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Calcita y arcillas			
	4740'	B5	G-C	Bajo	x	x	Calcaréo	x		x	Feld y FR	x		Muscovita, FR y Feld	Qz sobrecr, calcita y arcillas			
	4970'-4980'	B5	G-C	Bajo	x	x	Calcaréo				Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Calciat y siderita			
	5040'-5050'	B5	G-C	Bajo	x	x	Calcaréo				Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Calciat y siderita			
	5090'-5100'	B5	G-M	Bajo	x	x	Cuarzo			x	Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Calcita y arcillas			
	5160'-5170'	B5	G-M	Bajo	x	x	Cuarzo		x		Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Cuarzo y calcita			
	5261'	B5	G-C	Bajo	x	x	Calcaréo	x		x	Matriz	x		Feld, FR y matriz	Qz sobrecr, calcita, óxido y arcillas	x		
	5370'-5380'	B5	G-C	Bajo	x	x	Cuarzo				Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Calcita			
	5490'-5500'	B6	G-G	Bajo	x	x	Cuarzo		x	x	Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Cuarzo y arcillas	x		
	5590'-5570'	B6	G-C	Bajo	x	x	Cuarzo			x	Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Cuarzo, caolinita y dolomita			
	5590'-5600'	B6	G-C	Bajo	x	x	Cuarzo		x		Feld y FR			Micas, FR y Feld	Cuarzo, calcita y dolomita	x		
	5740'-5750'	B6	G-M	Bajo	x	x	Cuarzo			x	Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Calcita y arcillas			
	5790'-5800'	B6	G-G	Bajo	x	x	Cuarzo		x		Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Cuarzo, calcita y dolomita	x		
	5820'-5830'	B6	G-G	Bajo	x	x	Cuarzo		x	x	Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Cuarzo y arcillas	x		
	5830'-5840'	B7	G-G	Bajo	x	x	Cuarzo		x		Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Cuarzo y siderita	x		
	5990'-6000'	B7	G-G	Bajo	x	x	Cuarzo				Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Calcita	x		
	6710'-6720'	B7	G-G	Bajo	x	x	Calcaréo		x		Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Cuarzo, calcita y siderita	x		
	6930'-6940'	B7	G-G	Bajo	x	x	Cuarzo				Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Cuarzo y arcillas	x		
	7010'-7020'	B7	G-G	Bajo	x	x	Cuarzo			x	Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Calcita, caolinita, arcillas y dolomita	x		
	7060'-7070'	B7	G-G	Bajo	x	x	Cuarzo				Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Calcita, dolomita y siderita	x		
	7660'-7670'	C1	G-M	Bajo	x	x	Cuarzo		x	x	Feld, FR y matriz			Micas, FR y Feld	Qz, limonita, arcillas, calcita y siderita			
PB-694	5902'5"		G-C	Medio	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR y matriz	x	x	Feld y FR	Qz sobrecr, Qz microcr, óxido y arcillas			
	5912'		G-C	Bajo	x	x	Calcaréo	x	x	x	Feld y matriz	x		Feld y micas	Qz sobrecr, calcit, siderita, oxi y arcl			
	5946'		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Matriz			Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, calcita y arcillas			
	5974'		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR, matriz y cemen			Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, calcita, arcillas y caol			
	5977'8"		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR y matriz	x	x	Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, calcita, arcilla, chert y caol			
	5995'		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR, matriz y cemen			Feld, FR y Micas	Qz sobrecr y arcillas			
	5997'		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x		Feld y FR			Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, Qz microcr y óxidos			
	6019'		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR, micas y matriz	x		Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, calcita,óxido,arcillas y caol			
