

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO DE LAS FORMACIONES ESCANDALOSA-NAVAY EN EL INTERVALO CRETÁCICO SUPERIOR, CAMPO MAPORAL, CUENCA DE BARINAS

Trabajo Especial de Grado presentado
ante la ilustre Universidad Central de
Venezuela por las Brs.

De Sousa Giselle V.-20.558.721

Santiago Adalgiza V.-21.273.320

Para optar al título de Ingeniero Geólogo.

Caracas, Noviembre 2016.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO DE LAS FORMACIONES ESCANDALOSA-NAVAY EN EL INTERVALO CRETÁCICO SUPERIOR, CAMPO MAPORAL, CUENCA DE BARINAS

Trabajo Especial de Grado presentado
ante la ilustre Universidad Central de
Venezuela por las Brs.

De Sousa Giselle V.-20.558.721

Santiago Adalgiza V.-21.273.320

Para optar al título de Ingeniero Geólogo.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Lenin González

TUTOR INDUSTRIAL: MSc. Rosa Aquino

Caracas, Noviembre 201

Caracas, Noviembre de 2016

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por las Bachilleres De Sousa Giselle y Santiago Adalgiza titulado:

**“ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO DE LAS
FORMACIONES ESCANDALOSA-NAVAY EN EL INTERVALO CRETÁCICO
SUPERIOR, CAMPO MAPORAL, CUENCA DE BARINAS”**

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

Prof. José Méndez

Jurado

Prof. Ricardo Alezones

Jurado

Prof. Lenin González

Tutor Académico

DEDICADO

A la vida.

A mis ángeles en el cielo: mi papá y mi abuela maría.

A lo que fue, lo que es y lo que será.

(Giselle De Sousa).

A mi papá “El viaje no acaba aquí, la muerte es solo
otro camino que todos tenemos que tomar”.

A mi hermana “El hombre nunca sabe de lo que es
capaz hasta que lo intenta”

(Adalgiza Santiago)

AGRADECIMIENTOS

Giselle De Sousa

A mi Dios todopoderoso, por nunca abandonarme y darme las fuerzas necesarias para culminar esta etapa.

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela, mi casa de estudios y mi segundo hogar, por enseñarme sobre tu suelo que querer es poder.

A mi mama, mi pilar y mi motivo más grande, gracias por tu apoyo, por todos tus desvelos y sacrificios, por no dejar de creer ni un segundo en que tenía todas las capacidades para lograr esta meta. Sin duda alguna este logro es tan mío como tuyo. Te amo muchísimo.

A mis hermanos Jesús y Nicolás, ustedes mantienen el espíritu de mi papá presente, a mis tíos Ana y Simón por tratarme como una hija y enseñarme uno de los valores más importantes: la humildad. A Blanca por enseñarnos de unión familiar. A Dayana Alfonzo, aunque papá ya no esté siempre estas pendiente de nosotros, gracias por apoyarme sobre todo en estos últimos meses.

A Gabriel, llegaste al final, pero fuiste el último empujón que necesitaba, gracias por recordarme todos los días cuan orgulloso estas de mi, por sacarme las sonrisas más sinceras y por ser tan dulce y especial, te amo.

A las amigas que me regalo la universidad desde el semestre uno, Dayana y Rosa, por el apoyo, los regaños y los aprendizajes.

A mis amigos de la escuela, Darnavid, Fernanda, Geraldine, Reinaldo, Dirianny y Mariela, por las sonrisas, las donas y los cafés, incluso gracias por las peleas, no pude haber tenido mejores compañeros que ustedes, los quiero.

A las hermanas que me regaló la vida, Magda y Andrea, mi vida no sería la misma si no las tuviera a ustedes, mis mejores amigas, gracias por escucharme tantas veces, consentirme, de cerca o de lejos simplemente gracias por estar, las amo.

A mis tutores: Profesor Lenin González por darme la oportunidad de ser su preparadora y su tesista, por transmitirme tantos conocimientos y siempre tener tiempo para mis dudas, y

a la Sra Rosa Aquino por el cariño y la disposición, por reafirmar mi vocación en la geología, usted es una de esas personas que jamás se olvida.

A mi teacher Alezones, por tanto, apoyo y paciencia, gran parte de mi carrera como geóloga se la debo a usted, es uno de los tesoros más grandes que hay en la escuela, gracias totales por todos los conocimientos impartidos.

A mi compañera de tesis, Adalgiza simplemente este proyecto no habría salido adelante sin ti, gracias por enseñarme sobre paciencia y tolerancia, por considerarme tu amiga y acompañarme en esta travesía no planeada, fue duro, pero ¡Lo Logramos!

A PDVSA-INTEVEP, a Carlos Bustamante, Jesús Oropeza, María Daniela Rangel, José Martínez, Edwin y Clevis Medina, por la oportunidad, la atención, la disposición y el apoyo que nos dieron siempre con una sonrisa.

Gracias a todas aquellas personas que formaron parte de mi vida universitaria durante todos estos años e hicieron de esta etapa una de las mas especiales.

Adalgiza Santiago

Para mi es propio comenzar agradeciéndole a una persona que a pesar de no estar físicamente conmigo me acompaña cada día en este viaje llamado vida. Gracias papito José Santiago, lamentablemente no estuviste aquí para verme terminar esta etapa en mi vida pero sé que debes estar orgulloso de la mujer que durante 23 años ayudaste a formar con tus sabios consejos, con tu dedicación plena y con el cariño incondicional que siempre me brindaste. Gracias papito por siempre ser mi guía.

Gracias a Dios, por ser mi refugio ante los desafíos de la vida, por ser esa energía que me permite levantarme día a día y dar lo mejor de mí.

Gracias a mi querida hermana, madre e hija Giannina Santiago. Tú eres lo más bonito que la vida me pudo regalar, eres mi maestra y mi inspiración en todo lo que hago, sin ti definitivamente mi vida no sería la misma.

Gracias a mi tutor Lenin Gonzalez por ser un excelente maestro y por prestarme la ayuda oportuna en el momento oportuno.

Gracias a mi tutota Rosa Aquino por ayudarme en todo momento, es grandioso encontrar a personas como usted en la vida.

Gracias infinitas a mi querido profesor Ricardo Alezones. Miles de gracias por siempre estar dispuesto a ayudarme, por sus consejos, por fastidiarme tanto, por ser la persona con el humor más extraño después del mío. Gracias por todo.

Gracias a Dirianny Ascanio, mi mejor amiga. Gracias por estar conmigo en todo momento, por escuchar mis locuras, mis tristezas. Gracias amiga, te admiro muchísimo, eres un ejemplo a seguir de constancia y dedicación.

Gracias a todas las personas que formaron parte de mi vida universitaria. Gracias en especial a Geraldine, Yessica, José Luna, Libia, Fernanda y Reinaldo Pimentel. Fue un placer vivir tantas experiencias con ustedes, son mi mejor adquisición.

Gracias a Ender Nieto, por ser la persona que me hace sonreír y molestar en todo momento, gracias por toda la paciencia, el cariño y los regaños, te quiero un montón.

Gracias a mi compañera de tesis Giselle, más que una compañera una amiga, gracias por ser un excelente apoyo en este trabajo que nos hizo aprender y crecer mucho como personas. Gracias por no frenar mi alma de controladora. ¡Lo logramos!

Gracias a mi familia, a los Bastidas y a los Santiago, son la mejor familia, gracias por todo el apoyo, por la ayuda incondicional, gracias por siempre brindarme un lugar en su hogar, Gracias a mi tía Olga y a mi nueva familia Chaurio (tía Sonia, tío Edgar, primo Edgar y mi querida prima Stefany, gracias por todo siempre estaré muy agradecida con ustedes).

Gracias a todas las personas que me brindaron su ayuda en INTEVEP, a Carlos Bustamante, Jesús Oropeza, María Daniela Rangel, José Martínez, Edwin y Clevis Medina.

Gracias a la UUUCV por ser mi segundo hogar y por permitirme vivir una de las mejores experiencias en mi vida.

En fin, GRACIAS a todos.

De Sousa B. Giselle G. y Santiago B. Adalgiza T.

ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO DE LAS FORMACIONES ESCANDALOSA-NAVAY EN EL INTERVALO CRETÁCICO SUPERIOR, CAMPO MAPORAL, CUENCA DE BARINAS

Tutor Académico: Prof. Lenin González. Tutor Industrial: Msc. Rosa Aquino Tesis.

Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2016

Palabras Claves: Dolomías, Caliza O, Arena P, Campo Maporal, Formaciones Escandalosa y Navay.

Resumen

Se realizó un estudio sedimentológico y estratigráfico de la Formación Escandalosa (miembros Arena P y Caliza O) y la Formación Navay (Miembro La Morita) en el intervalo Cretácico superior, Campo Maporal Cuenca de Barinas, en muestras de núcleos de los pozos SMW-31X (con 149 pies de núcleo total), SMW-28 (83 pies de núcleo total), pozo SMW-23 (núcleo no continuo con 115 pies de núcleo total) y SMW-13 (con 97'4" de núcleo total). Primeramente, se realizó la calibración núcleo registro en cada uno de los pozos obteniendo como resultado que el pozo SMW-31 no tiene ningún desfase mientras que para el pozo SMW-28 el desfase fue de 20 pies, para el SMW-23 fue de 8 pies y para el pozo SMW-13 el desfase fue de 20 pies; posteriormente se elaboraron cuatro columnas sedimentológicas correspondientes a los cuatro pozos analizados en este estudio. Los cuatro pozos fueron correlacionados tomando como datum la base del Miembro La Morita, debido a que éste corresponde a una superficie de máxima inundación regional. Todos los datos obtenidos fueron integrados para posteriormente realizar un modelo sedimentológico y diagenético. La Formación Escandalosa, Miembro Arena P se caracteriza por tener 53 pies de espesor en el pozo SMW-31, representado por areniscas cuarzosas feldespáticas que fueron clasificadas según Pettijohn, Potter y Silver (1973) como Arcosas y Subarcosas que presentan estratificación cruzada y bidireccional; según el análisis paleoambiental se depositó en un ambiente marino restringido ubicado en la plataforma interna, con icnofósiles que pertenecen a la facies *Skolithos*, *Cruziana* y *Paleophycus*. El Miembro Caliza O, en el pozo SMW-31, tiene un espesor de 96 pies y se caracteriza por la presencia

de carbonatos de mezcla clasificados por Mount (1985) modificado por R. Aquino (2015), que se encuentran en contacto con la Arena P hacia la base del intervalo y hacia el tope con el Miembro La Morita que cuenta con 6 pies de espesor y que está definido por lutitas y limolitas fosfáticas; el análisis paleoambiental arrojó que este miembro se depositó en un ambiente marino restringido ubicado en la zona submareal e intermareal. Para el pozo SMW-28 la Caliza O cuenta con 79 pies de espesor y se depositó en un ambiente marino restringido ubicado en la zona intermareal, además se encuentra en contacto con el Miembro La Morita (que cuenta con 4 pies de espesor) hacia el tope del intervalo, para el pozo SMW-23 la Caliza O cuenta con 69 pies de espesor y se depositó en la zona submareal, también en contacto con el Miembro La Morita y en el pozo SMW-13 la Caliza O con 55 pies de espesor se depositó en la zona intermareal y supramareal y está en contacto hacia la base con el Miembro Arena P (que cuenta con 43 pies de espesor). A su vez se hizo un análisis estratigráfico secuencial, donde se identificaron 8 parasecuencias dentro del intervalo Caliza O y se analizaron 106 secciones finas donde se pudo inferir que los procesos diagenéticos hacia la base de todo el intervalo estudiado (Arena P y Caliza O) indican una etapa diagenética temprana bajo un ambiente freático entre la zona vadosa y la zona de mezcla de agua meteórica con agua marina, posteriormente se ubicaron procesos diagenéticos típicos de una diagénesis intermedia en un ambiente meteórico por debajo de la zona freática de aguas frescas y hacia el tope se identificó la misma etapa diagenética que tuvo incidencia en un ambiente freático de aguas frescas por debajo de la zona vadosa.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	2
1.3 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	2
1.4 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 ALCANCES	6
1.6 ANTECEDENTES	7
CAPÍTULO II	12
MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 COMPONENTES DE LOS CARBONATOS.....	12
2.2 AMBIENTES CARBONÁTICOS	12
2.3 DIAGÉNESIS DE CARBONATOS	14
2.3.1 Etapas diagenéticas	18
2.4 CLASIFICACIÓN DE ROCAS CARBONÁTICAS	19
2.4.1 Clasificación de Dunham.....	20
2.4.2 Clasificación de Mount (1985) modificada por Aquino, R (2015)	21
2.5 POROSIDAD EN CARBONATOS.....	22
2.5.1 Porosidad (Choquette y Pray, 1970)	22
2.5.2 Etapa del Desarrollo de la Porosidad (Zapata, 1983).....	22
2.5.3 Tipos básicos de porosidad	23
2.6 CICLOS ESTRATIGRÁFICOS	25
2.7 SECUENCIAS TRANSGRESIVAS Y REGRESIVAS EN CARBONATOS	28
GEOLOGÍA REGIONAL.....	30
2.8 GENERALIDADES DE LA CUENCA BARINAS - APURE	30
2.9 EVOLUCIÓN DE LA CUENCA DURANTE EL PERIODO CRETÁCICO	31
2.9.1 Pre-Cretácico	32
2.9.2 Cretácico.....	33
2.9.3 Post-Cretácico.....	34
2.10 ASPECTOS ESTRATIGRÁFICOS	35
CAPÍTULO III.....	44
MARCO METODOLÓGICO.....	44
ETAPA 1: RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	45
ETAPA 2: ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO.....	45
ETAPA 4: ESTUDIO PETROGRÁFICO Y DIAGENÉTICO.....	47
ETAPA 5: DETERMINACIÓN DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS.....	49

ETAPA 6: DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DIAGENÉTICOS	49
CAPÍTULO IV	50
GEOLOGÍA LOCAL.....	50
4.1 POZO SMW-31	55
4.3 POZO SMW-23	79
4.3.1 Miembro ‘‘P’’. Formación Escandalosa	79
5.4 POZO SMW-13	88
CAPÍTULO V.....	103
RESULTADOS.....	103
6.1 ELABORACIÓN DE COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS	103
6.2 ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE MICROFACIES	103
6.2.1 Descripción petrográfica de microfacies.....	104
5.1.3 Clasificación de Microfacies de las Petrografías de los cuatro pozos estudiados	116
5.2 ANÁLISIS MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS-X.....	142
5.2.1 Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos-X del pozo SMW-31X	143
5.2.2 Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos-X del pozo SMW-28	144
5.2.3 Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos-X del pozo SMW-23	146
5.2.4 Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos-X del pozo SMW-13	148
5.3 CALIBRACIÓN NÚCLEO-REGISTRO	149
• Pozo SMW-31X.....	150
• Pozo SMW-28.....	151
• Pozo SMW-23.....	152
• Pozo SMW-13.....	153
5.4 CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA	155
CAPÍTULO VI	159
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	159
6.1 INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO DIAGENÉTICO	159
6.1.1 Diagénesis de Siliciclásticos.....	159
6.1.2 Diagénesis de rocas carbonáticas.....	162
Procesos orgánicos.....	162
Agregación.....	162
Erosión en partículas esqueléticas y envoltorio micrítico	164
Procesos químicos	165
Cementación	165
Neomorfismo	167
Reemplazo	169
6.2 SÍNTESIS DE LA DIAGÉNESIS A PARTIR DEL ANÁLISIS PETROGRÁFICO	184
6.3 INTERPRETACIÓN DIAGENÉTICA A PARTIR DEL ENSAYO DE PROPORCIÓN DE MINERALES DE ARCILLA... ..	186
6.4 AMBIENTE Y MODELO SEDIMENTOLÓGICO	191
6.4.1 Formación Escandalosa	191
6.4.2 Estratigrafía secuencial de los pozos SMW-31X, SMW-28, SMW-23 y SMW-13.....	195

6.5 DATOS BIOESTRATIGRÁFICOS	209
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	213
CONCLUSIONES.....	213
RECOMENDACIONES	217
BIBLIOGRAFÍA.....	218
APÉNDICE.....	223

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Cuenca Barinas-Apure, suroeste de Venezuela.	3
Figura 2 Imagen radar de la zona de estudio, incluidos los 4 pozos a estudiar.....	4
Figura 3. Ambientes marinos y morfología con la situación general de los mares epiroclásticos	13
Figura 4. Clasificación oceanográfica con la distribución de las diversas zonas oceánicas	14
Figura 5. Separación entre ambientes y procesos diagenéticos en el medio marino, meteórico y del subsuelo.	16
Figura 6. Distribución y relación de los ambientes diagenéticos freático marino, zona vadosa, zona freática de aguas meteóricas y zona de mezcla utilizando un modelo de isla de carbonatos con sedimentos permeables. Después de Longman (1982).	18
Figura 7. Esquema diagenético elaborado según Ginsburg, 1957. Adaptado y modificado por Eglee Zapata.....	19
Figura 8. Clasificación en base a la textura depositacional de Dunham (1962).....	20
Figura 9. Clasificación de tipos básicos de porosidad. Choquette y Pray (1979).	25
Figura 10. Cambios del nivel del mar y su influencia en los ciclos de 1º y 2º.....	27
Figura 11. Provincias Sedimentarias. (Modificado de Pérez Mejía et. al., 1980).....	30
Figura 12. Cuadro de Correlación de las unidades más relevantes, facies Cretácicas Tardías de Venezuela..	31
Figura 13. Distribución de facies sedimentarias del Cretácico Temprano (Yoris y Ostos, 1997).....	32
Figura 14. Distribución de facies sedimentarias durante el Maastrichtiense	33
Figura 15. Perfil Geológico que muestra las condiciones estratigráficas y estructurales que dominan y describen la Cuenca Barinas-Apure. Tomado de: (Yoris y Ostos, 1997) ..	35
Figura 16. Sección del perfil NO-SE, que define la ubicación del perfil del subsuelo.....	36
Figura 17. Diagrama de flujo explicativo de la metodología empleada para el desarrollo del trabajo.....	44
Figura 18. Formato de hoja sedimentológica	46
Figura 19. Planilla de descripción de secciones finas.	48
Figura 20. Parasecuencias encontradas en el núcleo SMW-31X	51
Figura 21. Parasecuencias encontradas en el núcleo SMW-28.	52
Figura 22. Parasecuencias encontradas en el núcleo SMW-23.	53
Figura 23. Parasecuencias encontradas en el núcleo SMW-13	54
Figura 24. Arcosa (Arenisca de grano medio 10172'), Arenisca dolomítica aloquímica (10148'), Arenisca de grano fino (en el intervalo 10139 se muestra una huella fósil <i>Roselia</i>).....	56
Figura 25. Parasecuencias 1 y 2 del pozo SMW-31X. En la parasecuencia se observa una arenisca glauconítica dolomitizada de grano medio en la parasecuencia 2 se presenta una arenisca dolomítica lodosa.....	58

- Figura 26.** Arenisca glauconítica de grano fino (10118' muestra un evento de *Glossifungite*), Dolomía calcítica aloquímica arenosa (10109'), contacto entre una dolomía y una arenisca glauconítica de grano medio (10094 contacto tipo hardground). 59
- Figura 27.** Arenisca dolomítica aloquímica (10090' lutita, la cual representa la superficie de máxima inundación), Dolomía (10082 muestra un hardground en contacto con el próximo intervalo, además de porosidad moldica y una serie de estilolitas), Caliza aloquímica lodosa (10073 muestra una porosidad moldica rellena de calcita). 61
- Figura 28.** Parasecuencia 3, en la base se presenta arenisca dolomítica aloquímica de grano fino hacia el tope se tiene una dolomía calcítica aloquímica seguido por una dolomía aloquímica arenosa. Parasecuencia 4, en la base se presenta una pequeña capa de lutita seguido de una dolomía calcítica aloquímica arenosa de grano grueso y hacia el tope una arenisca dolomítica aloquímica. Parasecuencia 5, hacia la base se observa una lutita seguida de una dolomía calcítica aloquímica arenosa y hacia el tope un packstone seguido de una caliza aloquímica arenosa. 62
- Figura 29.** Parasecuencia 6, en la base se presenta una dolomía aloquímica arenosa seguida por una arenisca micrítica aloquímica y hacia el tope un packstone de pelecípodos. Parasecuencia 7, en la base se encuentra un mudstone, seguido por una lutita. Parasecuencia 8, en la base se encuentra una dolomía calcítica arenosa seguida por una lutita y hacia el tope una dolomía aloquímica arenosa. 64
- Figura 30.** Packstone (10064' muestra una serie de brechas de material lodoso), Dolomía calcítica aloquímica arenosa (10040' muestra la dolomía moderadamente impregnada), Dolomía aloquímica lodosa (10037' muestra una lutita que se encuentra en contacto con la dolomía). 65
- Figura 31.** Dolomía Arenosa (10502'11'' muestra una concentración de nódulos de calcita y material glauconítico), Arenisca Dolocalcítica Aloquímica (10498'11'' muestra un nivel medio de bioturbación donde se pueden observar las huellas fósiles de *Thalassinoides* y *Planolites*), Dolomía Calcítica Arenosa (10496'1'' muestra impregnación leve en la base). 68
- Figura 32.** Parasecuencia 2, en la base se presenta una dolomía calcítica arenosa seguida por una arenisca dolomítica aloquímica y hacia el tope una dolomía calcítica arenosa. Parasecuencia 3, en la base arenisca dolocalcítica aloquímica seguida por una dolomía calcítica aloquímica arenosa. Parasecuencia 4, en la base una pequeña capa de lutita seguida por una dolomía calcítica aloquímica arenosa y hacia el tope una lutita seguida de una arenisca de grano medio. 70
- Figura 33.** Parasecuencia 5, en la base se encuentra una lutita seguida de una dolomía aloquímica arenosa y hacia el tope un packstone seguido de una caliza dolomítica arenosa. 72
- Figura 34.** Dolomía aloquímica (10476'2'' muestra una concentración de moldes de fósiles que fueron reemplazados por fosfato), Packstone de pelecípodos (10469'7'' muestra un nivel medio de bioturbación donde se pueden observar las huellas **fósiles**

de <i>Thalassinoides</i> , <i>Scolicia</i> y <i>Teichichnus</i>), (10467'8'' muestra un nivel lutítico hacia la base y más arenoso y aloquímico hacia el tope, con huellas fósiles importantes como las de <i>Thalassinoides</i>).....	73
Figura 35. Dolomía Calcítica Aloquímica Lodosa (10449'6'' muestra fósiles preservados y brechas de material lodoso), Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa (10446' muestra un nivel alto de concentración de fósiles y material calcáreo y fosfático), Arenisca Dolomítica Micrítica (10440'8'' muestra láminas de material lodoso y muy bioturbado).	76
Figura 36. Arenisca Dolomítica Micrítica (10435'5'' Levemente bioturbada con fracturas rellenas de material lodoso y calcáreo), Dolomía Aloquímica Arenosa (10433' Se observa un nódulo de óxido, así como material calcáreo y fósiles retrabajados), Caliza Aloquímica (10430' se observan granos de fosfatos con fósiles medianamente preservados).	77
Figura 37. Parasecuencia 7, en la base se presenta un arenisca calcítica lodos seguida de un packstone y hacia el tope un carbonato cristalino de dolomita. Parasecuencia 8, en la base se presenta un arenisca de grano medio seguida de una arenisca micrítica aloquímica y hacia el tope una dolomía aloquímica arenosa.	78
Figura 38. Arenisca de grano medio (10504'), Arenisca de grano muy fino (10499' presenta micro fallas), Dolomía calcítica arenosa (10498' arenisca de grano medio)..	80
Figura 39. Dolomía calcítica arenosa (10495' muestra estratificación bidireccional), Caliza (10094' en la base se observa una lámina de carbón de aproximadamente 2cm), Caliza (10492' se observa el contacto con el próximo intervalo, caracterizado por abundante azufre que se dispersa en el nivel superior).....	81
Figura 40. Parasecuencia 1, En la base se observa una arenisca de grano medio y fino. Parasecuencia 2, en la base se observa una dolomía calcítica arenosa seguido por una arenisca dolocalcítica aloquímica.....	82
Figura 41. Arenisca dolocalcítica aloquímica (10479' presenta abundante glauconita, diseminada en todo el intervalo que le da la coloración verde), Arenisca dolocalcítica aloquímica (10476' presenta moderado contenido de glauconita, y 10% de pelecípodos), Caliza dolomítica aloquímica arenosa.	83
Figura 42. Parasecuencia 3, en la base se presenta una arenisca dolocalcítica aloquímica seguida de una caliza dolomítica aloquímica arenosa. Parasecuencia 4, en la base se observa una caliza dolomítica aloquímica leve presencia de aloquímicos seguido por una arenisca dolomítica aloquímica.	84
Figura 43. Parasecuencia 5, en la base se presenta una lutita seguida de una arenisca dolomítica aloquímica seguido por una caliza dolomítica aloquímica y hacia el tope una dolomía calcítica aloquímica arenosa.....	85
Figura 44. Arenisca de grano fino (10462' <i>Rhizocoralium</i> de 5cm aproximadamente), Arenisca dolomítica aloquímica (10458' presenta <i>Thalassinoides</i> rellenos de glauconita), Caliza dolomítica aloquímica.....	86

- Figura 45.** Parasecuencia 8, en la base se presenta una arenisca de grano fino, seguido de una limolita y hacia el tope una arenisca de grano fino. 87
- Figura 46.** Arenisca (10510'7'' medianamente impregnada de hidrocarburos con estratificación cruzada), Arenisca (10509' se observan granos de pirita hacia la base y estratificación cruzada), Arenisca (10506'7'' levemente impregnada con hidrocarburos, en el tope se observa una limolita con estratificación lenticular). 90
- Figura 47.** Arenisca hacia la base y lutita micácea (10502'2'' se observa una transición entre una arenisca y una lutita micácea con alto contenido de azufre), Arenisca y Lutita altamente bioturbada (10499' altos niveles limolíticos y con mucho azufre, con presencia de *Thalassinoides* de 2cm aproximadamente), Arenisca Micácea (10493'' levemente impregnada con hidrocarburos y se observan rizaduras). 92
- Figura 48.** Parasecuencia 1, en la base se presenta una arenisca de grano grueso, seguido por una limolita y hacia el tope una variación entre arenisca de grano medio y pequeñas capas de lutita. Parasecuencia 2, se presenta una arenisca de grano medio con estructuras bidireccionales y fraser. ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 49.** Secuencia Heterolítica (10487'4'' muy poco impregnada, con pequeños nódulos de materia orgánica), Arenisca (10483'5'' muy bioturbada, se observan huellas fósiles de *Paleophycus*, *Chondrites*, *Planolites* y *Roselia*), Limolita (10477' Limolita de matriz arcillosa con alto contenido de azufre y estratificación tipo flaser). 95
- Figura 50.** Limolita bioturbada (10477' Asterosomas rellenas de pirita y bordeadas de Azufre), Arenisca Dolomítica Aloquímica (10474'11'' nivel alto de bioturbación y glauconitización), Caliza Dolomítica Arenosa (10472'6'' huellas de *Thalassinoides* de 3cm y brechas de material glauconítico). 97
- Figura 51.** Parasecuencia 3, se presenta en la base una intercalación entre lutita y arenisca de grano medio y fino y hacia el tope una arenisca de grano medio. Parasecuencia 4, en la base una limolita seguida por una arenisca dolomítica aloquímica ya hacia el tope una dolomía calcítica aloquímica arenosa seguida por un carbonato cristalino de dolomita. ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 52.** Dolomía Aloquímica Arenosa (10462' huellas de *Thalassinoides* en la base), Dolomía Aloquímica Arenosa (10451' cavidades tipo “vug” de 2 a 3cm), Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa (10446'8'' altos niveles de fosfatización hacia la base). 100
- Figura 53.** Parasecuencia 5, en la base se presenta una arenisca dolomítica aloquímica con un 50 con abundante glauconita y hacia el tope un carbonato cristalino de dolomita. Parasecuencia 6, en la base se presenta una pequeña capa de lutita seguida por un carbonato cristalino de dolomita y hacia el tope una arenisca dolocalcítica aloquímica. 101
- Figura 54.** Parasecuencia 7, en la base una dolomía calcítica aloquímica arenosa seguida por un carbonato cristalino de calcita. Parasecuencia 8, en la base se presenta una arenisca calcidolomítica aloquímica seguida por una caliza dolomítica arenosa. 102

- Figura 55.** A: Dolomía aloquímica arenosa, se observan restos fósiles fosfatizados B: Arenisca dolomítica, se observa el alto contenido extraclástico C: Caliza dolomítica arenosa, fragmentos de fósiles fosfatizados además del poco contenido de material detrítico..... **117**
- Figura 56.** A: Dolomía calcítica aloquímica arenosa, se observa la disolución del cemento, además de la dolomitización en la muestra evidenciada por el color marrón en las dolomita B: Mudstone, se observan una serie de estilolitas C: Mudstone, muestra cemento microespato disperso a lo largo de la sección..... **118**
- Figura 57.** A: Mudstone B: Dolomía calcítica aloquímica lodosa, se observa un fragmento de Alga el cual está cambiando de aragonito a cemento de calcita por un proceso llamado neomorfismo C: Dolomía calcítica aloquímica lodosa, se observa un fragmento de Bryozoans..... **119**
- Figura 58.** A: Packstone de pelecípodos, se observó micrita en forma de envoltorio. B: Packstone de pelecípodos, se observa el neomorfismo de inversión heteroaxial C: Dolomía aloquímica arenosa se observa el contenido de glauconita en la muestra.... **120**
- Figura 59.** A: Arenisca micrítica, se observó una estructura Geopetal en Gasterópodo, (la foto esta invertida), reemplazada de calcita B: Arenisca micrítica, fragmentos de gasterópodos reemplazados por calcita C: Caliza aloquímica arenosa se observan pellets reemplazados por glauconita. **121**
- Figura 60.** A: Packstone de pelecípodos, Pelecípodo reemplazado por calcita y anhidrita B: Packstone de pelecípodos, se observa un fragmento de molusco reemplazado con aragonito C: Packstone de pelecípodos, fragmentos fósiles reemplazados por calcita. **122**
- Figura 61.** A: Dolomía aloquímica arenosa, bajo contenido de siliciclástico B: Dolomía calcítica arenosa se observa la disolución del cemento C: Arenisca dolomítica aloquímica, se observan pellets reemplazados por glauconita..... **123**
- Figura 62.** A: Lodolita fosfática, con fragmentos fósiles fosfatizados B: Dolomía aloquímica lodosa, con fósiles disueltos y fragmento fósil fosfatizado C: Dolomía aloquímica arenosa con recristalización calcedonia..... **124**
- Figura 63.** A: Arenisca dolomítica micrítica se observa disolución del cemento B: Carbonato cristalino de dolomita C: Carbonato cristalino de dolomita, fragmento de Molusco reemplazado por calcedonia D: Carbonato cristalino de dolomita, se observa una estructura Geopetal de un Molusco reemplazado por sílice..... **125**
- Figura 64.** A: Dolomía aloquímica lodosa, se observa una estilolita que atraviesa toda la muestra B: Carbonato cristalino de dolomita, escasos fragmentos fósiles fosfatizados C: Dolomía aloquímica arenosa con reemplazamiento de glauconita. **126**
- Figura 65.** A: Dolomía aloquímica lodosa, disolución del cemento B: Dolomía aloquímica lodosa C: Dolomía calcítica lodosa, estructuras Geopetal y fragmentos fósil reemplazados por calcita. **127**

- Figura 66.** A: Dolomía calcítica lodosa, fragmento molusco reemplazado por sílice B: Dolomía calcítica lodosa. Gasterópodo relleno de micrita C: Dolomía calcítica lodosa, se observa un foraminífero relleno de micrita..... **128**
- Figura 67.** A: Packstone de pelecípodos B: Packstone de pelecípodos, fragmento fósil reemplazado por calcita, espículas de equinodermo C: Packstone de pelecípodos, se observan foraminíferos rellenos de micrita..... **129**
- Figura 68.** A: Packstone de pelecípodos, muestra ooides reemplazados por calcita B: Dolomía aloquímica arenosa, la mancha oscura que bordea la calcita representa piritita C: Arenisca dolocalcítica aloquímica, se observa glauconita transportada. **130**
- Figura 69.** A: Dolomía aloquímica arenosa, se observa un fragmento fósil reemplazado por calcedonia B: Arenisca dolomítica aloquímica, se observan pellets reemplazados por glauconita C: Dolomía calcítica aloquímica arenosa, se observan los cristales de dolomita barroca..... **131**
- Figura 70.** A: Dolomía calcítica aloquímica arenosa, se observa la disolución del cemento de dolomita B: Dolomía calcítica aloquímica arenosa, se observa el alto contenido de disolución del cemento de dolomita C: Carbonato cristalino de calcita, se observa una fractura producto de un proceso de disolución..... **132**
- Figura 71.** A: Carbonato cristalino de calcita, se observan los cristales de dolomita barroca y la disolución de un fragmento fósil B: Carbonato cristalino de calcita con granos de piritita C: Caliza dolomítica aloquímica arenosa, se observa la disolución del cemento. **133**
- Figura 72.** A: Arenisca dolomítica aloquímica, se observa un fragmento fósil glauconitizado y fosfatizado B: Caliza dolomítica aloquímica arenosa, disolución del cemento y pellets glauconitizados C: Caliza dolomítica aloquímica arenosa con bajo contenido de granos siliciclásticos. **134**
- Figura 73.** A: Caliza dolomítica aloquímica arenosa, se observa un proceso de disolución de cemento y glauconitización B: Caliza dolomítica aloquímica arenosa, se observa el cemento de calcita de tipo syntaxial C: Arenisca dolocalcítica aloquímica con alta disolución del cemento..... **135**
- Figura 74.** A: Arenisca dolocalcítica aloquímica, se observan Pellets reemplazados por glauconita B: Arenisca dolocalcítica aloquímica bioturbada C: Dolomía calcítica arenosa, alto contenido de material detrítico debido a bioturbaciones. **136**
- Figura 75.** A: Dolomía calcítica arenosa, porosidad en fracturas, alto contenido de material detrítico hacia un extremo de la muestra B: Dolomía calcítica arenosa, se observan microestilolitas C: Dolomía calcítica aloquímica arenosa, fósil de gasterópodo fosfatizado. **137**
- Figura 76.** A: Caliza dolomítica arenosa donde se observa glauconitización B: Carbonato cristalino de caliza, cemento syntaxial de calcita C: Carbonato cristalino de caliza, se observan los cristales de calcita que están siendo alterados por la anhidrita..... **138**
- Figura 77.** A: Carbonato cristalino de caliza (con escaso porcentaje de componentes extraclásticos) B: Carbonato cristalino de caliza (con escaso porcentaje de

componentes extraclásticos, además muestra un fósil de Molusco fosfatizado) C: Dolomía calcítica aloquímica arenosa donde se observa la porosidad vug.	139
Figura 78. A: Arenisca dolocalcítica aloquímica con posible glauconitización de fragmentos de aloquímicos B: Arenisca dolomítica donde se puede apreciar el contenido de materia orgánica C: Arenisca dolocalcítica aloquímica con pellets glauconitizados.....	140
Figura 79. A: Carbonato cristalino de dolomita donde se observan los cristales subhedrales de dolomita y dolomita barroca y B: Arenisca dolomítica aloquímica con presencia de porosidad en fracturas C: Arenisca dolomítica aloquímica, se observan estilolitas que bordean a los granos de cuarzo y pellets glauconitizados.	141
Figura 80. Calibración de los registros coregamma y gamma ray dentro del núcleo SMW-31X.	151
Figura 81. Calibración de los registros coregamma y gamma ray dentro del núcleo SMW-28.	152
Figura 82. Calibración de los registros coregamma y gamma ray dentro del núcleo SMW-23.	153
Figura 83. Calibración de los registros coregamma y gamma ray dentro del núcleo SMW-13.	154
Figura 84. Ubicación de los pozos estudiados y correlación de los pozos SMW-31X, SMW-28 y SMW-23.	156
Figura 85. Ubicación de los pozos estudiados y correlación de los pozos SMW-31X y SMW-13.	157
Figura 86. Correlación por medio de las columnas estratigráfica de los pozos SMW-31X, SMW-28, SMW-23 y SMW-13.	158
Figura 87. Tipos de contactos observados en la muestra 10.170'8'' del pozo SMW-31X, con objetivo de 2.5X en nicoles paralelos (Izquierda) y nicoles cruzados (derecha).	160
Figura 88. Se observa muy baja presencia de glauconita y materia orgánica, típico de un ambiente reductor.	161
Figura 89. Se observan estructuras semicirculares de color verde, correspondientes a pellets glauconitizados correspondiente a la muestra 10.092'6'' del pozo SMW-31X.	163
Figura 90. Se observan estructuras semicirculares de color verde, correspondientes a pellets glauconitizados correspondiente a la muestra 10.461'5'' del pozo SMW-28.	163
Figura 91. Se observa la micrita como matriz de la roca envolviendo al fósil perteneciente a la muestra 10.060'8'' del pozo SMW-31X.	164
Figura 92. Se observa marcado por el círculo blanco, una estructura alargada que corresponde a un fragmento de molusco, corroído por microorganismos. Perteneciente 10.067' del pozo SMW-31X.	165
Figura 93. Cemento microespato como matriz perteneciente a la muestra 10.054'8'' del pozo SMW-31X.	166

Figura 94. Se observan cemento sintaxial, con sus características maclas en la muestra 10.461'5'' del pozo SMW-28.	166
Figura 95. Se observa inversión heteroaxial dentro del fragmento de molusco pertenece a la profundidad 10.059'10'' del pozo SMW-31X.	168
Figura 96. Se observa inversión heteroaxial dentro del fragmento de molusco pertenece a la profundidad 10.474'3'' del pozo SMW-28.	168
Figura 97. Se observa la recristalización de la micrita en granos de cemento espato (pequeños granos que nada en la micrita), y sustitución de dolomita a calcita, perteneciente a la profundidad 10.474'3'' del pozo SMW-28.	169
Figura 98. Hacia la izquierda se muestra dolomitización en el pozo SMW-28 perteneciente a la muestra 10.508' y hacia la derecha se observa la dolomitización con la porosidad intercrystalina ocupada por resina coloreada de azul, se observan los núcleos anubarrados de los cristales de dolomita y sobrecrecimiento limpio en la periferia perteneciente al pozo SMW-23 en la profundidad 10.447'3''	171
Figura 99. Dedolomitización microcristalina presente en el pozo SMW-28 en la profundidad 10.445'. Evidenciado por los manchones rojos dentro de la dolomita (los círculos blanco encierran a la dolomita que está pasando por un proceso de dedolomitización, y se puede observar por el manchón rojo en el interior de la dolomita).	172
Figura 100. Reemplazamiento de calcedonia en un fósil perteneciente al pozo SMW-28 en la profundidad 10.445'9''.	173
Figura 101. Se observa en color negro el mineral opaco que corresponde a la pirita, perteneciente al pozo SMW-28 en la profundidad 10.479'4''.	174
Figura 102. Se aprecia la glauconitización de granos subredondeados correspondientes a pellets en el pozo SMW-31X en la profundidad 10.114'	174
Figura 103. Se observa un fragmento fosfatizado color marrón en la zona central perteneciente al pozo SMW-23 en la profundidad 10.457'5''	175
Figura 104. Se muestra un fósil siendo reemplazado por anhidrita en el pozo SMW-31X en la profundidad 10.083'2''.	175
Figura 105. Se observan zonas azules (porosidad) dentro de la sección fina correspondiente a disolución de la matriz en la profundidad 10.086' en el pozo SMW-31X.	176
Figura 106. Muestra una estilolita en el pozo SMW-31X en la profundidad 10.059'10''	177
Figura 107. Muestra una estilolita a lo largo de la sección fina en el pozo SMW-28 en la profundidad 10.448'	178
Figura 108. Se observan contactos longitudinales entre los granos de cuarzo del pozo SMW-13 en la profundidad 10.440'6''.	179
Figura 109. Diagramas de "barreras geoquímicas". Modificado de Krumbein & Garrels (1952).	187
Figura 110. Transformación de los minerales de arcillas durante la diagénesis. Tomado de Sandoval (2000).	188
Figura 111. Etapas diagenéticas y % de capas de Illita en los interestratificados (I/S).	

Figura 112. Trazas fósiles observadas en los núcleos del pozo SMW-31X, se describen de facies Skolito la traza de Rosselia y la facies Zoophycus la traza Spirophyton.....	193
Figura 113. Modelo sedimentológico de la parasecuencia 1 de los cuatro pozos.....	197
Figura 114. Modelo sedimentológico de la parasecuencia 2 de los cuatro pozos.	199
Figura 115. Modelo sedimentológico de la parasecuencia 3 de los cuatro pozos.....	201
Figura 116. Modelo sedimentológico de la parasecuencia 4 de los cuatro pozos.....	203
Figura 117. Modelo sedimentológico de la parasecuencia 5 de los cuatro pozos.....	205
Figura 118. Modelo sedimentológico de la parasecuencia 8 de los cuatro pozos.....	208

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de rocas de mezclas carbonáticas-siliclásticas, (Modificado de Mount 1985), R. Aquino, 2015.	21
Tabla 2. Descripción petrográfica de las areniscas del pozo SMW-31X	112
Tabla 3. Descripción petrográfica del pozo SMW-31X.	113
Tabla 4. Descripción petrográfica del pozo SMW-28.	114
Tabla 5. Tabla de análisis petrográfico con clasificación de muestras analizadas del pozo SMW-23.	115
Tabla 6. Tabla de análisis petrográfico con clasificación de muestras analizadas del pozo SMW-13.	116
Tabla 7. Resultado de difracción de rayos X de muestras pertenecientes al pozo SMW-31X	143
Tabla 8. Se muestra la comparación del porcentaje de los componentes no carbonáticos, carbonáticos y la matriz obtenidos tanto en el análisis petrográfico como en el ensayo de Difracción de Rayos-X para el pozo SMW-31X.	144
Tabla 9. Resultado de difracción de rayos X de muestras pertenecientes al pozo SMW-28.	145
Tabla 10. Se muestra la comparación del porcentaje de los componentes no carbonáticos, carbonáticos y la matriz obtenidos tanto en el análisis petrográfico como en el ensayo de Difracción de Rayos-X para el pozo SMW-28.	145
Tabla 11. Resultado de difracción de rayos X de muestras pertenecientes al pozo SMW-23	146
Tabla 12. Se muestra la comparación del porcentaje de los componentes no carbonáticos, carbonáticos y la matriz obtenidos tanto en el análisis petrográfico como en el ensayo de Difracción de Rayos-X para el pozo SMW-23.	147
Tabla 13. Resultado de difracción de rayos X de muestras pertenecientes al pozo SMW-13.	148
Tabla 14. Se muestra la comparación del porcentaje de los componentes no carbonáticos, carbonáticos y la matriz obtenidos tanto en el análisis petrográfico como en el ensayo de Difracción de Rayos-X para el pozo SMW-13.	149
Tabla 15. Rasgos diagenéticos del pozo SMW-31X.	180
Tabla 16. Rasgos diagenéticos del pozo SMW-28.	181
Tabla 17. Rasgos diagenéticos del pozo SMW-23.	182
Tabla 18. Rasgos diagenéticos del pozo SMW 13.	183
Tabla 19. Resultados de los recalculos de cada mineral de arcilla presente en los 4 pozos.	189
Tabla 20. Foraminíferos plantónicos y bentónicos con fragmentos de conchas datadas para saber edades relativas cretácicas, desde el Albiense hasta el Campaniense, además de ubicar la posición de sedimentación en la plataforma marina. Tomado de Martínez (2016).	210

Tabla 21. Foraminíferos plantónicos y bentónicos con fragmentos de conchas datadas para saber edades relativas cretácicas, desde el Albiense hasta e Maastrichtiense, ubicando la posición de la sedimentación en la plata forma marina. Tomado de Martínez (2016).	211
Tabla 22. Foraminíferos (planctónicos) identificados dentro de la Formación Navay, cuenca de Barinas. Tomado de Oropeza (2016).	212

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

PDVSA ejecuta una serie de investigaciones las cuales son importantes en la planificación de proyectos de perforación; estas investigaciones se realizan con el objetivo de buscar nuevas áreas de extracción y producción de hidrocarburos.

La Formación Escandalosa se ha interpretado y probado como una unidad de reservorio de hidrocarburos, está constituida por la Caliza "O" y la Arena "P" las cuales son parte importante de dicha unidad y se encuentran dentro del concepto de roca reservorio. La investigación estará focalizada en el reservorio Caliza "O", productor del Campo Maporal, debido a sus características sedimentológicas, puesto que son carbonatos de mezclas muy complejos y dolomitizados los cuales presentan porosidades secundarias que fueron desarrolladas post-sedimentación por procesos diagenéticos y que no son continuas a lo largo de toda la cuenca (Aquino *et al*, 1994).

Se plantea realizar un modelo sedimentológico y diagenético de esta unidad, y con ellos conocer como son las variaciones laterales y verticales del tipo de porosidad que presenta este yacimiento, con el fin de lograr establecer una ubicación más precisa de nuevos pozos, tanto de producción como de exploración, y finalmente conocer la configuración del yacimiento, puesto que anteriormente estos aspectos han hecho difícil la caracterización del reservorio.

Debido a esto surge la necesidad de examinar y realizar nuevos estudios sedimentológicos y estratigráficos, los cuales ayuden a entender las condiciones ambientales en las que se depositó la Caliza "O", y los procesos diagenéticos responsables del desarrollo de poros, donde luego se almacenaría el hidrocarburo. Actualmente no se tiene un modelo sedimentológico o diagenético que permita explicar cómo se formó este reservorio. La meta de este proyecto es entonces llegar a

predecir donde se pueden ubicar pozos con desarrollo de yacimientos de hidrocarburos.

1.2 Justificación e importancia

Esta investigación nace de la necesidad que posee Petróleos de Venezuela (PDVSA) de realizar una caracterización adecuada de los campos petrolíferos de la cuenca de Barinas, donde los reservorios pertenecientes a las formaciones Escandalosa-Navay en el intervalo Cretácico superior, tienen gran importancia económica.

El Campo Maporal en el intervalo productor de hidrocarburos del Cretácico corresponde al Miembro “O” de la Formación Escandalosa; éste se ha definido como un intervalo carbonático, compuesto de calizas y dolomías carbonáticas, interestratificado con areniscas de grano fino, carbonáticas y glauconíticas, limolitas y lutitas arenosas. El reservorio está representado por dolomías que poseen porosidad secundaria mientras que las demás litologías difícilmente presentan una porosidad efectiva (Aquino *et al*, 1994).

1.3 Ubicación de la zona de estudio

La cuenca de Barinas-Apure se localiza al suroeste de Venezuela y está integrada por los estados Apure, Barinas y Portuguesa (Ver figura 1).

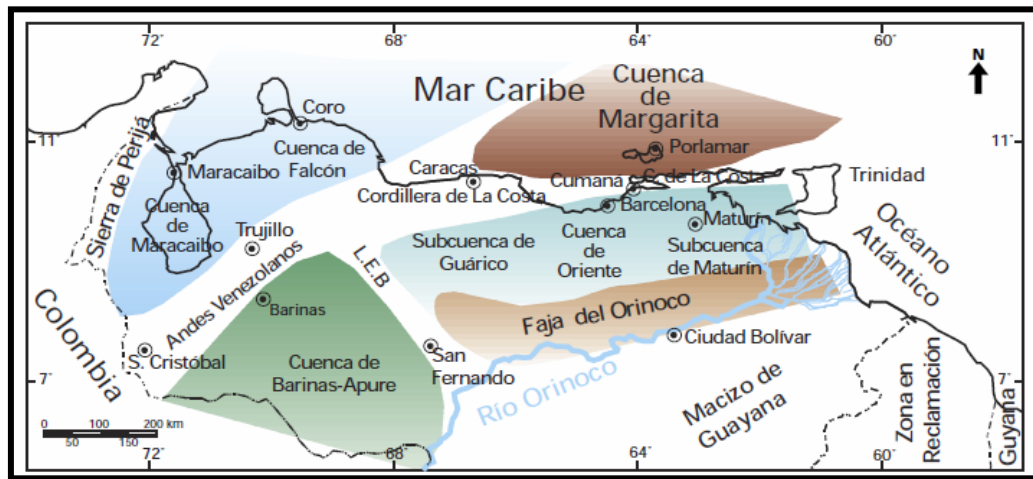


Figura 1. Ubicación de la Cuenca Barinas-Apure, suroeste de Venezuela, (Yoris y Ostos, 1997).

El Campo Maporal, pertenece al área tradicional de Barinas está emplazado a unos 25 km al sureste de la ciudad de Barinas y limita al oeste con el campo Silván, al suroeste con los campos Palmito, Estero, Bejucal y al noreste con los campos Caipe y Obispo. En el Campo Maporal están ubicados los 4 pozos a estudiar, SMW-31, SMW-28, SMW-13 y SMW-23 los cuales se pueden observar en la figura 2.

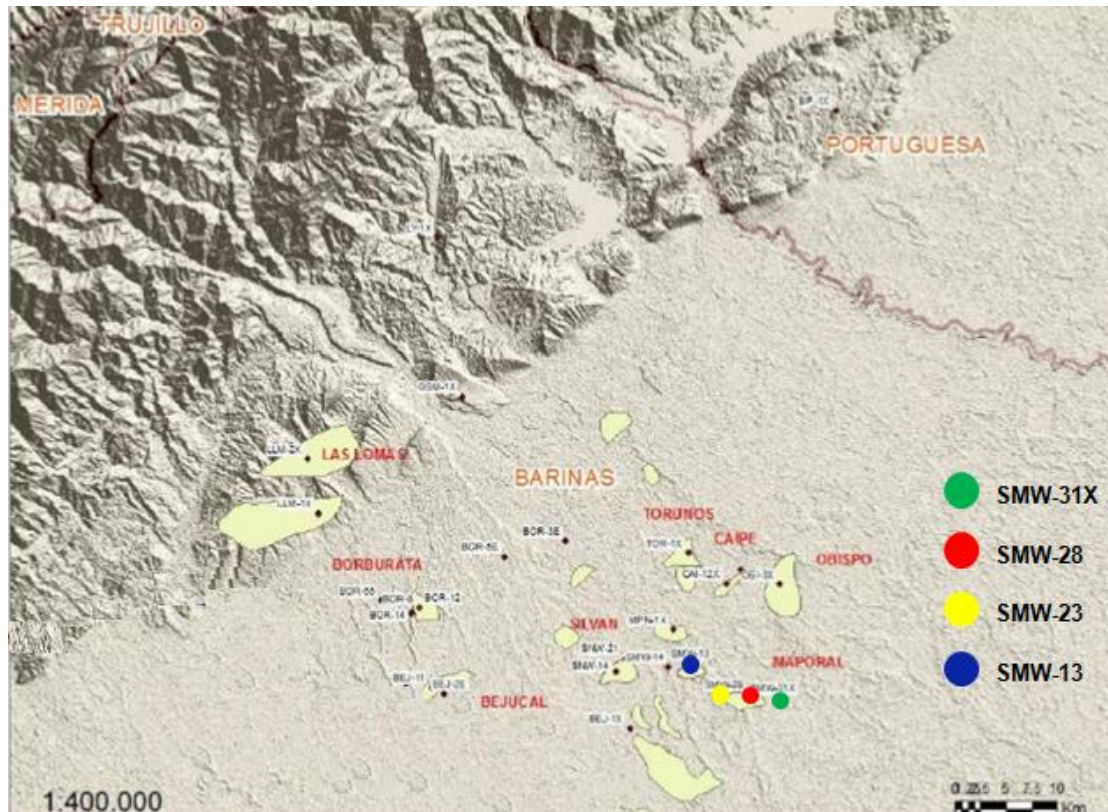


Figura 2 Imagen radar de la zona de estudio, incluidos los 4 pozos a estudiar.

1.4 Objetivos del estudio

1.4.1 Objetivo general

Realizar un estudio sedimentológico y estratigráfico, de las formaciones Escandalosa-Navay en el intervalo Cretácico superior, en los núcleos de los pozos SMW-13, SMW-23, SMW-28 y SMW-31X, Campo Maporal, Cuenca de Barinas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Elaborar las hojas sedimentológicas para cada uno de los pozos, identificar litologías, facies, microfacies, estructuras sedimentarias, fracturas, porosidades, parasecuencias y secuencias en el intervalo estudiado, a partir de la descripción sedimentológica de los núcleos de los pozos SMW-31, SMW-28, SMW-23 y SMW-13.
- Seleccionar muestras en intervalos de interés tanto para estudios petrográficos con microscopio de luz polarizada, como para análisis mineralógico por difracción de rayos X para determinar la composición mineralógica y textura. Posteriormente con los datos obtenidos se pretende clasificar las rocas siliciclásticas y carbonáticas presentes según la clasificación de rocas de mezclas carbonáticas y siliciclásticas, (modificado de Mount, 1985 y R. Aquino, 2015)
- Correlacionar los cuatro pozos estudiados e identificar las unidades estratigráficas de acuerdo a las unidades formalmente establecidas en el área, a partir de las hojas sedimentológicas y de la revisión de datos bioestratigráficos generados y/o existentes de los núcleos estudiados.
- Identificar ambientes, complejos depositacionales y elaborar un modelo sedimentológico y estratigráfico del intervalo estudiado.
- Cuantificar porosidades, identificar secuencias paragenéticas y ambientes diagenéticos, a partir de los análisis petrográficos.

1.5 Alcances

Primeramente se espera que con la descripción de núcleos, los análisis petrográficos y los análisis de difracción de rayos x, se puedan identificar los Miembros O y P de la Formación Escandalosa, y el Miembro La Morita de la Formación Navay, para conocer su composición litológica y mineralógica, estructuras sedimentarias y las variaciones de porosidad tanto vertical, como lateral en el yacimiento estudiado.

También se pretenden identificar las superficies estratigráficas de correlación como superficies de máxima inundación y límites de secuencia, con el fin de hacer la correlación entre los cuatro pozos a estudiar, para posteriormente elaborar el modelo sedimentológico (identificación de ambientes y microambientes) en el cual se estudiarán las trazas fósiles, tipos de carbonatos (dolomita, calcita, siderita), minerales autigénicos como glauconita, piritita y fosfatos, estructuras sedimentarias y porosidades desarrolladas por exposición subáerea de cuerpos carbonáticos.

Se espera que con el estudio diagenético se comprendan los procesos de desarrollo de porosidad y permeabilidad los cuales pueden ser responsables de la acumulación de hidrocarburos en el reservorio y se logre entender la secuencia paragenética y los procesos diagenéticos involucrados en el proceso.

1.6 Antecedentes

- **Escalona (1989)** Por medio de este estudio petrográfico detallado se establece la secuencia paragenética que se asocia a las rocas carbonáticas y terrígenas que conforman el Miembro “O” de la Formación Escandalosa. Se describen las características de los procesos que produjeron la dolomitización y dedolomitización, fenómenos diagenéticos que generaron la naturaleza de las rocas carbonáticas y siliciclásticas, así como la variable calidad y heterogeneidad de los reservorios, debido a la intensidad diferencial con la que actuaron dichos fenómenos diagenéticos. Se discute sobre el probable origen del fosfato y la glauconita, presentes en dichas rocas, y su asociación a los ambientes sedimentarios que propiciaron la depositación de las rocas precursoras de las actuales dolomitas y areniscas dolomíticas (calcitizadas) porosas.
- **Aquino, De Guerra, Helenes, De Monroy, Callejón y Zorrilla (1994)** Estudiaron las formaciones Escandalosa (Arena “P” y Caliza “O”) y Navay (Miembros La Morita y Quevedo), discriminándose en: Unidad de Siliciclásticos (arena P1), Unidad de Carbonatos (caliza O), Unidad de limolitas, fosfáticos, calcáreos (tope de caliza O), Unidad de lutitas (Miembro La Morita) y unidad de carbonatos lodosos, capas silíceas fosfáticas (Miembro Quevedo). Estas se depositaron durante el Cenomaniense-Conienciense, en un evento transgresivo regresivo, con ambientes que van desde marino-somero transicionales a plataforma interna a media. Las unidades productoras son la de siliciclásticos la cual presenta porosidades de hasta 21%, con 13% de promedio, y permeabilidades de hasta 946 md, con promedio 80-90 md. Se diferencian dos zonas diagenéticas: zona diagenética de siliciclásticos donde ocurre cementación silícea, alteración de feldespatos de arcilla,

presión-solución y zona diagenética de carbonatos donde también ocurrió dolomitización temprana y tardía, disolución de conchas, etc. La geoquímica arrojó que las lutitas del Miembro La Morita son rocas madres de calidad buena y se encuentran dentro de la ventana del petróleo.

- **Aquino & Boujana (1996)** Realizaron un estudio en cinco núcleos de la cuenca de Barinas, llegando a una nueva subdivisión de un intervalo basado en superficies erosivas, que pueden interpretarse como límites de secuencia. Apoyado en estudios sedimentológicos, asociaciones de trazas fósiles y eventos diagenéticos, se determina que el medio de sedimentación es una zona de mareas de la costa. Determinaron niveles porosos de dolomita con variaciones importantes laterales y verticales.
- **Méndez (2000)** Analizó y comparó núcleos de los pozos BOR-12 y BOR-14 del Campo Borburata. El autor explica que ambos poseen un predominio de facies de dolomita. Pero si las dolomitas son clasificadas de acuerdo a las porosidades presentes y al tipo específico de dolomitización, encuentra que las facies de dolomita con diferentes tipos de porosidad, en el BOR-12 no mantienen una continuidad lateral y en el BOR-14 aparecen en forma muy aislada. Concluyendo de esta forma que la calidad del reservorio y de unidades de flujo es mejor en el BOR-12 que en el BOR-14.
- **Méndez (2006)** Plantea que un sistema de carbonatos presenta una gran variedad de porosidades, las cuales van a depender del tipo de litofacies y biofacies, de los niveles de energía existentes durante la sedimentación, de la mineralogía inicial de los sedimentos, de las características particulares de la biota que forman el sedimento, de la diagénesis y tipo de ésta sobre la sedimentación original, etc. En un

complejo de carbonatos compuesto por calizas, dolomitas y clásticos terrígenos interdigitados, pueden aparecer hasta 20 tipos de porosidades diferentes, dependiendo de los factores antes enumerados, aun cuando lo usual es encontrar las porosidades más comunes como son: móldica, intergranular, intragranular, intercrystalina, oquedad (vug) y fracturas. Unos carbonatos serán más propensos que otros al fracturamiento, por lo cual el estudio sedimentológico, diagenético y estratigráfico es imprescindible. En todo caso, las fracturas y microfracturas indican un tipo adicional de porosidad, pero son las porosidades convencionales las que están en capacidad de almacenar y las fracturas y microfracturas las que aumentan la comunicación y permeabilidad entre los poros.

- **Méndez (2007)** En el Miembro O los reservorios, unidades de flujo y producción de petróleo dependen de las facies de dolomita. Sin embargo no todas las dolomitas presentes en el mismo presentan porosidad, ya que además de esta facies, es necesario la presencia de unidades litológicas dolomitizadas masivamente y/o con varios tipos de porosidad: intercrystalina, móldica, vug y microfracturas). La litología y los cambios laterales y verticales de facies de dolomitas con porosidad controlan la presencia de los reservorios y unidades de flujo, no así las fracturas de origen tectónico (cuando las hay). La densidad de fracturas en los núcleos estudiados de este intervalo no es de origen tectónico, como para asumir que el fracturamiento en el área es prioritario en la formación de reservorios y la producción de petróleo. La dolomita generalmente posee un fracturamiento sin relación con la tectónica, formando una textura de brecha. Determinando que este fracturamiento se originó desde el ambiente depositacional en la superficie, cuando en el proceso de

dolomitización se desarrollaron fracturas sinsedimentarias y diagenéticas.

- **Ruiz (2011)** A través de la integración de datos de pozo y datos sísmicos 3D pre-apilados se estimó la continuidad lateral de las principales unidades litológicas penetradas por los pozos perforados en el área. El estudio consistió en calcular diversos atributos elásticos a partir del uso de registros sísmicos dipolares y de densidad, con lo cual se identificaron diversos dominios capaces de separar las distintas litofacies presentes en los yacimientos en estudio. Los Miembros “O” (carbonático) y “P” (clástico) de la Formación Escandalosa (Cretáceo) presentan una alta variabilidad lateral de litologías, que dificulta proponer modelos geológicos y estocásticos confiables para el campo.
- **Oropeza (2015)** Realizó una caracterización geológica de las formaciones Escandalosa y Navay en los pozos LLM-1X y BOR-8, en la parte central del estado Barinas, hacia el sur del flanco sur andino y de la ciudad de Barinas, Venezuela. Al realizar los estudios petrográficos y de núcleo, se encontró con que las rocas atravesadas por los pozos estaban conformadas por dolomitas calcíticas cuyos procesos diagenéticos fueron mayores hacia el tope de la Formación Escandalosa donde dicho proceso diagenético fue de baja profundidad. También se determinaron ambientes intermareales, dentro de lagunas evaporíticas de aguas hipersalinas, ambientes submareales y ambientes eólicos, para cada parasecuencia descrita en este trabajo. En la Formación Navay se identificaron secuencias típicas de un ambiente entre plataforma y talud.
- **Martínez (2016)** Realizó un estudio sedimentológico y estratigráfico en los pozos BOR-3E y BOR-5E pertenecientes al Campo Borburata de la cuenca Barinas, caracterizando el intervalo Cretácico en las

formaciones Escandalosa y Navay, constituidas por los miembros Arena P, Caliza O y La Morita. Ambos pozos constituidos por los 3 miembros antes nombrados describen facies siliciclásticas y carbonáticas, que forman parte importante de los yacimientos de hidrocarburos en el subsuelo de Barinas. Los miembros Arena P y Caliza O, ubicados en el mismo orden estratigráfico al tope de la Formación Escandalosa, constituyen el yacimiento regional de las zonas nucleadas, arrojando resultados de un intervalo Cretácico entre los pisos del Cenomaniense Medio y el Turonense.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Componentes de los carbonatos

Los carbonatos constituyen los sedimentos y rocas sedimentarias más abundantes después de los clásticos terrígenos. Los carbonatos se forman fundamentalmente por procesos químicos, bioquímicos y biológicos, en contraste con los sedimentos y rocas de origen terrígeno, los cuales se originan esencialmente por procesos de meteorización y erosión de otras rocas preexistentes. La mayoría de los carbonatos se forman en ambientes marinos (Méndez, 2009).

Los sedimentos carbonáticos se forman en o casi en el mismo medio de depósito y por eso su análisis, además de tener en cuenta como en el caso de los siliciclásticos los parámetros físicos, indicadores del régimen hidráulico (estructuras sedimentarias, texturas y fábrica), debe considerar, como parte esencial, la propia naturaleza de las partículas sedimentarias que lo componen. Estas partículas pueden ser de precipitación directa del agua del mar, de precipitación inducida por organismos o formadas como resultado de la desintegración de los armazones esqueléticos (Arche, 2010).

2.2 Ambientes Carbonáticos

Según Méndez (2009) la gran mayoría de los sedimentos de carbonatos están relacionados con el medio marino. Esto incluye los ambientes sedimentarios propiamente marinos y los ambientes transicionales, cuyo origen se deriva de la acción de las mareas, corrientes, etc. Los depósitos más importantes los podemos considerar como arrecifes y plataformas y una buena parte de estos se encuentran en el mar Caribe. Los ambientes marinos actuales se pueden dividir de acuerdo a criterios morfológicos, topográficos, oceanográficos y biológicos. Estos ambientes comprenden las zonas costeras, neríticas y oceánicas con sus respectivas divisiones. En el pasado geológico los mares de agua someras penetraron activamente en el interior de los cratones continentales formando los mares epirocos y epicontinentales

(figura 3), desarrollando una sedimentación activa de carbonatos y evaporitas principalmente en el Paleozoico y Mesozoico. Una plataforma epirica es conocida como una plataforma desarrollada en el interior del cratón en mares internos de aguas someras denominados mares epiricos o epicontinentales. Los mares epicontinentales fueron muy importantes durante los eventos transgresivos del Paleozoico y Mesozoico. En estos mares al penetrar activamente en los continentes, se originaron extensos depósitos de carbonatos en aguas muy someras con importantes facies de dolomitas y oolitas. Durante las transgresiones del Cretácico Superior, lutitas calcáreas con sedimentación pelágica se depositaron hacia el interior de los cratones como ocurrió en América del Norte.

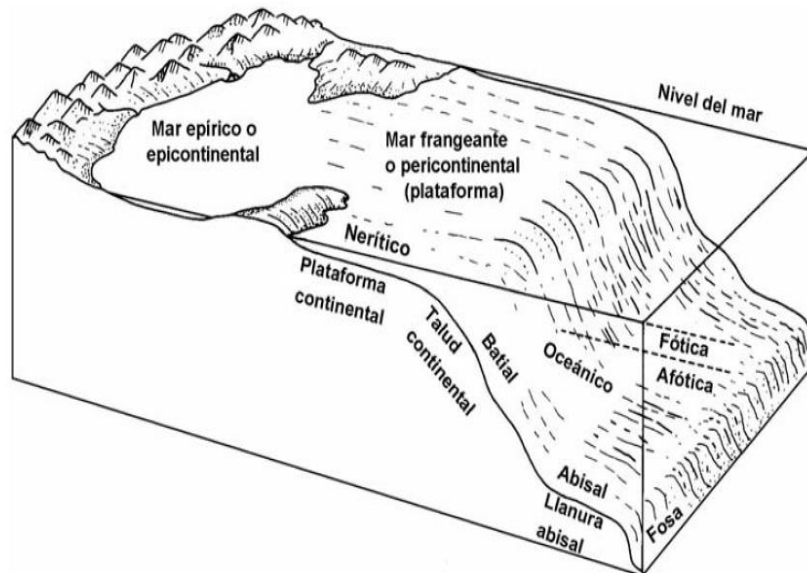


Figura 3. Ambientes marinos y morfología con la situación general de los mares epiricos o epicontinentales (mares someros que penetran en el interior de los continentes) y pericontinental (mares que bordean los continentes), Tomado de Méndez (2009).

Los ambientes marinos comprenden las siguientes zonas según Méndez (2009) ver figura 4:

1. Supramareal, intralitoral e infralitoral, que corresponden en la plataforma hasta los 200 metros de profundidad. Esto corresponde a la zona nerítica.

2. Desde los 200 hasta los 2000 m aproximadamente de profundidad, representando la zona batial, se encuentra el talud proximal, distal y parte de las cuencas oceánicas receptoras de facies de turbiditas profundas, así como de depósitos de sedimentos pelágicos.
3. A partir de los 2000 m de profundidad (depende de la configuración de la cuenca) se encuentra la zona abisal y áreas de la cuenca profunda o sedimentos pelágicos. Para la sedimentación de carbonatos, esta zona está limitada por la profundidad de compensación de los carbonatos (entre 4000 y 5000 m para la calcita). La zona abisal generalmente se ubica hasta los 6000 m de profundidad, a partir de la cual, en las zonas más profundas se conoce como zona hadal.

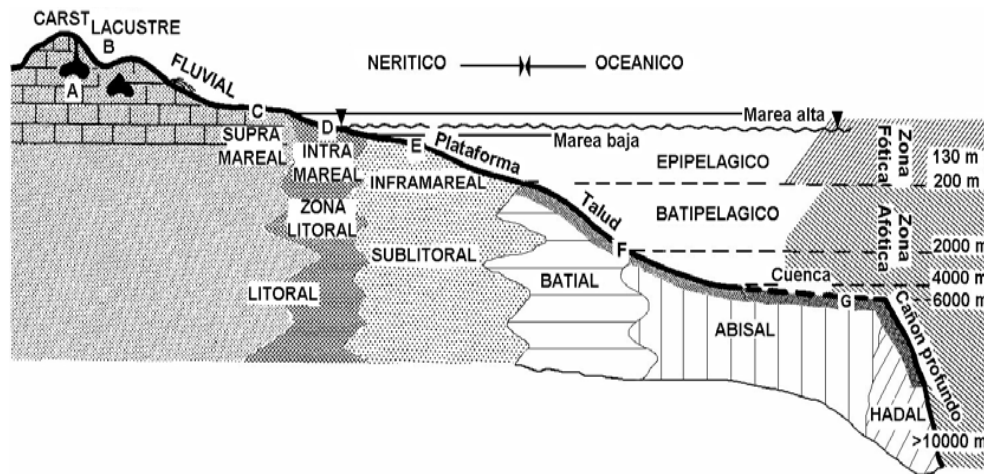


Figura 4. Clasificación oceanográfica con la distribución de las diversas zonas oceánicas (FLUGEL, 1982, modificado por Méndez, 2009)

2.3 Diagénesis de Carbonatos

Según Arche (2010) la diagénesis incluye todos los cambios que se producen en las características y composición de los sedimentos desde el momento de su sedimentación hasta que dichos materiales se sitúan en el campo del metamorfismo (P y T más altas). Aproximadamente hasta 300 °C, P= 1 bar y 1 Kbar y Prof= 10-15 km.

La diagénesis en rocas carbonáticas es la transformación de sedimentos carbonáticos en calizas (Folk, 1974) y comienza con los procesos que transforman ese sedimento, los cuales pueden ser procesos continuos y constantes que trabajan el sedimento, o cambios en las rocas como respuesta a modificaciones ambientales.

La diagénesis de carbonatos involucra todos los procesos de disolución, solución, cementación, litificación y alteración de los sedimentos durante el intervalo entre la depositación y el metamorfismo. Estos factores diagenéticos permiten preservar la porosidad inicial o modificarla en su totalidad, creando una porosidad secundaria completamente a la original. Los estudios realizados en carbonatos modernos y antiguos indican que la diagénesis operada en las facies y ambientes, prácticamente modifica la mayor parte de la porosidad inicial, siendo transformada o eliminada por los procesos de disolución, cementación y litificación. La variación en los tipos de diagénesis y cementos en los completos de carbonatos están relacionados con los diversos ambientes diagenéticos y con procesos característicos para cada ambiente. En términos generales un complejo de carbonatos presenta un ambiente marino, ambiente meteórico y ambiente del subsuelo, los cuales poseen características específicas de diagénesis y tipos de cemento. (Méndez, 2009), ver figura 5.

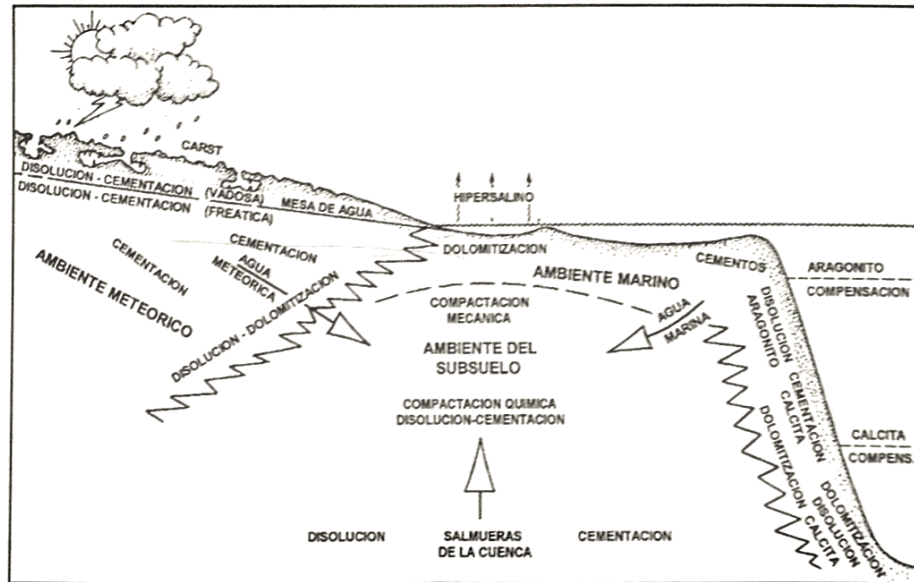


Figura 5. Separación entre ambientes y procesos diagenéticos en el medio marino, meteórico y del subsuelo, en los cuales se desarrollan los mecanismos de disolución, cementación, dolomitización, compactación mecánica, compactación química con la formación de estilolitas, creación y modificación de porosidades. Modificado de Moore (1989).

Los ambientes diagenéticos son las áreas en las cuales la diagénesis desarrolla procesos específicos de disolución, cementación y formación de minerales. Los ambientes diagenéticos se pueden dividir en tres grandes grupos: terrestres, marinos y del subsuelo. Los ambientes terrestres están formados por la zona vadosa y freática. Los marinos incluyen las zonas someras y profundas. Las zonas someras representan las áreas superficiales de aguas poco profundas y las zonas freáticas de influencia marina. Los ambientes diagenéticos del subsuelo indican las áreas de soterramiento no influenciadas directamente por los procesos superficiales o por las zonas freáticas marinas y meteóricas (Méndez, 2009).

La clasificación de los procesos diagenéticos está relacionada con los ambientes de formación y post-depositación.

1. Diagénesis submarina

- a. En mares y aguas someras
- b. En las zonas profundas de los océanos

2. Diagénesis meteórica

- a. Ambientes de la zona vadosa.
- b. Ambientes de la zona freática.

3. Diagénesis de soterramiento

De acuerdo a Logman (1980) cuatro ambientes diagenéticos son comunes de las zonas someras, marinas y terrestres, ver figura 6.

- **Zona vadosa de agua fresca (sobre la mesa de agua):** es el ambiente diagenético que se encuentra entre la superficie de la tierra y por encima de la zona de saturación de agua o mesa de agua. El aire y el agua pueden estar presentes en los poros. Como la zona no está saturada de agua, la que está presente se mueve entre los granos por acción capilar o en forma de gotas que se deslizan por la pendiente de los granos.
- **Zona freática de aguas frescas:** se encuentra en la base de la zona vadosa y la zona de mezcla de agua meteórica con agua marina. Los espacios porosos están llenos con agua meteórica proveniente de la zona vadosa inmediata o desde corrientes subterráneas de lagos cercanos o precipitaciones ocurridas en zonas alejadas.
- **Zona freática marina:** los espacios porosos se encuentran ocupados con agua marina normal. Como la mayor parte de los carbonatos son depositados en el medio marino, los cambios diagenéticos de los sedimentos comienzan en el ambiente freático marino. Los procesos de disolución y cementación dependen de muchos factores: profundidad del agua, temperatura, salinidad, pH, contenido de CO₂, saturación con respecto al CaCO₃, etc. El ambiente freático comprende desde la zona más superficial donde se deposita el sedimento hasta la profundidad donde las aguas penetran desde la superficie.

Zona de mezcla de agua fresca con agua marina: en esta zona se desarrollan los procesos de disolución y cementación dependiendo de la relación de salinidad. En general, los procesos de cementación no son muy conocidos y este ambiente diagenético ha sido más estudiado como modelo de formación de dolomitas.

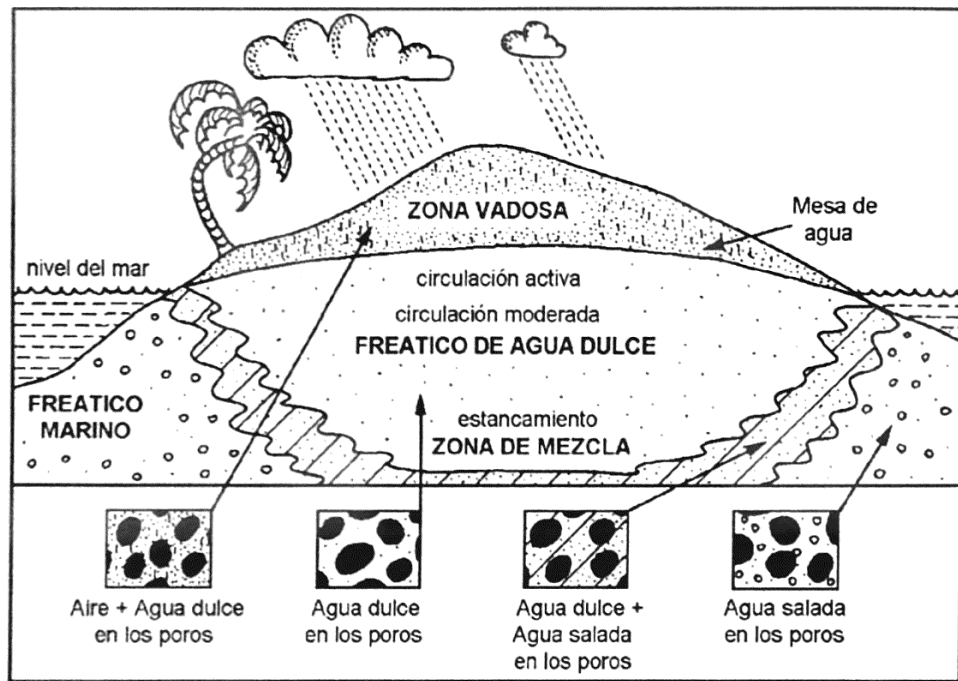


Figura 6. Distribución y relación de los ambientes diagenéticos freático marino, zona vadosa, zona freática de aguas meteóricas y zona de mezcla utilizando un modelo de isla de carbonatos con sedimentos permeables. Modificado de Longman (1982).

2.3.1 Etapas diagenéticas

Algunos autores han propuesto esquemas diagenéticos en los que se discriminan los procesos, según su tiempo de ocurrencia. De esta manera se han podido diferenciar las etapas diagenéticas temprana, intermedia y tardía. La figura 7 muestra una relación esquemática generalizada de los procesos físicos, químicos y orgánicos que pueden estar relacionados con cada una de las etapas diagenéticas según Ginsburg, 1957.

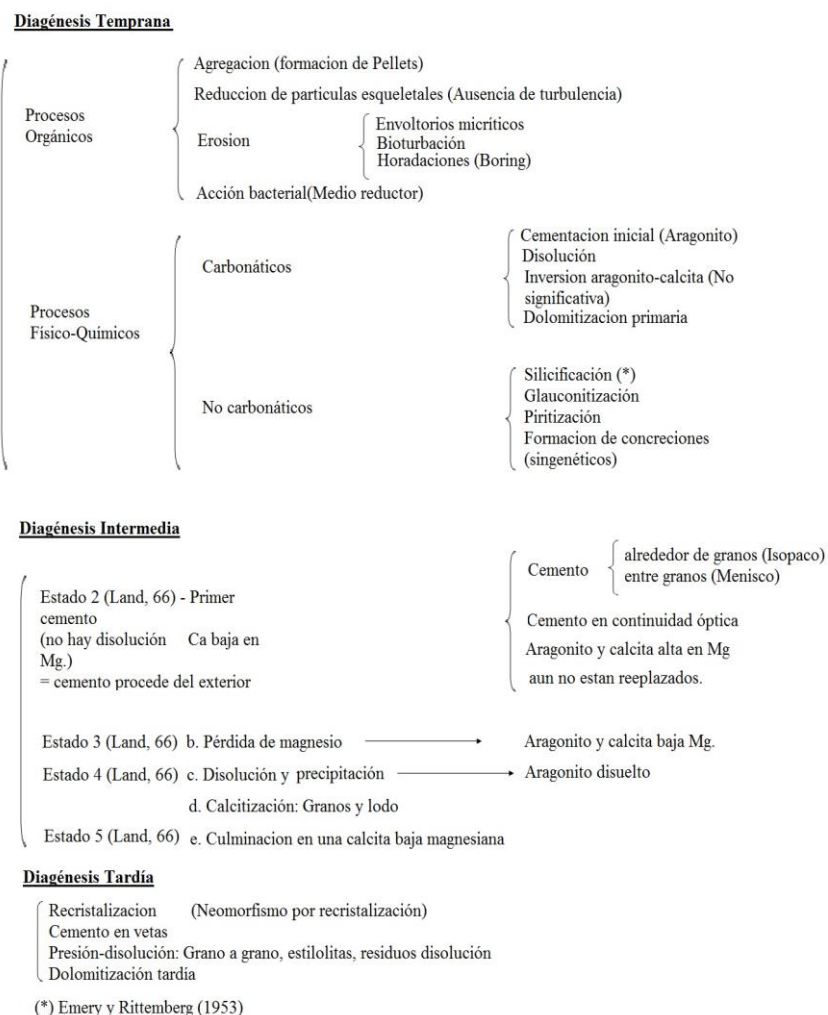


Figura 7. Esquema diagenético elaborado según Ginsburg, 1957. Adaptado y modificado por Eglee Zapata 1982.

2.4 Clasificación de rocas carbonáticas

Para clasificar una roca de carbonato es necesario diferenciar los tres constituyentes principales: granos, matriz y cemento. Los granos o partículas pueden derivarse de componentes de bioclastos (moluscos, corales, foraminíferos, algas, briozoarios, etc) o de origen inorgánico como los ooides. La matriz puede variar en el contenido de carbonatos y clásticos. Una matriz con predominio de carbonatos, generalmente se denomina micrita. Los cementos se originan por precipitaciones

químicas y el tipo de cemento dependerá del ambiente sedimentario y diagenético. (Méndez, 2009)

2.4.1 Clasificación de Dunham

La clasificación de Dunham (1962) es muy sencilla y sumamente útil para la determinación de ambientes. Es una clasificación textural e indirectamente genética donde se utiliza la presencia y porcentaje relativo de granos y micrita o lodo calcáreo, la esparita o espacios porosos, el empaquetamiento y soporte de los granos entre sí, e indirectamente la génesis de ciertas texturas para determinar su crecimiento in situ, así como el nivel de energía que influye en el empaquetamiento de los granos y el porcentaje de micrita. Distingue dos tipos generales de carbonatos (rocas y sedimentos carbonáticos) (1) los que presentan textura deposicional reconocible, y (2) los que presentan textura cristalina, no siendo posible reconocer la textura deposicional. Ver figura 8.

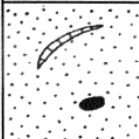
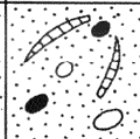
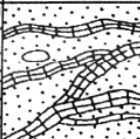
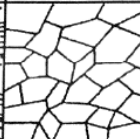
Textura deposicional reconocible					Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no enlazados durante la deposición				Componentes originales enlazados en la deposición: intercrecimiento de materia esquelética, laminación contraria a la gravedad, organismos incrustantes y aglutinantes, sedimentos rellenando cavidades de origen orgánico, etc.	Subdivididos por clasificaciones relacionadas con la textura física o diagénesis
Contienen lodo (arcilla y limo fino de carbonato)		Sin lodo soportada por granos			
Soportada por lodo	Soportada por granos				
Granos: <10%	Granos: >10%				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Carbonato cristalino
					

Figura 8. Clasificación en base a la textura deposicional de Dunham (1962). Los parámetros de la clasificación establecen una textura inicial del depósito reconocible o no. Textura soportada por lodo o granos entre sí. Componentes originales enlazados en el depósito, crecimiento orgánico, aglutinación.

2.4.2 Clasificación de Mount (1985) modificada por Aquino, R (2015)

Mount (1985) desarrolló una clasificación para los sedimentos compuestos por mezcla de carbonatos y siliciclásticos. Los sedimentos a ser clasificados están compuestos por cuatro componentes: 1) arenas siliciclásticas; 2) lodo terrígeno; 3) aloquímicos; 4) lodo calcáreo o micrita. Aquino (2015) toma en cuenta aparte de la calcita, el cuarzo y los aloquímicos, la presencia de dolomita, (ver tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de rocas de mezclas carbonáticas-siliciclásticas, (Modificado de Mount 1985), R. Aquino, 2015.

Componentes Siliciclasticos > Componentes Carbonaticos	Componentes Siliciclásticos tamaño arena > Componentes siliciclásticos tamaño lodo	Aloquímicos > Micrita	Nombre de la Roca (Carbonato solo Calcita)	Nombre de la Roca (Carbonato solo Dolomita)	Nombre de la Roca (Calcita >Dolomita)	Nombre de la Roca (Dolomita >Calcita)
SI	SI	SI	Arenisca Aloquímica	Arenisca Dolomítica Aloquímica	Arenisca Calcidolomítica Aloquímica	Arenisca Dolocalcítica Aloquímica
		NO	Arenisca Micrítica	Arenisca Dolomítica Micrítica	Arenisca Calcidolomítica Micrítica	Arenisca Dolocalcítica Micrítica
	NO	SI	Lodolita Aloquímica	Lodolita Dolomítica Aloquímica	Lodolita Calcidolomítica Aloquímica	Lodolita Dolocalcítica Aloquímica
		NO	Lodolita Micrítica	Lodolita Dolomítica Micrítica	Lodolita Calcidolomítica Micrítica	Lodolita Dolocalcítica Micrítica
NO	SI	SI	Caliza Aloquímica Arenosa	Dolomía Aloquímica Arenosa	Caliza Dolomítica Aloquímica Arenosa	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
		NO	Caliza Arenosa	Dolomía Arenosa	Caliza Dolomítica Arenosa	Dolomía Calcítica Arenosa
	NO	SI	Caliza Aloquímica Lodosa	Dolomía Aloquímica Lodosa	Caliza Dolomítica Lodosa	Dolomía Calcítica Lodosa
		NO	Micrita Lodosa	Micrita Dolomítica Lodosa	Micrita Calcidolomítica Lodosa	Micrita Dolocalcítica Lodosa

2.5 Porosidad en carbonatos

2.5.1 Porosidad (Choquette y Pray, 1970)

El sistema poroso en las rocas carbonáticas es generalmente complejo tanto en su geometría como en su génesis y comúnmente difiere marcadamente del de las areniscas. El tiempo y lugar en los cuales se crea o modifica la porosidad son elementos importantes para orientar genéticamente una clasificación. Existen tres eventos geológicos principales en la historia de formación de una roca que sirven para datar el origen y modificaciones de su porosidad independiente de su estado de litificación. Estos eventos son: 1) creación de la estructura sedimentaria por acumulación de clásticos o precipitación acrecional, 2) paso del depósito a la zona más influenciada por procesos referidos y/o operando desde la superficie de depositación, y 3) paso de la roca a la zona influenciada por procesos que operan desde una superficie de erosión.

Con base a estos tres eventos principales se proponen los términos: Eogenéticos para el estado temprano de recubrimiento, Telogenético para el estado final; y Mesogenético para el estado intermedio. Estos términos son también aplicables a procesos, zonas de recubrimiento o porosidad formada en estos tiempos o zonas. Mediante este sistema descriptivo y genético se pueden reconocer 15 tipos básicos de porosidad: siete tipos abundantes (interpartículas, intrapartículas, intercristalinas, moldes, fenestral, fractura y vugular) y ocho tipos más especializados, (ver figura 9).

2.5.2 Etapa del Desarrollo de la Porosidad (Zapata, 1983)

La porosidad en las rocas carbonáticas puede ser originada por diversos procesos como son: secreción esqueletos carbonáticos que crean celdas, cámaras u otras aberturas; empaque sedimentario, encogimiento de los sedimentos por desecación; distensión de sedimentos; solución selectiva de partículas sedimentarias o

por solución indiscriminada de la roca; por actividad orgánica; por descomposición orgánica o por otras causas.

Con base a los eventos antes mencionados se puede hacer una primera subdivisión de la porosidad en las rocas carbonáticas con relación al tiempo de su formación y modificaciones posteriores; estas son:

- La porosidad pre-depositacional: es la originada en el tiempo comprendido entre la formación del primer material sedimentario y su depositación final y recubrimiento.
- La porosidad depositacional: se forma en el período implicado en la depositación final, en su sitio de último recubrimiento; esta porosidad forma dos tercios del volumen de muchos lodos carbonáticos; en sedimentos carbonáticos granulares bien escogidos forma un tercio de su volumen total.
- La porosidad post-depositacional: ocurre en el tiempo después de la depositación final y el mismo se puede subdividir en Eogenética, Mesogenética y Telogenética, dependiendo de la etapa o zona de recubrimiento en la cual se desarrolla la porosidad.

Las porosidades originadas dentro de los períodos Predepositacionales y deposicionales se denominan Porosidades Primarias, y las originadas en el período Post-depositacional se denominan Porosidades Secundarias. El cese de la depositación final es la principal base práctica para distinguir la porosidad primaria de la secundaria.

2.5.3 Tipos básicos de porosidad

1. Porosidad de fábrica selectiva: la fábrica característica de la roca y la porosidad se encuentran igualmente relacionados con una facies y ambiente determinado.

- Interpartícula
- Intrapartícula

- Intercristalina (dolomita)
- Intracristalina (agregada para dolomitas)
- Móldica
- Fenestral
- Refugio (*shelter*)
- Estructura de crecimiento (growth framework)
- Fracturas y brechas diagenéticas.

2. Porosidad sin fábrica selectiva: no existe una relación directa de la porosidad con los constituyentes primarios, diagénesis y facies.

- Fractura
- Canal
- Oquedad (vug)
- Caverna
- Estilolita(agregada)
- Matriz (agregada como porosidad entre las partículas de la matriz)

3. Porosidad con o sin fábrica selectiva: con ambas tendencias.

- Brecha
- Horadación (boring)
- Bioturbación (madriguera)
- Encogimiento (shrinkage)

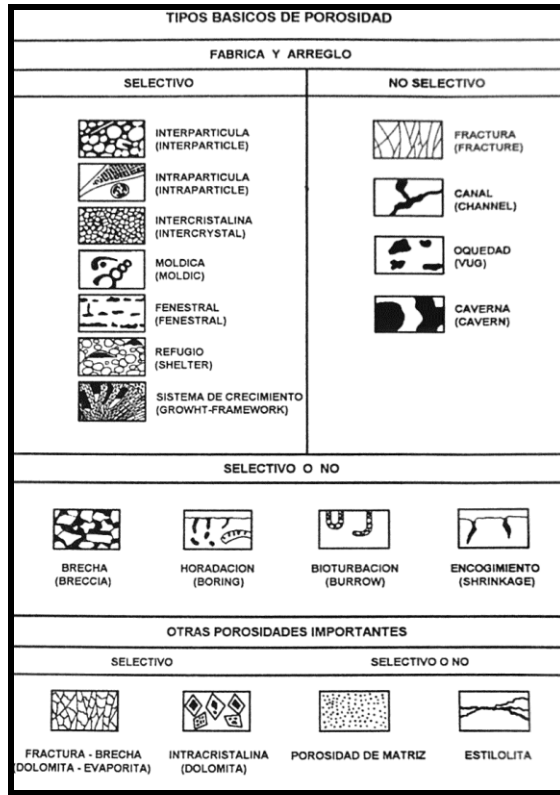


Figura 9. Clasificación de tipos básicos de porosidad. Choquette y Pray (1979). La clasificación consta de 15 tipos básicos de porosidad de acuerdo al carácter selectivo o no de las mismas. A esta clasificación se le han agregado 4 tipos de porosidad, incluidas como de carácter selectivo o no.