	6028'		G-C	Bajo	x	x	Cuarzo	x	x		Feld y FR			Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, calcita y arcillas			
	6030'		G-C	Medio	x		Cuarzo	x			Feld, FR y Cemento	x		Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, calcita, arcillas y caol			
	6046'		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR, matriz y cemen			Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, caolinita y arcillas			
	6097'		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR, matriz y cemen			Feld y FR	Qz sobrecr, calcita, arcilla y óxido			x
	6098'		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR y Cemento	x		Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, calcita, arcilla y óxido			
	6123'		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR, matriz y cemen			Feld, FR y Micas	Qz sobrecr y arcillas			x
	6141'		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR, matriz y cemen			Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, caol, oxi y arcillas			
	6154'		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR y Cemento			Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, caolinita y arcillas			
PB-689	5679'		L	Bajo	x		Cuazo	x	x	x	Feld, FR y Cemento	x		Feld y FR	Qz sobrecr, Caol, Qz microcr, oxi y arcillas	x		
	5716'1"		G-C	Alto	x		Calcaréo	x	x		Feld y FR		x	Feld y FR	Qz sobrecr, calcita, arcillas y caol			x
	5913'8"		C-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR y matriz	x		Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, calcita, arcillas y caol		x	
	5961'8"		C-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x		Feld y FR	x		Feld y FR	Qz sobrecr, caol, arcilla y clorita		x	x
	6008'8"		C-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x		Feld, FR y matriz	x		Feld y FR	Qz sobrecr, caol, arcilla y clorita		x	x
	6023'4"		C-C	Alto	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR y matriz	x		Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, caolinita y arcillas			x
	6040'6"		G-M	Bajo	x		Cuarzo	x			Feld, FR y matriz	x		Feld y FR	Qz sobrecr y caolinita			
	6073'5"		L	Bajo	x		Calcaréo	x	x	x	Cemento de calcita			Feld y micas	Óxido, siderita,calcita y arcill	x		
	6077'6"		C-C	Alto	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR y matriz	x		Feld y FR	Qz sobrecr, caolinita y arcillas			
	6095'		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR y matriz	x		Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, caolinita y arcillas			
	6118'6"		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR y matriz	x		Feld, FR y Micas	Qz sobrecr y caolinita			
	6161'8"		L	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR y matriz	x	x	Feld, FR y Micas	Óxido, siderita,calcita y arcill	x		
	6166'6"		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x			Feld	x		Feld y FR	Qz sobrecr, caolinita y calcita			
	6167'5"		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x		Feld y FR	x		Feld y FR	Qz sobrecr, calcita, arcillas y caol			
	6181'		G-C	Medio	x		Cuarzo	x	x	x	Feld y matriz	x	x	Feld y micas	Qz sobrecr, calcita, arcillas, caol y oxi			x
	6217'		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x			Feld y FR	x		Feld y FR	Qz sobrecr, Caol y óxido			x
6233'8"		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR y matriz	x		Feld, FR y Micas	Qz sobrecr, arcillas y óxido de Fe				
6259'2"		G-C	Bajo	x		Cuarzo	x	x	x	Feld y FR	x		Feld y FR	Qz sobrecr, oxi, arcilla, calcita y caol				
6292'		G-C	Alto	x		Cuarzo	x	x	x	Feld y FR	x		Feld y FR	Qz sobrecr, calcita,oxi y caol			x	
6955'5"		G-C	Medio	x		Cuarzo	x	x	x	Feld, FR y matriz	x	x	Feld y micas	Qz sobrecr, caol, arcilla y óxido				