2.6 Ciclos estratigráficos

Los cambios en el nivel del mar determinan los ciclos estratigráficos los cuales dependiendo de su duración se clasifican en 1º, 2º, 3º, 4º y 5º orden. Los ciclos de los cambios del nivel del mar, para obtener una escala cronoestratigráfica, son enlazados con los datos obtenidos de la geocronología, magnetoestratigrafía y bioestratigrafía (Haq et al., 1988). Los ciclos estratigráficos originan, a su vez, las secuencias estratigráficas, las cuales representan un proceso sedimentario limitado en la base y el tope de las discordancias. Por lo tanto mientras más amplio sea el ciclo estratigráfico, mayor será el número de secuencias estratigráficas que presente.

La secuencia estratigráfica indica un conjunto de rocas dentro de una relación cronoestratigráfica de estratos repetitivos genéticamente relacionados y limitados por superficies de erosión o no depositación, o sus conformidades correlativas (Van Wagoner et al, 1988). La unidad fundamental de la secuencia estratigráfica es la secuencia, la cual igualmente está limitada por discordancias o sus conformidades correlativas. Estos cambios relativos del nivel del mar pueden ser correlacionados globalmente, indicando un control eustático.

Ciclos de Primer Orden

Son ciclos eustáticos de 100 a 400 Ma derivados de la formación de las dorsales oceánicas, subsidencia termal de la corteza oceánica, unión y separación de los supercontinentes, deriva de los continentes.

Ciclos de segundo orden

Son ciclos de 10 a 100 Ma. Producidos por cambios en el volumen y tasa de expansión de las dorsales oceánicas. Las secuencias estratigráficas de estos ciclos han sido correlacionadas entre continentes. Se forman por agrupamiento de ciclos de 3^{er} orden.

El aumento general del nivel del mar está relacionado con la expansión de las dorsales oceánicas y la eyección de basaltos creadores de nueva corteza oceánica. Los tiempos geológicos de niveles máximos del mar, como ocurrió durante el Cretácico Medio-Tardío (hasta 300 m por encima del nivel actual), indican una expansión muy rápida de la corteza oceánica. En el caso contrario los niveles bajos del mar indican una disminución en la actividad tectónica de las dorsales o unión de los continentes, como ocurrió en la formación del supercontinente Pangea (Vail *et al.* 1977; Plint *et al.* 1992), ver figura 10.

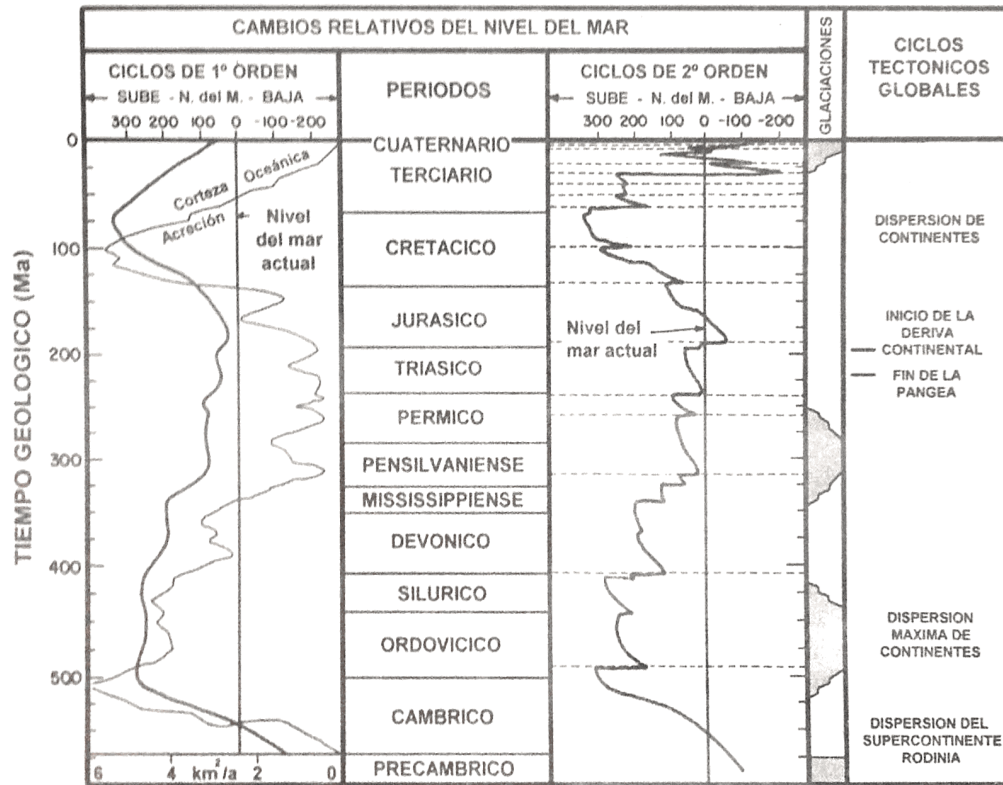


Figura 10. Cambios del nivel del mar y su influencia en los ciclos de 1º y 2º orden, así como la relación que guarda con la tectónica general de placas, formación de corteza oceánica y acreción de continentes. Tomado de Méndez (2009)

Ciclos de tercer orden

Son ciclos de 1 a 10 Ma. Generalmente son ciclos menores a 3 Ma. son causados por cambios en la tasa de expansión oceánica y formación de dorsales o segmentos de las mismas, formación y fusión de glaciares en los continentes, tectonismo regional.

Ciclos de Cuarto y Quinto Orden. Ciclos de Milankovitch

Los ciclos de cuarto y quinto orden denominados ciclos de Milankovitch son ritmos orbitales que producen variaciones cíclicas en la radiación solar captada sobre la tierra. Los cambios climáticos pueden producir glaciaciones (regresiones) e interglaciaciones (transgresiones). Igualmente afectan los niveles de las aguas

subterráneas almacenadas en los continentes con fluctuaciones eustáticas de 10 a 20m.

Los ciclos de 3°, 4° y 5° orden requieren una curva más amplia para poder notar los cambios.

2.7 Secuencias transgresivas y regresivas en carbonatos

En las rocas carbonáticas, la variación en el tamaño del grano depende en gran medida de los tipos de organismos que van a formar parte del material que será distribuido por los diversos estados de energía. Por lo tanto, la respuesta en cuanto a la relación entre el tamaño del grano con los niveles de energía en carbonatos, difiere con respecto a los clásticos. Hay secuencias de carbonatos que al ser relacionadas con la evolución de la cuenca muestran una variación del tamaño del grano, de acuerdo a los ciclos presentes similares a los clásticos. Sin embargo, no es siempre apropiado utilizar en carbonatos el tamaño del grano como principal indicador de cambios en los niveles de energía (Méndez, 2009).

Secuencias que muestran cambios verticales en el tamaño del grano, paralelamente a la evolución general de la cuenca sedimentaria durante ciclos regresivos y transgresivos, pueden también presentar otras características. En secuencias regresivas, los estratos presentan una mayor influencia marina en la base, mientras que las secuencias transgresivas indican lo contrario (Elf-Aquitaine et al, 1982).

Para determinar la secuencia vertical correcta y la relación de facies, se deben considerar los siguientes aspectos:

1. Observación visual del orden en el cual se disponen los estratos.
2. Análisis estadístico de los estratos y relación de facies en secuencia vertical.
3. Ordenar los estratos en un orden lógico de acuerdo a las observaciones en ambientes modernos y en modelos de ambientes depositacionales antiguos.

4. Comparación de una secuencia completa de facies con secuencias parciales o incompletas.

El estudio de una secuencia no debe consistir solamente en un análisis de la sucesión vertical de litologías o características bióticas. Cada unidad tiene que ser estudiada en relación a las inmediatas a ésta. El análisis secuencial debe agrupar las unidades o facies depositacionales de tal manera que represente ciclos depositacionales o secuencias completas.

Nota: Los términos teóricos no mencionados en este apartado serán discutidos en el apéndice del TEG.

GEOLOGÍA REGIONAL

2.8 Generalidades de la Cuenca Barinas - Apure

La Cuenca Barinas - Apure, se encuentra ubicada en la región sur occidental del país y es la tercera más importante de Venezuela por sus recursos petrolíferos. Es una depresión estructural con forma alargada y asimétrica con su flanco meridional suavemente inclinado al noreste y el flanco septentrional marcado por afloramientos que forman parte del flanco sureste de Los Andes venezolanos. Esta cuenca está limitada al noroeste, por los contrafuertes de la cadena de Los Andes venezolanos, al norte, por la prolongación occidental de la Serranía del Interior Central, al este y noreste, por el levantamiento de El Baúl y al sur está separada de los Llanos colombianos por un alto gravimétrico situado entre los ríos Apure y Arauca (Hosper y Van Wiinen 1959, en González de Juana, et al., 1980) Ver figura 11.

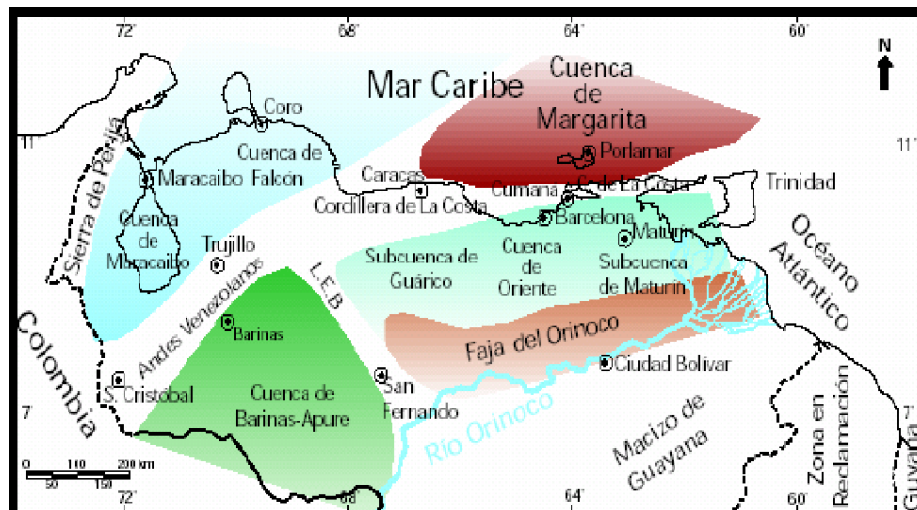


Figura 11. Provincias Sedimentarias. (Modificado de Pérez Mejía et. al., (1980)). L: E: B = Lineamiento del Baúl, Límite entre las cuencas de oriente y Barinas – Apure. (Yoris y Ostos, 1997)

Esta cuenca posee un área de aproximadamente 338.475 km², de los cuales 162.345 pertenecen a la subcuenca de Barinas, que comprende las depresiones

tectónicas de Burgua y Guarumen. Asimismo, contiene un máximo de 5000 m (16500 pies) de sedimentos cretáceos y post – cretáceos que descansan discordantemente sobre un basamento de rocas ígneas y metamórficas Pre – Cretácicas, sedimentos del Jurásico y el Paleozoico (Kiser, 1997).

Es importante resaltar que lateralmente esta cuenca se correlaciona con la de Maracaibo, ya que el origen de ambas es similar y no es sino hasta el levantamiento de Los Andes venezolanos, durante el Terciario que se separan (Yoris y Ostos, 1997).

A continuación se presenta el cuadro de correlación de las formaciones presentes en la zona Occidental de Venezuela (figura 12):

Edad	Perijá y Lago Maraaibó	Flanco Norandino	Flanco Surandino	Norte de Guárico	Flanco Sur de la Cuenca Oriental	Serranía del Interior Oriental
Maastrichtiense	Mito Juan	Mito Juan		Guárico	Infante	Vidono
	Colón	Colón	Burgita	G U A Y U T A (Mucaria, San Antonio "Río Chávez", Querecual, "Querecual del Norte") ? "Bloques Exóticos" ? ?	Tigre	San Juan
Campaniense	Socuy	Tres Esquinas	Quevedo			San Antonio
Santonense	La Luna	La Luna	La Morita		GRUPO TEMBLADOR	
Coniaciense			Guayacán			Querecual
Turonense		Guayacán	Guayacán / Caliza "O"		Canoa	
Cenomaniense	¿Hiatus regional en la base?	Capacho	Escandalosa			
		Seboruco				

	Yacimiento (Carbonático)		Pares Arena / Sello		Roca Madre
	Yacimiento (Clastico)		Sello		

Figura 12. Cuadro de Correlación de las unidades más relevantes, facies Cretácicas Tardías de Venezuela. (Modificado de González de Juana *et al* 1980, Yoris, F. y M. Ostos, 1997).

2.9 Evolución de la cuenca durante el periodo Cretácico

La Cuenca Barinas-Apure es una depresión estructural en el basamento ígneo-metamórfico Pre-Cretácico, rellena de sedimentos del Cretácico y del

Cenozoico hasta una profundidad que excede los 16.000 pies en su parte más profunda (Yoris Y Ostos, 1997).

2.9.1 Pre-Cretácico

En Venezuela la transgresión cretácica se produce como efecto tardío de fenómenos asociados a la separación de Pangea durante el Jurasico. Los mares transgresivos procedentes del norte invadieron los márgenes continentales rebasando las elevaciones resultantes de la orogénesis del Permo-Triasico (Figura 13). Este proceso ocurre soportado por la sedimentación paleozoica que consiste en sedimentos clásticos arenosos de ambientes continental-fluvial y costeros-transicional (González de Juana *et al.*,1980).

Estos fenómenos geológicos que ocurrieron Pre-Cretácico fueron los que comenzaron con el desarrollo petrolífero de la Cuenca Barinas-Apure.

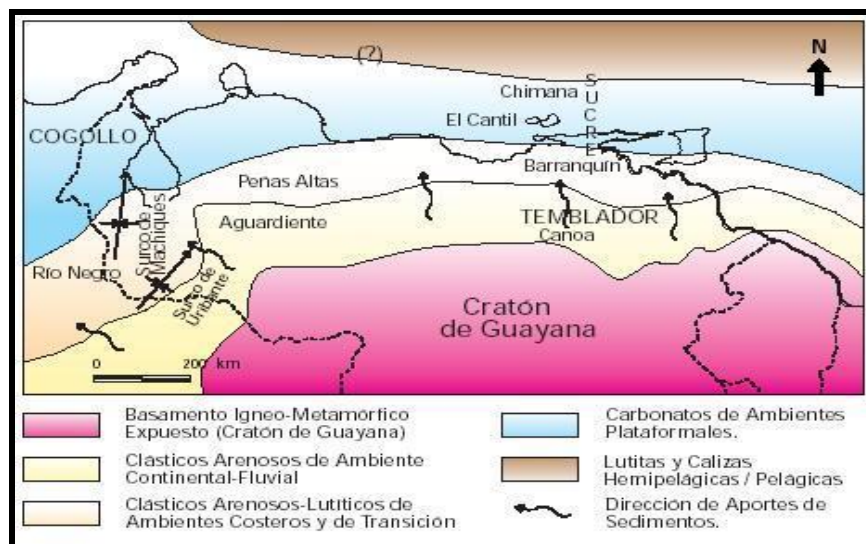


Figura 13. Distribución de facies sedimentarias del Cretácico Temprano (Yoris y Ostos, 1997)

2.9.2 Cretácico

La sedimentación en el occidente estuvo controlada por un sistema de grábenes jurasícos que se evidencian en los sedimentos clásticos arenosos de la Formación Río Negro, ver figura 14. Lugo (1991), mencionó que en el noroccidente de Venezuela se experimentó, desde el Jurásico, una subsidencia termal exponencial; luego de que esta se estabilizara ocurrió la depositación del Grupo Cogollo (carbonático) en un extenso mar epicontinental transgresivo sobre Venezuela occidental, el cual culmina su desarrollo en el Aptiense cuando finaliza la sedimentación de la Formación Aguardiente (Yoris y Ostos, 1997).

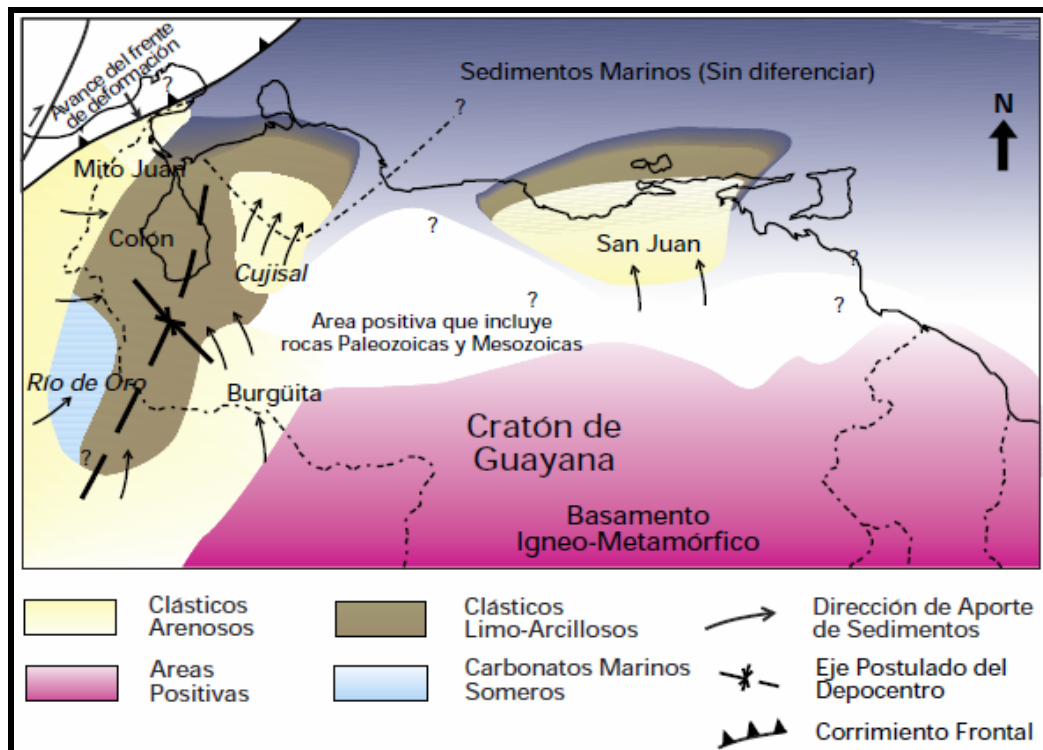


Figura 14. Distribución de facies sedimentarias durante el Maastrichtiense (Cretácico Tardío) al norte del Cratón de Guayana. Tomado de: (Yoris, F. y M. Ostos, 1997)

Este período fue crucial para todo lo que formó parte del desarrollo petrolífero de la Cuenca Barinas-Apure ya que estuvo caracterizado por influencias

marinas al mismo tiempo que los sistemas transgresivos mundiales estaban afectando al occidente venezolano. Debido a esto se depositaron calizas, lutitas y fñanitas ricas en materia orgánica. Estas rocas son Rocas Madres por excelencia de hidrocarburos, típicas de las formaciones Navay y La Luna.

El Cretácico Tardío en Venezuela finaliza cuando ocurre la Orogénesis durante el Maastrichtiense que obliga la retirada de los mares cretácicos hacia el norte. Con la sedimentación de las formaciones Escandalosa, Navay (miembros La Morita y Quevedo) y Burgüita, en las facies ubicadas al norte con unidades regresivas respecto a los ambientes más profundos de la roca madre. En el flanco surandino, el contacto superior de la roca madre es transicional a erosivo, con areniscas basales de la Formación Burgüita (Yoris y Ostos, 1997).

Ocurrieron movimientos epirogenéticos durante el Paleoceno y Eoceno inferior, levantando el área central productora de petróleo, ocasionando la formación de fallas y anticlinales fallados en la cuenca (González de Juana *et al.*, 1980).

2.9.3 Post-Cretácico

En este periodo se produce una deformación paulatina, dando pie a una colisión y posterior sutura de los terrenos asociados a la convergencia de la placa del Caribe con el margen continental pasivo de Suramérica y cuya expresión más meridional lo constituyen las napas de Lara. Dicha colisión fue diacrónica de sur a norte en el occidente de Venezuela, y de oeste a este en el norte de Venezuela, (Lugo, 1991).

Audemard (1991), señala que la interacción de los terrenos transpresionales, generaron por carga tectónica, el desarrollo de las cuencas tipo antepaís, cuyas antefosas migraron hacia el este. Este autor señala también que el engrosamiento de las unidades se desplaza y se hace más joven, al este de Venezuela desde el cretácico superior hasta el presente. En este proceso estuvieron involucradas las cuencas de Maracaibo y Barinas, en el occidente del país.

De Toni (1995), coincide con una acreción del terreno del Caribe y mencionaron que las evidencias de este periodo, se encuentran en el arco de Barinas, donde su manifestación consiste en el desarrollo de fallas normales sintectónicas, con la sedimentación de la Formación Paguey.

2.10 Aspectos Estratigráficos

La Cuenca Barinas-Apure tiene una profundidad de 16500 pies aproximadamente, formada por sedimentos cretácicos y post-cretácicos los cuales se encuentran depositados discordantemente sobre un basamento ígneo metamórfico pre Cretácico. Ver figura 15.

Sección NO-SE de la Cuenca Barinas-Apure (Modificado de Parnaud *et al.*, 1995)

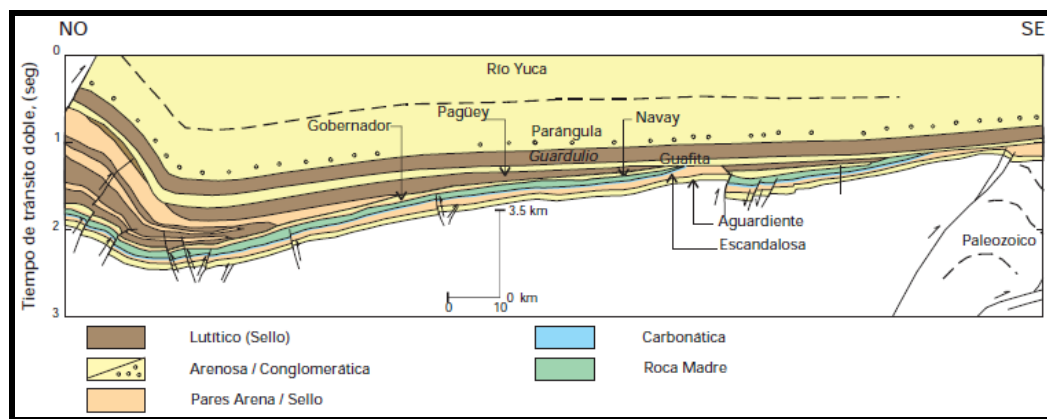


Figura 15. Perfil Geológico que muestra las condiciones estratigráficas y estructurales que dominan y describen la Cuenca Barinas-Apure. Tomado de: Yoris y Ostos (1997)



Figura 16. Sección del perfil NO-SE, que define la ubicación del perfil del subsuelo mostrado en la figura anterior (figura. 15)

A continuación se describe en orden estratigráfico las unidades formacionales

Formación Escandalosa

(Tomado del léxico estratigráfico Pdvsa. I. Fierro, 1997)

Edad: Cretácico (Cenomaniense – Turoniense). Según Ramos *et al.* (1986) la formación se extiende desde el Albiense Medio (*Callialasporites dampieri*) hasta el Coniaciense. La formación pertenece al Cenomaniense Temprano-Turoniense Medio del Cretáceo Tardío, basado en los estudios de Helenes *et al.* (Kiser, 1994).

Litología: La formación está compuesta por areniscas macizas, cuarzosas y muy glauconíticas, con cantidades menores de lutitas negras calcáreas. Las areniscas son de color gris, gris oscuro a marrón claro y verdoso, de grano fino a medio, bien escogidas, micáceas y carbonáceas. Se presentan en capas delgadas a masivas, con estratificación cruzada en las capas más gruesas. Las lutitas son gris oscuro, algo arenosas, calcáreas y carbonáceas. En el tope de la sección, se

encuentra una caliza de unos 4 m de espesor, gris oscura, masiva, aura, cristalina y coquinoidea, con manchas de dolomita microcristalina. Emite olor a petróleo al ser golpeada, y se ha correlacionado con la Caliza Guayacán del piedemonte andino (Kiser, 1989).

Extensión geográfica: La formación aflora a lo largo de la región piemontina de los andes surorientales, y se reconoce en el subsuelo de la cuenca de Barinas.

Contactos: El contacto inferior con la Formación Aguardiente es concordante, bien definido y abrupto, marcado por el contraste entre el paquete de Lutitas "S" y las areniscas masivas de Aguardiente. De igual manera, el contacto superior es concordante, marcado por el cambio brusco entre la Caliza Guayacán y las lutitas del Miembro La Morita de la Formación Navay (Kiser, 1997 comentarios enviados al CIEN).

Fósiles:

- | | |
|--|---|
| ✓ <i>Ostrea spp.</i> | ✓ <i>Elateroplicites africaensis</i> |
| ✓ <i>Foraminíferos no definidos</i> | ✓ <i>Ephedripites pentacostatus.</i> |
| ✓ <i>Restos de peces</i> | ✓ <i>G. diversus</i> |
| ✓ <i>Inoceramus sp.</i> | ✓ <i>Xiphophoridium alatum</i> |
| ✓ <i>Oligosphaeridium pulcherrimum</i> | ✓ <i>Odontochitina costata,</i> |
| ✓ <i>Exchospaeridium phragmites</i> | ✓ <i>O. operculata</i> |
| ✓ <i>Florentina resex</i> | ✓ <i>Oligosphaeridium pulcherrimum,</i> |
| ✓ <i>Dinogymnium spp</i> | ✓ <i>Exochospaeridium phragmites,</i> |
| ✓ <i>Palinomorfos y Dinoflagelados</i> | ✓ <i>Florentina resex,</i> |
| ✓ <i>Gnetaceaepollenites diversus,</i> | ✓ <i>Callialasporites dampieri</i> |
| ✓ <i>Corralina brasiliensis</i> | |

- | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| ✓ <i>Dinogymnium</i> sp. | ✓ biohermos de <i>Exogyra</i> |
| ✓ <i>Pediastrum</i> sp. | ✓ <i>Lenticeras</i> |
| ✓ <i>Odontochitina operculata</i> | ✓ <i>Gauthiericeras</i> , |
| ✓ <i>Corralina</i> sp | ✓ <i>Prionocyclus</i> |
| ✓ <i>Odontochitina costata</i> | ✓ <i>Peroniceras</i> |
| ✓ <i>Gnetaceaepollenitis diversus</i> | ✓ <i>Canningia senonica</i> |
| ✓ <i>Xiphophoridium alatum</i> | ✓ <i>Xenascus plotei</i> |
| ✓ <i>Ariadnaesporites</i> sp. | ✓ <i>Vesperopsis mayi</i> |
| ✓ <i>Exogyra africana peruana</i> | ✓ <i>Ephedripites</i> sp |
| ✓ <i>Patagallina</i> | ✓ <i>Microdinium reticulatum</i> |
| ✓ <i>Neobulimina minima</i> | ✓ <i>Canningia senonica</i> |
| ✓ <i>Coilopceras</i> | |

Paleoambientes: Según Kiser (1997 comentarios enviados al CIEN) la formación representa, básicamente, a un ambiente nerítico de plataforma, variando desde litoral al sur, hacia nerítica externa al norte. Las litofacies indican dos ciclos menores de sedimentación: una regresión inferior desde la Lutita "S" (un intervalo de máxima inundación) hasta el tope de la arena P-1 (deltáica), y una transgresión representada por la Caliza Guayacán.

Geoquímica: Estudios geoquímicos de la cuenca indican que la Formación Escandalosa no contiene rocas madre.

Importancia económica: Las arenas de esta unidad son bastante cuarzosas, y constituyen un magnífico material para la construcción, y las arcillas que constituyen el

cemento de éstas, son bastante caoliníticas. En el subsuelo de los campos petrolíferos de Barinas y Apure, las arenas P-1/P-2 constituyen un importante reservorio de petróleo (campos Silvestre, Sinco y Guafita).

En la zona de estudio ésta formación está definida por unidades informales como lo son el Miembro Caliza O y el Miembro Arena P.

Formación Navay (Miembro La Morita)

(Tomado del léxico estratigráfico Pdvsa. Actualizado por G. D. Kiser, 7 de marzo de 1997)

Edad: Cretácico (Coniaciense-Maastrichtiense). Los datos de Helenes *et al.* (1994) indican un rango de edad entre el Turoniense Tardío y el Campaniense, lo cual parece más lógico en vista del hiatus en el contacto Navay-Burguita y el control más preciso de los dinoflagelados. Si se acepta algo de diacronismo en las litofacies, la edad de Navay sería Coniaciense a Campaniense.

Litología: Pierce (1960), la describe en la localidad tipo como compuesta de lutitas silíceas, friables, blandas, color amarillo claro a crema y a blanco; lutitas muy porosas, pardo claro a gris claro, y algunas ftanitas no porosas, lenticulares, pardo claro, y lutitas calcáreas, carbonáticas, gris a gris oscuro. Como constituyentes menores de la Formación Navay, se presentan areniscas lenticulares de grano angular, calcáreas a silíceas, pardas claro a gris claro. Estas areniscas, muy calcáreas a veces, se han definido como calizas clásticas, probablemente por su contenido fosilífero. En afloramientos, las lutitas carbonáceas se meteorizan y lixivian a lutitas gris a pardo. Signos característicos son su fina laminación, restos fosfatizados de peces (vértebras, escamas y espinas), común glauconita, las ftanitas y una relativamente fácil correlación de electrofacies a través de la cuenca. Ha sido repartida, en orden ascendente, en la lutita "N" (Miembro La Morita) y "M" al "I" (Miembro Quevedo). Tiende a ser más arenosa hacia arriba; se vuelve muy arenosa hacia el Escudo de Guayana y hacia Apure y la Cuenca Los Llanos. En el afloramiento, la formación se meteoriza comúnmente a

colores claros: gris claro, blancuzco, beige, marrón clara y con una textura silícea porosa.

Extensión geográfica: Aflora en la región nororiental de los Andes (Renz, 1959) y posee extensión regional en el subsuelo de la cuenca de Barinas (Feo-Codecido, 1972).

Contactos: El miembro inferior La Morita, se intercala concordantemente entre la Formación Escandalosa infrayacente (Miembro Guayacán, Gaenslen 1962) y el Miembro Quevedo (piedemonte de Barinas, que este mismo autor denomina Navay), o la Formación La Luna al sur de los andes de Mérida, ambas unidades suprayacente Kehrer (1938-a, b).

Fósiles:

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| ✓ Restos de peces | ✓ <i>Barroisiceras</i> sp. Kiser |
| ✓ Ostrácodos | ✓ <i>Anomalina redmondi</i> |
| ✓ Amonitas, | ✓ <i>Porodiscus cretaceus</i> |
| ✓ Camarones | ✓ <i>Rugoglobigerina rugosa</i> . |
| ✓ Cangrejos | ✓ <i>Andalusiella laevigata</i> |
| ✓ <i>Siphogenerinoides</i> sp. | ✓ <i>A. polymorpha</i> |
| ✓ <i>Globigerina</i> sp. | ✓ <i>Ceratopsis granulostratum</i> |
| ✓ <i>Gümbelina</i> sp. | ✓ <i>Senegalinuim bicavatum</i> |
| ✓ <i>Globotruncana fornicata</i> | ✓ <i>Svalbardella australina</i> |
| ✓ <i>Barroisiceras</i> sp. | ✓ <i>Xenascus ceratiodes</i> |
| ✓ <i>Gasteroclupea</i> sp. | ✓ <i>Dinogymnium</i> sp. |
| ✓ <i>Laurácea longeva</i> | ✓ <i>Retidiporites magdalensis</i> |
| ✓ <i>Callianassidae</i> | ✓ <i>Paleocysto-dinium punctatum</i> |
| ✓ <i>Hexaporidae</i> | ✓ <i>Proxapertites cursus</i> . |
| ✓ <i>Callianassa</i> | ✓ <i>Inaperturopollenites</i> sp. |
| ✓ <i>Brachyura</i> | ✓ <i>Dinogymnium acuminatum</i> |
| ✓ <i>Lituolidae</i> | ✓ <i>Droseridites senonicus</i> |
| ✓ Equinodermos | ✓ <i>Deltoidopora mesozoica</i> |
| ✓ Crinoideos | ✓ <i>D. minor</i> |
| ✓ <i>Inoceramus</i> sp | ✓ <i>D. mesozoica</i> |
| ✓ <i>Chiloguembelina</i> sp. | ✓ <i>D. senonicus</i> |
| ✓ <i>Rugoglobigerina rugosa</i> | ✓ <i>Todisporites minor</i> |
| ✓ <i>Bulimina</i> sp. | ✓ <i>Granulatisporites</i> sp. |
| ✓ <i>Ammobaculites</i> sp. | ✓ <i>Inaperturopollinites</i> sp. |
| ✓ <i>Inoceramus</i> sp. | ✓ <i>Ariadnaesporites complex</i> . |

- | | |
|----------------------------------|--|
| ✓ <i>Dinogymnium</i> sp. | ✓ <i>Subtilisphaera pirnaensis</i> |
| ✓ <i>Canningia senonica</i> | ✓ <i>Oligosphaeridium</i>
<i>pulcherrimum</i> |
| ✓ <i>C. senonica</i> | |
| ✓ <i>Andalusiella gabonensis</i> | |
| ✓ <i>A. gabonensis</i> | |

Paleoambientes: Feo-Codecido (1972), afirma que el Miembro La Morita es de ambiente marino moderadamente profundo, hacia el flanco suroriental cambia a ambiente de aguas marinas menos profundas, indicado por una secuencia casi enteramente arenácea.

Geoquímica: Los primeros análisis geoquímicos de pirolisis, extractos de roca y crudos realizados en pozos de la región de Barinas (Russomanno y Velarde, 1982) identificaron características de rocas madre en la formación y niveles de la Formación Escandalosa; sin embargo, estos intervalos son inmaduros en las localidades estudiadas.

Importancia económica: Feo-Codecido (1972), afirma que algunas zonas productoras de hidrocarburos de los campos de Silvestre y Sinco en el estado Barinas, corresponden a las rocas del Miembro Quevedo. las lutitas del miembro La Morita son el sello vertical de los yacimientos petrolíferos cretácicos en Barinas y Apure; en donde está ausente por erosión, permite la comunicación de las areniscas de Escandalosa y Gobernador, suprayacente.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

A continuación se muestra un esquema de la metodología empleada para llevar a cabo el trabajo de investigación está comprendido por seis (6) etapas

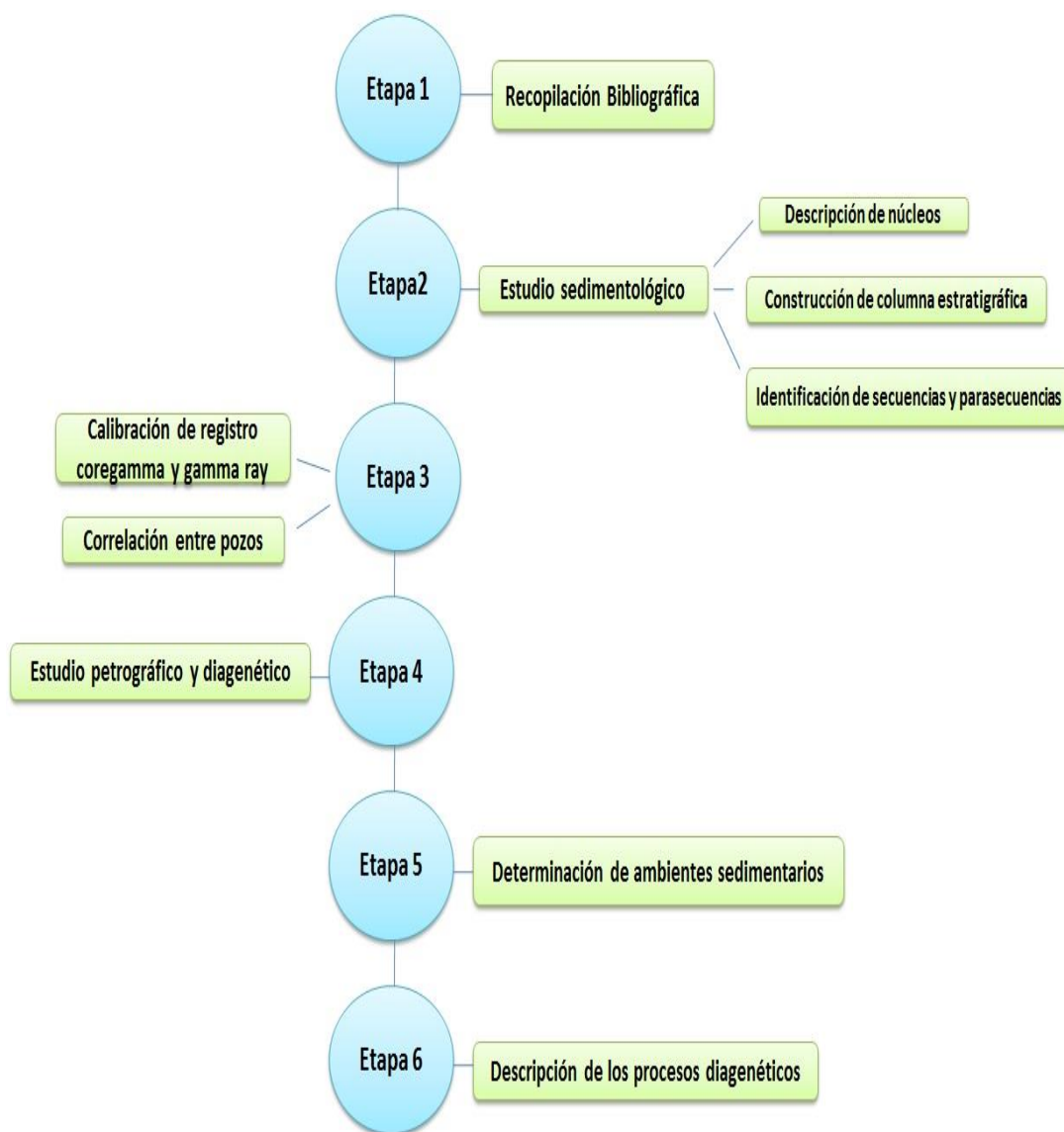


Figura 17. Diagrama de flujo explicativo de la metodología empleada para el desarrollo del trabajo.

Etapas 1: Recopilación bibliográfica

Consistió en la búsqueda y recopilación previa de información perteneciente a la zona de estudio tomando en cuenta toda la documentación publicada relacionada a la información de interés las cuales sirvieron de apoyo para la investigación.

En esta recopilación se tomaron en cuenta temas relacionados con rocas siliciclásticas y carbonáticas. Considerando la identificación de las diversas litologías y sus constituyentes, como las estructuras sedimentarias, minerales accesorios, trazas fósiles, diagénesis y procesos de dolomitización. De igual forma se tomó en cuenta información sobre las posibles teorías del origen de la cuenca Barinas-Apure en cuanto a sus características estratigráficas y estructurales encontradas en el subsuelo.

Etapas 2: Estudio sedimentológico

Descripción de núcleos

En esta etapa se describieron una serie de núcleos los cuales se encuentran en la nucléoteca de PDVSA-INTEVEP, se desplegaron cajas que contienen los núcleos de los pozos SMW-31X, SMW-28, SMW-23 y el SMW-13. Como primer paso se realizó una descripción detallada de cada uno de los pozos, donde se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Profundidad
- Tipo de roca
- Color de la roca según Munsell
- Tamaño de grano (si es observable)
- Tipo de contacto
- Componentes texturales
- Estructuras sedimentarias
- Minerales accesorios
- Porosidad
- Impregnación
- Otras observaciones

Los datos obtenidos en la descripción de los núcleos se plasmaron en una hoja sedimentológica, suministrada por la empresa (Figura 18).

Figura 18. Formato de hoja sedimentológica

Identificación de secuencias y parasecuencias

Etapa 3: Calibración de registro coregamma y gamma ray. Correlación entre pozos

En esta etapa se realizó una comparación entre los registros coregamma y gamma ray, la diferencia entre ambos registros es que el coregamma se genera en el laboratorio, por lo cual muestra mayor sensibilidad a los cambios litológicos, pero puede presentar errores en las profundidades, mientras que los registros gamma ray se generan en el campo al momento de la perforación, lo cual muestra poca sensibilidad a los cambios litológicos, pero las profundidades coinciden con las litologías.

presentas en el campo. Por ello se realiza esta calibración para determinar si existe desfase entre los picos del *gamma ray* y *coregamma*.

Luego de la calibración de los registros se realizó una correlación entre los cuatros núcleos tomando como datum la base del Miembro la Morita y las superficies de máxima inundación de cada una de los pozos. Debido a que el pozo con más información era el pozo SMW-31X fue del cual se hizo la correlación con cada uno.

Etapla 4: Estudio petrográfico y diagenético

Se estudiaron 106 secciones finas, las cuales se describieron mediante el uso del microscopio petrográfico convencional en las instalaciones de PDVSA-INTEVEP, siguiendo parámetros como

- Componentes aloquímicos
- Intraclastos
- Ortoquímicos
- Porosidad
- Tipo de cemento
- Procesos diagenéticos

El formato que se utilizó para la descripción de las rocas sedimentarias es la mostrada en la figura 19. Se estudiaron entre otras cosas los siguientes parámetros dependiendo del tipo de muestra a analizar, para los siliciclásticos se estudió la textura como el tamaño de grano, redondez, escogimiento, contacto entre granos, componentes detrítico, minerales autigenicos, matriz, cemento, porosidad primaria, secundaria y procesos diagenéticos. En el caso de los carbonatos se estudiaron los componentes Aloquímicos (fósiles, intraclastos, pellets y peloides), ortoquímicos, extraclastos, minerales evaporíticos, autigenicos, porosidad primaria y secundaria y procesos diagenéticos.

Pozo:		Fecha:		Petrografía por:	
COMPONENTES PRINCIPALES (%)					
CARBONATOS					
Extraclásticos:	Aloquím:	Ortoquím:	Min. Autigénicos:	Poros:	
ARENISCAS CALCÁREAS					
Detríticos:	Matriz:	Cemento y M	Aloquímicos:	Poros:	
Detríticos y/o componentes extraclásticos características Texturales					
Tam. Grano: (máx), mm (prom)			Orientación: Anisotrópica Isotrópica		
Escogimiento	Redondez	Contactos		Dist tamaño	
Muy Bueno	Bien Redond.	Grano-matriz		Unimodal	
Bueno	Redondeado	Grano-cemento		Bimodal	
Medio:	Sub-redond.	Puntual-Tangen		Polimodal	
Pobre:	Sub-angular	Longitudinal			
Muy pobre	Angular	Conc-Conv			
		Suturado			
Extraclásticos o Componentes Detríticos (%)			Poros (%)		
Cuarzo:	Feldespat:	Fr. de Roc:	Accesorios:	Interpartícula:	
Monocrist.:	Plagioclasa:	Chert	Circón:	Intrapartícula:	
Policrist.:	Feld. Potás:	Sedimentaria:	Moscovita:	Disolución:	
Extinción Ondulatoria:		Metamórf.	Epidoto:	Fractura: conectadas a poros	
		Igneas:	Anfiboles:	Móldica:	
			Piroxenos:	Pelec. Disueltos	
Carbonatos Ortoquímicos	Areniscas Matriz:	Cementos y M. Autigénicos:	Aloquímicos:		
Micrita:	Cemento	Min. de arcilla:	Dolomita:	Hematita:	Felcípodos
	Espato:	M. Calcárea	Calcita:	Fosfatos:	Gasterópodos
	Microesp:	M. Orgánica	Siderita:	Chamosita:	Braquiópodos
	Pseudoespato:	Oxidos de Fe	Pirita:	Sílice:	Foraminíferos
	Otros:	Glauconita:	Yeso:	Algas:	Agregados
		Anhidrita:		Farfalístico:	
Efectos Diagenéticos					
Procesos Diagenéticos					
Procesos Orgánicos	Neomorfismo	Reemplazamiento	Color teñido		
Micritización	Inv. Homotaxial	Dolomitiz	Glauconitiz.		
Envolorios Micríticos	Inv. Heterotaxial	Dedolomitiz.	Pirritización		
Bioturbaciones	Neom. Agradante	Siderita	Anhidrita		
Otros:	Recristalización	Silicificación	Yeso		
	Micritización				
Cementac	Tipo de Cemento		Zonación de Minerales		
Tipo de Cemento presente:	Acicular	Columnar	Granular	Dolomita con calcita	
Rellenando poros	Fibroso	Colgante	Blanco-quant	Calcita con Dolomita	
Sobrecrecimiento de granos	Botroidal	Menisco	Pelculatépica	Dolomita Barroca	
Arasfarras/Envolutorio granos	Dentado	Radial	Sintaxial		
Rellenando fósiles	Drusiforme	Bladed			
Compactación		Presión / Solución	Disolución	Alteración	
Alta	Deformación de granos dúctil	Contacto long y conc-conv	Granos	Feldespat	
Media	Fract. de granos dúctiles	Contactos suturados	Matriz	Glauconita	
Baja	Trituram. de granos dúctiles	Estilolitas:	Cemento	Sílice	
	Deformación de granos				
Componentes para clasificación según Mount, 1985					
Comp. Siliciclásticos	Carbonático	Aloquímico	Micrita	Clasificación	
Arena:	Calcita:				
Arcilla:	Dolomita:				
Componentes para la clasificación según Duhnam, 1962					
Granos < 10%	Granos > 10%	Grano soportada + lodo	Grano soportada sin lodo	Agregado de carbonatos	Textura no reconocible

Figura 19. Planilla de descripción de secciones finas.