Leyenda: Deform gran dúctil: deformación de granos dúctiles, Frac gran dúctil, Resi comp disuelto: residuo de componente disuelto, Min: mineral, C-C: concavo-converso, G-M: grano matriz, G-C: grano-cemento, L: Longitudinal, Estiloli: estilolitas, Feld: feldespatos, FR: fragmento de roca, Qz sobrecr: sobrecrecimiento de cuarzo, caol: caolinita

Anexo 3. Descripción macroscópica de los rípos del pozo CC-2A

Muestra		Litología	%	Color	Grado de Compac	Textura			Calcreá	Observaciones	Representación gráfica
N° muestra	Litotipo					T de grano	Escogimiento	Redondez			
4590'-4600'	Lutítico	Arcillitas	87%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	Los granos de Qz en las areniscas son translúcidos. En este nivel no se tomaron muestras de arenas.	
		Limolitas	10%	Gris a gris claro	MC	Limo medio	BE	R	No calcreá		
	Arenoso	Areniscas	3%	Blanco lechoso	PC	Arenas muy finas	ME	SR	Calcreá		
4660'-4670'	Lutítico	Arcillitas	40%	Gris oscuro	MC	Arcillas	BE	R	No calcreá	Las arcillitas son laminadas, las limolitas masivas y los granos de Qz en las areniscas son translúcidos	
		Limolitas	20%	Gris	MC	Limo grueso a fino	ME	R	No calcreá		
	Arenoso 1			Gris muy claro	BC	Arenas finas	BE	R	Calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	40%	Gris muy claro	PC	Arenas finas	BE	R	No calcreá		
	Arenoso 3			Blanco grisácea	PC	Arenas finas a muy finas	BE	SR	Calcreá		
4960'-4970'	Lutítico	Arcillitas	99%	Gris oscuro	PC	arcillas	BE	R	No calcreá	Las lutitas son laminadas	
	Arenoso	Areniscas	1%	Blanco	PC	Arenas finas	ME	SR	No calcreá		
4970'-4980'	Lutítico	Arcillitas	66%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	Las arcillitas son laminadasy los granos de Qz en las areniscas son translúcidos	
		Limolitas	30%	Gris a gris claro	MC	Limo medio y grueso	BE	R	No calcreá		
	Arenoso	Areniscas	4%	Blanco lechoso	PC	Arenas finas	ME	SR	Calcreá		
5040'-5050'	Lutítico	Arcillitas	55%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	Las arcillitas son laminadas, las limolitas tienen un aspecto masivo y los granos de Qz en las areniscas son translúcidos	
		Limolitas	35%	Gris claro	BC	Limos medios	BE	R	No calcreá		
	Arenoso 1			Blanco grasáceo	PC	Arenas medias a finas	ME	SA-SR	Calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	10%	Blanco	PC	Arenas medias a muy finas	ME	SA-SR	No calcreá		
5090'-5100'	Lutítico	Arcillitas	78%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	Las arcillitas son laminadas, las limolitas son masivas y los granos de Qz en las areniscas son translúcidos. Escaso granos de calcita	
		Limolitas	22%	Gris	MC	Limo medio	BE	R	No calcreá		
	Arenoso	Areniscas	2%	Blanco grisácea	PC	Arenas finas	ME	R	Calcreá		
5160'-5170'	Lutítico	Arcillitas	25%	Gris oscuro	MC	Arcillas	BE	R	No calcreá	Las arcillitas son laminadas, las limolitas son masivas y los granos de Qz en las areniscas son translúcidos	
		Limolitas	45%	Gris	BC	Limos medios	BE	R	No calcreá		
	Arenoso 1			Gris muy claro	BC	Arenas finas	BE	R	Calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	30%	Gris muy claro	PC	Arenas finas	BE	R	No calcreá		
	Arenoso 3			Blanco	BC	Arenas medias a finas	MME	SR	Calcreá		
5370'-5380'	Lutítico	Arcillitas	45%	Gris oscuro	MC	Arcillas	BE	R	No calcreá	La arcillitas son laminadas, las limolita son masivo y los granos de Qz de las areniscas son translúcidos	
		Limolitas	10%	Gris	BC	Limos medios	BE	R	No calcreá		
	Arenoso 1			Blanco grisácea	MC	Arenas finas a muy finas	BE	R-SR	No calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	45%	Blanco grisácea	PC	Arenas muy finas	BE	SA-SR	No calcreá		
5490'-5500'	Lutítico	Arcillitas	40%	Gris oscuro	MC	Arcillas	BE	R	No calcreá	La arcillitas son laminadas, las limolita son masivo y los granos de Qz de las areniscas son translúcidos	
		Limolitas	10%	Gris	BC	Limos medios	BE	R	No calcreá		
	Arenoso 1			Blanco	PC	Arenas medias a muy finas	MME	R-SR	Calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	50%	Blanco grisácea	MC	Arenas muy finas	BE	R	No calcreá		
5560'-5570'	Lutítico	Arcillitas	40%	Gris	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	La arcillitas son laminadas y los granos de Qz de las areniscas son translúcidos. Restos de calcita proveniente de alguna veta	
	Arenoso 1			Blanco grisácea	PC	Arenas medias a finas	ME	SR-SA	Calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	60%	Blanco	PC	Arenas finas a muy finas	BE	BR	Calcreá		
	Arenoso 3			Blanco lechoso	PC	Arenas finas	ME	SR	No calcreá		
5590'-5600'	Lutítico	Arcillitas	30%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	La arcillitas son laminadas, las limolita son masivo y los granos de Qz de las areniscas son translúcidos	