Etapas 5: Determinación de ambientes sedimentarios

Previamente establecidas las secuencias y parasecuencias e identificadas las huellas fósiles, las estructuras sedimentarias, minerales y fósiles, se definieron los ambientes donde fueron depositados las secuencias y parasecuencias analizadas

Etapas 6: Descripción de los procesos diagenéticos

Una vez obtenida las descripciones de las secciones finas, y en conjunto con la información suministrada de la difracción de rayos X de cada pozo, se describieron los procesos observados en cada uno los pozos. La agregación, formación de envoltorios micríticos, cementación, reemplazamiento, disolución y compactación.

CAPÍTULO IV

GEOLOGÍA LOCAL

En este capítulo se presentan los resultados de un estudio sedimentológico realizado a cuatro pozos ubicados en la cuenca de Barinas en el Campo Maporal (pozos SMW-31X, SMW-28, SMW-23 y SMW-13). Se estudiaron 149' en el pozo SMW-31X, 83' en el pozo SMW-28, 115' en el pozo SMW-23 y 98' en el pozo SMW-13, los cuales corresponden a la Formación Escandalosa (miembros Arena P y Caliza O), y a la Formación Navay (Miembro La Morita).

Este trabajo especial de grado está enfocado en el estudio de la Caliza O, aunque se estudió el Miembro Arena P en los pozos donde se pudo observar. Del Miembro Caliza O de la Formación Escandalosa se identificaron 8 parasecuencias en el pozo SMW-31X, 7 en el pozo SMW-28, 6 en el pozo SMW-23 y 8 en el pozo SMW-13, la variación en la cantidad de parasecuencias en cada uno de los pozos se debe a la ausencia litológica que se puede observa en los coregamma y que se observó en los núcleos estudiados (ver figura 20, 21, 22 y 23). Se tomó como pozo tipo el SMW-31X debido a que contiene toda la Formación Escandalosa definida por el Miembro Arena P y Caliza O, además de la base del Miembro La Morita de la Formación Navay, lo cual resulta de gran importancia ya se observa con mayor facilidad los límites entre cada uno de los miembros presentes.

En el Miembro Caliza O se identificó una superficie de máxima inundación en cada uno de los pozos, además se identificó la superficie de máxima inundación regional definida por la base del Miembro La Morita, ambas superficie fueron de gran ayuda para realizar la correlación entre los pozos.

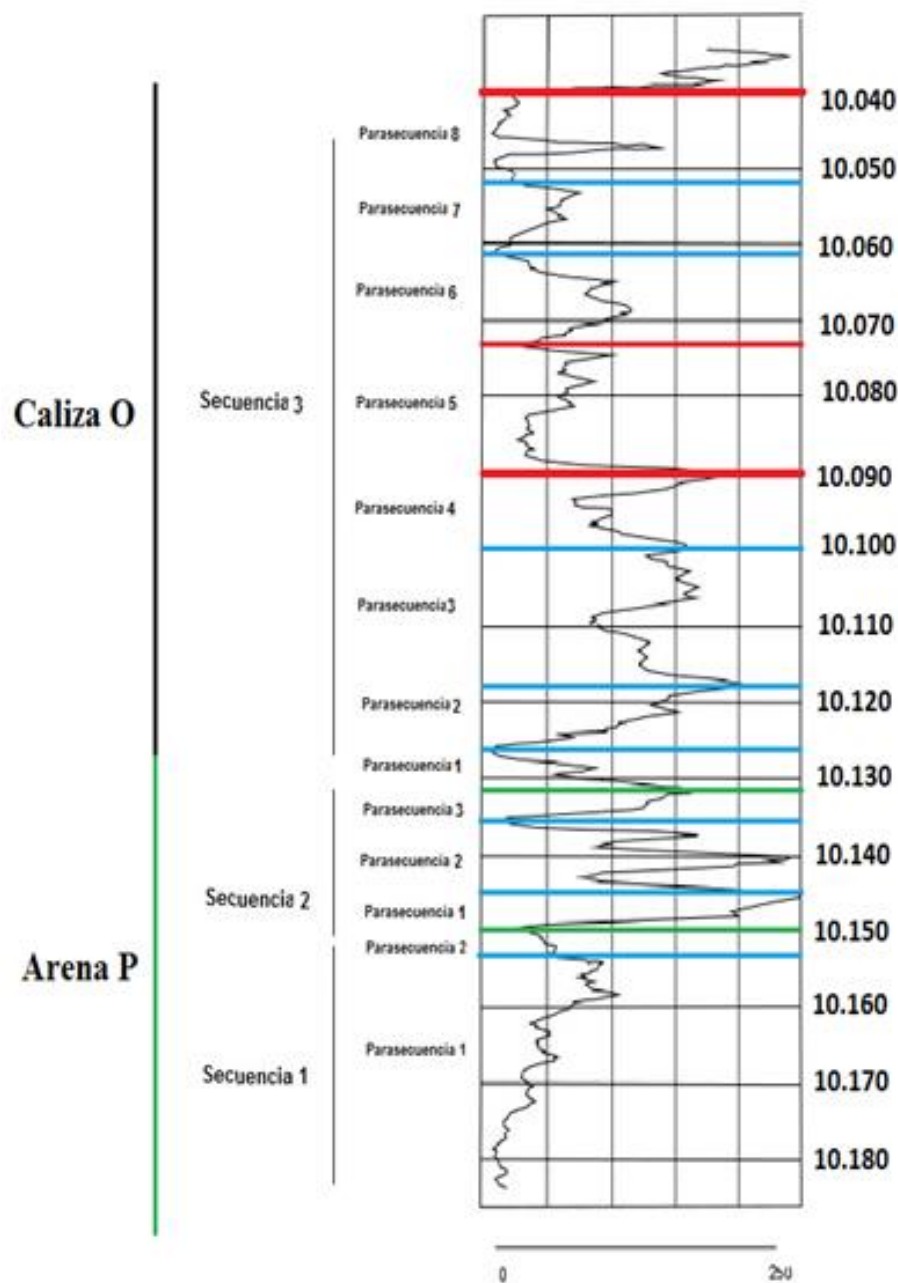


Figura 20. Parasecuencias encontradas en el núcleo SMW-31X. La línea roja en la parte inferior representa la superficie de máxima inundación en la Caliza O, mientras que la línea roja superior representa la superficie de máxima inundación regional (base de La Morita), las líneas azules representan la división entre las parasecuencias. Las líneas verdes representan la división entre secuencias. Este pozo se encuentra definido por las Arenas P, la Caliza O y la base de La Morita

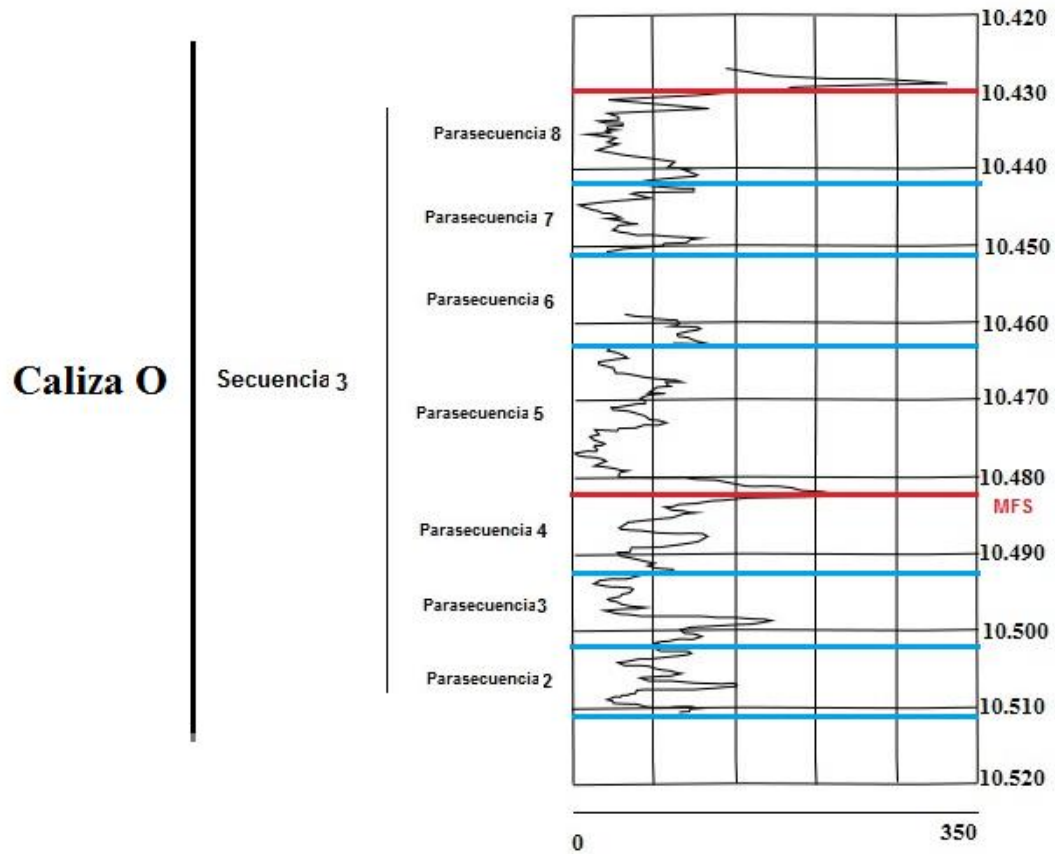


Figura 21. Parasecuencias encontradas en el núcleo SMW-28. La línea roja en la parte inferior representa la superficie de máxima inundación en la Caliza O, mientras que la línea roja superior representa la superficie de máxima inundación regional (base de La Morita), las líneas azules representan la división entre las parasecuencias.

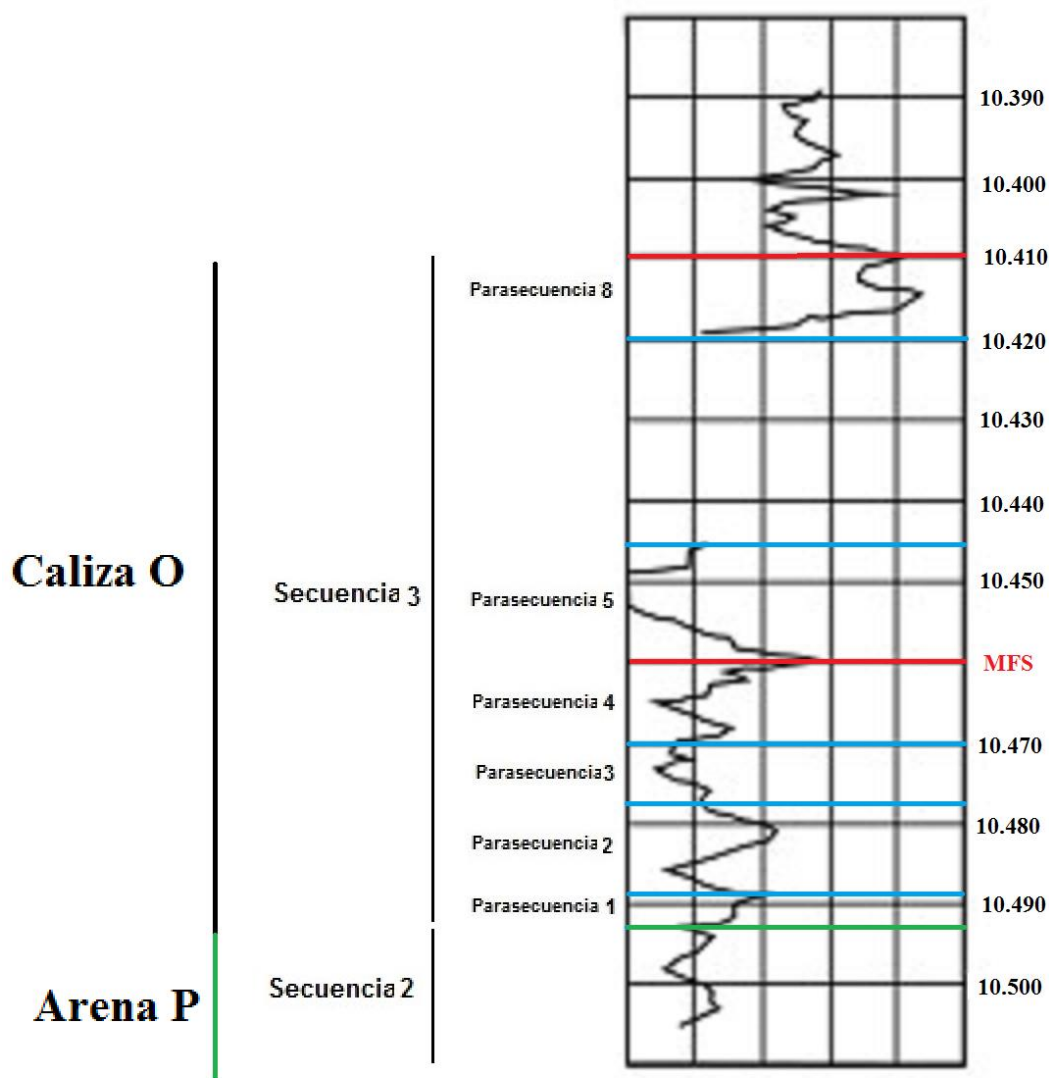


Figura 22. Parasecuencias encontradas en el núcleo SMW-23. La línea roja en la parte inferior representa la superficie de máxima inundación en la Caliza O, mientras que la línea roja superior representa la superficie de máxima inundación regional (base de La Morita), las líneas azules representan la división entre las parasecuencias y la línea verde representa el límite entre la secuencia 2 y 3.

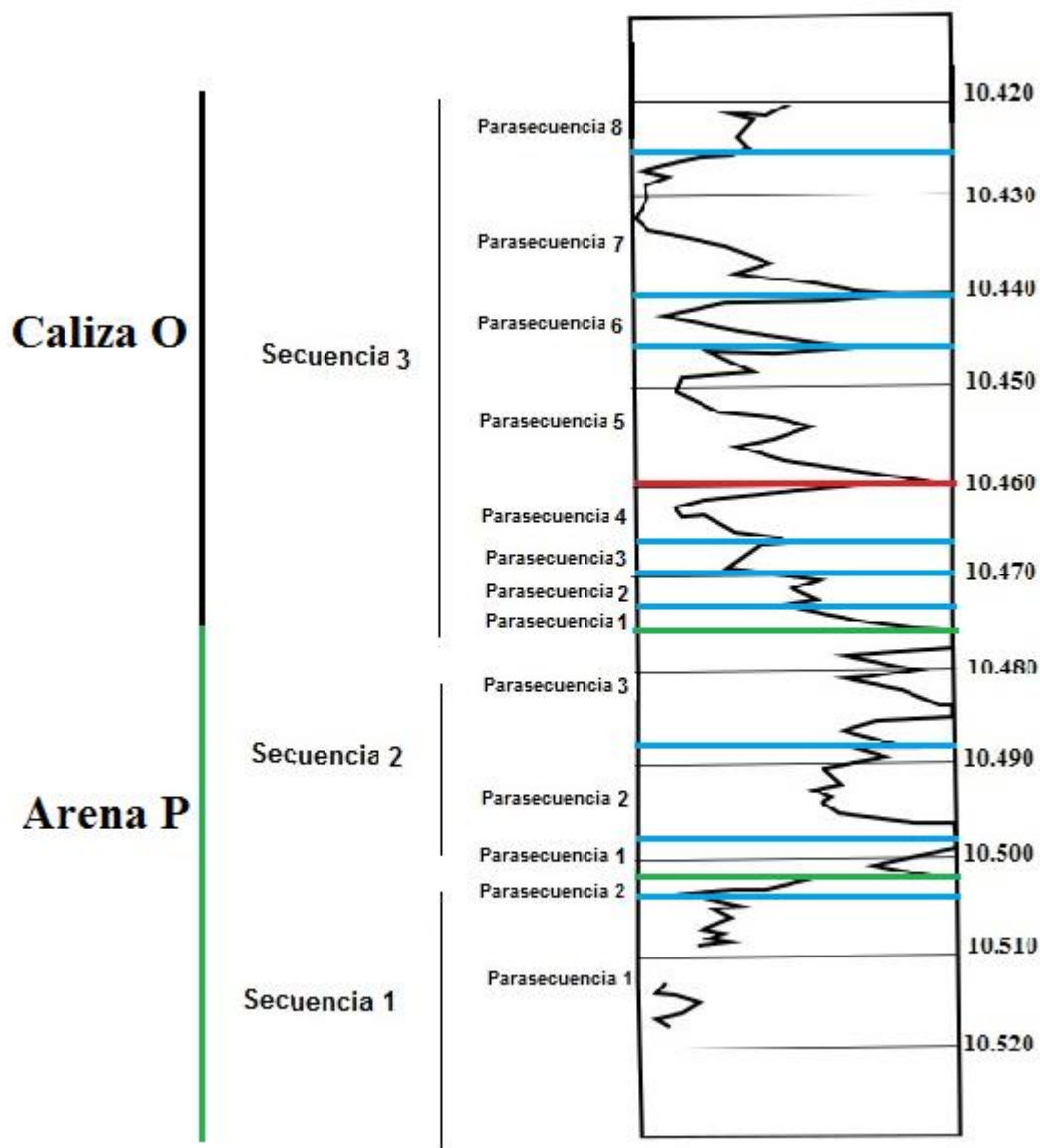


Figura 23. Parasecuencias encontradas en el núcleo SMW-13. La línea roja representa la superficie de máxima inundación en la Caliza O, las líneas azules representan la división entre las parasecuencias. Y las líneas verdes representan los límites entre las secuencias. Este pozo se encuentra definido por la presencia del tope de la Arena P, la Caliza O y la base de La Morita.

A continuación se muestra la descripción de las unidades estratigráficas identificadas en el área estudiada:

4.1 Pozo SMW-31

Formación Escandalosa

5.1.1 Miembro “P”

- **Intervalo 10.184’ – 10.149’:** Arcosa, heterogénea de color gris medio N 5. Se observan fracturas horizontales abiertas a lo largo del intervalo. Presenta estratificación cruzada tipo festón con láminas de carbón, la mayoría de los granos observados son sub-redondeados, se encuentran moderadamente escogidos. En la parte media del intervalo se observa una subarcosa, color gris medio N5 con estratificación bidireccional y tipo festón. Finalmente hacia el tope se observa una arenisca de grano fino de color Munsell gris claro 7/1, presenta estratificación cruzada tipo festón y rizadura intercalada con láminas de carbón. El contacto con el siguiente intervalo es de una superficie erosiva de ravinamiento. (Figura 24)
- **Intervalo 10.148’ – 10.145’:** Arenisca dolomítica aloquímica, de grano muy fino, presenta granos blancos aproximadamente de 3mm, no reaccionan con HCl, posiblemente son de cuarzo, estos se observan hacia la base del intervalo, de color Munsell gris medio N5. Presenta huella fósil de *Rhizocorallium* (2cm) y *Asterosoma* de borde piritizado, que son aproximadamente de 1 a 2cm de diámetro. Hacia el tope se presenta un material arcilloso ligeramente bioturbado con *Planolites* y *Chondrites*. Presenta fracturas rellenas de carbón en todo el intervalo.
- **Intervalo 10.144’ – 10.140’:** Arenisca de grano fino heterogénea de color blanco grisáceo a Arenisca de matriz limosa ligeramente bioturbada de color Munsell gris medio N5. En la base presenta estratificación tipo flaser que aumentan progresivamente y rizadura simétrica, fracturas rellenas de carbón,

huella de escape que deforma levemente el estrato. Del intervalo 10.144' al 10.142' se presenta una secuencia heterolítica arenosa.

- **Intervalo 10.139' – 10.138'6''**: Arenisca de grano fino a grueso con estratificación tipo festón. Presenta *Paleophycus*, *Skolitho* y *Roselia*. Color Munsell gris claro 7/1. No hay efervescencia con el HCL. Pequeñas fracturas horizontales rellenas de carbón. Hacia el tope en contacto erosivo con el próximo intervalo se observan huellas de *Girolites* de aproximadamente 4cm de largo. Todo el intervalo se encuentra altamente bioturbado. (Figura 24)

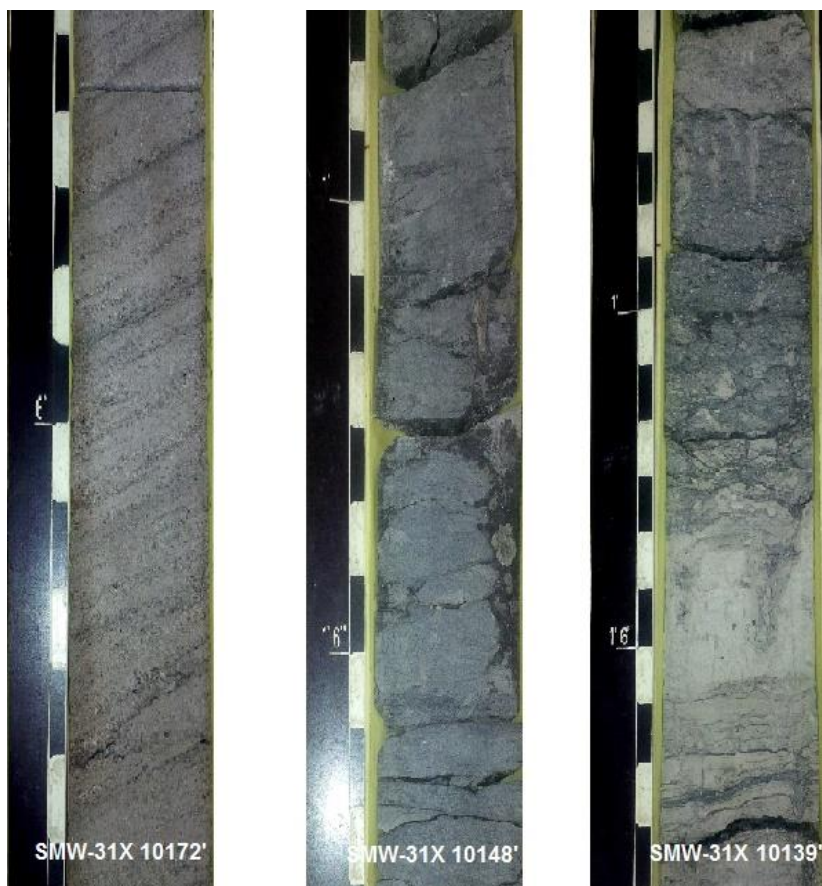


Figura 24. Arcosa (Arenisca de grano medio 10172'), Arenisca dolomítica aloquímica (10148'), Arenisca de grano fino (en el intervalo 10139 se muestra una huella fósil *Roselia*).

- **Intervalo 10.137 – 10.131'9''**: Arcosa de color Munsell gris claro 7/1 hacia la base, con estratificación cruzada tipo festón. Porosidad tipo vug e interpartícula. No se observa ninguna reacción al HCL. Hacia el tope se encuentra arenisca de grano fino intercalada con material arcilloso, reacciona levemente con el HCL. Huellas fósil de *Paleophycus*, *Planolites*, *Spirophyton*, *Thalassinoides* y *Asterosoma* de 2cm aproximadamente. En contacto con el próximo intervalo comienza un proceso de *glossifungites*.

4.1.2 Miembro "O". Formación Escandalosa

Parasecuencia 1

- **Intervalo 10.131'9'' – 10.126'3''**: Arenisca glauconítica dolomitizada de grano medio, Color Munsell gris oliva 5/2 (alrededor de un 30% de glauconita). Efervescente levemente con el HCL. Presenta huellas de *Thalassinoides* de 2cm de diámetro aproximadamente. Se encuentra en un contacto transicional con una arenisca de grano fino dolomitizada de color Munsell blanco grisáceo. Presenta fósiles retrabajados los cuales reacciona ligeramente con HCL. Hacia el tope presenta grietas de sinéresis y litificación sub-aérea. (Figura 25)

Parasecuencia 2

- **Intervalo 10.125' – 10.119'**: Arenisca dolomítica lodosa de color Munsell gris (5/0) de grano medio, en la base presenta *Thalassinoides* de 1-2cm de diámetro aproximadamente a lo largo de todo el intervalo y *Glossifungites*. Hacia el tope se presenta una arenisca glauconítica de grano medio con fragmentos pequeños de Pelecípodos, los cuales reaccionan ligeramente al HCL, se observan huellas de *Thalassinoides* (2cm), *Teichichnus* y *Glossifungites*. (Figura 25)

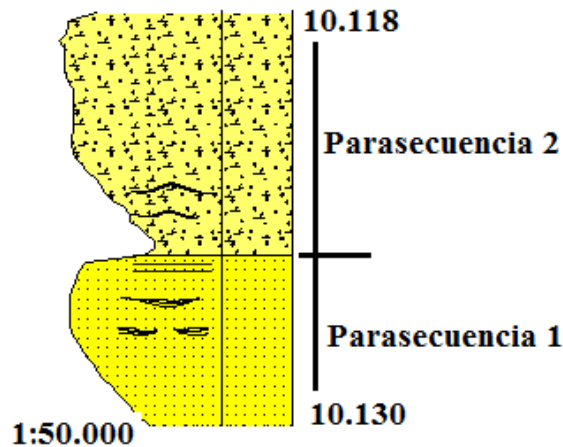


Figura 25. Parasecuencias 1 y 2 del pozo SMW-31X. En la parasecuencia se observa una arenisca glauconítica dolomitizada de grano medio en la parasecuencia 2 se presenta una arenisca dolomítica lodosa

Parasecuencia 3

- **Intervalo 10.118' – 10.110':** Arenisca dolomítica aloquímica con abundante glauconita, de grano fino con fósiles retrabajados hacia la base (aproximadamente un 30% de glauconita y 5% de fósiles), presenta *Thalassinoides* alrededor de 2cm de diametro y *Glossifungite*. Hacia el tope del intervalo se muestra una arenisca dolomítica aloquímica con la misma cantidad de glauconita, se observan abundante Pelecípodos. Color Munsell verde grisáceo 7/1. (Figura26)
- **Intervalo 10.110'– 10.105'6'':** Dolomía calcítica aloquímica arenosa presenta porosidad tipo vug e interpartícula a lo largo de todo el intervalo, además se encuentra fracturada y contiene hidrocarburo. Color Munsell gris parduzco 6/1.
- **Intervalo 10.105'6'' – 10.100':** Dolomía aloquímica arenosa con nódulos de calcita y minerales evaporíticos diseminados por toda la secuencia, presenta *Thalassinoides* de aproximadamente 1-2cm de diámetro y *Glossifungite* hacia la base. Color Munsell blanco grisáceo 8/0. El contacto con el próximo intervalo es del tipo hardground.

Parasecuencia 4

- **Intervalo 10.100' – 10.094'8''**: Dolomía calcítica aloquímica arenosa con abundante glauconita de grano grueso color Munsell gris verdoso (7/1), presenta Pelecípodo (alrededor de un 15%) y nódulos de calcita diseminados en la secuencia. Huellas de *Thalassinoide* de 1cm de diámetro y *Glossifungite*. Hacia el tope se encuentra presente caliza dolomítica arenosa de color Munsell blanco grisáceo (8/0) con *Thalassinoide* de glauconita y abundante Pelecípodo, en el intervalo 10.096' se evidencia estilolita. El contacto con el próximo intervalo es el tipo hardground. (Figura 26)

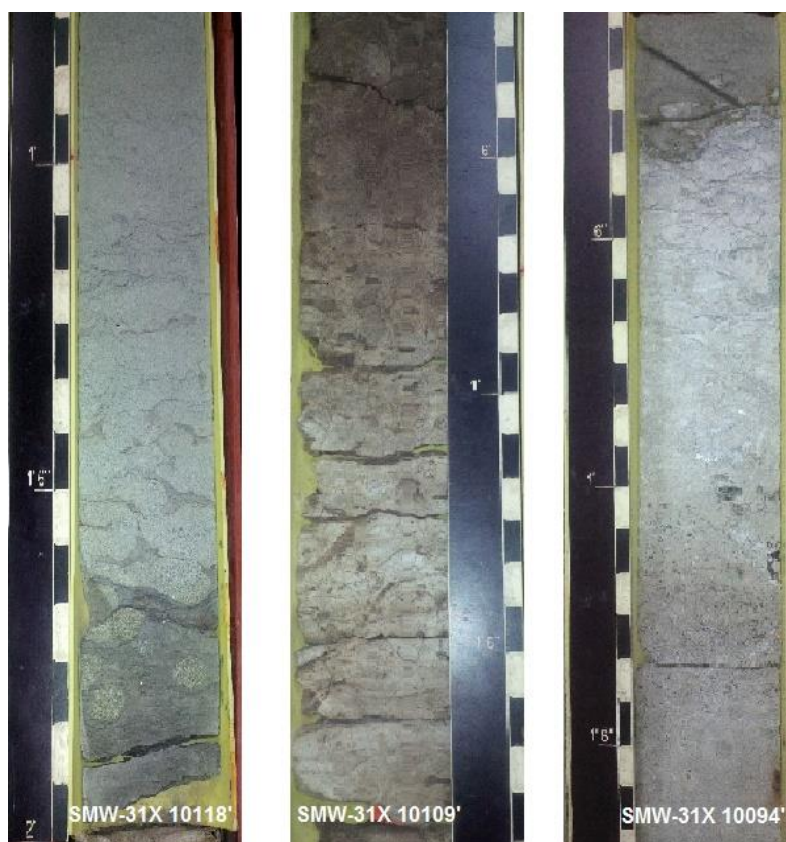


Figura 26. Arenisca glauconítica de grano fino (10118' muestra un evento de *Glossifungite*), Dolomía calcítica aloquímica arenosa (10109'), contacto entre una dolomía y una arenisca glauconítica de grano medio (10094' contacto tipo hardground).

- **Intervalo 10.094'8''– 10.090':** Arenisca dolomítica aloquímica con glauconita de grano medio color Munsell gris 6/0 (alrededor de un 15% de glauconita) con estratificación flaser y rizadura. Huellas de *Thalassinoide* hacía la base, los cuales representan un proceso de *Glossifungites*. Hacia el tope se observa una arenisca dolomítica aloquímica con una pequeña capa de lutita bioturbada, color Munsell gris medio N5. Presenta limolita con *Thalassinoide* de 2-3cm de diámetro. (Figura 26)

Parasecuencia 5

- **Intervalo 10.090' – 10.089':** Lutitas bioturbadas, color Munsell gris medio N5. Hacia el tope limolita con *Thalassinoide* de 2-3cm de diámetro, color Munsell gris azulado 6/1. La lutita no muestran reacción al HCL y presenta nódulos de lodo. Este segmento representa la superficie de máxima inundación en la profundidad 10.090'
- **Intervalo 10.089'- 10.088':** Dolomía calcítica aloquímica arenosa, color gris azulado 7/1. Contiene alrededor de un 30% de fragmentos de Pelecípodos, los cuales constituyen los fósiles predominantes, con un tamaño promedio de 2-4cm de diámetro. Los icnofósiles representan un 30% de la muestra y se identificaron *Thalassinoide* de 1cm de diámetro aproximadamente.
- **Intervalo 10.088'-10.082'6'':** Packstone de pelecípodos color gris claro 8/1, con poros rellenos de carbón y fracturas piritizadas en todo el intervalo. Hacia el tope se observa un packstone de Pelecípodos. Presenta fragmentos de fósiles (25% de fósiles), así como muestra de fósiles articulados. Se evidencia en contacto con la siguiente facies una estilolita calcitizada, que forman un hardground.
- **Intervalo 10.081'-10.072'8'':** Caliza aloquímica arenosa color gris azulado (6/1) con fragmentos de fósiles, hacía la base. Huellas de *Thalassinoides* de 3cm de diámetro aproximadamente y *Scolicia* de 5cm aproximadamente, estas huellas fósiles representan el 50% de la muestra, el intervalo 10.074' se

presenta un caliza lodosa estratificada. Hacia el tope se observa una arenisca micrítica aloquímica de color gris (7/0) con abundante pelecípodos (aproximadamente un 60%) bien preservados de 4cm aproximadamente, se observan de igual forma conchas articuladas (Gasterópodo). Alta reacción al HCL. Presenta vetas importantes de calcita y minerales evaporíticos. (Figura 27).

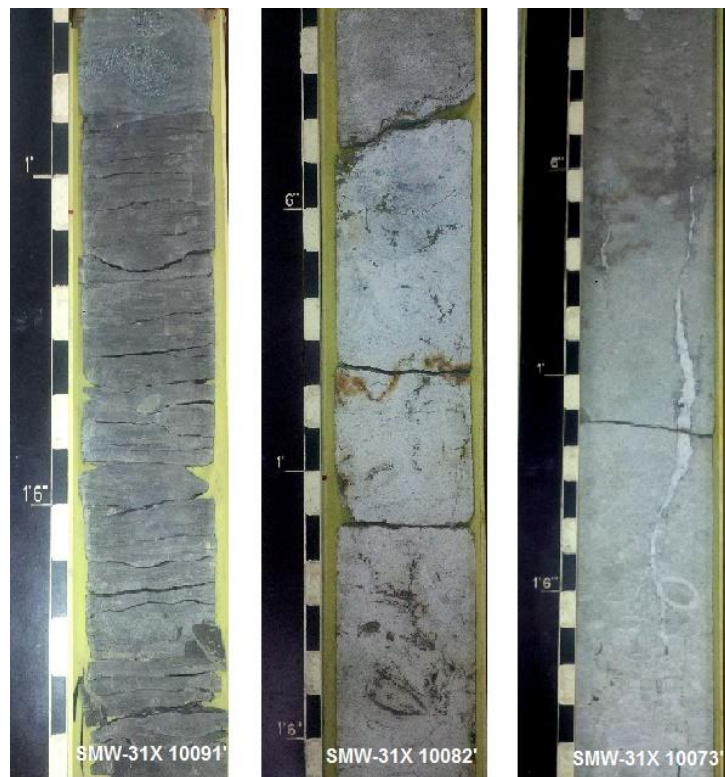


Figura 27. Arenisca dolomítica aloquímica (10090' lutita, la cual representa la superficie de máxima inundación), Dolomía (10082 muestra un hardground en contacto con el próximo intervalo, además de porosidad moldica y una serie de estilolitas), Caliza aloquímica lodosa (10073 muestra una porosidad moldica rellena de calcita).

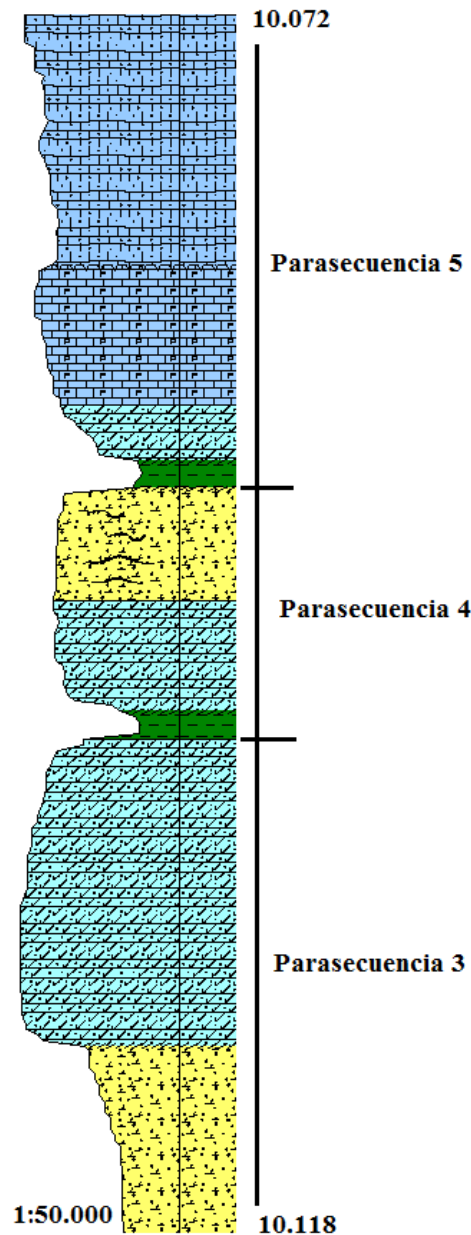


Figura 28. Parasecuencia 3, en la base se presenta arenisca dolomítica aloquímica de grano fino hacia el tope se tiene una dolomía calcítica aloquímica seguido por una dolomía aloquímica arenosa. Parasecuencia 4, en la base se presenta una pequeña capa de lutita seguido de una dolomía calcítica aloquímica arenosa de grano grueso y hacia el tope una arenisca dolomítica aloquímica. Parasecuencia 5, hacia la base se observa una lutita seguida de una dolomía calcítica aloquímica arenosa y hacia el tope un packstone seguido de una caliza aloquímica arenosa.

Parasecuencia 6

- **Intervalo 10.071'-10.068'**: Dolomía aloquímica arenosa, color gris claro verdoso 7/1 (alrededor de un 25% de glauconita) de grano medio. Se observan fragmentos de pelecípodos (aproximadamente un 15%) de 2mm a 1cm. Presenta fracturas verticales abiertas rellena de calcita y horizontales rellenas de carbón. No reacciona al HCL.
- **Intervalo 10.067'- 10.059'**: Arenisca micrítica aloquímica, color gris azulado 6/1 con estratificación flaser hacia la base, de grano medio. Se observan fragmentos fósiles de pelecípodos de aproximadamente un 40% y 3mm, fracturas horizontales rellenas de carbón, y en el intervalo 10.064' se observa porosidad tipo vug. Hacia el tope de este intervalo se observa un packstone de pelecípodos bioturbado con brechas de material lodoso y pelecípodos bien preservados de 3cm de diámetro. En el intervalo 10.065' se observan *Planolites* de aproximadamente 6mm.

Parasecuencia 7

- **Intervalo 10.058'-10.052'**: Mudstone color gris 6 bioturbado con estratificación cruzada tipo Hummocky hacia el tope. Se observa una secuencia heterolítica posiblemente de lutita calcárea, debido a que muestra una leve reacción al HCL. En el intervalo 10.052' se observa una huella de *Zoophycus* de 2cm aproximadamente.

Parasecuencia 8

- **Intervalo 10.052'- 10.048'9''**: Dolomía calcítica aloquímica arenosa de color gris azulado 6/1 con nódulos de calcita y minerales evaporíticos de 5mm a 1cm y fragmento de pelecípodos aproximadamente 15% de 5mm. Hacia el tope se observan pelecípodos bien preservados con 2 cm de diámetro, aproximadamente un 40%. Hacia el tope en el intervalo 10.0489'' se observa una pequeña capa de lutita de color Munsell gris azulada 5/1, muy friable, lo cual es reflejo de una superficie de inundación. El contacto con la próxima secuencia es abrupto.

- **Intervalo 10.048'9''-10.039':** Dolomía aloquímica arenosa porosa de grano medio a grueso, color gris marrón 6/1 con fósiles retrabajados y algunos pelecípodos medianamente preservados hacia la base (aproximadamente un 20%). Hacia el tope arenisca dolomítica la cual se encuentra ligeramente impregnada con crudo, con un 15% de porosidad tipo vug. El contacto con la litología suprayacente es abrupta, marcada con una capa de lutita.

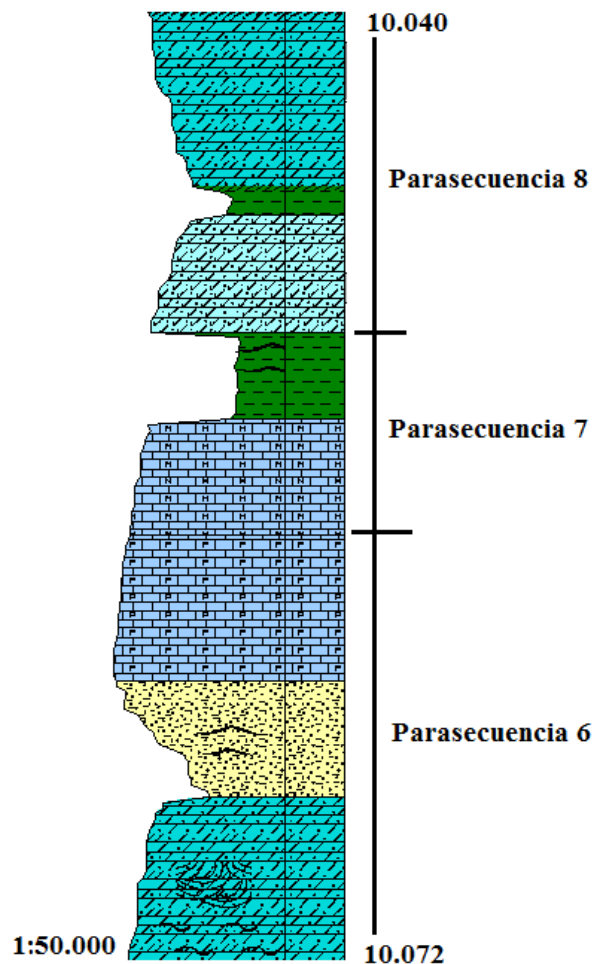


Figura 29. Parasecuencia 6, en la base se presenta una dolomía aloquímica arenosa seguida por una arenisca micrítica aloquímica y hacia el tope un packstone de pelecípodos. Parasecuencia 7, en la base se encuentra un mudstone, seguido por una lutita. Parasecuencia 8, en la base se encuentra una dolomía calcítica arenosa seguida por una lutita y hacia el tope una dolomía aloquímica arenosa.

4.1.3 Formación Navay, Miembro La Morita

- **Intervalo 10.039'-10.034':** Dolomía aloquímica lodosa medianamente friable hacía la base, hacía el tope se observa una lutita, la cual representa la base del Miembro La Morita, color Munsell gris 5/0. Se encuentra fracturada horizontalmente de forma recta. Presentan *Thalassinoides* (2cm) y *Planolites* (1cm) aproximadamente un 5%. No presenta reacción al HCL. (Figura 30)

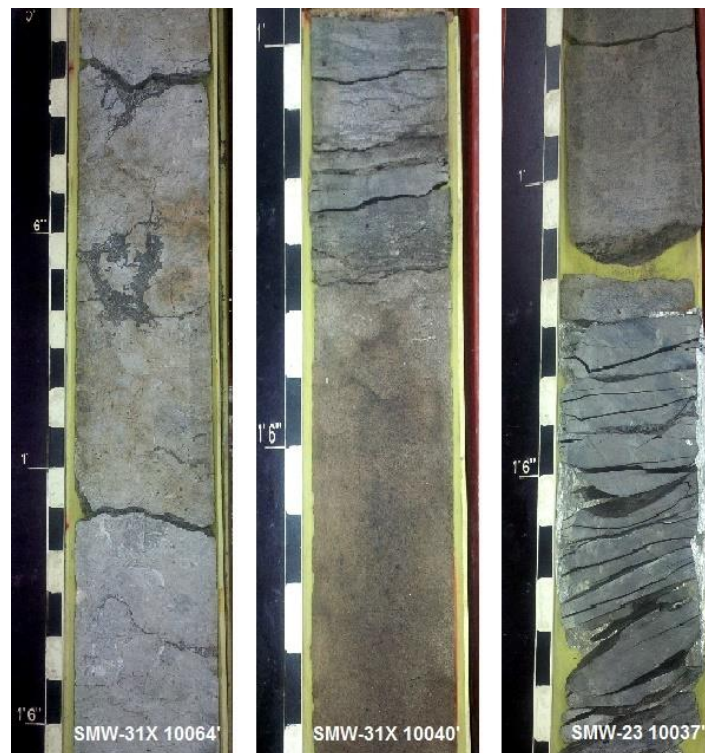


Figura 30. Packstone (10064' muestra una serie de brechas de material lodoso), Dolomía calcítica aloquímica arenosa (10040' muestra la dolomía moderadamente impregnada), Dolomía aloquímica lodosa (10037' muestra una lutita que se encuentra en contacto con la dolomía).

5.2 Pozo SMW-28

5.2.1 Miembro ‘O’. Formación Escandalosa

Parasecuencia 2

- **Intervalo 10510’5’’-10508’7’’:** Dolomía Calcítica Arenosa, bioturbada de grano medio, color Munsell gris verdoso 5/1, medianamente friable. Hacia la base se observan algunas fracturas rellenas de lutitas, así como niveles limolíticos y material calcáreo que produce una leve reacción al HCL, estos aspectos hacen de este intervalo una litología muy heterogénea. Se encuentra en contacto transicional con:
- **Intervalo 10508’6’’- 10506’:** Arenisca Dolomítica Aloquímica, muy glauconítica de grano fino, color Munsell blanco grisáceo 7/0, presenta fósiles re TRABAJADOS y material calcáreo en todo el intervalo lo cual produce una elevada reacción al HCL. Hacia el tope del intervalo se observan Nódulos de calcita de 1cm aproximadamente de diámetro, también se pueden apreciar rizaduras y un alto contenido de estratificación tipo flaser. Este intervalo pierde glauconita lo cual genera un contraste con el intervalo anterior que es muy glauconítico, sin embargo continua siendo un intervalo heterogéneo. En contacto transicional con:
- **Intervalo 10506’-10502’11’’:** Dolomía Arenosa color Munsell blanco grisáceo 7/0. Hacia la base de este intervalo se observan fósiles re TRABAJADOS (5% aproximadamente). En 10505’7’’se pueden apreciar fracturas horizontales de 5mm de espesor rellenas de lutita. Durante todo el intervalo hay concentración de nódulos de calcita de hasta 1cm de diámetro pero en general es una litología bastante homogénea y compacta. En contacto transicional con:

Parasecuencia 3

- **Intervalo 10502'11''- 10498'11''**: Arenisca Dolocalcítica Aloquímica, muy glauconítica levemente bioturbada de grano medio color Munsell gris verdoso 6/1. Hacia la base se observan huellas fósiles de *Planolites*, *Thalassinoides* (de 2cm de diámetro aproximadamente) y con ellos un proceso de *Glossifungites* embebidos en una matriz lutítica con estratificación tipo flaser. Hacia el tope se observa una concentración de nódulos de calcita de 5mm a casi 2cm de diámetro. En general es un intervalo medianamente glauconítico, heterogéneo y compacto (Figura 31). En contacto transicional con:
- **Intervalo 10498'11'- 10497'**: Arenisca Dolocalcítica Aloquímica de grano fino color gris 5/0 con estratificación tipo flaser y huellas fósiles *Planolites* embebidos en una matriz limolítica. Se observa la concentración de huellas fósiles *Thalassinoides* (de 1 a 3cm de diámetro aproximadamente) asociados a un proceso de *Glossifungite*. Este intervalo se encuentra muy bioturbado y con una apariencia muy heterogénea y medianamente friable (Figura 31). Hacia el tope se genera un contacto abrupto con:
- **Intervalo 10497'-10490'11'**: Dolomía Aloquímica Arenosa color Munsell blanco grisáceo 8/0. Hacia la base se observa la presencia de estilolitas y una muy leve impregnación de hidrocarburo. El intervalo continúa con estas mismas características hasta el tope donde cambia a una arenisca dolomítica aloquímica, presenta pelecípodos con diámetros que van desde 1cm hasta 2cm aproximadamente y fósiles retrabajados (alrededor de 10% de fósiles), en general es un intervalo bastante heterogéneo y muy compacto, con nódulos de calcita desde 1cm hasta 3cm de diámetro aproximadamente. En contacto erosivo con:



Figura 31. Dolomía Arenosa (10502'11'' muestra una concentración de nódulos de calcita y material glauconítico), Arenisca Dolocalcítica Aloquímica (10498'11'' muestra un nivel medio de bioturbación donde se pueden observar las huellas fósiles de *Thalassinoides* y Planolites), Dolomía Calcítica Arenosa (10496'11'' muestra impregnación leve en la base).