		Limolitas	25%	Gris	MC	Limos medios	BE	R	No calcreá		
	Arenoso 1			Blanco grisácea	PC	Arenas finas a medias	ME	SR	Calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	45%	Blanco grisácea	BC	Arenas muy finas	BE	SR-SA	No calcreá		
	Arenoso 3			Blanco lechoso	PC	Arenas finas a medias	ME	R-SR	Calcreá		
5740'-5750'	Lutítico	Arcillitas	45%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	La arcillitas son laminadas y los granos de Qz de las areniscas son translúcidos	
	Arenoso 1	Areniscas	55%	Blanco grisácea	PC	Arenas finas a medias	BE	SR	Calcreá		
	Arenoso 2			Blanco lechoso	MC	Arenas finas	ME	R-SR	No calcreá		
5790'-5800'	Lutítico	Arcillitas	55%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	La arcillitas son laminadas y los granos de Qz de las areniscas son translúcidos	
	Arenoso 1			Blanco	PC	Arenas finas a medias	ME	R-SR	No calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	45%	Blanco grisácea	BC	Arenas finas a muy finas	BE	R	No calcreá		
5820'-5830'	Lutítico	Arcillitas	70%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	La arcillitas son laminadas y los granos de Qz de las areniscas son translúcidos. El litotipo arenoso 4 presenta laminaciones de lutitas	
	Arenoso 1			Blanco	PC	Arenas finas a medias	ME	SA-SR	Calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	30%	Blanco grisácea	PC	Arenas muy finas a finas	ME	SR	Calcreá		
	Arenoso 3			Blanco lechoso	MC	Arenas finas a medias	BE	SA	No calcreá		
	Arenoso 4			Gris claro	PC	Arenas medias	BE	R	No calcreá		
5830'-5840'	Lutítico	Arcillitas	60%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	La arcillitas son laminadas y los granos de Qz de las areniscas son translúcidos	
	Arenoso 1			Blanco grisácea	PC	Arenas finas a medias	MME	SR	Calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	40%	Gris a gris oscuro	MC	Arenas muy finas a finas	ME	SR-SA	No calcreá		
	Arenoso 3			Gris claro	PC	Arenas finas a medias	MME	SA	No calcreá		
5990'-6000'	Lutítico	Arcillitas	50%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	La arcillitas son laminadas, las limolita son masivas y granos de Qz de las areniscas son translúcidos. Pequeños granos de calcita que provienen de alguna veta cercana. El litotipo 4 presenta aprox. 65% de cemento de calcita y apariencia terrosa	
		Limolitas	10%	Gris	MC	Limos medios	BE	R	No calcreá		
	Arenoso 1			Blanco grisácea	PC	Arenas muy finas	ME	SR-SA	No calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	40%	Blanco grisácea	PC	Arenas medias a muy finas	ME	SR-SA	Calcreá		
	Arenoso 3			Blanco	PC	Arenas finas a medias	ME	SA-SR	No calcreá		
	Arenoso 4			Blanco	PC	Arenas muy finas	ME	SA-SR	Calcreá		
6710'-6720'	Lutítico	Arcillitas	50%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	Las arcillitas son laminadas, las limolitas son masivas y los granos de Qz en las areniscas son translúcidos	
		Limolitas	20%	Gris	MC	Limos grueso a fino	ME	R	No calcreá		
	Arenoso 1			Gris muy claro	BC	Arenas finas	BE	R	Calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	30%	Gris muy claro	PC	Arenas finas	BE	R	No calcreá		
	Arenoso 3			Blanco	BC	Arenas medias a finas	MME	SR	No calcreá		
6930'-6940'	Lutítico	Arcillitas	60%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	Las arcillitas son laminadas y los granos de Qz en las areniscas son translúcidos	
	Arenoso 1			Blanco grisácea	BC	Arenas muy finas	BE	R	No calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	40%	Blanco	PC	Arenas medias a finas	ME	SR-SA	Calcreá		
7010'-7020'	Lutítico	Arcillitas	80%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	Las arcillitas son laminadas y los granos de Qz en las areniscas son translúcidos	
	Arenoso 1			Gris muy claro	BC	Arenas finas	BE	SR	Calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	20%	Gris muy claro	BC	Arenas finas	BE	SR	No calcreá		
7060'-7070'	Lutítico	Arcillitas	70%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	Las arcillitas son laminadas y los granos de Qz en las areniscas son translúcidos	
	Arenoso 1			Gris muy claro	BC	Arenas finas	BE	SR	Calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	30%	Gris muy claro	BC	Arenas finas	BE	SR	No calcreá		
	Arenoso 3			Blanco	PC	Arenas finas a medias	ME	SR	Calcreá		
7660'-7670'	Lutítico	Arcillitas	75%	Gris oscuro	PC	Arcillas	BE	R	No calcreá	Las arcillitas son laminadas y los granos de Qz en las areniscas son translúcidos	
	Arenoso 1			Blanco	PC	Arenas finas	BE	SR	Calcreá		
	Arenoso 2	Areniscas	25%	Blanco grisácea	MC	Arenas finas a medias	ME	SR-SA	Calcreá		

Leyenda: PC: poco consolidada, MC: medianamente consolidada, BC: bien consolidada, BE: bien escogido, ME: moderadamente escogido, MME: muy mal escogido, R: redondeado, SR: subredondeado, A:anguloso, SA: subanguloso,  arenisca,  Arcillitas,  limolitas

Estudio diagenético del miembro informal “B-6-X” de la Formación Misoa en el área de Cabimas-Punta Benitez, cuenca de Maracaibo. Estado Zulia.

Leyenda:

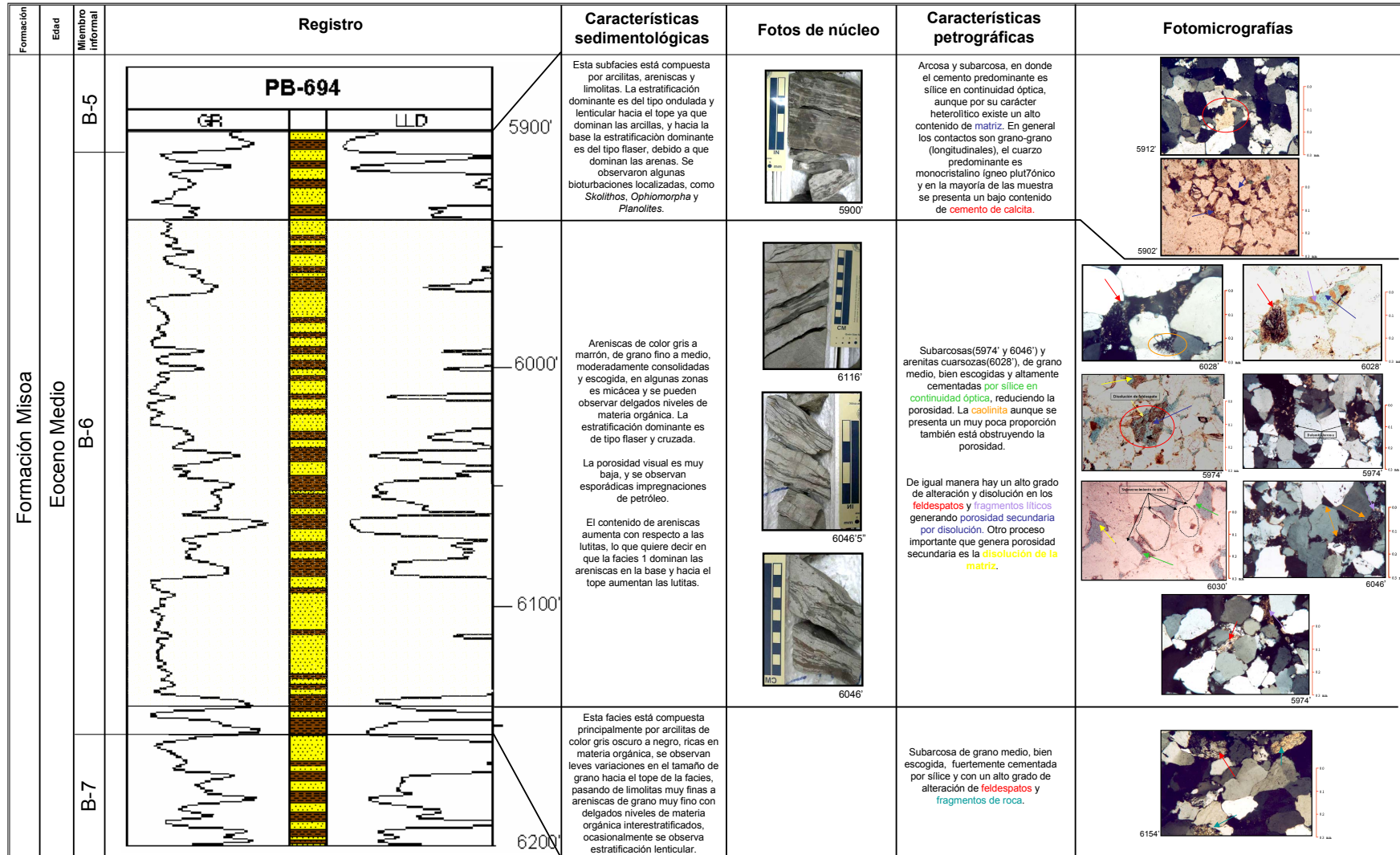
- B5 (5040') Profundidad de la foto
 B6  Areniscas
 B7  Lutitas