Parasecuencia 4

- **Intervalo 10490'11''- 10488':** Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa, muy glauconítica de grano medio color Munsell blanco grisáceo 7/0. En la base del intervalo se observa estratificación tipo flaser, vetas de 1mm de espesor y nódulos de calcita de 1cm de diámetro aproximadamente, así como también huellas fósiles de *Thalassinoides* (de hasta 2cm de diámetro) junto con un proceso de *Glossifungites*. Hacia el tope se puede observar una veta diagonal de 1mm de espesor y casi 6'' de longitud rellena de calcita. En general es un intervalo bastante homogéneo y compacto que se encuentra en contacto transicional con:
- **Intervalo 10488'-10486'3'':** Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa de grano medio color Munsell gris verdoso 6/1 muy homogénea y compacta.

Hacia el tope del intervalo se observa una alta concentración de pelecípodos de hasta 4cm de diámetro aproximadamente (alrededor de 20% de fósiles) embebidos en una Arenisca fosilífera de grano medio color Munsell gris verdoso 7/0 muy heterogénea y medianamente friable. En 10486'3'' se observan nódulos de pirita de no más de 2mm de diámetro así como estilolitas rodeadas de alto contenido de azufre y óxido de Fe, que forman un Hardground en contacto abrupto con:

- **Intervalo 10486'3''-10485'2''**: Arenisca Dolocalcítica Aloquímica de grano medio color Munsell blanco grisáceo 7/0 medianamente homogénea y muy compacta. Hacia el tope se observa estratificación tipo flaser en el que se encuentran embebidas huellas fósiles de *Thalassinoides* (de más de 3cm de diámetro) junto a un proceso de *Glossifungites* justo en contacto transicional con:
- **Intervalo 10485'2''- 10482'2''**: Arenisca Dolocalcítica Aloquímica muy glauconítica medianamente bioturbada y ligeramente calcárea de grano medio a fino, color Munsell gris verdoso 7/0 con algunas fracturas (de hasta 2mm de espesor) y nódulos (de hasta 2cm de diámetro) rellenos de lutita y bordeados con azufre y óxido de Fe. Es un intervalo medianamente heterogéneo y compacto que conserva una matriz limolítica hacia el tope donde también se puede apreciar estratificación tipo flaser y material calcáreo. En contacto transicional con:

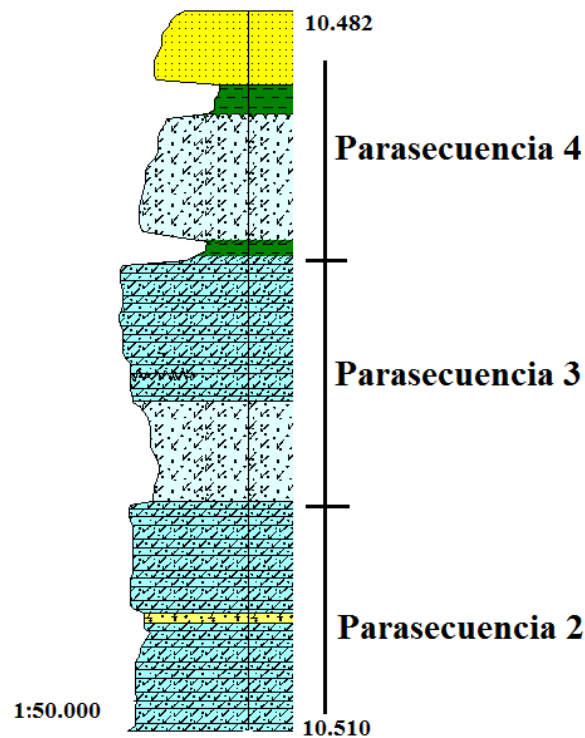


Figura 32. Parasecuencia 2, en la base se presenta una dolomía calcítica arenosa seguida por una arenisca dolomítica aloquímica y hacia el tope una dolomía calcítica arenosa. Parasecuencia 3, en la base arenisca dolocalcítica aloquímica seguida por una dolomía calcítica aloquímica arenosa. Parasecuencia 4, en la base una pequeña capa de lutita seguida por una dolomía calcítica aloquímica arenosa y hacia el tope una lutita seguida de una arenisca de grano medio.

Parasecuencia 5

- **Intervalo 10482'2''-10481'2'':** Lutita medianamente bioturbada color Munsell gris 5/0 con una matriz limosa y presencia de huellas fósiles de *Chondrites* y *Paleophycus*, medianamente heterogénea y compacta en contacto transicional con:
- **Intervalo 10481'2''-10480'2'':** Arenisca Dolocalcítica Aloquímica bioturbada de grano medio color Munsell gris oliva 5/1, muy heterogénea y poco friable. Tiene poca presencia de glauconita, con estratificación tipo flaser en todo el intervalo, leve presencia de azufre hacia el tope donde se genera un Hardground que forma un contacto abrupto con:

- **Intervalo 10480'2''- 10477':** Dolomía Aloquímica Arenosa muy glauconítica de grano medio color Munsell gris verdoso claro 7/1. En todo el intervalo se observa gran presencia de pelecípodos y gasterópodos (más del 30% de fósiles) de 3 cm de diámetro aproximadamente, medianamente bien preservados. Hacia el tope se pueden ver huellas fósiles de *Thalassinoides* de no más de 2cm de diámetro, nódulos de calcita de no más de 1cm de diámetro y pequeños granos de fosfato. En general es un intervalo bastante heterogéneo, medianamente compacta, en contacto abrupto con:
- **Intervalo 10477'-10473'4':** Hacia la base se observa una Dolomía Aloquímica Lodosa color Munsell gris claro azulado 7/1, muy homogénea y medianamente compacta, tiene leves ondulaciones que parecen estar rellenas de material lutítico. Este intervalo va creando un contacto transicional con un Packstone de Pelecípodos altamente fracturado y poroso (alrededor del 10% de porosidad móldica) color Munsell blanco grisáceo 8/0. Este intervalo es altamente fosfático, donde se observan los moldes de pelecípodos retrabajados y mal preservados (20% de fósiles) cuyo material calcáreo ha sido reemplazado con fosfato (Figura 34). Hacia el tope se observan estilolitas y brechas de material lutítico, formando un Hardground y un contacto neto con:
- **Intervalo 10473'4''- 10465'6'':** Hacia la base del intervalo se tiene una packstone de pelecípodo con alto contenido de glauconita, color Munsell gris verdoso 6/1 con un 20% aproximadamente de fósiles retrabajados con huella fósil de *Thalassinoides* (de no más de 2cm de diámetro) bajo un proceso de *Glossifungite* y *Planolites*, y algunas vetas de 4cm de longitud y no más de 2mm de espesor, rellenas de calcita. A partir de 10471'3'' hasta el tope del intervalo y en contacto transicional se observa una Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa color Munsell blanco grisáceo 7/0 con presencia de Pelecípodos de 1 cm a 4 cm de diámetro aproximadamente distribuidos del centro al tope del intervalo, con alta cantidad de huellas fósiles (más de 30%) de *Scolicia*, *Teichichnus* y *Thalassinoides* bajo un proceso de *Glossifungite*.

Es un intervalo sumamente heterogéneo por la alta bioturbación que presenta, haciéndose más lutítica hacia el tope y obteniendo un color más oscuro a un gris claro N6. Se encuentra en un contacto transicional con:

- **Intervalo 10465'6''-10463'6''**: Caliza Dolomítica Arenosa Aloquímica color Munsell blanco grisáceo 8/0. Heterogénea y medianamente compacta, esta caliza tiene alta presencia (30% aproximadamente) de pelecípodos y gasterópodos muy bien preservados (con diámetros que van desde 1cm hasta 5cm) concentrados hacia el tope del intervalo, este intervalo presenta fracturas rellenas de pirita y vetas de 2mm de espesor rellenas de calcita, por lo que tiene alta reacción al HCL. En contacto abrupto con

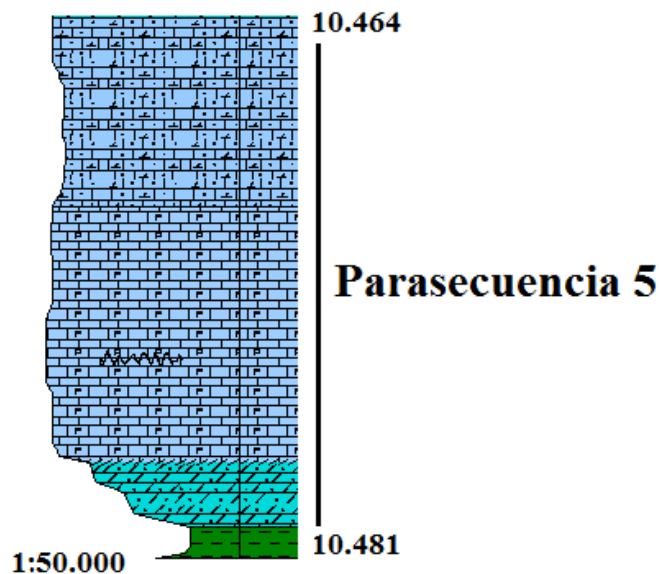


Figura 33. Parasecuencia 5, en la base se encuentra una lutita seguida de una dolomía aloquímica arenosa y hacia el tope un packstone seguido de una caliza dolomítica arenosa.

Parasecuencia 6

- **Intervalo 10463'6''-10461'11''**: Hacia la base de este intervalo se tiene una Dolomía Aloquímica Arenosa color Munsell gris azulado 6/1 con muy baja presencia de glauconita, y con pelecípodos de 1cm de diámetro aproximadamente y fósiles re TRABAJADOS (2% de fósiles aproximadamente) se

observa levemente bioturbada, compacta y medianamente heterogénea. Más hacia el tope y en contacto transicional se tiene una Arenisca glauconítica bioturbada de grano fino de color Munsell gris claro verdoso 7/1, con presencia de huellas fósiles de *Planolites* y *Scolicia*, también se observa estratificación tipo flaser y fósiles retrabajados. Muy compacta y heterogénea, en contacto con:

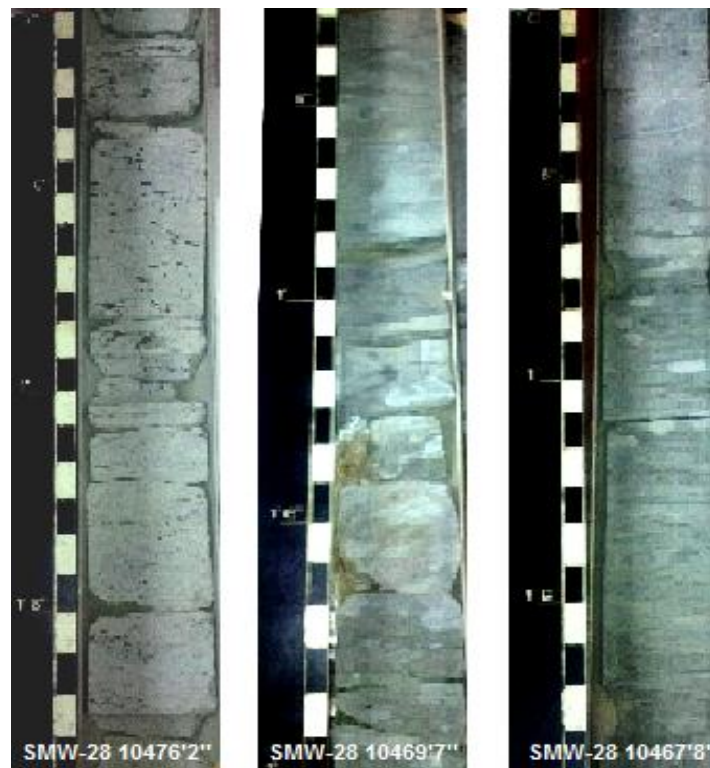


Figura 34. Dolomía aloquímica (10476'2'' muestra una concentración de moldes de fósiles que fueron reemplazados por fosfato), Packstone de pelecípodos (10469'7'' muestra un nivel medio de bioturbación donde se pueden observar las huellas fósiles de *Thalassinoides*, *Scolicia* y *Teichichnus*), (10467'8'' muestra un nivel lutítico hacia la base y más arenoso y aloquímico hacia el tope, con huellas fósiles importantes como las de *Thalassinoides*).

- **Intervalo 10461'11''-10450'6'':** Dolomía Aloquímica Arenosa color Munsell gris verdoso 6/1, bastante homogénea, bien escogida y poco friable, en 10460'

se observa una concentración de nódulos de calcita de no más de 1cm de diámetro. Este intervalo tiene baja reacción al HCL, a partir de 10459' hasta 10450'9'' no se observa litología, sin embargo a partir de allí y hasta 10450'6'' se vuelve a observar la misma litología que se encontraba en la base del intervalo.

Parasecuencia 7

- **Intervalo 10450'6''-10445'4''**: Dolomía Calcítica Aloquímica Lodosa color Munsell gris azulado 6/1. Este intervalo es muy heterogéneo, hacia la base se observan gasterópodos muy bien preservados de casi 3cm de longitud, junto con nódulos de calcita de no más de 2cm de diámetro. Se pueden apreciar brechas de material lutítico. Hay presencia de huella fósil de *Planolites*, *Thalassinoides* y *Scolicia*, que permiten reconocer la intensa bioturbación en este intervalo. En la parte superior se observa una Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa con vetas de calcita y fosfato, junto con estilolitas y varias fracturas rellenas de lutitas (figura 35). En contacto neto con:
- **Intervalo 10445'4'' – 10442'10''**: Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa color Munsell Gris oscuro N3, muy heterogénea con una matriz arenosa. Este intervalo posee fósiles muy bien preservados (alrededor de 35%) como pelecípodos y gasterópodos de 1cm a 3cm de diámetro aproximadamente y otros fósiles re TRABAJADOS (10%) y algunos pequeños nódulos de calcita, estilolitas y vetas de hasta 1cm de espesor rellenas de calcita, lo que la hacen tener alta reacción al HCL. En contacto neto con:

Parasecuencia 8

- **Intervalo 10.442'10''-10438'9''**: Arenisca bioturbada de grano medio color Munsell gris 6/0, levemente fracturada y bien escogida, con muy baja reacción al HCL. Hacia la base se observan algunas láminas de limolitas y hacia el tope aumenta la bioturbación, y las láminas de material limoso, con alta presencia de huellas fósiles de *Planolites*, *Chondrites* y *Thalassinoides* (de 2cm hasta 5cm de diámetro) junto con un proceso de *Glossifungite*.

También se pueden apreciar pequeños nódulos de calcita que no pasan de 5 mm de diámetro distribuidos hacia el tope del intervalo. De manera general todo el intervalo pasa de ser bastante homogéneo en la base a muy heterogéneo en el tope (figura 35). Bastante compacta y en contacto abrupto con:

- **Intervalo 10438'9''-10433':** Arenisca Dolomítica Micrítica de grano muy fino color Munsell gris azulado 7/0. Bastante heterogénea y muy bien escogida, sin embargo se encuentra levemente bioturbada. Presenta láminas de material lodoso y material calcáreo así como huellas fósiles de *Thalassinoides* junto con un proceso de *Glossifungite* hacia la base y *Rizocoralium* y *Paleophycus* hacia el tope. En 10433'9'' hay un contacto abrupto con una Caliza Aloquímica de color Munsell blanco grisáceo 7/0 con alta presencia (30% aproximadamente) de pelecípodos muy bien preservados de 1cm de diámetro, muy mal escogida, heterogénea y muy compacta (figura 36). En contacto abrupto con:

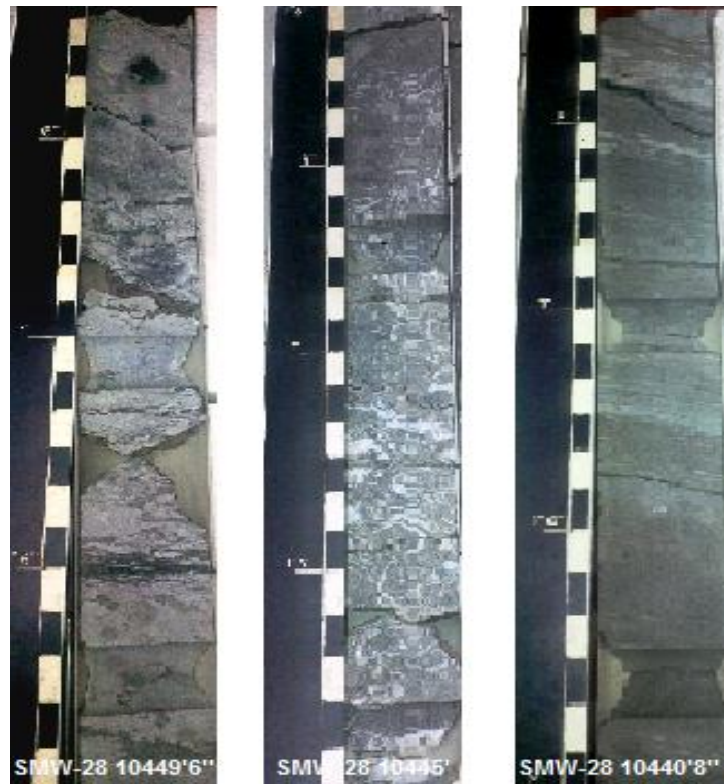


Figura 35. Dolomía Calcítica Aloquímica Lodosa (10449'6'' muestra fósiles preservados y brechas de material lodoso), Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa (10446' muestra un nivel alto de concentración de fósiles y material calcáreo y fosfático), Arenisca Dolomítica Micrítica (10440'8'' muestra láminas de material lodoso y muy bioturbado).

- **Intervalo 10.433'-10430':** Este intervalo presenta diferentes litologías, por lo cual se entiende como un intervalo extremadamente heterogéneo y muy mal escogido. Hacia la base se tiene Dolomía Aloquímica Arenosa color Munsell blanco grisáceo 7/0, bioturbada, con cierta presencia de glauconita, material calcáreo y fósiles reabajados y un nódulo de óxido de 5cm de diámetro aproximadamente. Por encima de esta litología se observa una Dolomía Aloquímica Lodosa bioturbada color Munsell gris claro N6 con una matriz limosa, a partir de aquí se tiene una Caliza muy porosa color Munsell blanco grisáceo 7/0 levemente impregnada de hidrocarburo, con cavidades (porosidad tipo vug 5% aproximadamente) de 1mm de diámetro, hacia el tope

se encuentra una Caliza Aloquímica de color blanco grisáceo 7/0 muy heterogénea y compacta. Presenta pelecípodos (15% de fósiles) de 1cm aproximadamente. En contacto abrupto con:

- **Intervalo 10.430'-10.427'**: Lodolita fosfática altamente bioturbada hacia la base, de matriz limosa color Munsell gris 5/0. Se observan granos de fosfato de hasta 1cm de diámetro, láminas de material limolítico que disminuyen hacia el tope, así como Huellas fósiles de *Planolites*. En general este intervalo es muy heterogéneo y compacto. (figura 36)



Figura 36. Arenisca Dolomítica Micrítica (10435'5'' Levemente bioturbada con fracturas rellenas de material lodoso y calcáreo), Dolomía Aloquímica Arenosa (10433' Se observa un nódulo de óxido, así como material calcáreo y fósiles retrabajados), Caliza Aloquímica (10430' se observan granos de fosfatos con fósiles medianamente preservados).

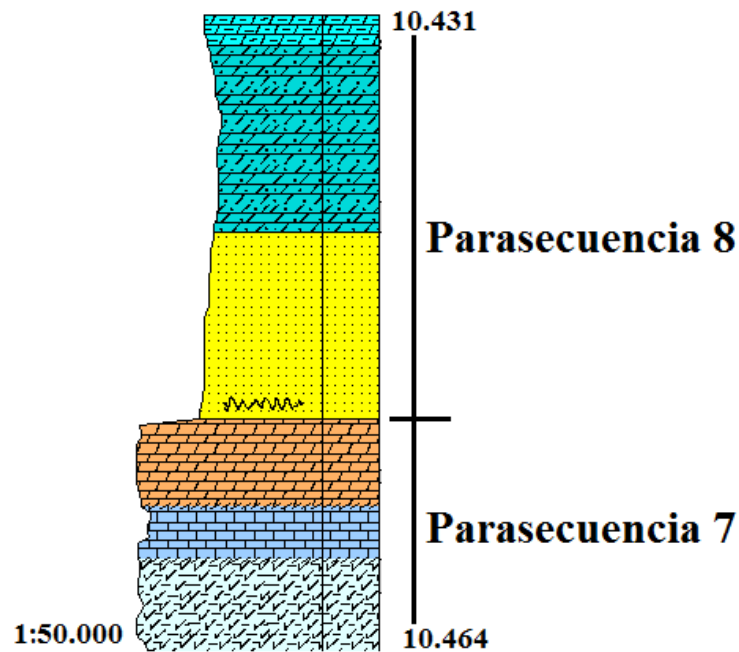


Figura 37. Parasecuencia 7, en la base se presenta un arenisca calcítica lodos seguida de un packstone y hacia el tope un carbonato cristalino de dolomita. Parasecuencia 8, en la base se presenta un arenisca de grano medio seguida de una arenisca micritica aloquímica y hacia el tope una dolomía aloquímica arenosa.

4.2.2 Formación Navay

Miembro La Morita

- **Intervalo 10.430'-10.427':** Lodolita fosfática altamente bioturbada hacia la base, de matriz limosa color Munsell gris 5/0. Se observan granos de fosfato de hasta 1cm de diámetro, láminas de material limolítico que disminuyen hacia el tope, así como Huellas fósiles de *Planolites*. En general este intervalo es muy heterogéneo y compacto.

4.3 Pozo SMW-23

4.3.1 Miembro “P”. Formación Escandalosa

- **Intervalo 10.504'-10.501':** Arenisca de grano medio de color Munsell blanco grisáceo (7/0) hacia la base, hacia el tope se presenta una arenisca de grano fino con láminas horizontales rellenas de carbón. En el intervalo 10.504' se concentran fracturas rellenas de carbón. Hacia el tope del intervalo las fracturas son más continuas, mientras que hacia el intervalo 10.503' dichas fracturas desaparecen. Se observa oxido disperso en la muestra así como pirita. En contacto con el próximo intervalo se observa una gran capa de carbón de aproximadamente 5mm. Se logra observar una serie de desplazamiento que pueden reflejar una posible microfalla, esto se ve reflejado en el intervalo 10.502'. (Figura 38)
- **Intervalo 10.500'-10.499':** Arenisca de grano muy fino de color Munsell blanco grisáceo (7/0). Presenta capas de carbón que van disminuyendo hasta el tope. En el intervalo 10.499' se encuentra presente un desplazamiento vertical (microfalla de tipo inverso) que deforma ligeramente la capa de arenisca. En el intervalo 10.499'6'' se presenta nuevamente capas de carbón de aproximadamente 5mm y una capa de 5mm de pirita que se encuentra fracturada y desplazada.
- **Intervalo 10.498'-10.495':** Arenisca de grano medio. Color Munsell blanco grisáceo (8/0). En la base se observan fracturas rellenas con carbón y desplazadas, lo cual evidencia microfallas, así como una deformación observada por la irregularidad de las capas de carbón. Hacia el tope se observan fracturas piritizadas en los bordes y estratificación bidireccional (ver figura 32), además de nódulos de 1cm aproximadamente. (Figura 38)



Figura 38. Arenisca de grano medio (10504'), Arenisca de grano muy fino (10499' presenta micro fallas), Dolomia calcítica arenosa (10498' arenisca de grano medio).

4.3.2 Miembro 'O'. Formación Escandalosa

Parasecuencia 1

- **Intervalo 10.495'-10.490':** Arenisca de grano fino a medio. En la base se observan láminas de carbón de aproximadamente 2cm, también se presenta azufre y *Thalassinoides* rellenos de pirita de 2cm aproximadamente y láminas de carbón. Hacia el tope presenta fracturas y *Thalassinoides* bordeado por pirita. El contacto con la próxima secuencia está representado por una capa de azufre. Color Munsell blanco grisáceo (8/0). (Figura 39)



Figura 39. Dolomía calcítica arenosa (10495' muestra estratificación bidireccional), Caliza (10094' en la base se observa una lámina de carbón de aproximadamente 2cm), Caliza (10492' se observa el contacto con el próximo intervalo, caracterizado por abundante azufre que se dispersa en el nivel superior).

- **Intervalo 10.490'-10.489':** Dolomía calcítica aloquímica arenosa (15% de glauconita). En la base se presenta abundante azufre, lo cual representa el contacto con la secuencia anterior. *Thalassinoides* de 1cm aproximadamente (15%). En el medio de la secuencia se encuentra la misma glauconita (35%), pierde el contenido de azufre. Hacia el tope se presenta una arenisca sin glauconita de grano muy fino con huellas de *Paleophicus*. El contacto con el otro intervalo es transicional. Color Munsell gris verdoso (7/1). (Figura 39)

Parasecuencia 2

- **Intervalo 10.488'-10.487'**: Dolomía calcítica arenosa. Presenta una moderada reacción al HCL, nódulos de calcita de aproximadamente 2cm, pequeñas fracturas rellenas de carbón. Color Munsell blanco grisáceo (8/0)
- **Intervalo 10.486'-10.482'**: Arenisca dolocalcítica aloquímica de grano medio. Hacia el tope presenta nódulos de calcita diseminados a lo largo de todo el intervalo 10.484'. Hacia el tope aumenta el material arcilloso y se observan nódulos de calcita de 2-3cm de diámetro aproximadamente, de estos nódulos salen vetas del mismo material. Se observan *Thalassinoides* y nódulos de pirita. El contacto con la siguiente secuencia es transicional. Color Munsell gris claro verdoso (7/1).
- **Intervalo 10.481'-10.477'**: Arenisca dolocalcítica aloquímica (60% de glauconita). Presenta una leve reacción al HCL. Hacia la base se presentan *Glossifungites* con *Thalasinoides*. Hacia el tope de la secuencia los niveles de glauconita disminuyen (30%) y se presenta una moderada reacción al HCL. Color Munsell gris verdoso (7/1). (Figura 41)

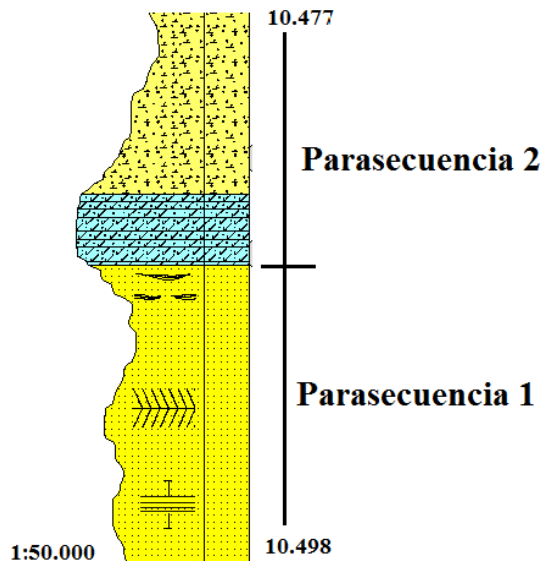


Figura 40. Parasecuencia 1, En la base se observa una arenisca de grano medio y fino. Parasecuencia 2, en la base se observa una dolomía calcítica arenosa seguido por una arenisca dolocalcítica aloquímica

Parasecuencia 3

- **Intervalo 10.476'-10.475':** Arenisca dolocalcítica aloquímica con moderado nivel de glauconita (10% de glauconita) presenta pelecípodos aproximadamente un 10% además de nódulos de calcita diseminados a lo largo de toda la muestra. Color Munsell gris claro verdoso (7/1).
- **Intervalo 10.474'-10.467':** Caliza dolomítica aloquímica arenosa en la base. Presenta pelecípodos de aproximadamente 5-6cm (30% de abundancia) alta reacción al HCL, nódulos de calcita y una serie de estilolitas diseminadas por toda la base. En el tope no presenta pelecípodos, alta reacción al HCL, en el intervalo 10.472' se evidencia una estilolita rellena de pirita, a diferencia de las estilolitas de la base, es de mayor proporción. Al final del intervalo se encuentra un nódulo de calcita de 5cm aproximadamente bordeado por una estilolita rellena de pirita. Color Munsell blanco grisáceo (8/0). (Figura 41)



- **Figura 41.** Arenisca dolocalcítica aloquímica (10479' presenta abundante glauconita, diseminada en todo el intervalo que le da la coloración verde), Arenisca dolocalcítica aloquímica (10476' presenta moderado contenido de glauconita, y 10% de pelecípodos), Caliza dolomítica aloquímica arenosa.

Parasecuencia 4

- **Intervalo 10.466'-10.463'**: Caliza dolomítica aloquímica arenosa glauconítica de grano medio en la base a fino en el tope. Presenta veta de calcita, además de un elevado porcentaje de glauconita (40%) en la base. Hacia el tope el nivel de glauconita disminuye a un 10%, se presentan fracturas, nódulos de calcita y pirita diseminada por todo el intervalo. Presenta una leve reacción al HCL. Color Munsell gris verdoso (7/1).
- **Intervalo 10.462'-10.459'**: Arenisca de grano fino. En la base un posible hardground, se observa azufre y óxido de hierro. Presenta huellas de *Thalassinoides* de 2-3 cm aproximadamente un 15%, *Rhizocoralium* de 5 cm aproximadamente, se encuentra rellena de glauconita y *Planolite*, además se encuentra fracturada, por lo aparentemente frágil de la muestra. Color Munsell gris medio N5. (Figura 44)

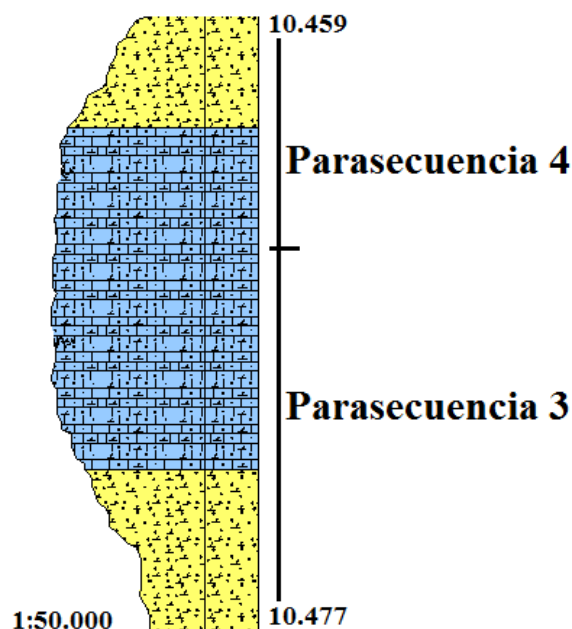


Figura 42. Parasecuencia 3, en la base se presenta una arenisca dolocalcítica aloquímica seguida de una caliza dolomítica aloquímica arenosa. Parasecuencia 4, en la base se observa una caliza dolomítica aloquímica leve presencia de aloquímicos seguido por una arenisca dolomítica aloquímica.

Parasecuencia 5

- **Intervalo 10.459'-10.457':** Arenisca dolomítica aloquímica, mayor contenido de material arcilloso en la base, presenta *Thalassinoides* de 1 a 3 cm aproximadamente (15%), los cuales se encuentran rellenos de glauconita. Se encuentra altamente fracturada y presenta un alto contenido de azufre. Color Munsell gris medio N5. (Figura 44)
- **Intervalo 10.456'-10.455':** Caliza dolomítica aloquímica arenosa glauconítica de grano medio (40% de glauconita). Presenta pequeños nódulos de calcita diseminados a lo largo de toda la secuencia. También se observan minerales de pirita diseminados por todo el intervalo. Presenta una leve reacción al HCL. Color Munsell gris medio N5.
- **Intervalo 10.454'-10.449':** Caliza dolomítica aloquímica arenosa. Presenta pequeñas vetas de carbón y pirita, además de nódulos de calcita diseminados por toda la muestra, hacia el tope de la secuencia se observa una arenisca dolomítica aloquímica, más poroso con más presencia de nódulos de calcita. Color Munsell blanco grisáceo (8/0).
- **Intervalo 10.448'-10.445':** Dolomía calcítica aloquímica arenosa. Presenta huellas de *Thalasinoides*. Porosidad tipo vug en la base. Hacia el tope presenta pequeños restos fósiles. Color Munsell blanco grisáceo (8/0).

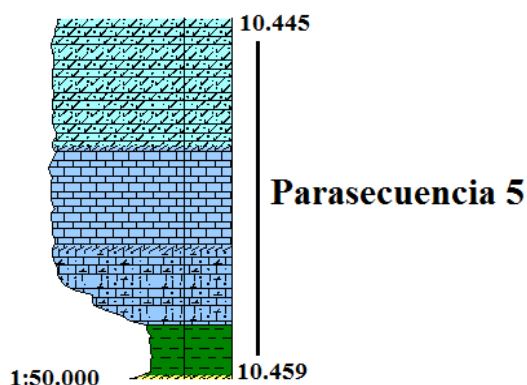


Figura 43. Parasecuencia 5, en la base se presenta una lutita seguida de una arenisca dolomítica aloquímica seguido por una caliza dolomítica aloquímica y hacia el tope una dolomía calcítica aloquímica arenosa.

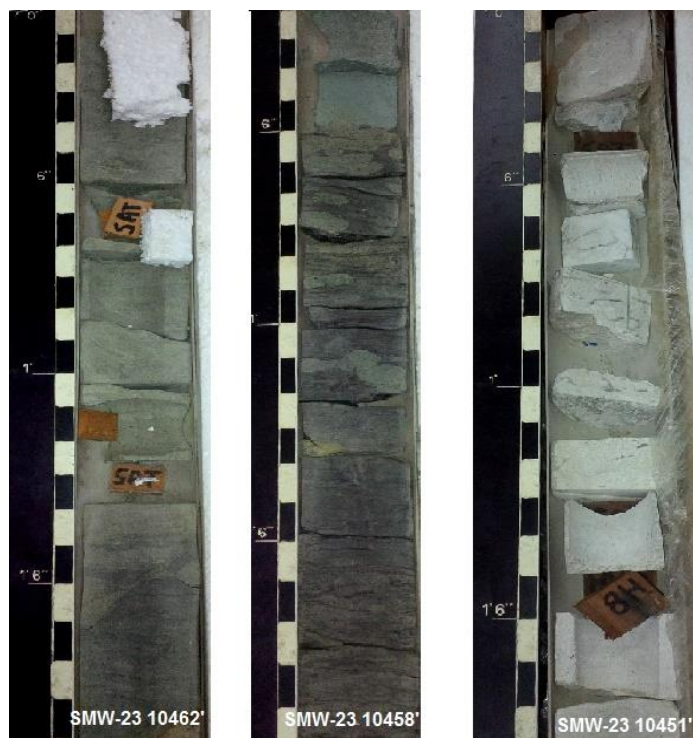


Figura 44. Arenisca de grano fino (10462' *Rhizocoralium* de 5cm aproximadamente), Arenisca dolomítica aloquímica (10458' presenta *Thalassinoides* rellenos de glauconíta), Caliza dolomítica aloquímica.

Parasecuencia 8

- **Intervalo 10.417'-10.419':** Arenisca de grano fino. Color Munsell gris oscuro (6/0). Fracturada. Presenta nódulos de pirita de aproximadamente 2cm Hacia el tope. Hacia la base presenta huellas fósiles de *Planolite* (aproximadamente 5%), *Thalassinoides* de 2cm aproximadamente (5%) y trazas de fosfato diseminados hacia la parte central de la secuencia. En la base presenta una leve reacción al HCL.
- **Intervalo 10.417'-10.415':** Arenisca con matriz limosa. Color Munsell gris claro 7/1. Moderadamente fracturada hacia el tope. En la base presenta *Thalassinoides* de 2cm aproximadamente bordeado por fosfato. En el intervalo 10.416' se encuentran granos de fosfatos de hasta 1cm

aproximadamente. Hacia el tope se encuentran nódulos de pirita de hasta 2cm. Hacia el tope se encuentra una secuencia heterolítica de 6'' aproximadamente.

- **Intervalo 10.415'-10.413':** Lutita. En la base presenta abundante fosfato (15%) y láminas de pirita de aproximadamente 3cm. Leve reacción al HCL. Hacia el tope la lutita es friable, se observan nódulos de pirita y fosfato de 5mm a 1cm. Color Munsell gris claro 7/1.
- **Intervalo 10.413'-10.411':** Lutita. Altamente friable. Presenta abundante mineral de asbesto. Hacia el tope se observa abundante fosfato y *Planolite* que tienen una leve reacción al HCL. Color Munsell gris 6/0.

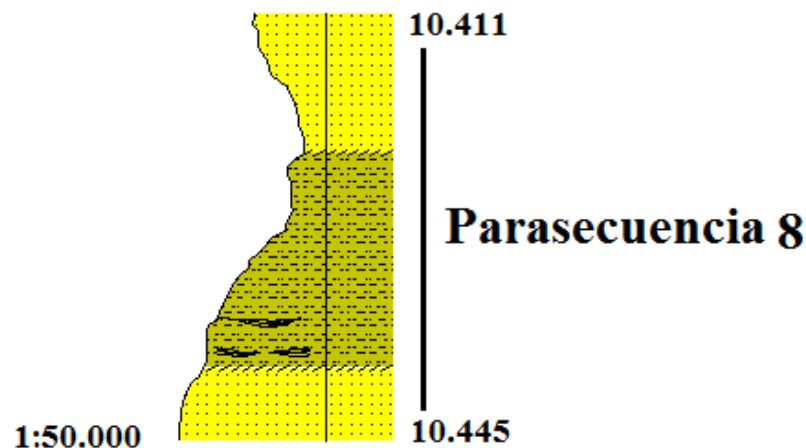


Figura 45. Parasecuencia 8, en la base se presenta una arenisca de grano fino, seguido de una limolita y hacia el tope una arenisca de grano fino.

5.3.3 Formación Navay, Miembro La Morita

- **Intervalo 10.411'-10.407':** Arenisca de grano fino. Presenta abundante fosfato (15%), nódulos de calcita y pirita. Se observa una leve reacción al HCL. Hacia el tope se presenta una lutita levemente friable. Presenta un gran nódulo de hierro en el intervalo 10.407'.
- **Intervalo 10.407'-10.403':** Limolita, no reacciona con HCL. Hacia el tope presenta nódulos de calcita con abundante fosfato (15% aproximadamente).

Hacia el tope la limolita se encuentra altamente fracturada. Color Munsell gris medio N5.

- **Intervalo 10.403'-10.390'**: Lutita altamente friable. Color Munsell gris oscuro. Presenta nódulo de azufre en el intervalo 10.399' y abundante mineral de asbesto hacia el tope. No presenta reacción al HCL. Color Munsell gris6/0.

5.4 Pozo SMW-13

5.4.1 Miembro "P". Formación Escandalosa

- **Intervalo 10.517'4''-10.515'6''**: Arenisca de grano muy grueso, bastante homogénea, medianamente escogida y compacta, color Munsell gris pardusco 6/1 que presenta estratificación laminar y estratificación cruzada en todo el intervalo. Se observan niveles de clastos de mayor tamaño (2mm aproximadamente) y una alta porosidad tipo vug e interpartícula. Del mismo modo este intervalo es rico en cuarzo y presenta un nivel de impregnación medio en hidrocarburo. Se encuentra en contacto transicional con:
- **Intervalo 10.515'6''-10.514'**: Arenisca de grano muy grueso, medianamente homogénea, escogida y compacta, color Munsell gris pardusco 6/1 que presenta estratificación laminada y estratificación cruzada en todo el intervalo. En estas profundidades a diferencia del intervalo anterior se pueden observar láminas de carbón depositadas dentro de fracturas. De igual forma es un intervalo rico en cuarzo y se observan clastos de casi 2mm, con un nivel medio de impregnación en hidrocarburo. En contacto desconocido con:
- **Intervalo 10.514' - 10.510'7''**: Intervalo faltante.

- **Intervalo 10.510'7'' – 10.509'**: Arenisca de grano grueso a medio color Munsell gris pardusco 6/1, medianamente impregnada con hidrocarburo. Presenta estratificación cruzada y láminas de carbón en todo el intervalo el cual a la misma vez es rico en cuarzo, esta levemente fracturado hacia el tope y es bastante homogénea (Figura 46). Se encuentra en contacto desconocido con:
- **Intervalo 10.509' – 10.506'7''**: Arenisca de grano muy grueso hacia la base, color Munsell gris pardusco 6/1. Este intervalo tiene algunos granos de pirita acumulados hacia la base, con fracturas que están rellenas de carbón y estratificación cruzada. En la profundidad 10507'2'' se observa un contacto abrupto diagonal con una Arenisca de grano fino color Munsell gris pardusco 6/1. En 10507' en contacto neto se vuelve a observar la arenisca de grano muy grueso que se tiene hacia la base del intervalo pero esta vez hay presencia de pequeños puntos de azufre y cavidades rellenas de materia orgánica (Figura 46). En general todo el intervalo se encuentra medianamente impregnado de hidrocarburo y es levemente homogéneo.
- **Intervalo 10.506'7'' – 10.504'4''**: Arenisca de grano grueso a medio color Munsell gris pardusco 6/1 friable con láminas de carbón, poros rellenos de azufre, alto contenido de cuarzo y levemente impregnada de hidrocarburo. Hacia el tope del intervalo y en contacto abrupto se observa una limolita color Munsell gris 6/0 altamente fracturada con azufre, micas y niveles arenosos que generan una especie de estratificación lenticular (Figura 46). En general es un intervalo muy poco homogéneo y compacto, y se encuentra en contacto transicional con:
- **Intervalo 10.504' – 10.502'2''**: Lutita micácea color Munsell gris 6/0 con niveles altos de azufre y con estratificación lenticular en contacto desconocido con una arenisca de grano medio color Munsell gris claro pardusco 7/1, con muy poca impregnación de hidrocarburo y presenta fracturas rellenas de

carbón y rizaduras hacia el tope. Es un intervalo heterogéneo y poco compacto, en contacto transicional con:



Figura 46. Arenisca (10510'7'' medianamente impregnada de hidrocarburos con estratificación cruzada), Arenisca (10509' se observan granos de pirita hacia la base y estratificación cruzada), Arenisca (10506'7'' levemente impregnada con hidrocarburos, en el tope se observa una limolita con estratificación lenticular).