Formación	Edad	Miembro informal	Registro	Características de los ripios	Fotos de litotipos predominantes	Características petrográficas	Fotomicrografías
Formación Misoa	Eoceno Medio	B-5		CC-2A Este intervalo tiene un alto contenido de lutitas entre 97% y 70% y un bajo contenido de areniscas. Las lutitas son de color gris oscuro, laminadas y no calcáreas. En general los litotipos arenosos que se encontraron tienen las siguientes características: Arenisca de grano fino de color gris muy claro, cuarzo-cristalina, calcárea, bien compactada, micácea, con granos redondeados y bien escogidos. Este intervalo es mas arenoso hacia la base.	4970'-4980' 5160'-5170' 5370'-5380'	4740' Arcosa medianamente escogida con alto contenido de cemento de calcita. Presenta un alto grado de alteración de feldespatos. Dolomita reemplazando un grano de chert. 4970'-4980' Subarcosa medianamente escogida afectada por el reemplazo de calcita sobre feldespatos potásicos. 5160'-5170' Subarcosa medianamente escogida presentando reemplazo por calcita en un grano de ortosa y alteración de fragmentos líticos.	4740' 4970'-4980' 5160'-5170'
		B-6		Este intervalo contiene los mas altos porcentajes de arenas, en promedio 50% de areniscas y 50% de lutitas. Las lutitas son de color gris oscuro, laminadas y no calcáreas. En general los litotipos arenosos que se encontraron tienen las siguientes características: Arenisca de grano fino de color gris muy claro, cuarzo-cristalina, no calcárea, bien compactada, micácea, con granos redondeados y bien escogidos.	5490'-5500' 5560'-5570' 5820'-5830'	5490'-5500' Arenita cuarsoza bien escogida, con alto contenido de sobrecrecimiento de cuarzo, generando un alto grado de empaquetamiento en la roca. 5560'-5570' Subarcosa fuertemente cementada por silice en continuidad óptica. 5790'-5800' Arenita cuarsoza con sobrecrecimiento de cuarzo y alteración de feldespatos. 5820'-5830' Subarcosa medianamente escogida, presentando cemento de cuarzo y alteración de fragmentos de roca y feldespatos.	5490'-5500' 5560'-5570' 5790'-5800' 5820'-5830'
		B-7		Este intervalo contiene en promedio 25% de areniscas y 75% de lutitas. Las lutitas son de color gris oscuro, laminadas y no calcáreas. En general los litotipos arenosos son areniscas de grano fino de color blanco grisáceo, cuarzo-cristalina, calcárea, bien compactada, micácea, con granos subredondeados y subangulosos y bien escogidos.	5830'-5840' 6710'-6720'	6710'-6720' Sublithaceous bien escogida, con alto contenido de calcita y alteración de fragmentos líticos. 7060'-7070' Subarcosa medianamente escogida, con alto contenido de matriz (8%) y materia orgánica.	7060'-7070' 6710'-6720'

Estudio diagenético del miembro informal “B-6-X” de la Formación Misoa en el área de Cabimas-Punta Benitez, cuenca de Maracaibo. Estado Zulia.

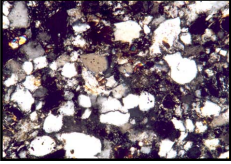
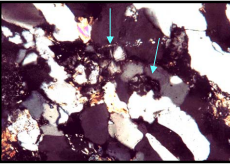
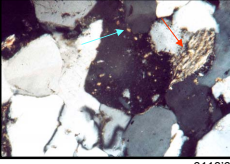
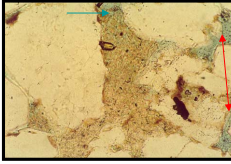
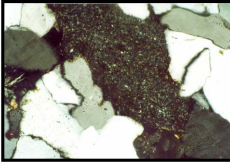
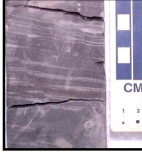
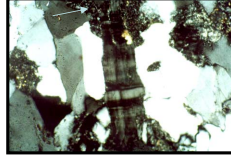
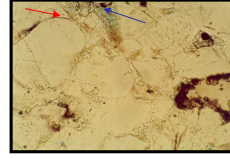
Legenda:

- ☐ Facies 1a (5040') Profundidad de la foto
☐ Facies 1b  Areniscas
☐ Facies 2  Lutitas



Estudio diagenético del miembro informal “B-6-X” de la Formación Misoa en el área de Cabimas-Punta Benitez, cuenca de Maracaibo. Estado Zulia.

Legenda:
☐ Facies 1a (5040') Profundidad de la foto
☐ Facies 1b ☒ Areniscas
☐ Facies 2 ☒ Lutitas

Formación	Edad	Miembro informal	Registro	Características sedimentológicas	Fotos de núcleo	Características petrográficas	Fotomicrografías
Formación Misoa	Eoceno Medio	B-5	GR 5700'	Esta subfacies esta caracterizada por arcillitas de color gris oscuro a negro, moderadamente duras con algunas intercalaciones de limolitas de color gris, pobremente escogidas y con escasos horizontes de areniscas de grano fino a muy fino, ocasionalmente micáceas. Se observa estratificación lenticular, y localmente se aprecia <i>Pianolites</i> , <i>Skolithos</i> y <i>Ophiomorpha</i> . No se aprecia porosidad visual.		Subarcosas medianamente escogidas, de grano fino a muy fino, en donde el cemento predominante es sílice en continuidad óptica, también hay cemento de <i>caolinita</i> relleno de poros. La porosidad en estas muestras es muy baja (cantidades traza), producto de la disolución de la matriz y feldespatos	 
			5800'	Areniscas de color gris o marrón, de grano fino y ocasionalmente medio, bien consolidada y escogida; en parte micácea y con laminaciones muy finas de carbón. La estratificación dominante es flaser, cruzada de bajo ángulo y laminaciones paralelas. También se encuentran efectos de bioturbación aunque en poca proporción. La porosidad visual es baja, aunque ocasionalmente se observa impregnación de hidrocarburo.		Subarcosas medianamente escogidas, de grano fino a medio, en donde el cemento predominante es sílice en continuidad óptica. Otros cementos importantes <i>siderita</i> , <i>dolomita</i> reemplazando. Los fragmentos líticos están alterados y deformados	 
		B-6	5900'	En esta subfacies se observaron algunas lutitas intercaladas de color marrón oscuro a negro, lo que indica que la subfacies 1 es más arenosa hacia la base y mas lutítica hacia el tope.		Se observa dos tipos de porosidad, por <i>disolución</i> e <i>interpartícula</i>	 
			6100'	Facies caracterizada por arcillitas de color gris oscuro a negro, ocasionalmente con estratificación lenticular en delgados lentes de areniscas de grano fino y limolitas. En esta facies hay un intervalo que esta muy fracturado, se observa un alto contenido de materia orgánica. Porosidad visual muy baja		Subarcosas medianamente escogidas, de grano fino, en donde el cemento predominante es <i>sílice</i> en continuidad óptica, también hay cemento de <i>caolinita</i> relleno de poros. La porosidad en estas muestras es muy baja (cantidades traza), producto de la <i>disolución</i> de feldespatos	 

Variación lateral de facies propuesta para el miembro informal B-6 de la Fm. Misoa en los pozos CC-2A, PB-689 y PB-694.