- **Intervalo 10.502'2'' – 10.499'10'':** Arenisca de grano medio color Munsell gris claro pardusco 7/1, micácea con láminas de carbón y leve presencia de azufre, pero en general muy homogénea y compacta. En 10500'7'' se observa en contacto abrupto una lutita micácea, compacta, altamente bioturbada, de color Munsell gris 5/0 con presencia de huellas fósiles de *Planolites*, *Chondrites* y *Thalassinoides* (de no más de 3cm de diámetro). En 10.500'2''

en contacto abrupto se encuentra una arenisca de grano medio micácea, muy friable de color Munsell gris claro pardusco 7/1 que se extiende hasta el tope del intervalo; se observan muchas laminas rellenas de carbón y pequeñas rizaduras, levemente impregnada con hidrocarburo (Figura 47). En general es un intervalo bastante heterogéneo que se encuentra en contacto transicional con:

- **Intervalo 10.499'10'' – 10.497'6''**: hacia la base se observa una Arenisca de grano fino color Munsell gris claro 8/1, bioturbada, muy friable y con mucha materia orgánica acumulada en pequeñas fracturas. Se observan muchos niveles limolíticos que poseen alto contenido de azufre y micas. Se observan huellas fósiles de *Chondrites*, *Planolites* y *Thalassinoides* (de 2cm aproximadamente) así como estratificación flaser y rizaduras. En 10498' en contacto abrupto se observa una Lutita altamente bioturbada color Munsell gris 5/0, con estratificación lenticular y presencia de huellas fósiles de *Chondrites* y *Planolites*. Esta Lutita se encuentra en contacto abrupto con una Arenisca micácea de grano muy fino compacta, de color Munsell gris claro 8/1 con presencia de rizaduras y láminas de material carbonoso, con alto contenido de azufre. Hacia el tope de este intervalo se tienen nódulos de materia orgánica de 1cm de diámetro con laminaciones paralelas.
- **Intervalo 10.497'6'' – 10.495'2''**: Arenisca cuarzo-micácea de grano medio color Munsell gris claro pardusco 7/1, con estratificación cruzada y alto contenido de azufre y materia orgánica, medianamente friable en contacto transicional con:
- **Intervalo 10.495'2'' – 10.493'**: Arenisca de grano medio color Munsell gris claro pardusco 7/1. Compacta con material carbonoso, azufre y con algunos niveles de clastos de 1mm aproximadamente. En 10493'6'' hay contacto transicional con una Arenisca micácea compacta de grano fino color Munsell gris claro 8/1, que presenta rizaduras, fracturas rellenas de material carbonoso

y esta medianamente impregnada de hidrocarburo. Esta última se encuentra en contacto transicional con:

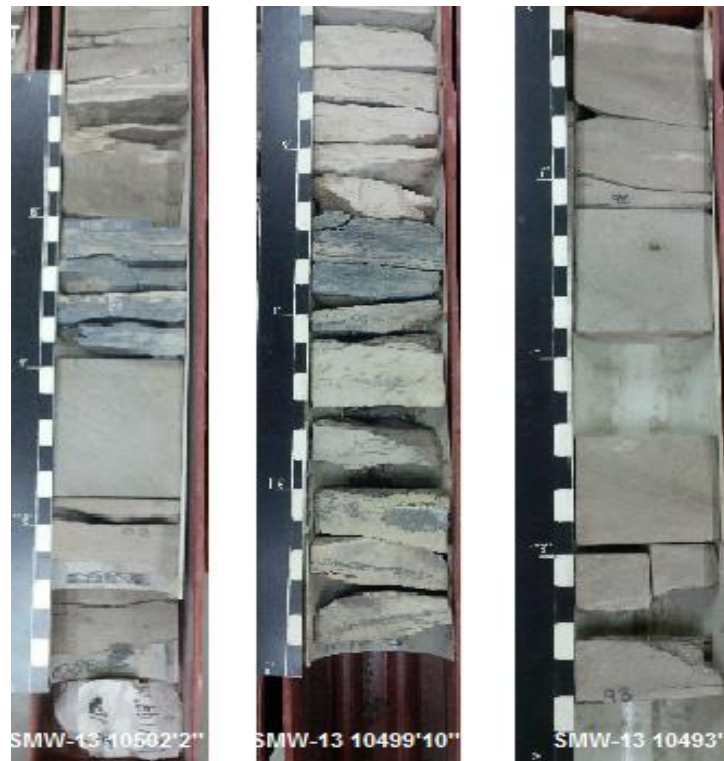


Figura 47. Arenisca hacia la base y lutita micácea (10502'2'' se observa una transición entre una arenisca y una lutita micácea con alto contenido de azufre), Arenisca y Lutita altamente bioturbada (10499' altos niveles limolíticos y con mucho azufre, con presencia de *Thalassinoides* de 2cm aproximadamente), Arenisca Micácea (10493'' levemente impregnada con hidrocarburos y se observan rizaduras).

- **Intervalo 10.493' – 10.491'3'':** Arenisca de grano fino color Munsell gris claro pardusco 7/1, levemente micácea con laminaciones de material carbonoso, que presenta algunos granos de pirita y leves ondulaciones hacia el tope del intervalo, así como también cavidades tipo “vug” rellenas de azufre. En general todo el intervalo es compacto y se encuentra levemente impregnado de hidrocarburo (Figura 47). En contacto transicional con:

- **Intervalo 10.491'3'' – 10.489'6''**: Arenisca micácea de grano fino color Munsell gris claro 8/1, que presenta alto contenido de material carbonoso y azufre situado en fracturas. Este intervalo es medianamente friable, presenta rizaduras y esta levemente impregnado de hidrocarburo. En contacto desconocido con:
- **Intervalo 10.489'6'' – 10.487'6''**: Intervalo faltante.
- **Intervalo 10.487'6'' – 10.487'4''**: Arenisca de grano fino compacta color Munsell gris claro pardusco 7/1 con leves ondulaciones o fracturas que están rellenas de material carbonoso así como pequeñas cavidades tipo “vug” rellenas de pirita y bordeadas con azufre. Levemente impregnada hacia la base. En contacto transicional con:
- **Intervalo 10.487'4'' – 10.485'4''**: Arenisca de grano fino color Munsell gris claro pardusco 7/1 con presencia de huellas fósiles de *Paleophycus* y *Skolithos* hacia la base al igual que fracturas diagonales rellenas de material carbonoso y se encuentra muy poco impregnada, esto se extiende hasta 10486'6'' donde se genera un contacto abrupto con una secuencia heterolítica compuesta por lutita bioturbada color Munsell gris 5/0 intercalada con una arenisca fracturada de grano fino color Munsell gris claro pardusco 7/1. Este intervalo posee nódulos de 2cm de diámetro rellenos de materia orgánica (figura 49). En contacto transicional con:
- **Intervalo 10.485'4'' – 10.483'5''**: Arenisca micácea levemente bioturbada de grano fino color Munsell gris claro 7/1 con presencia de huella fósil de *Paleophycus*, láminas de material carbonoso y azufre. Este intervalo presenta rizaduras y algunas ondulaciones, así como fracturas rellenas de materia orgánica. En general es un intervalo sumamente heterogéneo y medianamente friable. En contacto transicional con:
- **Intervalo 10.483'5'' – 10.480'11''**: Arenisca bioturbada de grano fino color Munsell gris claro 7/1 con presencia de huella fósil de *Paleophycus*, *Chondrites*, *Planolites* y *Roselia*, con láminas de material carbonoso,

rizaduras, estratificación tipo flaser y porosidad tipo “vug”. Hacia el tope se encuentra muy estilolitizado pero en general es un intervalo muy friable, levemente micáceo. En contacto transicional con:

- **Intervalo 10.480’11’’ – 10.479’1’:** Arenisca micácea bioturbada de grano fino a medio color Munsell gris claro 7/1 con presencia de huellas fósiles de *Planolites* y *Chondrites*. Hacia la base del intervalo se observa levemente fracturada, con presencia algunas rizaduras y alto contenido de azufre, así como también una leve impregnación de hidrocarburo. En general el intervalo posee mucho contenido de materia orgánica y es medianamente friable. En contacto abrupto con:
- **Intervalo 10.479’1’’ – 10.477’:** hacia la base del intervalo se observa una arenisca de grano medio color Munsell gris claro 7/1, medianamente friable con estratificación cruzada, levemente micácea y fracturada, con alto contenido de azufre. Hacia el tope del intervalo y en contacto transicional con una limolita de matriz arcillosa color Munsell gris oscuro azulado 3/1, bioturbada con estratificación flaser y presencia de huella fósil de *Planolites*. El intervalo tiene un contenido de azufre muy elevado, pero es muy heterogéneo y compacto. En contacto transicional con:
- **Intervalo 10.477’–10.474’11’’:** hacia la base se observa una limolita muy bioturbada color Munsell gris azulado 6/1 con estratificación lenticular que le dan un aspecto ondulatorio a los pequeños pulsos de arenisca que hay dentro de la limolita. A partir de 10476’ se observa una arenisca muy bioturbada color Munsell gris claro 7/1 con estratificación tipo flaser y rizaduras, con presencia de huellas fósiles de *Thalassinoides* (de 1cm de diámetro aproximadamente) junto a un proceso de *Glossifungite*, *Asterosomas* de pirita bordeadas de azufre y *Paleophycus*. De 10474’11’’ a 10476’2’’ se observa una fractura vertical rellena de lutita, dicha fractura tiene una longitud de 10 pulgadas aproximadamente. Todo el intervalo es muy heterogéneo, medianamente compacto y muy micáceo (figura 50). En contacto abrupto con:



Figura 48. Secuencia Heterolítica (10487'4'' muy poco impregnada, con pequeños nódulos de materia orgánica), Arenisca (10483'5'' muy bioturbada, se observan huellas fósiles de *Paleophycus*, *Chondrites*, *Planolites* y *Roselia*), Limolita (10477' Limolita de matriz arcillosa con alto contenido de azufre y estratificación tipo flaser).

5.4.2 Miembro “O”. Formación Escandalosa

Parasecuencia 1

- **Intervalo 10.474'11'' – 10473'2''**: Arenisca Dolomítica Aloquímica, muy glauconítica bioturbada de grano medio a fino color Munsell oliva grisáceo 5/2 hacia la base y gris claro 7/1 hacia el tope. Con una matriz limosa con estratificación tipo flaser y presencia de huella fósil de *Paleophycus*. En general todo el intervalo es muy heterogéneo, medianamente friable. En contacto transicional con:

Parasecuencia 2

- **Intervalo 10.473'2'' – 10.471':** en la base se observa una Arenisca dolomítica aloquímica, glauconítica de grano medio a fino color Munsell oliva grisáceo 5/2 con estratificación tipo flaser en contacto estilolítico (que forma un hardground) con una Caliza Dolomítica Arenosa color Munsell gris claro azulado 7/1, con nódulos de calcita de hasta 1cm de diámetro, rellenos de calcita así como brechas de material glauconítico y huellas fósiles de *Thalassinoides* (de 2 a 3 cm de diámetro) hacia la base en conjunto con un proceso de *Glossifungite*. El intervalo tiene alta reacción al HCL que va disminuyendo hacia el tope y es muy heterogéneo. En contacto neto con

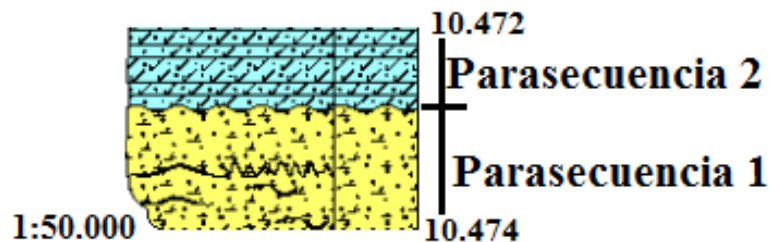


Figura 49. Parasecuencia 1, se presenta una arenisca dolomítica aloquímica con abundante glauconita. Parasecuencia 2, se presenta una caliza dolomítica arenosa.

Parasecuencia 3

- **Intervalo 10.471' – 10.468'11'':** Dolomía calcítica aloquímica arenosa color Munsell gris claro azulado 7/1 con brechas hacia la base que están rellenas de lutita y fracturas rellenas de calcita hacia el tope. El intervalo tiene nódulos de 2mm de diámetro aproximadamente y en general es bastante heterogéneo.

Parasecuencia 4

- **Intervalo 10.468'11'' – 10.460':** hacia la base del intervalo se observa una Dolomía Aloquímica Arenosa color Munsell gris claro azulado 7/1 con

fracturas rellenas de calcitas y nódulos de 2mm de diámetro rellenos de calcita, en general heterogénea y muy compacta. Hacia el tope se observa una Dolomía Aloquímica Arenosa color Munsell gris claro azulado 7/1 que presenta grandes fracturas rellenas de calcita así como fósiles retrabajados (30% aproximadamente) muy mal preservados, esta dolomía es muy heterogénea con fracturas que están rellenas de material lutítico. En contacto abrupto con:

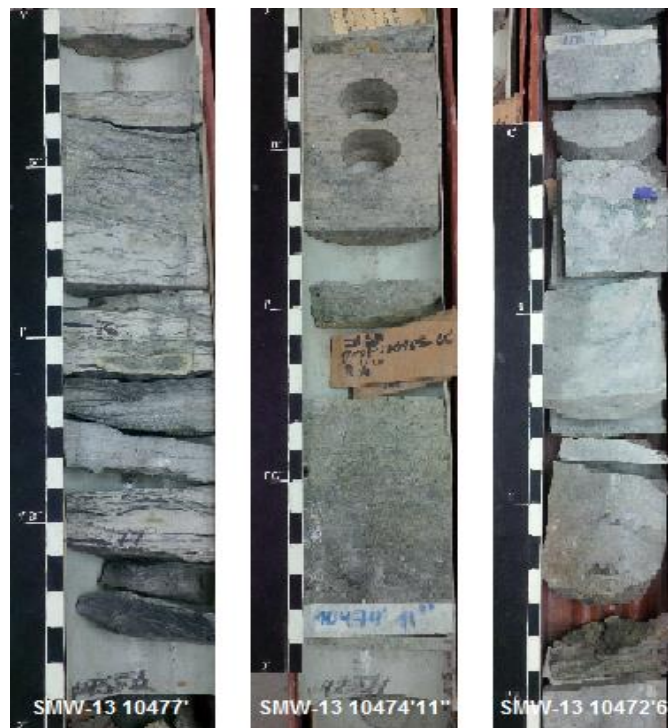


Figura 50. Limolita bioturbada (10477' Asterosomas rellenas de pirita y bordeadas de Azufre), Arenisca Dolomítica Aloquímica (10474'11'' nivel alto de bioturbación y glauconitización), Caliza Dolomítica Arenosa (10472'6'' huellas de *Thalassinoides* de 3cm y brechas de material glauconítico).

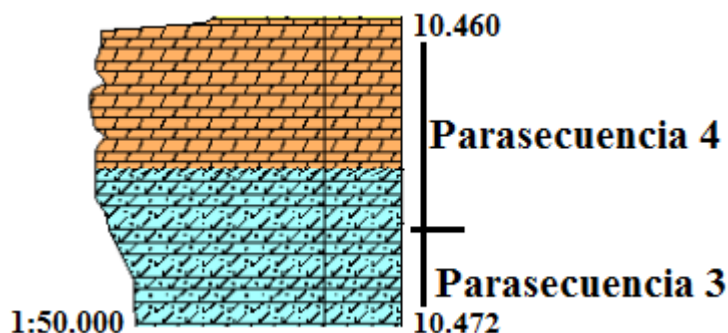


Figura 51. Parasecuencia 3. Presenta una dolomía calcítica aloquímica arenosa. Parasecuencia 4. Presenta en la base una dolomía aloquímica arenosa y hacia el tope un carbonato cristalino de dolomita

Parasecuencia 5

- **Intervalo 10.460' – 10.451':** Dolomía Aloquímica Arenosa, glauconítica y color Munsell gris claro verdoso 7/1, muy compacta con estratificación tipo flaser, nódulos de calcita de 1 a 2cm de diámetro, brechas que aumentan su tamaño hacia el tope y están rellenas de material lodoso y calcita. Hay presencia de huellas fósiles de *Thalassinoides* junto a un proceso de *Glossifungite*. Se observan microfallas en la base del intervalo y hacia el tope se observa mayor presencia de fósiles (30% aproximadamente) que están muy mal preservados así como pelecípodos de 1 a 2cm y mucha porosidad tipo “vug”. En 10.451' se observa una dolomía calcítica Arenosa Aloquímica con muchas cavidades tipo “vug” y con muy poca reacción al HCL (figura 52). En general es un intervalo muy heterogéneo y está en contacto abrupto con:
- **Intervalo 10.451' – 10.446'8'':** Dolomía Aloquímica Arenosa color Munsell gris azulado 5/1 muy porosa (presenta cavidades tipo “vug” de 2 a 3cm de diámetro) hacia la base, con nódulos de 1cm de diámetro aproximadamente rellenos de calcita y cuarzo. En el tope se observa un 10% aproximadamente

de fósiles re TRABAJADOS, brechas rellenas de lutitas y materia orgánica y estructuras tipo geoda en contacto con una Lutita bioturbada color Munsell gris 5/0, muy heterogénea con fracturas y estratificación lenticular, se puede observar también la presencia de huellas fósiles de *Thalassinoides*, *Paleophycus* y *Chondrites* y alto contenido de azufre. Es un intervalo muy heterogéneo que se encuentra en contacto neto con:

Parasecuencia 6

- **Intervalo 10.446'8'' – 10.442'6''**: Dolomía calcítica Aloquímica Arenosa color Munsell blanco grisáceo 7/0 con nódulos de calcita de 1 a 3 cm, glauconitizada y piritizada con granos de piritita de 2mm aproximadamente acumulados hacia la base del intervalo. Alta reacción al HCL, presencia de estilolitas y fracturas rellenas de calcita, con azufre y óxido de minerales ferruginosos pero en general es un intervalo muy heterogéneo y compacto (figura 52). En contacto abrupto con:
- **Intervalo 10.442'6'' – 10.438'8''**: Arenisca Dolocalcítica Aloquímica, glauconítica calcárea muy friable de grano medio color Munsell gris claro verdoso 7/1, muy porosa con alta reacción al HCL y alto contenido de azufre. Hacia el tope se hace menos glauconítica y menos compacta, y presenta grandes fracturas rellenas de calcita pero en general es muy heterogénea. En contacto abrupto con:



Figura 52. Dolomía Aloquímica Arenosa (10462' huellas de *Thalassinoides* en la base), Dolomía Aloquímica Arenosa (10451' cavidades tipo “vug” de 2 a 3cm), Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa (10446'8'' altos niveles de fosfatización hacia la base).

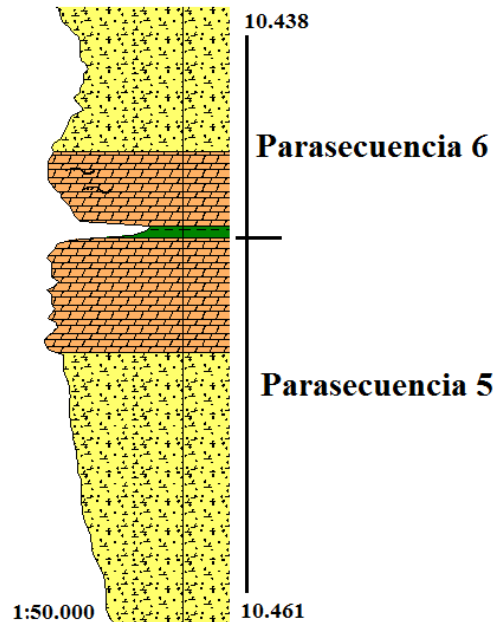


Figura 53. Parasecuencia 5, en la base se presenta una arenisca dolomítica aloquímica con abundante glauconita y hacia el tope un carbonato cristalino de dolomita. Parasecuencia 6, en la base se presenta una pequeña capa de lutita seguida por un carbonato cristalino de dolomita y hacia el tope una arenisca dolocalcítica aloquímica.

Parasecuencia 7

- **Intervalo 10.438'8'' – 10.433'4''**: Arenisca dolocalcítica aloquímica de grano medio color Munsell gris claro verdoso 7/1 con presencia de pelecípodos muy bien preservados de 3cm aproximadamente (5%) concentrados hacia la base el intervalo. En todo el intervalo se observan grandes fracturas de más de 10cm de longitud y 1cm de espesor que están rellenas de calcita. Tiene alta presencia de brechas y glauconita así como de nódulos de calcita, con porosidad tipo vug y por disolución. Se presentan brechas de material lutítico lo que la hace muy heterogénea pero compacta. En contacto abrupto con:

Parasecuencia 8

- **Intervalo 10.433'4'' – 10.424'2''**: Caliza Dolomítica Aloquímica Arenosa color Munsell blanco grisáceo 7/0 hacia la base y gris claro azulado 7/1 hacia el tope. Con estilolitas, fracturas rellenas de material lutítico y nódulos rellenos de calcita de 2 a 3cm hacia la base. Hacia el tope hay presencia de huella fósil de *Thalassinoides* de 1 a 2cm de diámetro junto a un proceso de *Glossifungite*, así como alta reacción al HCL y fracturas rellenas de calcita. También se observaron fósiles retrabajados y pelecípodos de no más de 1cm. Es un intervalo heterogéneo hacia la base y homogéneo hacia el tope. En contacto neto con:
- **Intervalo 10.424'1'' – 10.420'**: Caliza Dolomítica Arenosa color Munsell gris azulado 5/1 con presencia de huella fósil de *Thalassinoides* de 2 a 3cm, concentrados en el tope del intervalo con láminas de lutitas, fracturas rellenas de calcita, fósiles retrabajados y pequeños nódulos de calcita (de no más de 1cm de diámetro).

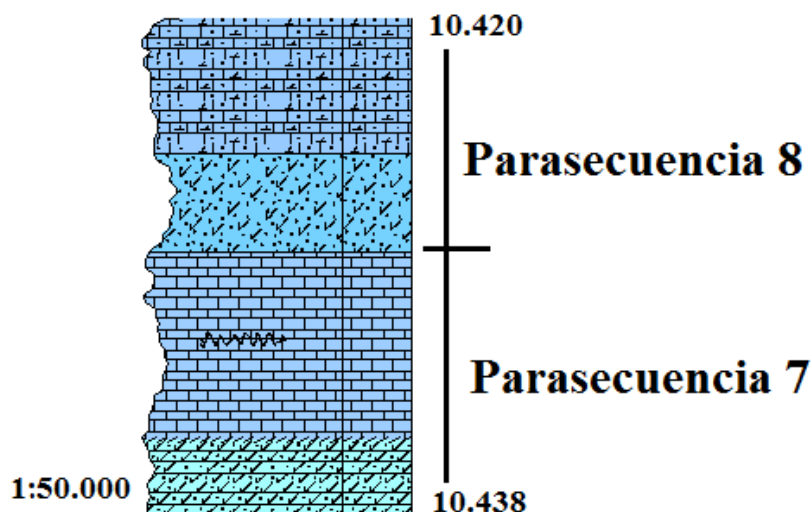


Figura 54. Parasecuencia 7, en la base una dolomía calcítica aloquímica arenosa seguida por un carbonato cristalino de calcita. Parasecuencia 8, en la base se presenta una arenisca calcidolomítica aloquímica seguida por una caliza dolomítica arenosa.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados obtenidos del análisis realizado de las muestras tomadas en los núcleos de cada pozo.

6.1 Elaboración de columnas estratigráficas

A partir de la descripción sedimentológica de los núcleos de los pozos analizados se elaboraron cuatro columnas estratigráficas (SMW-31X, SMW-28, SMW-23 y SMW-13). Estas columnas inicialmente se hicieron en una hoja sedimentológica posteriormente las cuatro columnas fueron transcritas al programa WELLCAD, versión 4.3 build 316, creado por Advanced Logic Technology. (Ver anexo columnas estratigráficas).

6.2 Análisis petrográfico de microfacies

Para el análisis petrográfico se seleccionaron 106 secciones finas. Para el pozo SMW-31X un total de 33 muestras, para el pozo SMW-28 un total de 32 muestras, para el pozo SMW-23 un total de 19 muestras y para el pozo SMW-13 un total de 22 muestras. Se analizaron en estas muestras los componentes extraclásticos (cuarzo, feldespatos y minerales accesorios) los componentes ortoquímicos entre los que se encuentra la micrita o matriz y el cemento (calcita, dolomita, siderita y sílice) los minerales autigénicos (glauconita, fosfato y pirita) los componentes aloquímicos (fósiles, pellets, peloides, ooides e intraclastos) la porosidad (intergranular, intragranular, moldica, fractura y disolución). Las muestras fueron teñidas de alizarina roja y ferricianuro de potasio para poder diferenciar la calcita de la dolomita y su contenido de Fe.

Por medio de este análisis se identificaron los diferentes tipos de carbonatos, aquellos en sentido estricto, carbonatos con influencia siliciclásticas y aquellos que no poseen ningún tipo de textura reconocible (carbonatos cristalinos) es decir, están compuestos de cristales de calcita y dolomita producto de un intenso proceso de

recristalización; posteriormente fueron clasificados por Dunham (1962). También se identificaron carbonatos de mezcla, los cuales se clasificaron por Mount (1985) modificado por Aquino, R (com. per.), esta modificación además de tomar en cuenta los extraclastos y los aloquímicos, toma en cuenta la presencia de dolomita (Ver tabla 1). De esta manera se determinaron las facies y microfacies de los intervalos analizados.

6.2.1 Descripción petrográfica de microfacies

Microfacies de rocas sedimentarias clásticas (Arenitas), clasificadas según Pettijohn, 1973

- **Arcosas:** Se situó dentro de este tipo en el núcleo del pozo SMW-31X dos muestras ubicadas a las profundidades de 10.135'3'' y 10.158'6'', cuya principal característica es la ausencia de componentes carbonáticos. Por otra parte ambas muestras presentan más del 70% de componentes detríticos entre los cuales se encuentran en orden decreciente cuarzo, feldespato, fragmento de rocas y un bajo porcentaje de matriz de minerales de arcilla que no excede del 7% entre ambas muestras. Hay una escasa presencia de matriz de materia orgánica y ausencia presente de cemento. En general las muestras tienen una porosidad media (de 10% a 15% de poros).
- **Subarcosas:** Se clasifican como subarcosas a las muestras del pozo SMW-31X, que se encuentran ubicadas en las profundidades de 10170'8'' y 10183'. La principal característica de ésta facies es la elevada composición en material detrítico, donde predomina el cuarzo como componente principal, junto con granos de feldespato y en muy escasa cantidad los fragmentos de rocas de tipo chert. Se observó también la presencia de cemento y matriz de sílice, con un total de 15% en porosidad en cada una de las muestras.

Clasificados según Dunham, 1962 de microfacies de carbonatos puros o casi puros:

- **Packstone de Pelecípodos:** Se identificó en el pozo SMW-31X en las profundidades 10.059'10'', 10.060'8'', 10.083'2'' y 10.086' donde se presenta poco material extraclástico (entre 2% y 5%). Los componentes aloquímicos se presentan en mayor cantidad (25% y 50% aproximadamente) entre los cuales se encuentran pelecípodos, gasterópodos, foraminíferos y granos carbonáticos tipo pellets de origen fecal, además de ooides y algas. La muestra 10.060'8'' contiene también fragmentos de moluscos muy ligeramente preservados, mientras que en 10.086' se observaron fragmentos de equinodermos. Estos fósiles se encuentran rellenos de calcita y aragonito, embebidos además en una matriz micrítica que representa el 30% en la muestra. Entre la matriz también se encuentra presente materia orgánica. Algunas muestras presentan cemento tipo espato y microespato en pequeñas cantidades (15% aproximadamente). Las muestras 10.059'10'' y 10.083'2'' presentan dolomita barroca. En el pozo SMW-28 se encuentra en las profundidades 10.471'8'', 10.474', 10.474'3'' y 10.478'. entre los componente aloquímicos presentes se tienen pelecípodos, braquiopodos, gasterópodos, foraminíferos, algas y pellets. Los pellets se encuentran glauconitizados y piritizados. Estos fósiles se encuentran embebidos en una matriz micrítica de aproximadamente 30%. Las muestras 10.471'8'' y 10.474'3'' presentan dolomita barroca.
- **Mudstone:** Tres muestras del pozo SMW-31X se clasificaron con este nombre, correspondientes a las profundidades 10.053'6'', 10.054'8'' y 10.057'11'', las cuales están compuestas de pocos aloquímicos en los que se destacan foraminíferos y pellets, los cuales se encuentran glauconitizados. Estos fósiles se encuentran embebido en una matriz micrítica (30 y 45% aproximadamente). El cemento presente en las muestras es de tipo espato. Se tiene un 5% de componente extraclástico, en los que se encuentran el cuarzo de mayor abundancia. Seguido por feldespatos y traza de circón o muscovita.

- **Carbonato cristalino de dolomita:** Nueve muestras se clasificaron con este nombre entre el pozo SMW-28 y SMW-13. En el pozo SMW-28 corresponde a las profundidades 10.445', 10445'9'' y 10448'7'', las cuales contienen poco material extraclástico, que alcanzan hasta un 5%. Lo más predominante es el contenido ortoquímico, constituido por un cemento dolomítico de hasta un 70% y una matriz micrítica y de materia orgánica de hasta 20%. En el pozo SMW-13 corresponde a las profundidades 10.444', 10.446'8'', 10.448'9'', 10.449'10'' y 10.463'6'' el porcentaje de extraclástico es de 10% aproximadamente. El cemento presente en las muestras es de cristales subhedrales de dolomita (hasta aproximadamente un 80%), la dolomita presente es una dolomita que presenta impurezas y en algunos casos una dolomita con bordes redondeados (barroca).
- **Carbonato cristalino de calcita:** Se encuentra en los pozo SMW-23 y SMW-13. En el pozo SMW-23 se presenta en las profundidades 10.450'10'' y 10.451'10'' las cuales contienen poca cantidad de material detrítico, 15% aproximadamente de granos de cuarzo y feldespato. El compuesto ortoquímico está caracterizado por un alto porcentaje de cemento de calcita y hasta un 15% de fragmentos de aloquímicos. En el pozo SMW-13 se presenta en las profundidades 10.428', 10429'8'' y 10.432'7'', donde contiene poca cantidad de material detrítico entre 15% hasta un 0%. El material ortoquímico representa la mayor cantidad de material en la muestra desde un 70% a un 83%. Presenta hasta un 10% de material aloquímico de fragmentos de pelecípodos.

Clasificadas según Mount (1985) modificada por Aquino, R, (2015, op. cit) de B. microfacies de carbonatos de mezcla:

- **Arenisca Calcidolomítica Aloquímica:** Se identificó en los pozos SMW-28 en la profundidad 10.466' y en el SMW-13 a la profundidad 10.426'6''. Presentan un alto contenido de material detrítico de 45% y 60% entre los que se encuentra cuarzo, feldespato y algunas traza de muscovita. Presenta un 40% y 29% de componentes ortoquímicos en el que predomina la calcita, además presentan dolomita barroca aproximadamente en un 10%. Entre los componentes aloquímicos se observan fragmentos posiblemente de algas, pellets y pelecípodos que fueron disueltos y reemplazados por glauconita y posteriormente por fosfato.
- **Arenisca Dolocalcítica Aloquímica:** La muestra del pozo SMW-28 en la profundidad 10.498' se clasificó con este nombre, en la que predominan los componentes detríticos 35% de cuarzo, feldespato y traza de muscovita. Entre los componentes ortoquímicos se presenta en mayor cantidad la dolomita y dolomita barroca. Los componentes aloquímicos están caracterizados por pellets y foraminíferos. La muestra se encuentra levemente impregnada de hidrocarburo.
- **Arenisca Dolomítica:** Se observa en el pozo SMW-31X en la profundidad 10.041', fue nombrada de esa forma por la carencia de aloquímicos, porque presenta un alto contenido de material detrítico (60% aproximadamente), componentes ortoquímicos y un 15% de cemento dolomítico, además de dolomía barroca.
- **Arenisca Dolomítica Aloquímica:** Se identificó en los pozos SMW-31X en las profundidades 10.091', 10.092'6'', 10.114', 10.124' y 10.148'10'' presenta un alto contenido de material detrítico, cemento de dolomita (25%), los aloquímicos se encuentran reemplazados primero por glauconita y posteriormente algunos se encuentran reemplazados por fosfato y pirita, estas muestras están altamente glauconitizada. En el pozo SMW-28 a la

profundidad 10.506'9'' el contenido de cemento de dolomita es de 10% mientras que el de la matriz es de 30% compuesto por materia orgánica. Está levemente impregnada de hidrocarburo. En el pozo SMW-23 en las profundidades 10.441'3'', 10.451', 10.457'5'', 10.475', 10.480' y 10.485'3'' el cemento característico es de dolomita de 5 a 20%, la muestra 10.485'3'' se encuentra levemente impregnada de hidrocarburo, mientras que la muestra 10.457'5'' tiene un alto contenido de glauconita como cemento reemplazando a la dolomita, los aloquímicos presentes están reemplazados por glauconita y en el pozo SMW-13 en las profundidades 10.436'10'', 10.438', 10.440'6'', 10.444', 10.455', 10.458'2'', 10.459'7'' y 10.473'6'' la muestra 10.440'6'' tiene un alto contenido de glauconita por reemplazamiento, la muestra 10.473'6'' esta levemente impregnada de hidrocarburo. La mayoría de los componentes aloquímicos se encuentran disueltos y reemplazados por glauconita.

- **Areniscas Dolomíticas Micríticas:** Esta microfacie se identificó en la profundidad 10.437' en el pozo SMW-28, contiene un 20% de cuarzo, 10% de feldespatos y traza de chert y minerales accesorios como circón y muscovita. Como cemento se encontró un 20% de dolomita pobre en hierro (según su teñido color malva), así como un 10% de micrita y un leve contenido de matriz de materia orgánica. No posee componentes aloquímicos y tiene leve impregnación de hidrocarburo.
- **Areniscas Micríticas:** Se clasificaron dentro de esta microfacies las muestras correspondientes a las profundidades 10.067' y 10.072'8'' pertenecientes al pozo SMW-31X. La primera tiene 30% de componentes detríticos donde predomina el contenido de cuarzos y feldespatos, 20% de cemento calcítico y 25% de micrita, sin embargo es una muestra con un contenido apreciable de aloquímicos como foraminíferos, pelecípodos, pellets, algas, fósiles fosfáticos, entre otros. Por otro lado la muestra a la profundidad de 10.072'8'' se caracteriza por tener un gran contenido de matriz micrítica (alrededor del

50%) y un 15% de aloquímicos articulados con estructuras geopetales muy bien preservadas, así como un 15% de cemento de calcita que no tiñe de rojo la muestra lo cual sugiere la presencia de dolomita exenta de hierro.

- **Caliza Aloquímica Arenosa:** Se identificó en el pozo SMW-31X en la profundidad 10.081'. Presenta un alto contenido de cemento de calcita (35%). Entre los componentes aloquímicos se encuentran pelecípodos, gasterópodos, pellets y algas (25% aproximadamente). Los pellets en la muestra se encuentran reemplazados por glauconita y pirita.
- **Caliza Dolomítica Aloquímica Arenosa:** Se identificó en el pozo SMW-23 en las profundidades 10.454'10, 10.456', 10.463'10", 10.466', 10.468'9'', 10.472' y 10.473'7''. Presenta un alto contenido de cemento de calcita que aumenta con la profundidad hasta un 70%. Las muestras 10.472'y 10.473'7'' están levemente impregnadas de hidrocarburo. Los aloquímicos presentes son pelecípodos, pellets y gasterópodos.
- **Caliza Dolomítica Arenosa:** Se identificó en el pozo SMW-13 a la profundidad 10.423'3''. La muestra presenta una estilolita que se encuentra rellena de materia orgánica. El cemento presente es de calcita (40%) y de dolomita (10%).
- **Dolomías Aloquímicas Arenosas:** De todas las secciones finas analizadas, 10 de ellas se clasificaron dentro de este grupo, de las cuales 4 corresponden al pozo SMW-31X (profundidades 10.036', 10.042', 10.046'6 y 10.069') en las que se observó un contenido de componentes extraclásticos que varía entre 12% y 25%, donde predomina el cuarzo, y en orden decreciente se observan feldespatos, escasos fragmentos de roca y traza de muscovita y biotita como minerales accesorios, todos dispuestos dentro de un cemento dolomítico con bajo contenido de micrita y matriz de materia orgánica. En general estas muestras tienen algunos fragmentos de pelecípodos, gasterópodos, algas y pellets.

En el pozo SMW-28 también se encontraron muestras que podían incluirse dentro de ésta facies, entre ellas 10.430'10'', 10.431'4'', 10.461'5'', 10.464'7'', 10.465' y 10.479'4'' que contienen entre 15% y 80% de dolomita con calcita, entre 5% y 20% de cuarzo, entre 10% y 20% de componentes aloquímicos en donde destacan algunos fragmentos de pelecípodos y pellets glauconitizados. En varias de estas muestras se observó de 5% a 10% de micrita, así como de materia orgánica y matriz de óxido de hierro.

- **Dolomías Calcíticas Aloquímicas Arenosas:** En el pozo SMW-31X se encontraron nueve muestras de este tipo ubicadas desde 10.049' a 10.109'5'' pies de profundidad cuya característica principal es la alta presencia de material carbonático donde en la mayoría de los casos el cemento dolomítico predomina sobre el cemento de calcita con un contenido del mismo que oscila entre 35% y 50% con calcita y dolomita pobre en hierro, así como el aumento del porcentaje de micrita a medida que aumenta la profundidad (entre 5% y 15% de dicho material carbonático). Por otro lado se hay alta proporción de pelecípodos y pellets, que se observan mejor preservados a mayor profundidad.

En el pozo SMW-28 se identificaron 12 muestras pertenecientes a esta facies ubicadas entre 10.486' y 10.510' pies de profundidad, cuyas características principales son la presencia del cemento dolomítico cuyos cristales tienen un hábito anhedral y contienen impurezas, la muestra está teñida de rojo lo cual indica que es una calcita exenta de hierro, un contenido leve de micrita, alto contenido aloquímico encabezado por pelecípodos y pellets. En su mayoría las muestras presentan una leve impregnación de hidrocarburo y muy escaso contenido de materia orgánica.

En el pozo SMW-23 se ubicaron 4 muestras que forman parte de ésta facies, las cuales están ubicadas a 10.449'9'', 10.449'3'', 10.447'3'' y 10.446' pies de profundidad y que poseen características importantes como el aumento de cemento dolomítico a medida que aumenta la profundidad, los cristales de

dolomita son puros y muy bien formados, los aloquímicos y fragmentos fósiles van desde 5% hasta 15% en donde predominan los pellets y los foraminíferos y los componentes detríticos van de 10% a 25%. La muestra tiene muy leve de impregnación de hidrocarburo.

En el pozo SMW-13 se localizaron dos muestras pertenecientes a este grupo de carbonatos de mezcla, correspondientes a las profundidades 10.435' y 10.467'4'' con un contenido arenoso que varía entre 20% y 25%. Las muestras presentan un bajo contenido de fósiles (entre 5% y 10%) en los cuales predominan los pelecípodos medianamente retrabajados. Se observó una alta proporción de cemento carbonático (más del 60%) donde los cristales de dolomita tienen un alto grado de impurezas, también se pudo observar que a medida que aumenta la profundidad la calcita es más predominante.

- **Dolomías Calcíticas Arenosas:** Dentro de esta categoría se ubicaron 2 muestras pertenecientes al pozo SMW-23 en las profundidades 10.487' y 10.489', las cuales tienen más del 50% de cemento carbonático, donde los cristales de dolomita tienen cierto grado de impurezas y poca cantidad de calcita. En el caso de 10.487' hay 30% de micrita. Por otro lado tienen muy poco contenido de componentes aloquímicos (foraminíferos y pellets) y no más del 15% de componentes extraclásticos. En el caso de 10.489' la muestra se encuentra levemente impregnada de hidrocarburo.
- **Lodolita Calcidolomítica Aloquímica:** Esta microfacies en particular pudo ubicarse en el pozo SMW-28 a una profundidad de 10.492'2'' con características importantes como el alto nivel de contenido fosfático tanto en minerales autigénicos como posiblemente arrastrados, por encontrarse cerca de la superficie de máxima inundación identificada (MFS) identificada para la secuencia, básicamente esta roca tiene una matriz lutítica con granos de fosfato transportados de otra fuente y el cemento carbonático que la contiene en su mayoría es de calcita pobre en hierro, debido a que la muestra está

teñida de color malva y muy poco cemento de dolomita. La muestra tiene más del 20% de contenido extraclásticos donde predominan cuarzos con extinción ondulatoria y policristalinos, algunos feldespatos y escasos granos de circón y muscovita como minerales accesorios, también se observa 10% de componentes aloquímicos en los que se pueden apreciar fragmentos de pelecípodos, gasterópodos, foraminíferos, algas y bivalvos.

Tabla 2. Tabla de resumen petrográfico de los componentes principales de las areniscas del pozo SMW-31X.

<u>Muestra</u>	<u>% Comp. Detrítico</u>	<u>% Matriz</u>	<u>% Cemento</u>	<u>% Comp. Porosidad</u>	<u>Clasificación Pettijohn, Potter y Siever, (1973)</u>
10.183'6"	50	5	10	35	Subarcosa
10.170'8"	55	10	20	15	Subarcosa
10.158'6"	55	10	10	20	Arcosa
10.135'3"	70	20		10	Arcosa

Tabla 3. Tabla de resumen petrográfico de los componentes principales de los carbonatos del pozo SMW-31X.

Muestra	% Comp. Extraclástico	% Comp. Ortoquímico	% Comp. Aloquímico	% Comp. Porosidad	<u>Clasificación Dunham (1962), Mount (1985) modificada por Aquino, R. (2015)</u>
10.148'10"	40	50	20		Arenisca Dolomítica Aloquímica
10.124'	35	55		10	Arenisca Dolomítica Aloquímica
10.114'	40	35		10	Arenisca Dolomítica Aloquímica
10.109'5"	15	60		25	Dolomía Calcítica Arenosa
10.108'5"	10	55	10	20	Caliza Dolomítica Aloquímica Arenosa
10.107'6"	20	45	5	20	Dolomía Arenosa
10.105'2"	10	55	5	20	Caliza Dolomítica Aloquímica Arenosa
10.103'	34	50	5	10	Dolomía Aloquímica Arenosa
10.100'8"	10	65	15	5	Dolomía Aloquímica Arenosa
10.095'2"	15	60	5	15	Caliza Dolomítica Arenosa
10.091'	40	35		25	Arenisca Dolomítica Aloquímica
10.092'6"	30	23	32	5	Arenisca Dolomítica Aloquímica
10.088'7"	20	50	20		Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.086'	5	35	50	5	Packstone de Pelecípodo
10.083'2"	5	30	55	5	Packstone de Pelecípodo
10.081'	15	50	25	5	Caliza Aloquímica Arenosa
10.072'8"	30	75	15	5	Arenisca Micritica
10.069'	20	50	25		Dolomía Aloquímica Arenosa
10.067'	30	55	10	5	Arenisca Micritica
10.060'8"	3	50	40	5	Packstone de Pelecípodo
10.059'10"	2	70	25	2	Dolomía Calcítica Aloquímica Lodosa
10.057'11"	5	85		5	Mudstone
10.053'6"	5	92	Tz	1	Mudstone
10.054'8"	5	90	1	1	Mudstone
10.049'	10	65	10	5	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.046'6"	12	80		3	Caliza Dolomítica Arenosa
10.042'	25	35	10	25	Dolomía Aloquímica Arenosa
10.041'	60	20		20	Arenisca Dolomítica
10.036'	15	50	15	5	Dolomía Aloquímica Arenosa

Tabla 4. Tabla de resumen petrográfico de los componentes principales de los carbonatos del pozo SMW-28.

<u>Muestra</u>	<u>% Comp. Extraclástico</u>	<u>% Comp. Ortoquímico</u>	<u>% Comp. Aloquímico</u>	<u>% Comp. Porosidad</u>	<u>Clasificación Dunham (1962), Mount (1985) modificada por Aquino, R. (2015)</u>
10.510'	20	50	10	20	Dolomía Aloquímica Arenosa
10.508'	20	55		5	Dolomía Calcítica Arenosa
10.507'7"	25	50	5	5	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.506'9"	40	40	10	10	Arenisca Dolomítica Aloquímica
10.503'9"	30	40	2	15	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.498'	35	45	15	5	Arenisca Dolocalcítica Aloquímica
10.496'8"	10	55	10	15	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.496'7"	20	50	10	20	Dolomía Aloquímica Arenosa
10.496'	20	60	5	10	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.495'	25	60	10	10	Dolomía Aloquímica Arenosa
10.492'4"	10	45	20	20	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.490'	45	30	25	Tz	Arenisca Dolomítica Aloquímica
10.487'	15	50	25	10	Dolomía Aloquímica Arenosa
10.486'3"	20	45	10	15	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.486'	40	45	5	10	Arenisca Dolocalcítica Aloquímica
10.479'4"	15	45	15	20	Dolomía Aloquímica Arenosa
10.478'	3	20	67	10	Packstone de Pelecípodo
10.474'3"	5	45	35	5	Packstone de Pelecípodo
10.474'	5	40	45	10	Dolomía Calcítica Lodosa
10.471'8"	5	50	40	5	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.466'	45	40	5	10	Arenisca Calcidolomítica Aloquímica
10.465'	30	50	5	10	Caliza Dolomítica Arenosa
10.464'7"	25	40	10	15	Dolomía Aloquímica Arenosa
10.461'5"	20	60	10	20	Dolomía Aloquímica Arenosa
10.448'9"	1	90	2	2	Dolomía Aloquímica Lodosa
10.448'7''	5	55	30	10	Carbonato Cristalino de Dolomita
10.445'9''	5	55	30	5	Carbonato Cristalino de Dolomita
10.445'	5	60	20	15	Carbonato Cristalino de Dolomita
10.437'	30	45		25	Arenisca Dolomítica Micritica
10.431'4"	1	82	10	5	Dolomía Aloquímica Arenosa
10.430'10"		65	20	15	Dolomía Aloquímica Lodosa
10.429'2"	20	30	10	1	Lodolita Fosfática

Tabla 5. Tabla de resumen petrográfico de los componentes principales de los carbonatos del pozo SMW-23

Muestra	% Comp. Extraclástico	% Comp. Ortoquímico	% Comp. Aloquímico	% Comp. Porosidad	Clasificación Dunham (1962), Mount (1985) modificada por Aquino, R. (2015)
10.489'	15	70	5	10	Dolomía Calcítica Alquímica Arenosa
10.487'	10	85		5	Dolomía Calcítica Arenosa
10.485'3"	45	30	20	15	Arenisca Dolocalcítica Aloquímica
10.480'	35	30	10	25	Arenisca Dolocalcítica Aloquímica
10.475'	40	20	10	25	Arenisca Dolocalcítica Aloquímica
10.473'7"	5	80	10	5	Caliza Dolomítica Alquímica Arenosa
10.472'	10	80	5		Caliza Dolomítica Alquímica Arenosa
10.468'9"	5	70	20	5	Caliza Dolomítica Alquímica Arenosa
10.466'	30	30	15	25	Caliza Dolomítica Alquímica Arenosa
10.463'10"	25	45	10	20	Caliza Dolomítica Alquímica Arenosa
10.457'5"	40	25	10	25	Arenisca Dolomítica Aloquímica
10.456'	20	40	15	25	Caliza Dolomítica Alquímica Arenosa
10.454'10"	15	45	20	20	Caliza Dolomítica Alquímica Arenosa
10.451'10"	15	60	10	15	Carbonato Cristalino de Calcita
10.450'10"	15	60	15	10	Carbonato Cristalino de Calcita
10.449'9"	15	50	15	20	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.449'3"	25	30	20	25	Arenisca Dolomítica Aloquímica
10.447'3"	15	50	10	25	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.446'	20	45	15	20	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa

Tabla 6. Tabla de resumen petrográfico de los componentes principales de los carbonatos del pozo SMW-13

<u>Muestra</u>	<u>% Comp. Extraclástico</u>	<u>% Comp. Ortoquímico</u>	<u>% Comp. Aloquímico</u>	<u>% Comp. Porosidad</u>	<u>Clasificación Dunham (1962), Mount (1985) modificada por Aquino, R. (2015)</u>
10.473'6"	50	35	5	10	Arenisca Dolomítica Aloquímica
10.467'4"	20	35	5	5	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.463'6"	5	85	1	4	Carbonato Cristalino de Dolomita
10.459'7"	50	40	5	5	Arenisca Dolocalcítica Aloquímica
10.458'2"	40	35	5	20	Arenisca Dolocalcítica Aloquímica
10.455'	40	45		15	Arenisca dolomítica
10.454	35	20	20	25	Arenisca Dolocalcítica Aloquímica
10.451'	30	50	5	5	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.449'10"	10	75		5	Carbonato Cristalino de Dolomita
10.448'9"	15	50	5	10	Carbonato Cristalino de Dolomita
10.446'8"	30	55	5	5	Carbonato Cristalino de Dolomita
10.444'	10	80	4	1	Carbonato Cristalino de Dolomita
10.441'3"	40	40	15	5	Arenisca dolocalcítica Aloquímica
10.440'6"	45	35	15	5	Arenisca Dolocalcítica Aloquímica
10.438'	45	35	5	15	Arenisca Dolocalcítica Aloquímica
10.436'10"	40	40	5	15	Arenisca Dolocalcítica Aloquímica
10.435'	25	60	10	10	Dolomía Calcítica Aloquímica Arenosa
10.432'7"	15	70	5	5	Carbonato Cristalino de Calcita
10.429'8"	1	93	5	1	Carbonato Cristalino de Calcita
10.428'	Tz	80	10	5	Carbonato Cristalino de Calcita
10.426'6"	60	29	5	1	Arenisca Calcidolomítica Aloquímica
10.423'3"	30	54	5	1	Caliza Dolomítica Arenosa

5.1.3 Clasificación de Microfacies de las Petrografías de los cuatro pozos estudiados

Se presentan los resultados de las microfacies antes expuestas en fotografías realizadas en el microscopio petrográfico con los nicols cruzados y paralelos.

Pozo SMW-31

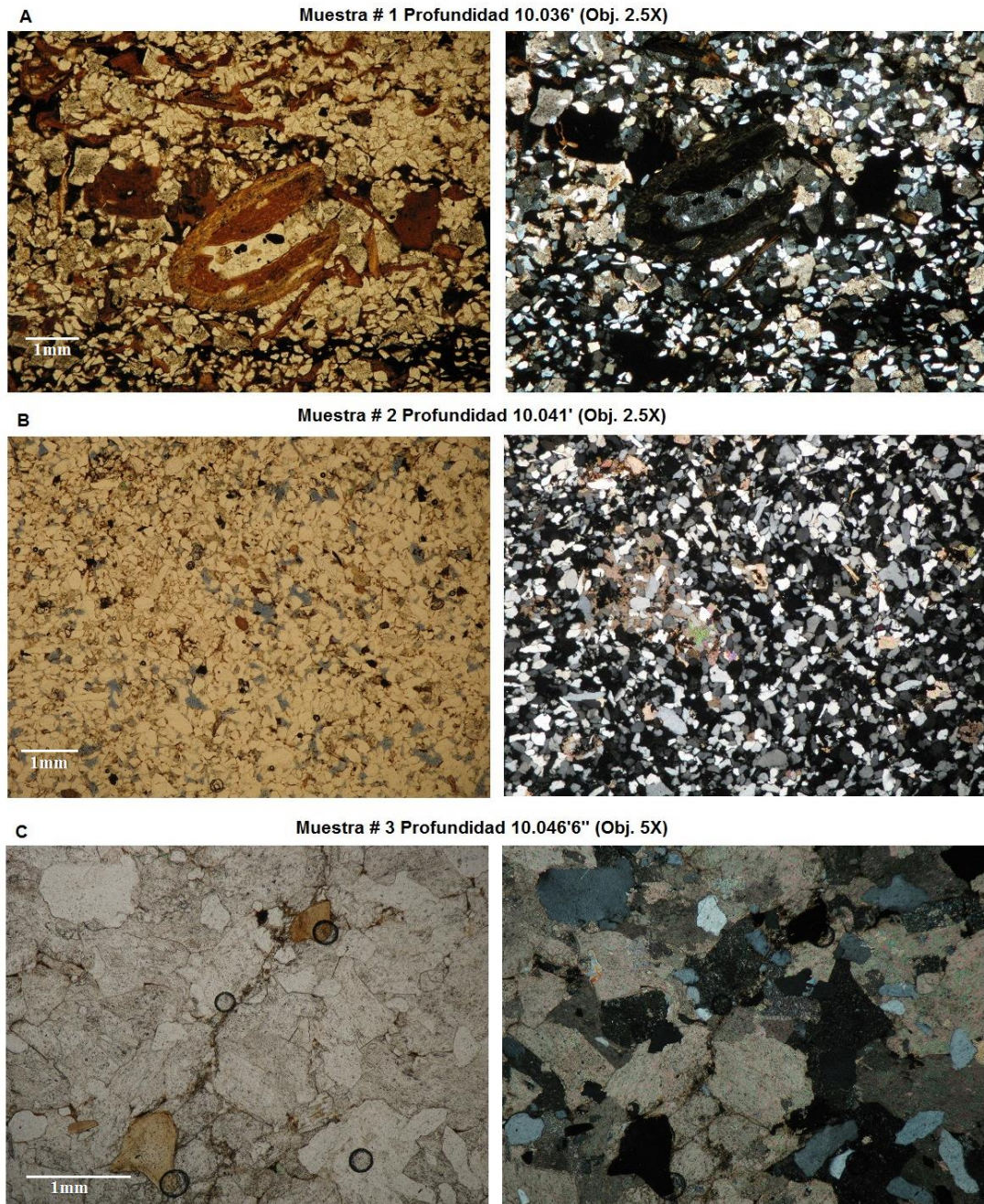


Figura 55. A: Dolomía aloquímica arenosa, se observan restos fósiles fosfatizados B: Arenisca dolomítica, se observa el alto contenido extraclástico C: Caliza dolomítica arenosa, fragmentos de fósiles fosfatizados además del poco contenido de material detrítico.

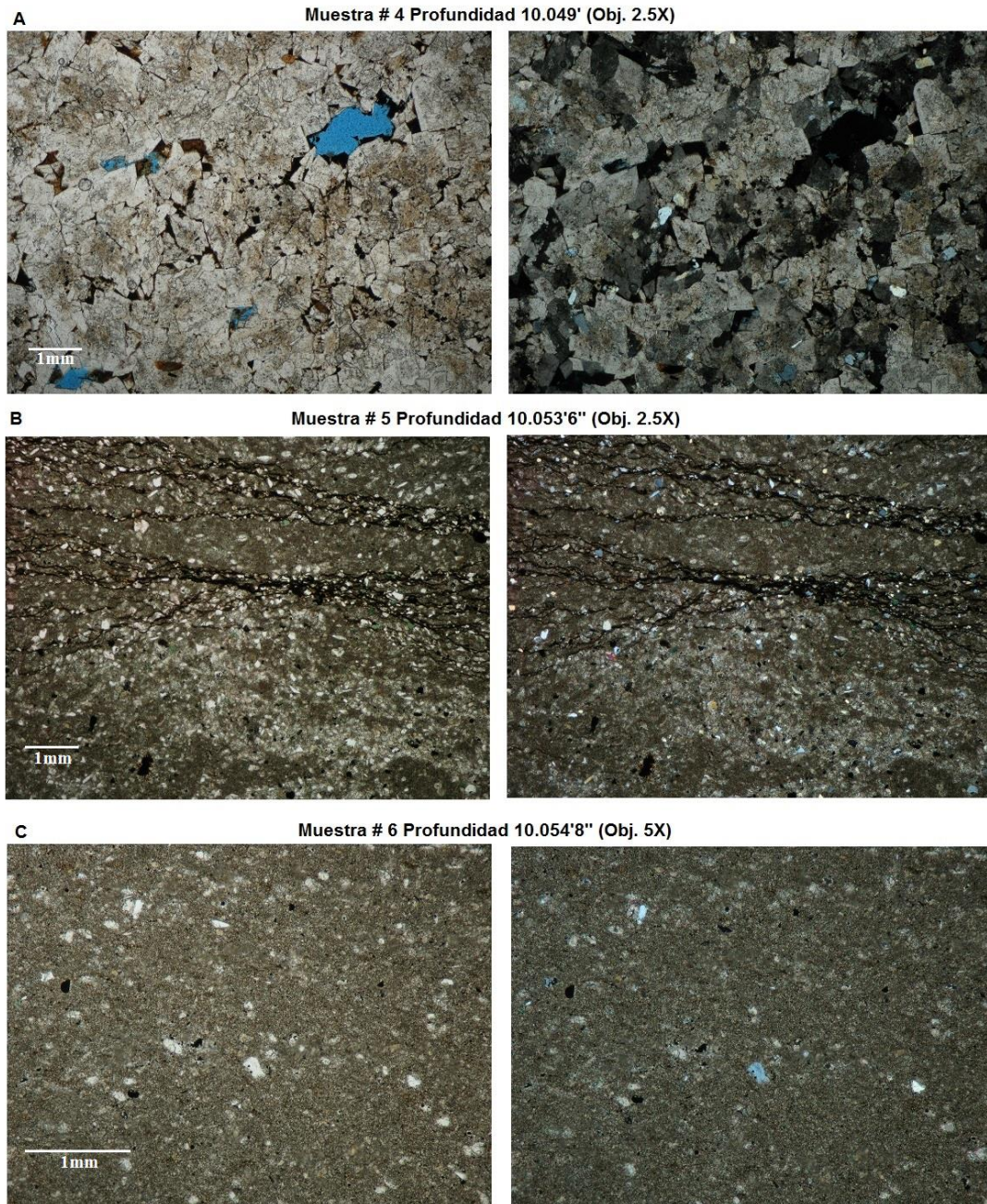


Figura 56. A: Dolomía calcítica aloquímica arenosa, se observa la disolución del cemento, además de la dolomitización en la muestra evidenciada por el color marrón en las dolomita B: Mudstone, se observan una serie de estilolitas C: Mudstone, muestra cemento microespato disperso a lo largo de la sección.

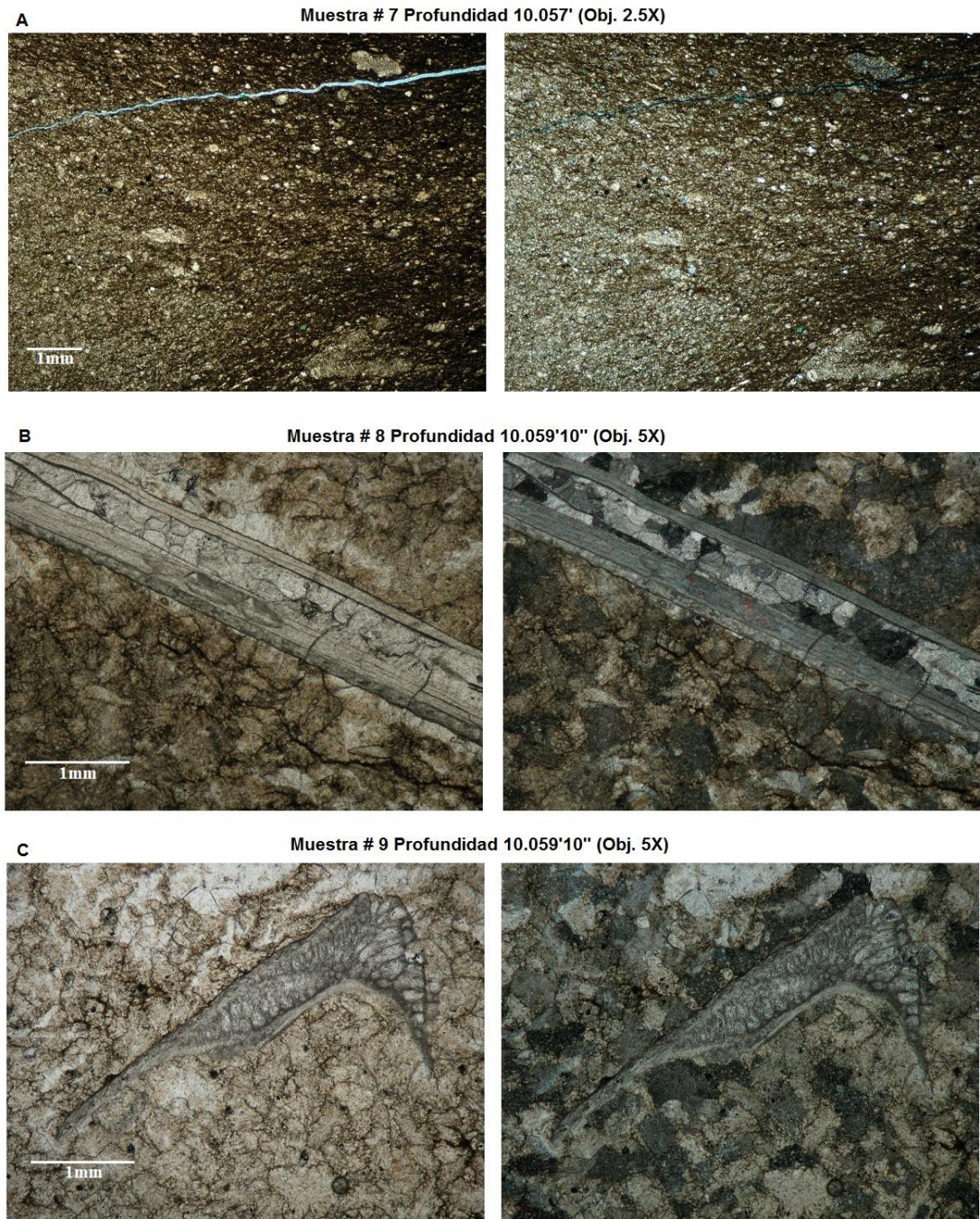


Figura 57. A: Mudstone B: Dolomía calcítica aloquímica lodosa, se observa un fragmento de Bivalvo el cual está cambiando a calcita por un proceso llamado neomorfismo C: Dolomía calcítica aloquímica lodosa, se observa un fragmento de Bryozoario.

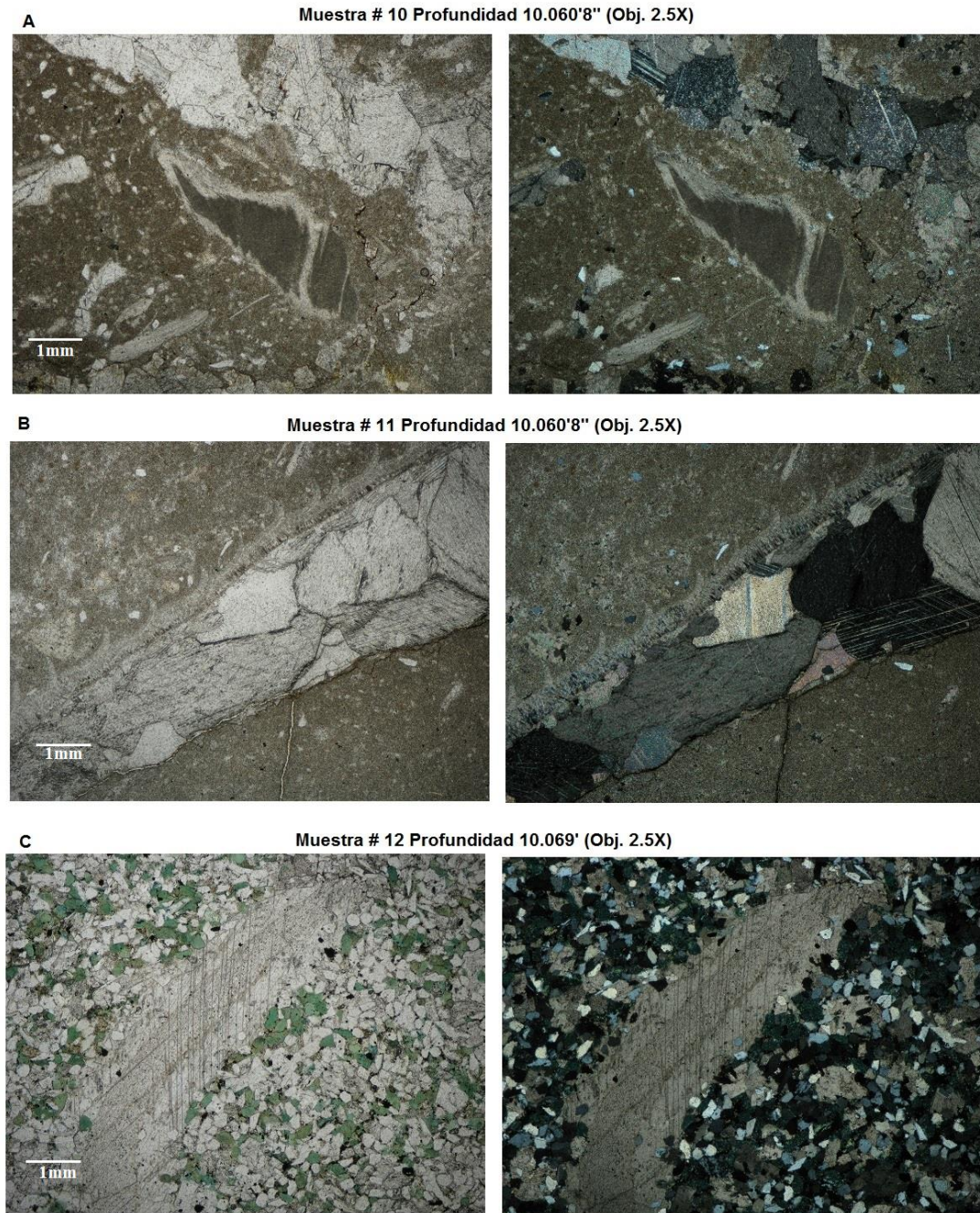


Figura 58. A: Packstone de pelecípodos, se observó micrita en forma de envoltorio. B: Packstone de pelecípodos, se observa el neomorfismo de inversión heteroaxial C: Dolomía aloquímica arenosa se observa el contenido de glauconita en la muestra.

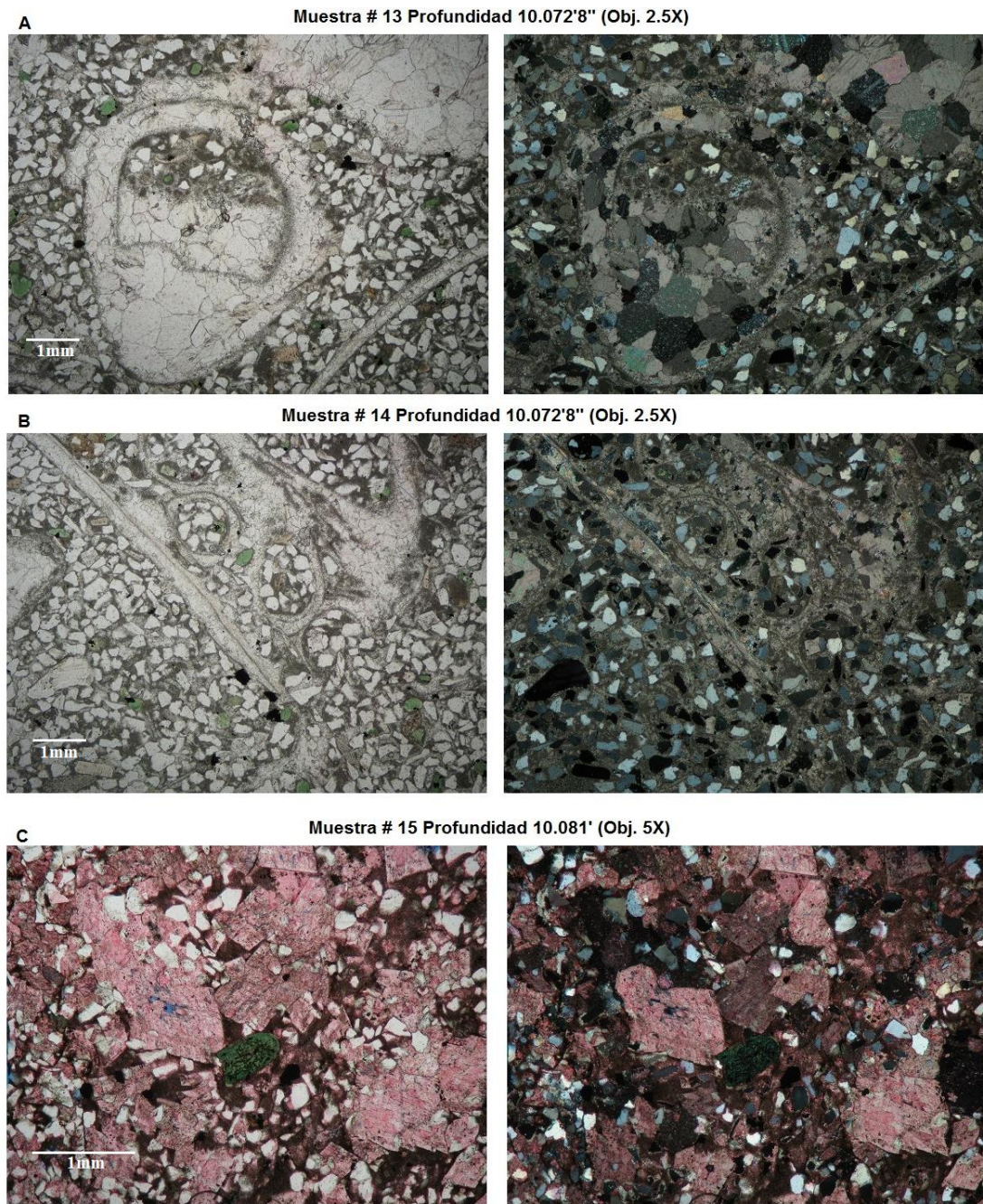


Figura 59. A: Arenisca micrítica, se observó una estructura Geopetal en Gasterópodo, reemplazada de calcita B: Arenisca micrítica, fragmentos de gasterópodos reemplazados por calcita C: Caliza aloquímica arenosa se observan pellets reemplazados por glauconita.

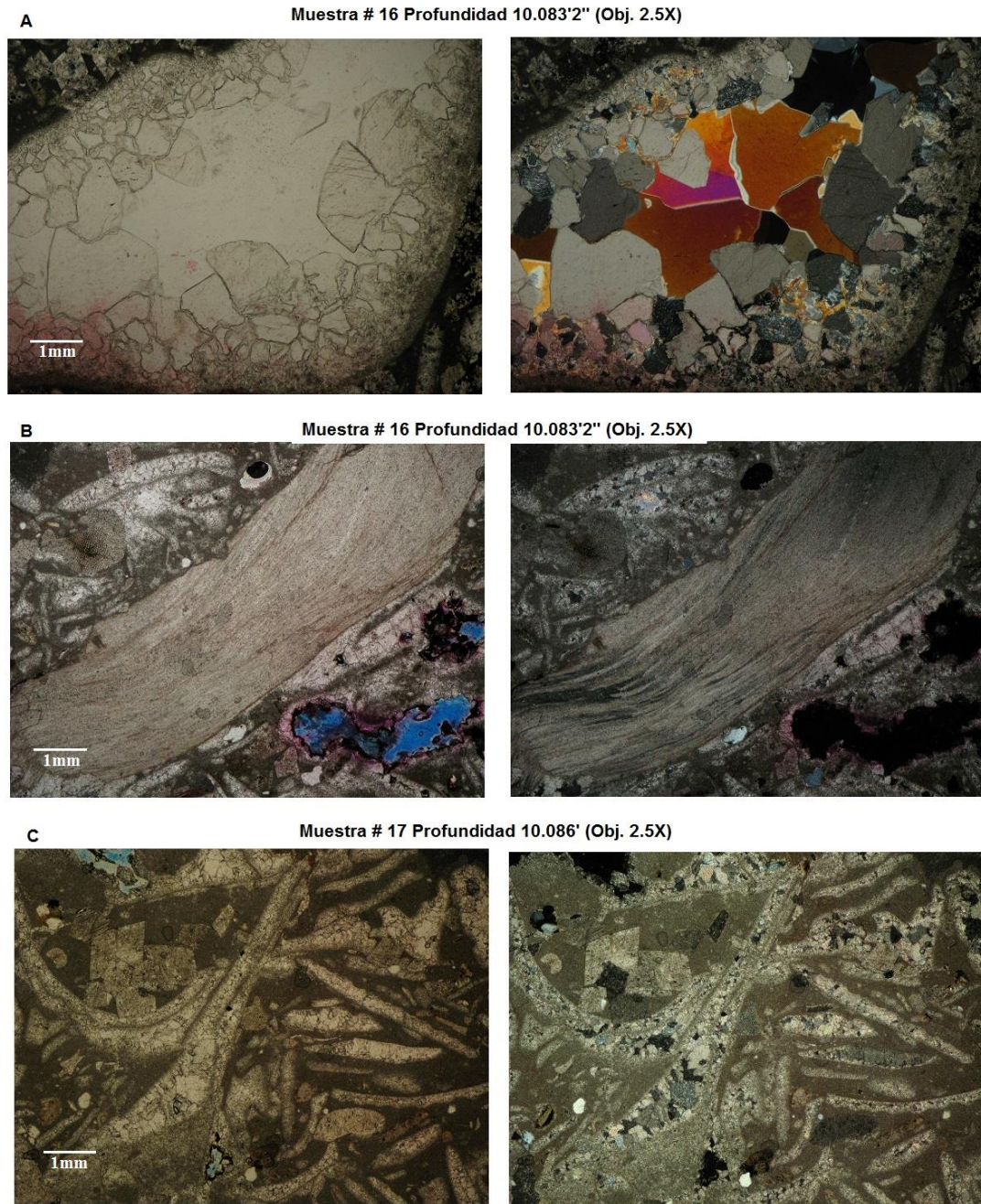


Figura 60. A: Packstone de pelecípodos, Pelecípodo reemplazado por calcita y anhidrita B: Packstone de pelecípodos, se observa un fragmento de molusco reemplazado con aragonito C: Packstone de pelecípodos, fragmentos fósiles reemplazados por calcita.

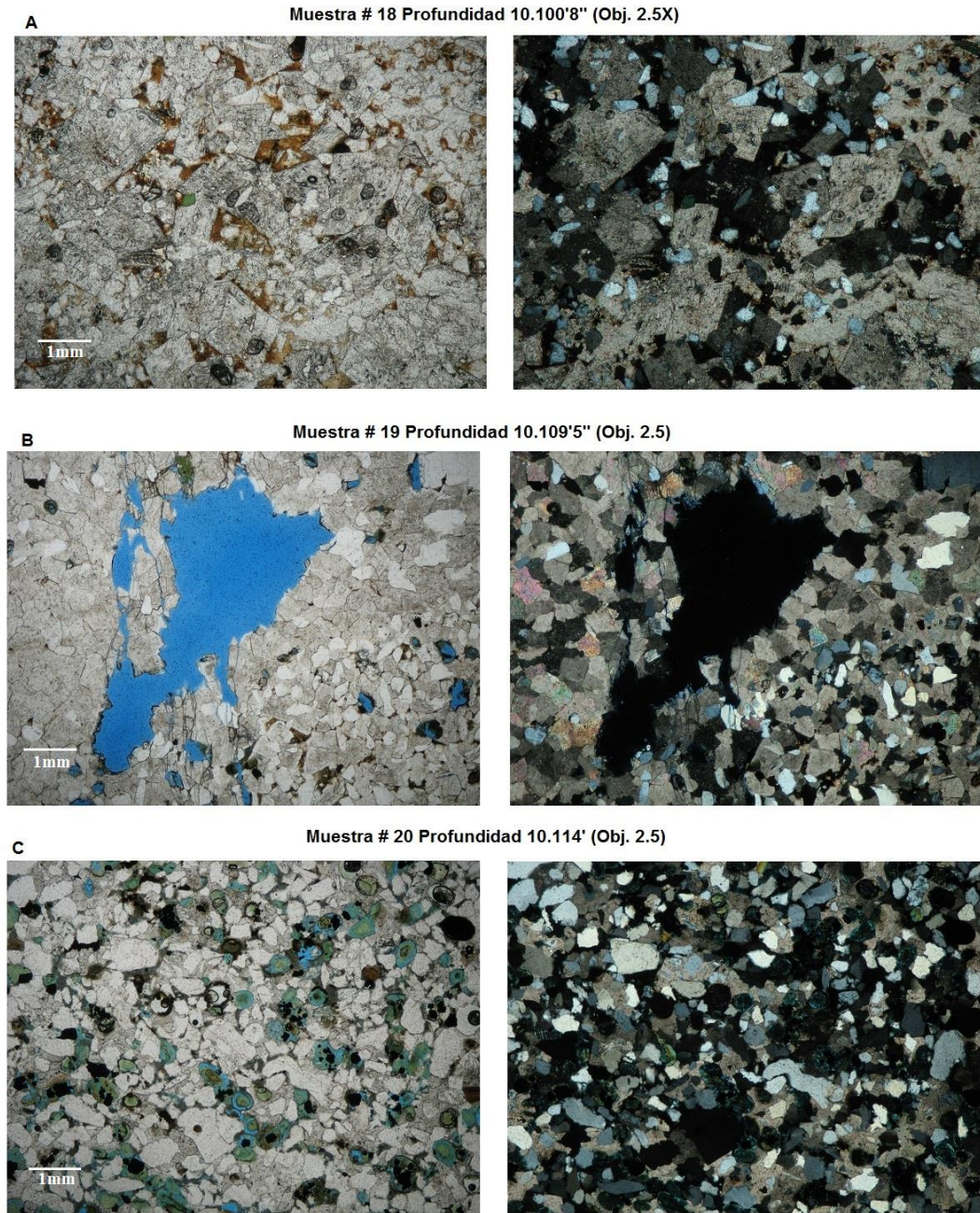


Figura 61. A: Dolomía aloquímica arenosa, bajo contenido de siliciclástico B: Dolomía calcítica arenosa se observa la disolución del cemento C: Arenisca dolomítica aloquímica, se observan pellets reemplazados por glauconita.

Pozo SMW-28

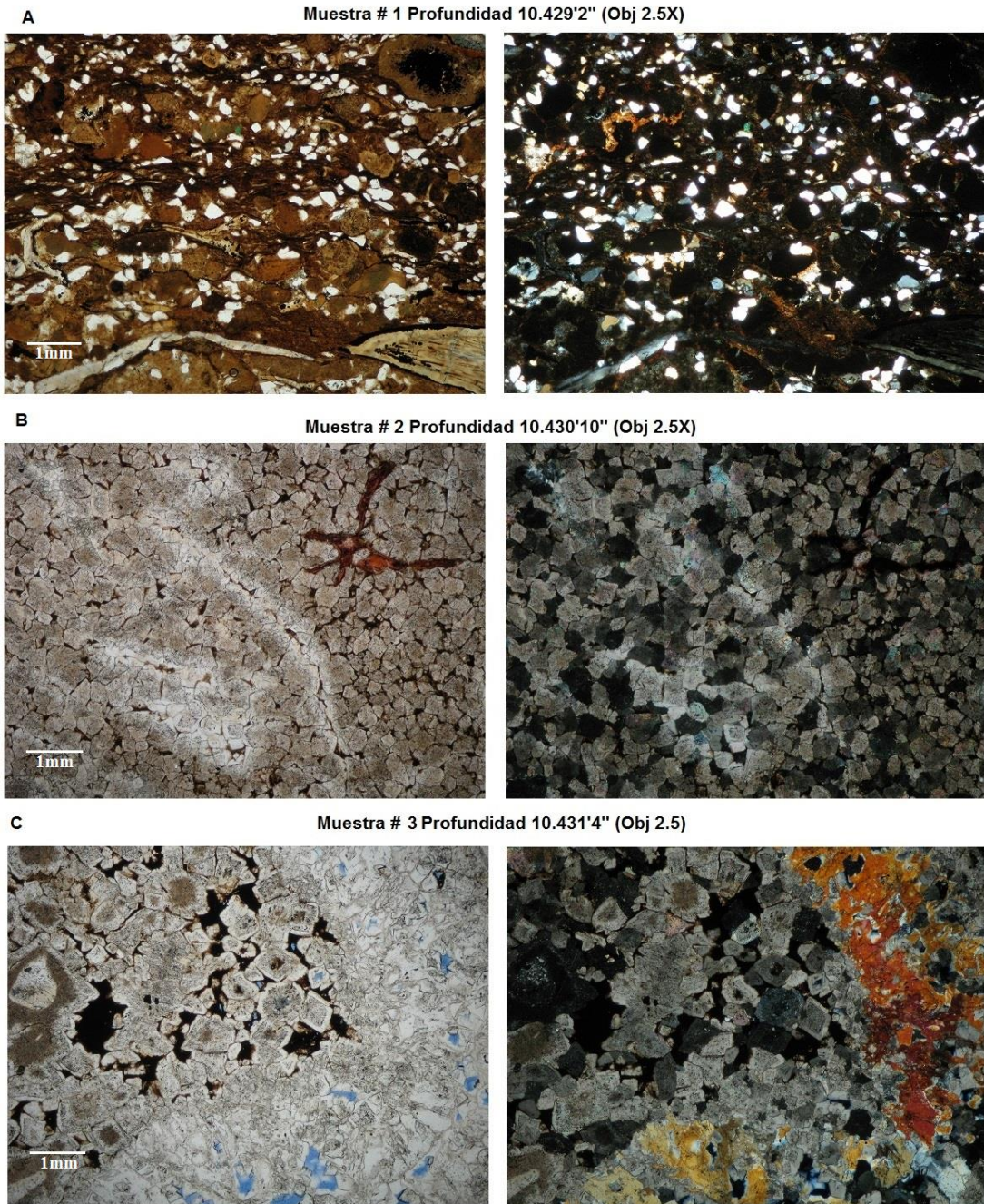


Figura 62. A: Lodolita fosfática, con fragmentos fósiles fosfatizados B: Dolomía aloquímica lodosa, con fósiles disueltos y fragmento fósil fosfatizado C: Dolomía aloquímica arenosa con recristalización calcedonia.

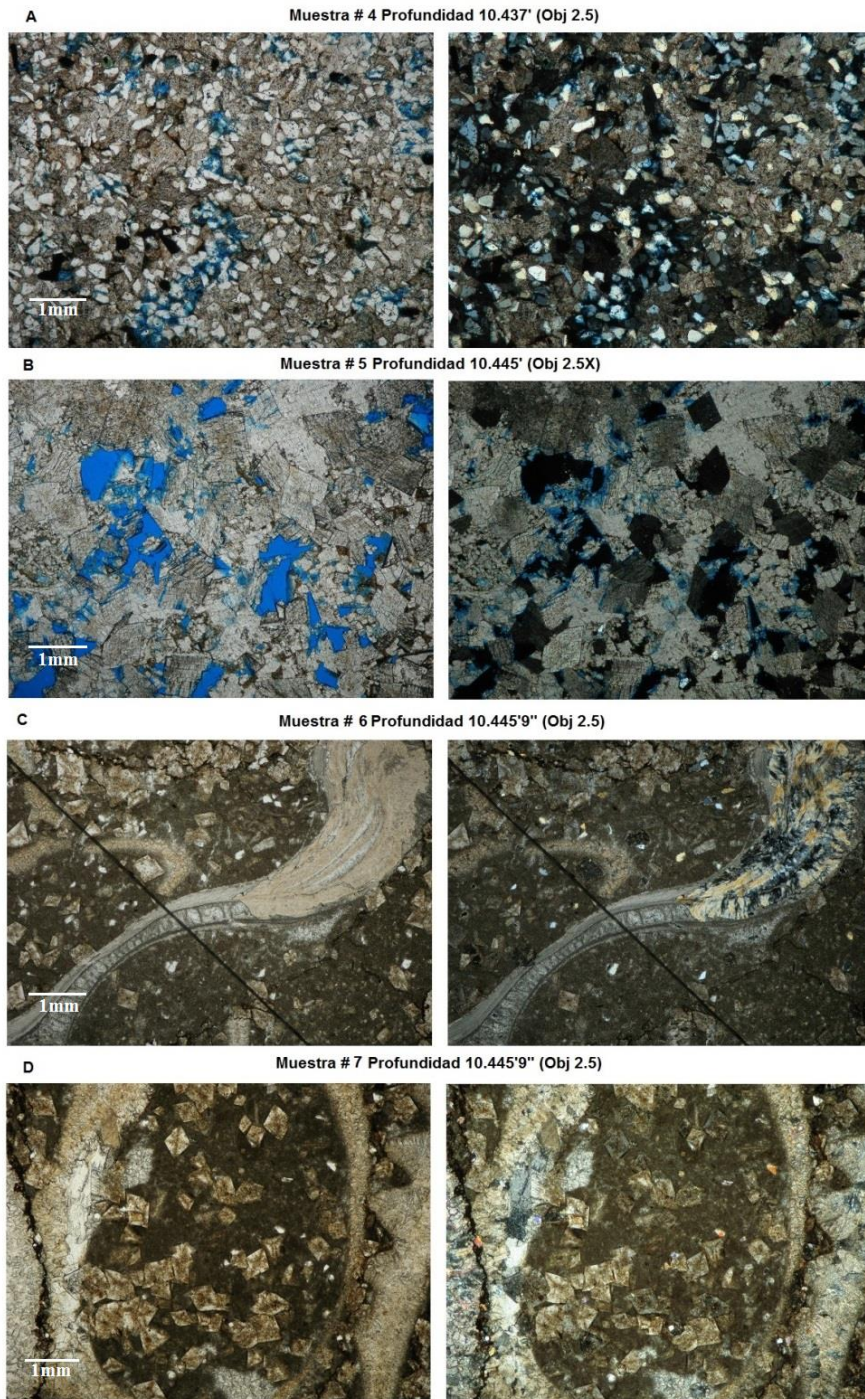


Figura 63. A: Arenisca dolomítica micrítica se observa disolución del cemento B: Carbonato cristalino de dolomita C: Carbonato cristalino de dolomita, fragmento de Molusco remplazado por calcedonia D: Carbonato cristalino de dolomita, se observa una estructura Geopetal de un Molusco remplazado por sílice.

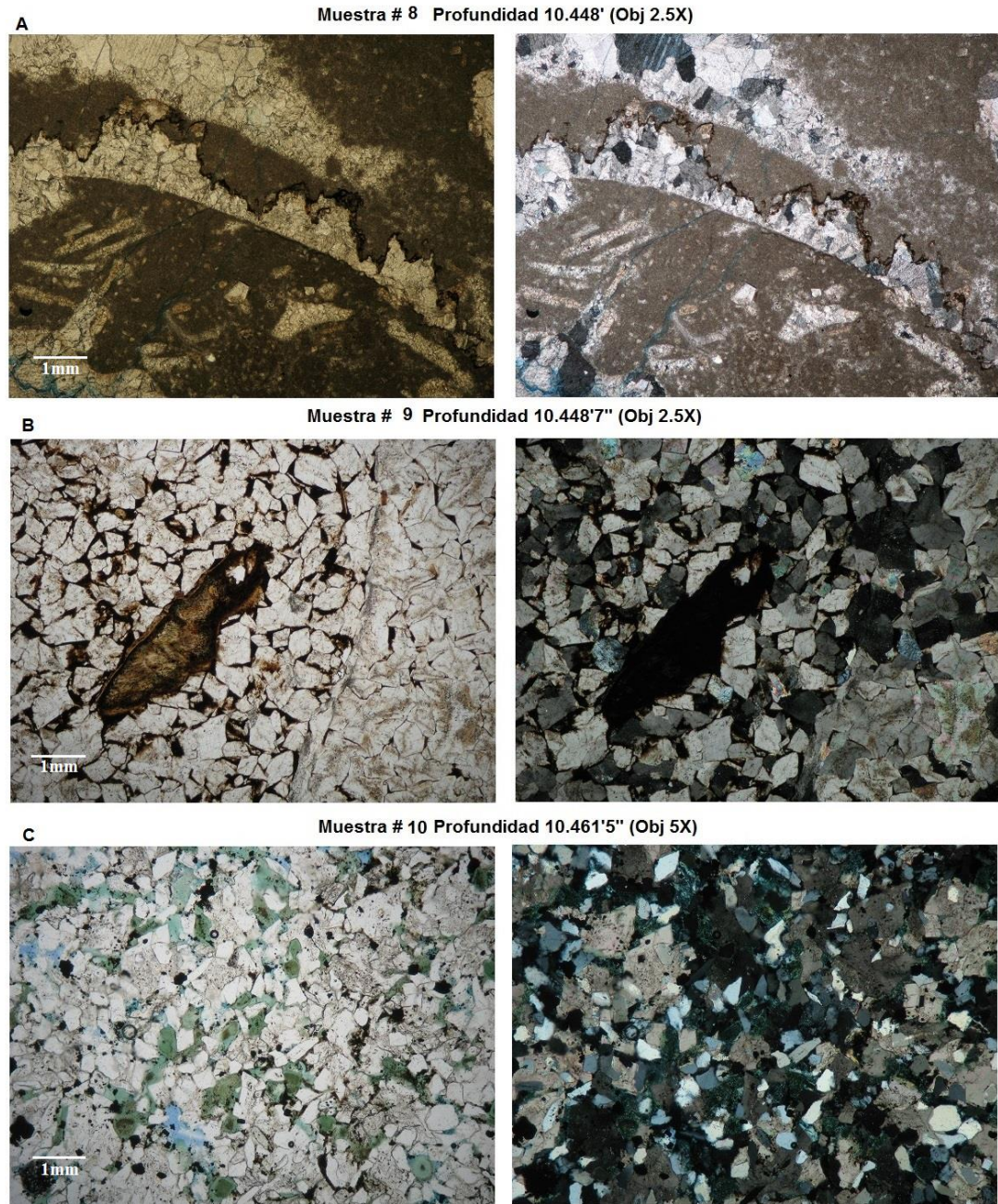


Figura 64. A: Dolomía aloquímica lodosa, se observa una estilolita que atraviesa toda la muestra B: Carbonato cristalino de dolomita, escasos fragmentos fósiles fosfatizados C: Dolomía aloquímica arenosa con reemplazamiento de glauconita.

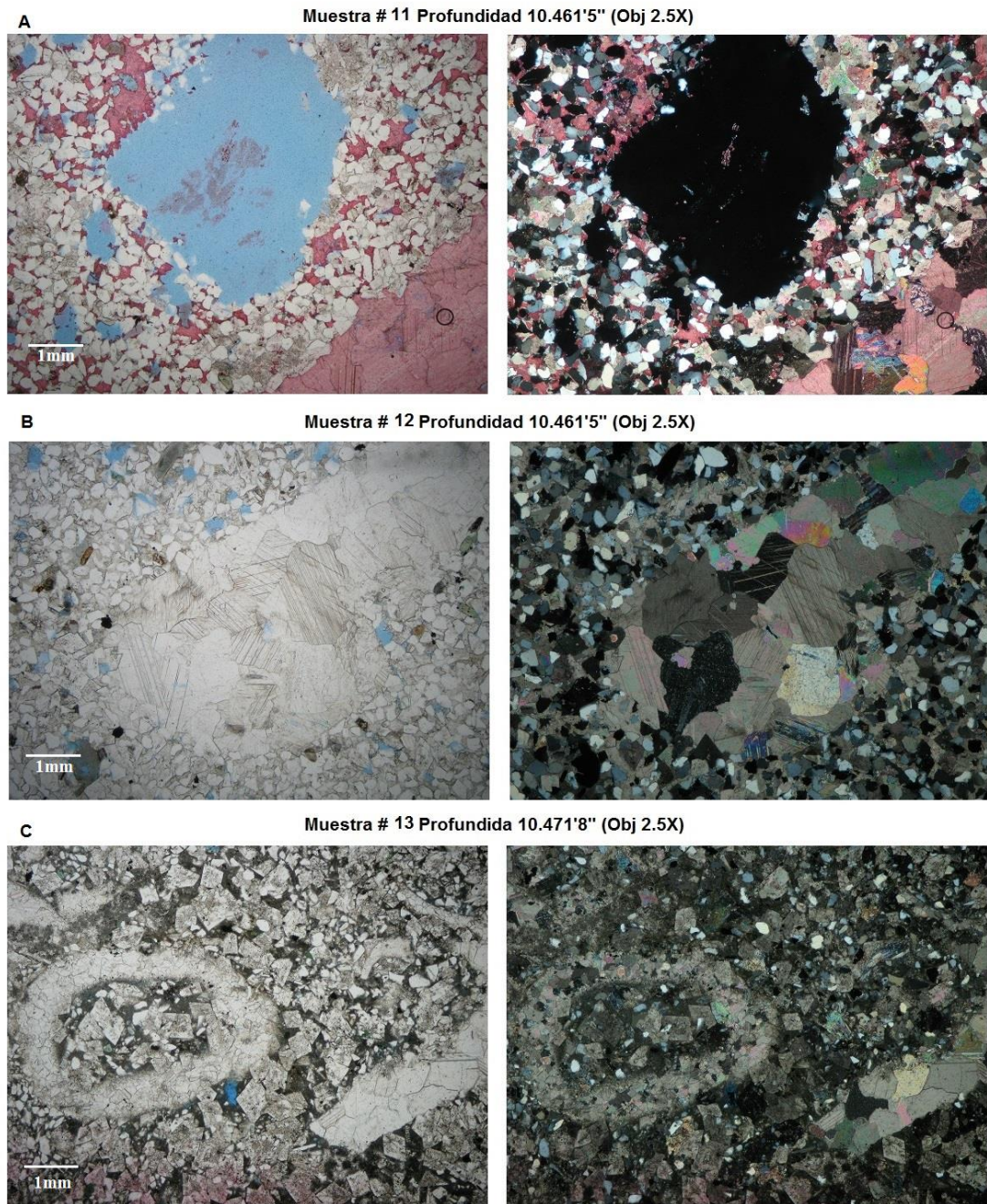


Figura 65. A: Dolomía aloquímica lodosa, disolución del cemento B: Dolomía aloquímica lodosa C: Dolomía calcítica lodosa, estructuras Geopetal y fragmentos fósil reemplazados por calcita.

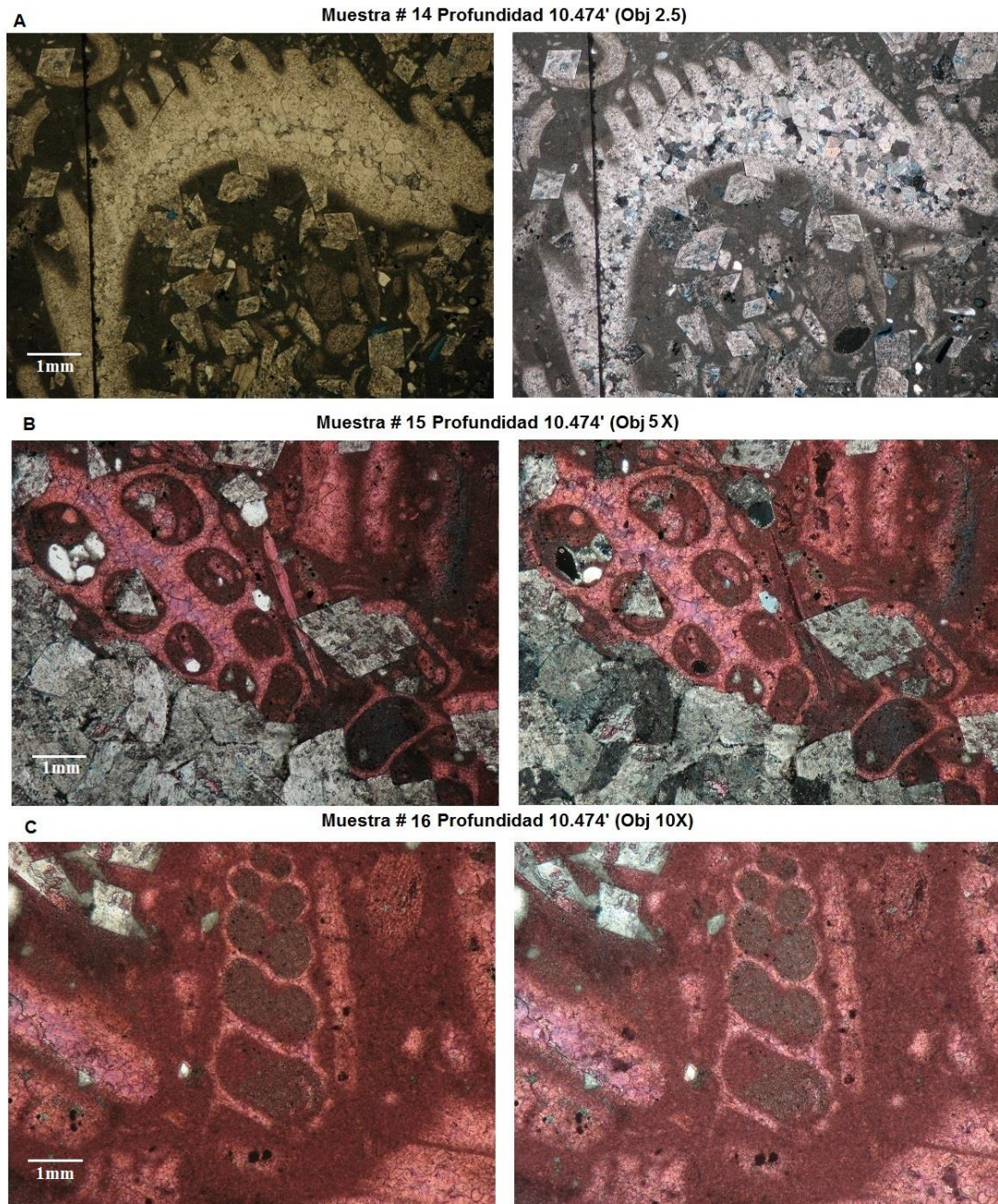


Figura 66. A: Dolomía calcítica lodosa, fragmento molusco reemplazado por sílice B: Dolomía calcítica lodosa. Gasterópodo relleno de micrita C: Dolomía calcítica lodosa, se observa un foraminífero relleno de micrita.

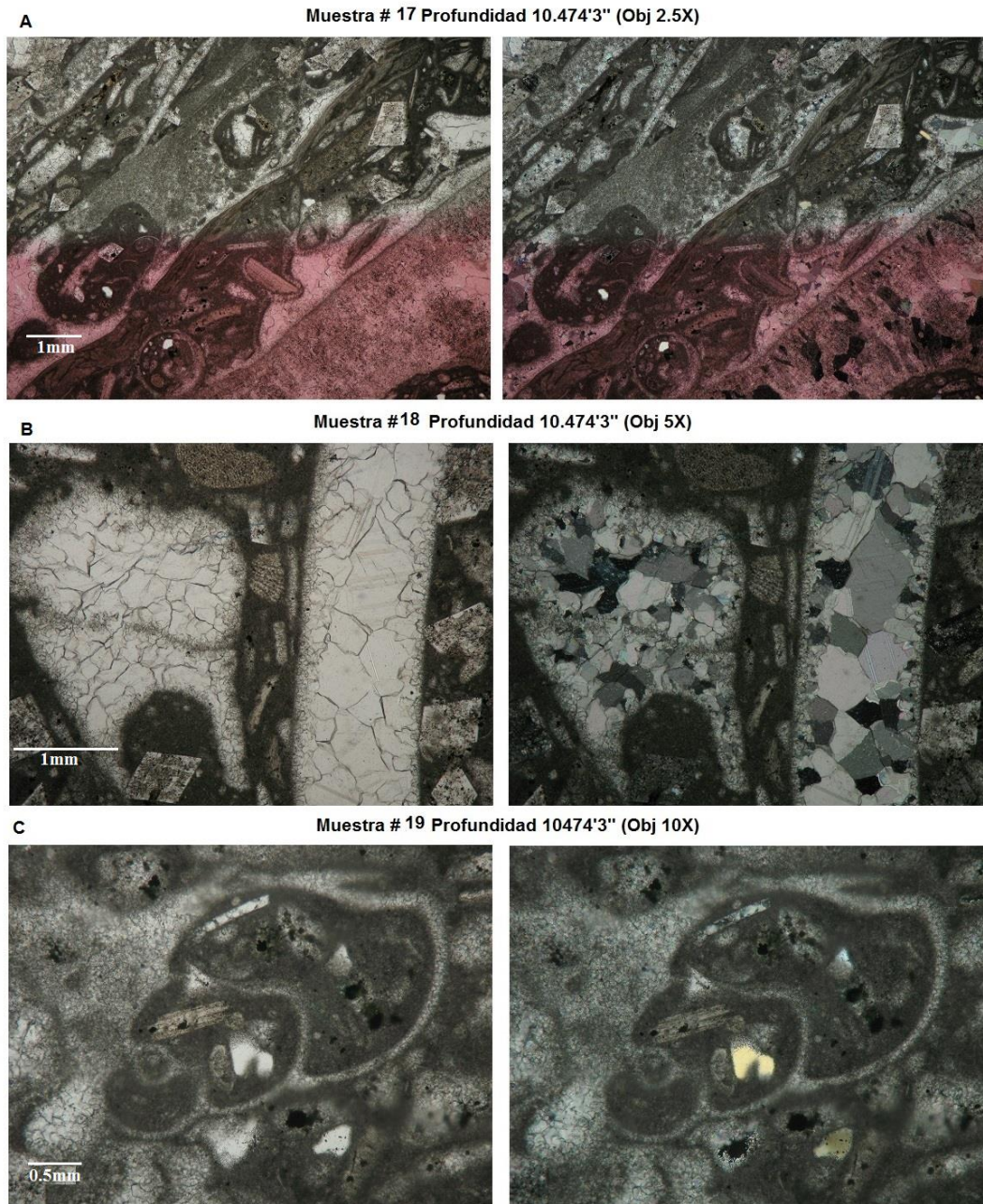


Figura 67. A: Packstone de pelecípodos B: Packstone de pelecípodos, fragmento fósil reemplazado por calcita, espículas de equinodermo C: Packstone de pelecípodos, se observan foraminíferos rellenos de micrita.

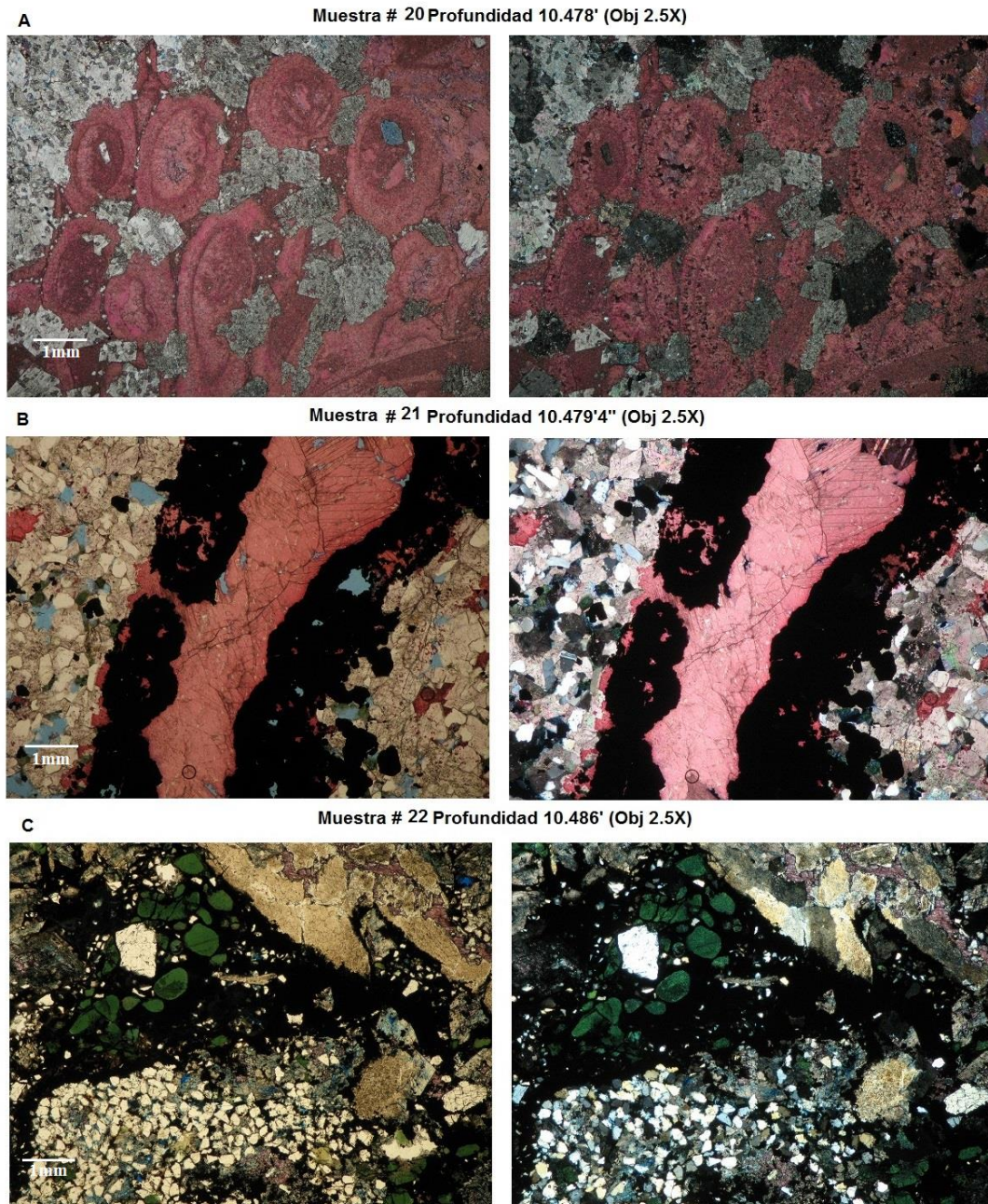


Figura 68. A: Packstone de pelecípodos, muestra ooides reemplazados por calcita B: Dolomía aloquímica arenosa, la mancha oscura que bordea la calcita representa pirita C: Arenisca dolocalcítica aloquímica, se observa glauconita transportada.

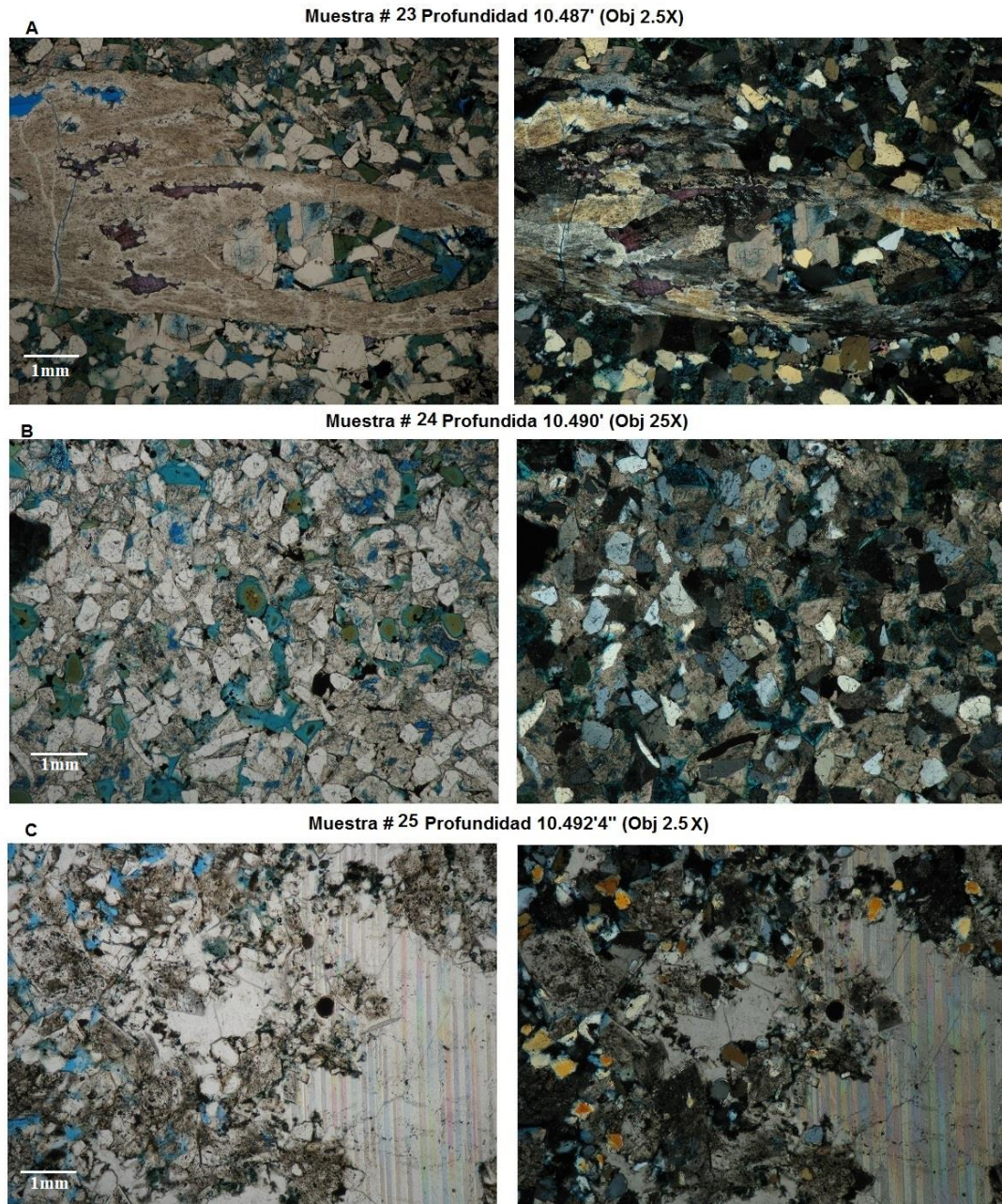


Figura 69. A: Dolomía aloquímica arenosa, se observa un fragmento fósil reemplazado por calcedonia B: Arenisca dolomítica aloquímica, se observan pellets reemplazados por glauconita C: Dolomía calcítica aloquímica arenosa, se observan los cristales de dolomita barroca.

Pozo SMW-23

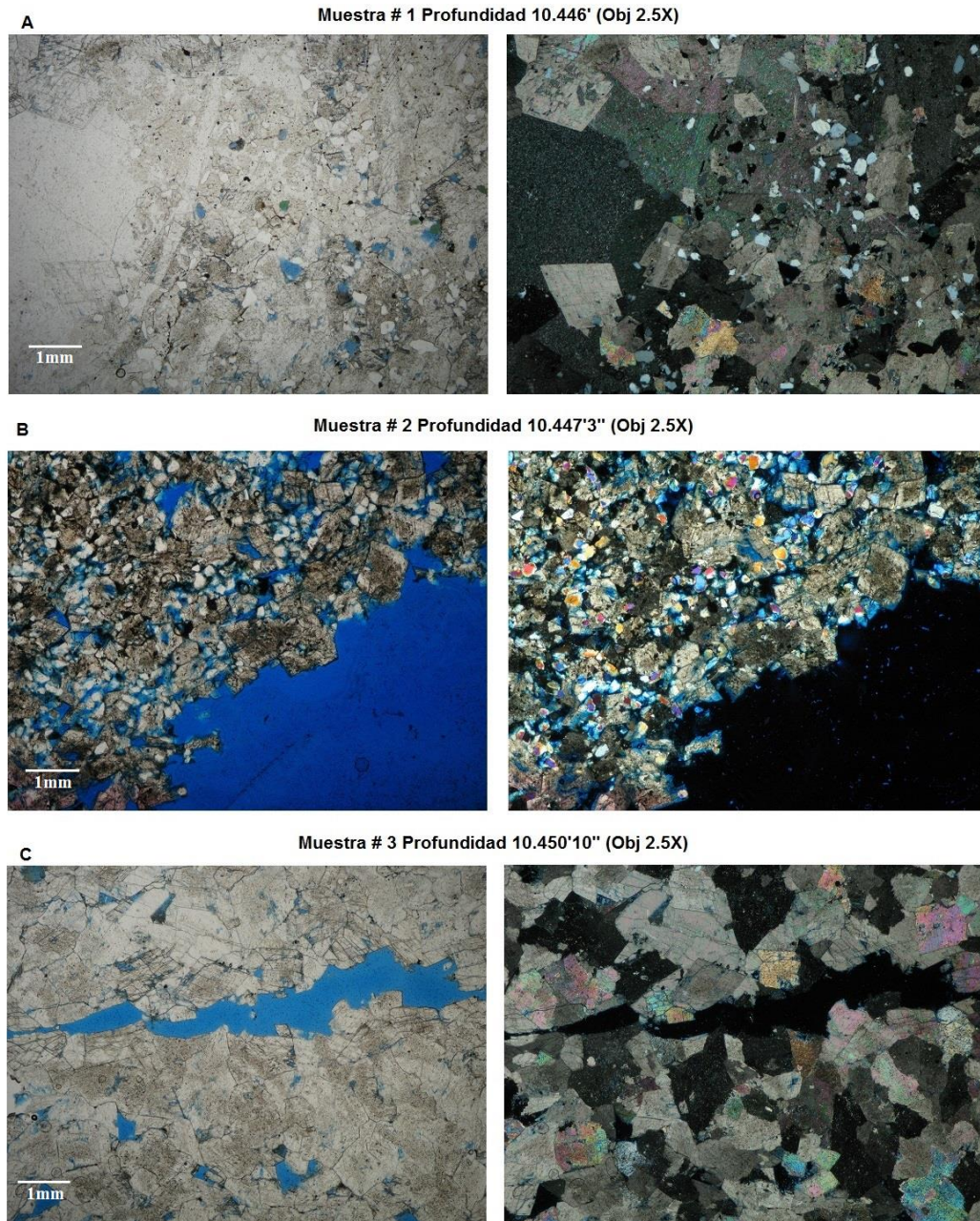


Figura 70. A: Dolomía calcítica aloquímica arenosa, se observa la disolución del cemento de dolomita B: Dolomía calcítica aloquímica arenosa, se observa el alto contenido de disolución del cemento de dolomita C: Carbonato cristalino de calcita, se observa una fractura producto de un proceso de disolución.

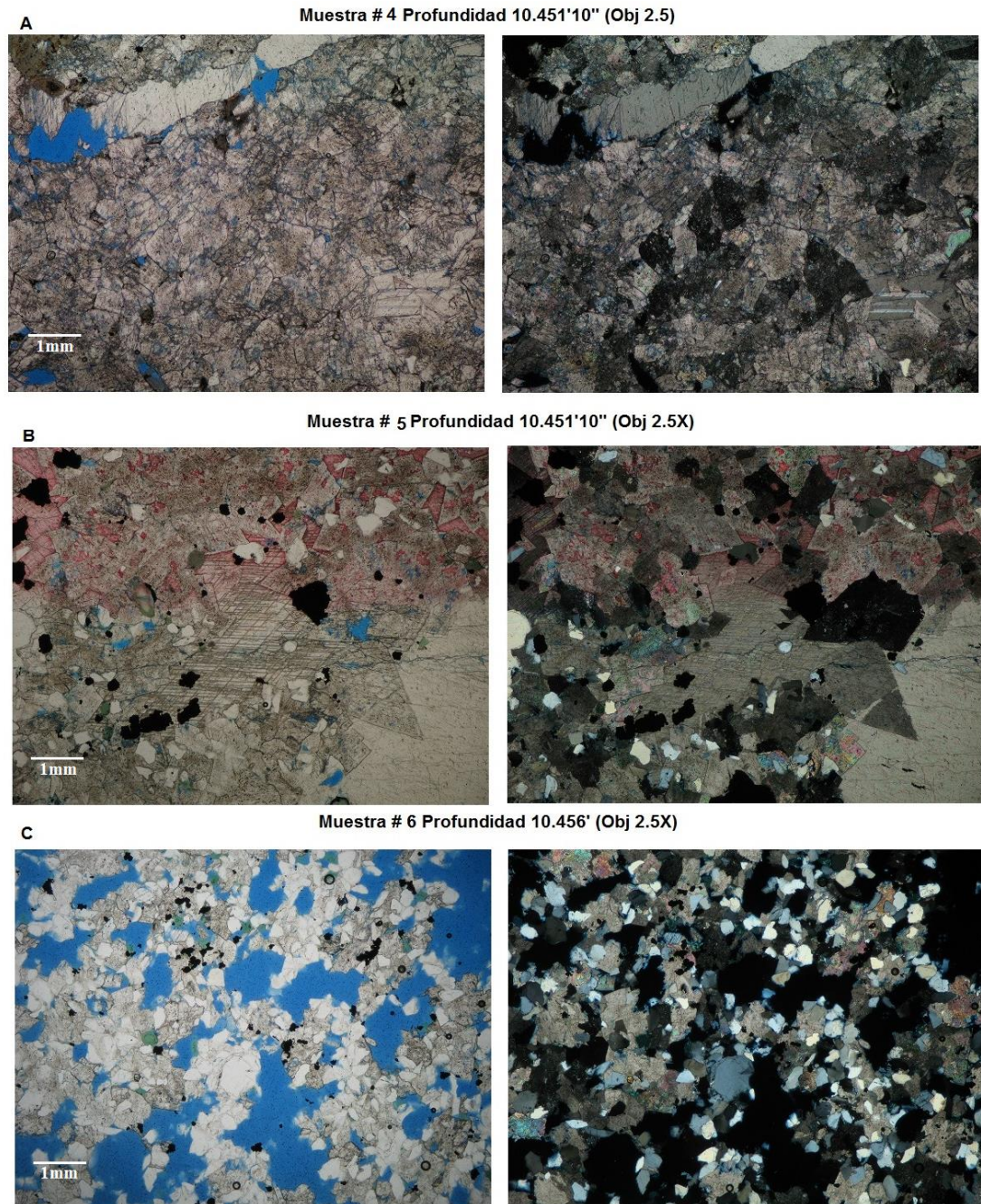


Figura 71. A: Carbonato cristalino de calcita, se observan los cristales de dolomita barroca y la disolución de un fragmento fósil B: Carbonato cristalino de calcita con granos de pirita C: Caliza dolomítica aloquímica arenosa, se observa la disolución del cemento.

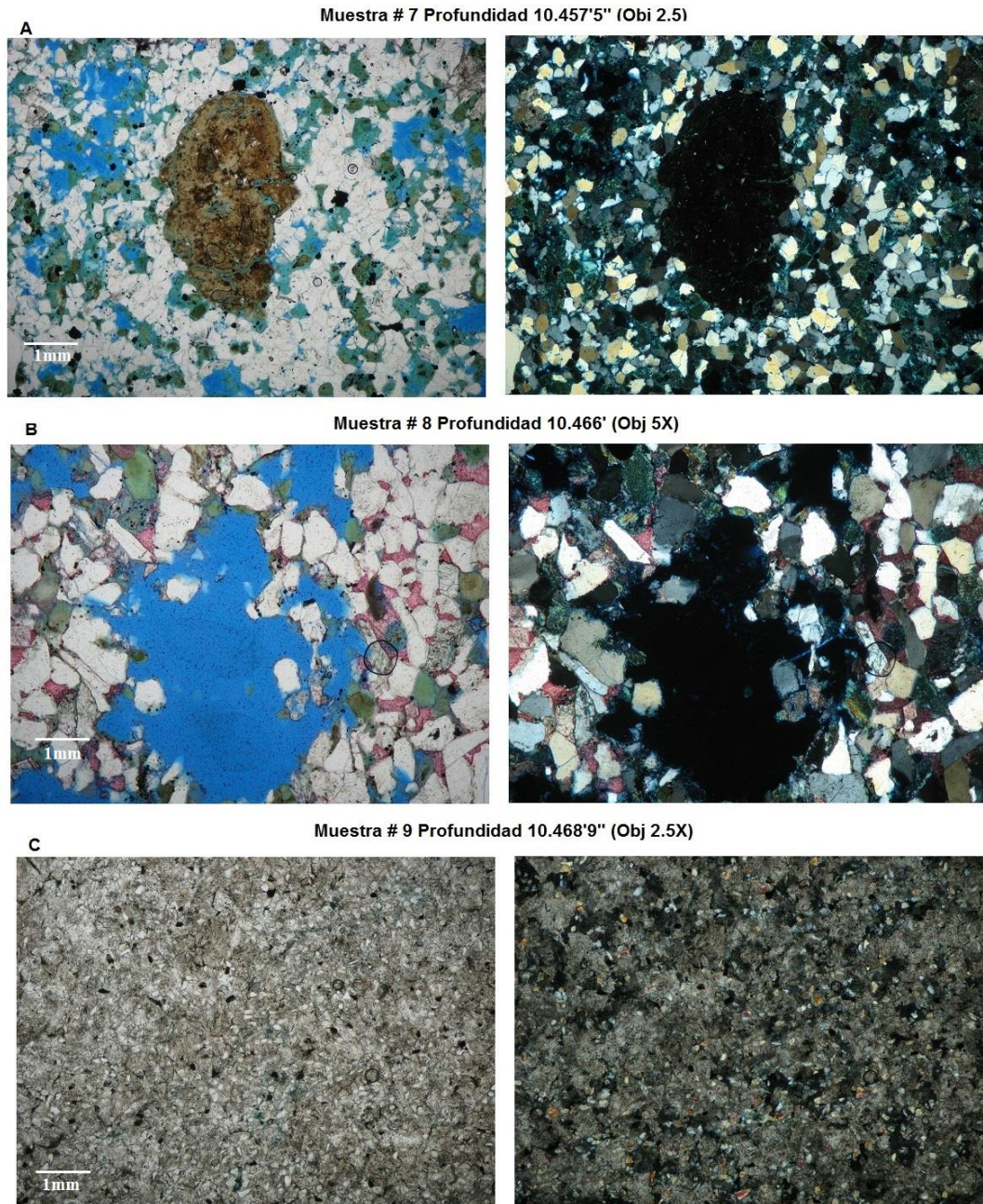


Figura 72. A: Arenisca dolomítica aloquímica, se observa un fragmento fósil glauconitizado y fosfatizado B: Caliza dolomítica aloquímica arenosa, disolución del cemento y pellets glauconitizados C: Caliza dolomítica aloquímica arenosa con bajo contenido de granos siliciclásticos.

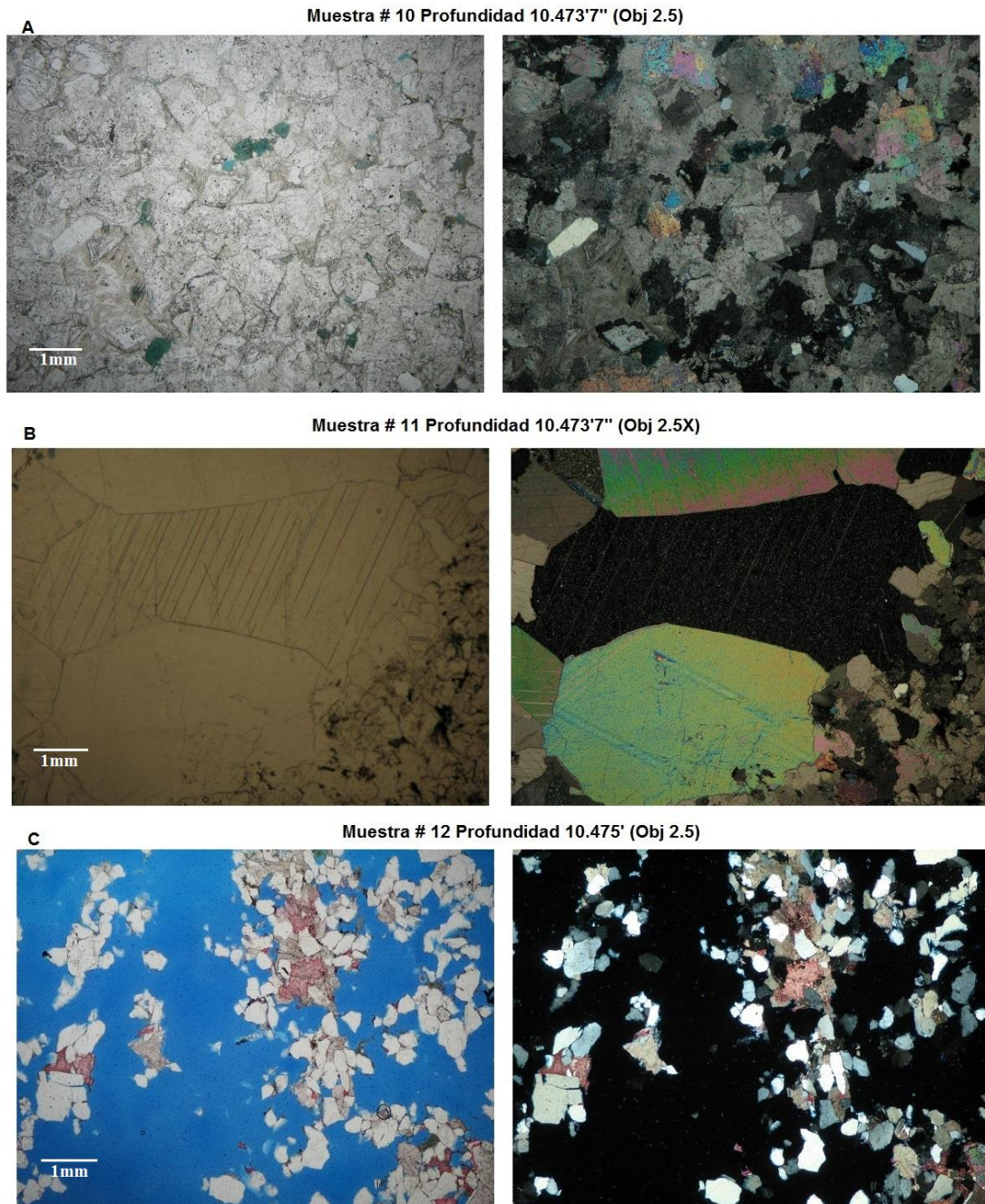


Figura 73. A: Caliza dolomítica aloquímica arenosa, se observa un proceso de disolución de cemento y glauconitización B: Caliza dolomítica aloquímica arenosa, se observa el cemento de calcita de tipo syntaxial C: Arenisca dolocalcítica aloquímica con alta disolución del cemento.

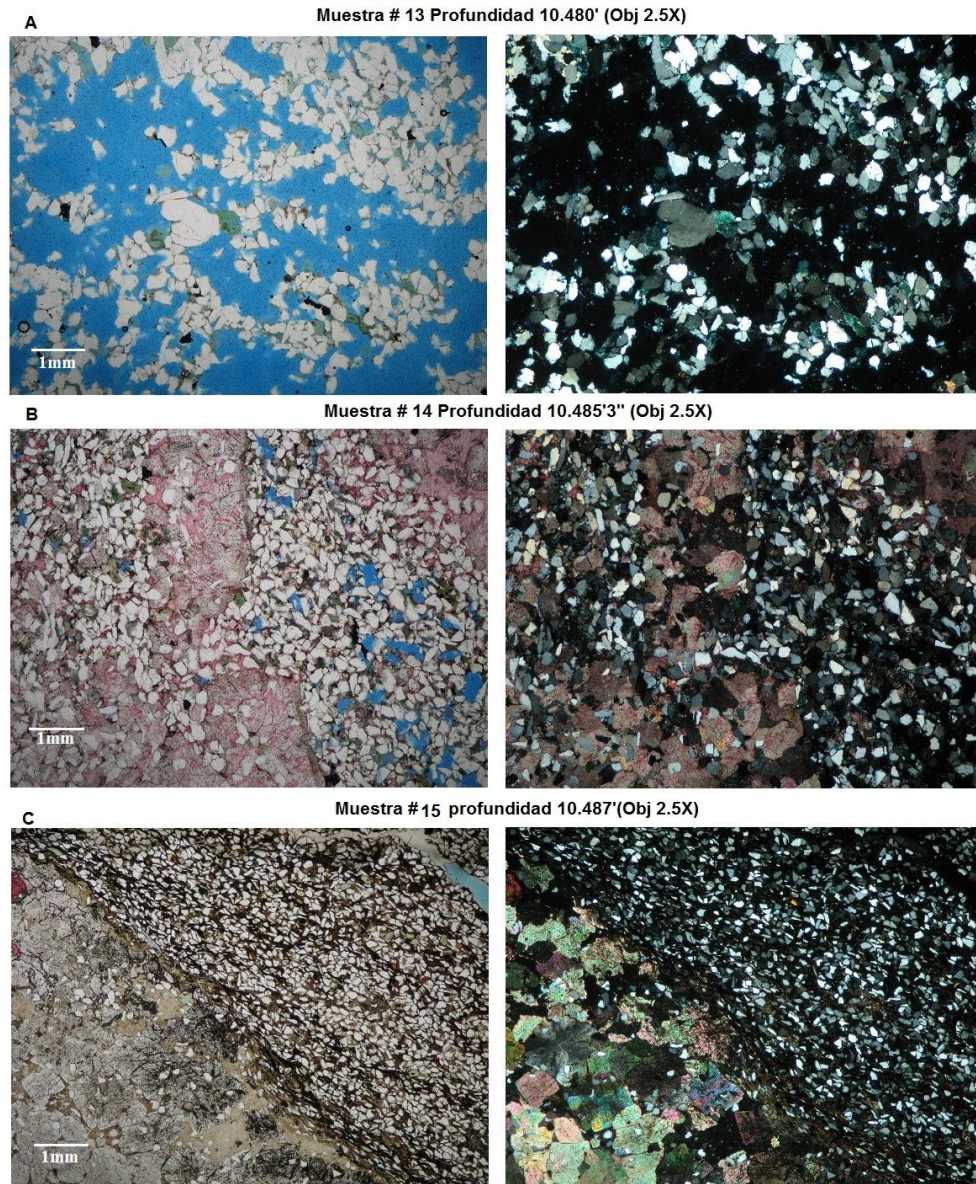


Figura 74. A: Arenisca dolocalcítica aloquímica, se observan Pellets reemplazados por glauconita B: Arenisca dolocalcítica aloquímica bioturbada C: Dolomía calcítica arenosa, alto contenido de material detrítico debido a bioturbaciones.

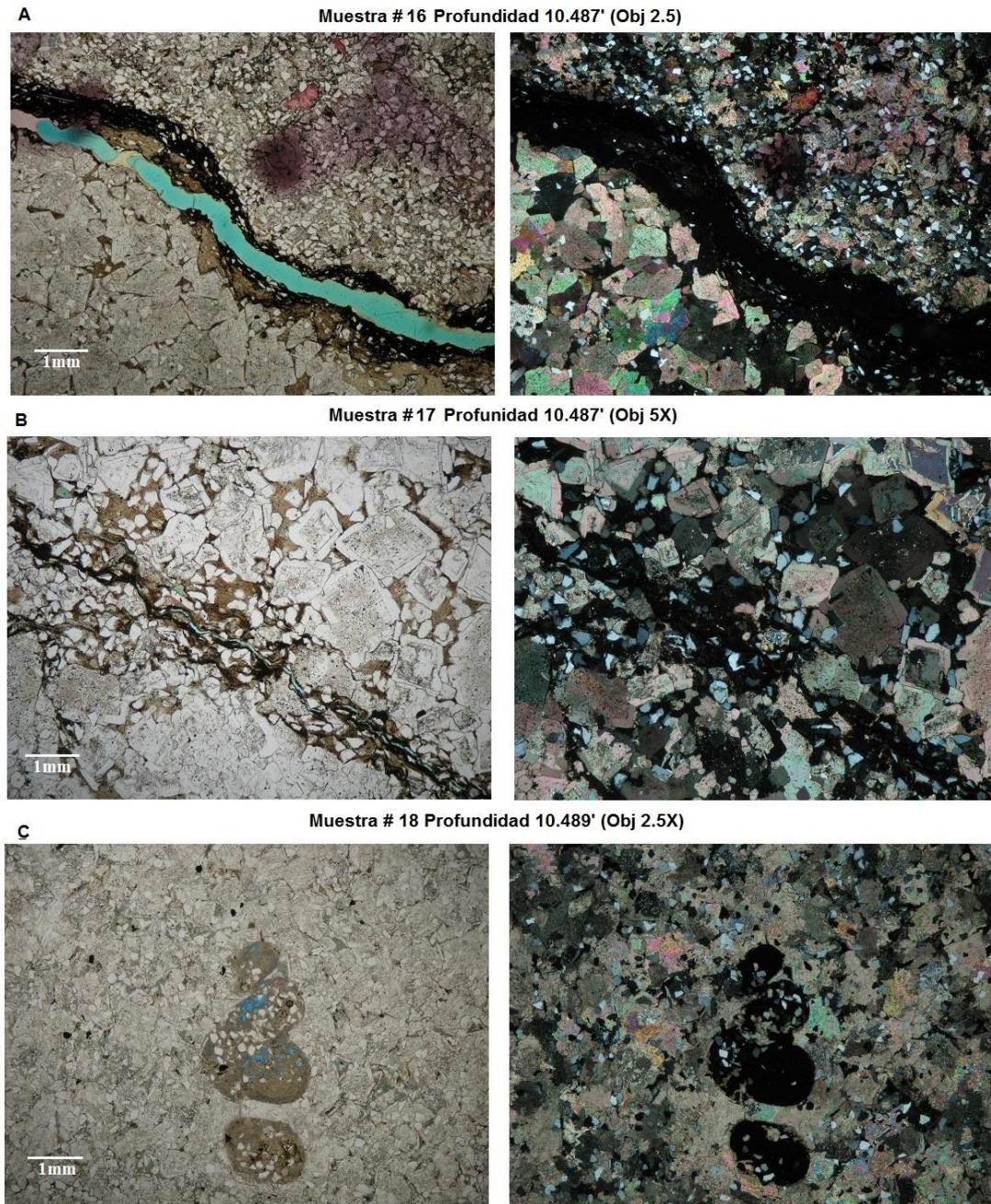


Figura 75. A: Dolomía calcítica arenosa, porosidad en fracturas, alto contenido de material detrítico hacia un extremo de la muestra B: Dolomía calcítica arenosa, se observan microestilolitas C: Dolomía calcítica aloquímica arenosa, fósil de gasterópodo fosfatizado.

Pozo SMW-13

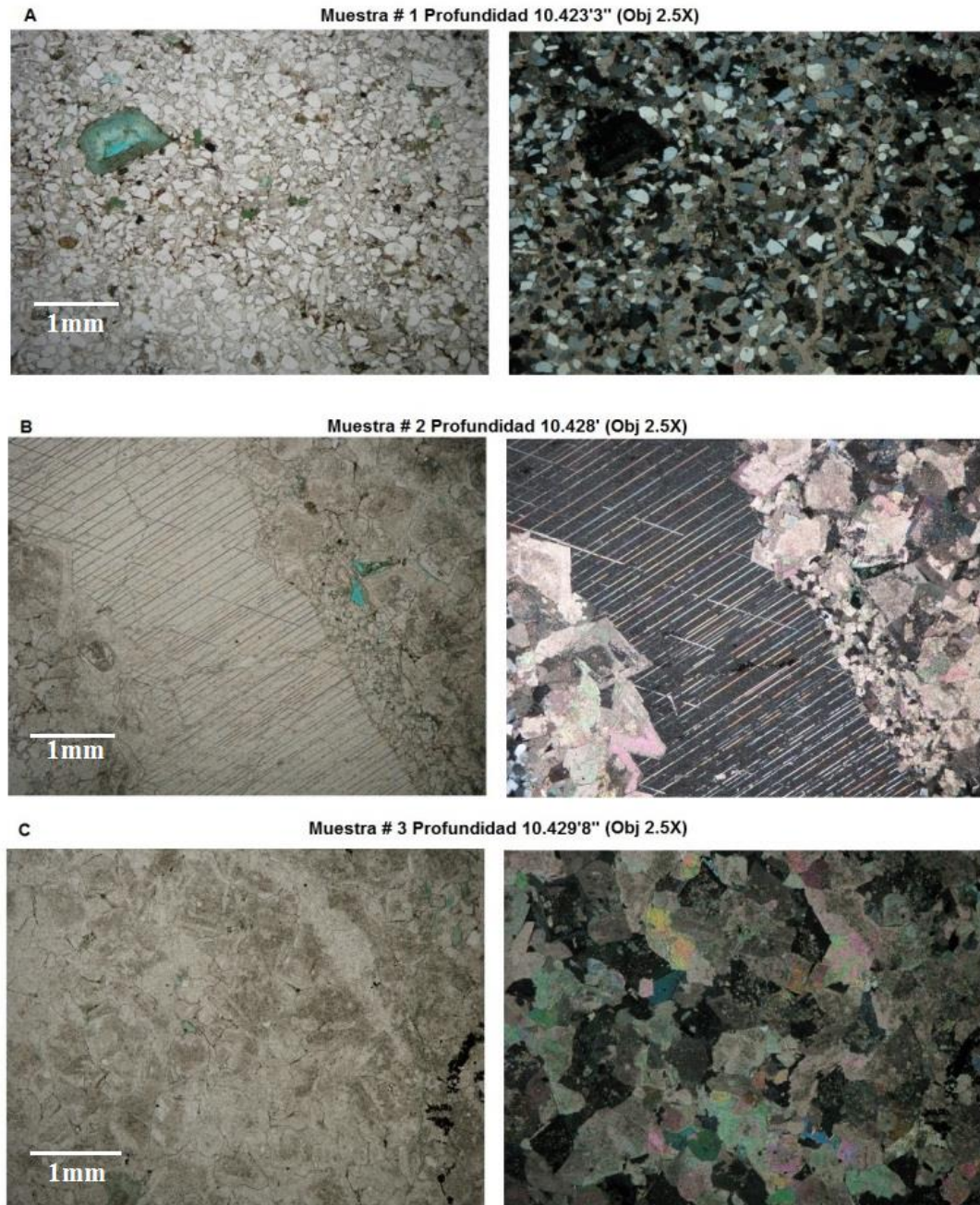


Figura 76. A: Caliza dolomítica arenosa donde se observa glauconitización B: Carbonato cristalino de caliza, cemento syntaxial de calcita C: Carbonato cristalino de caliza, se observan los cristales de calcita que están siendo alterados por la anhidrita.

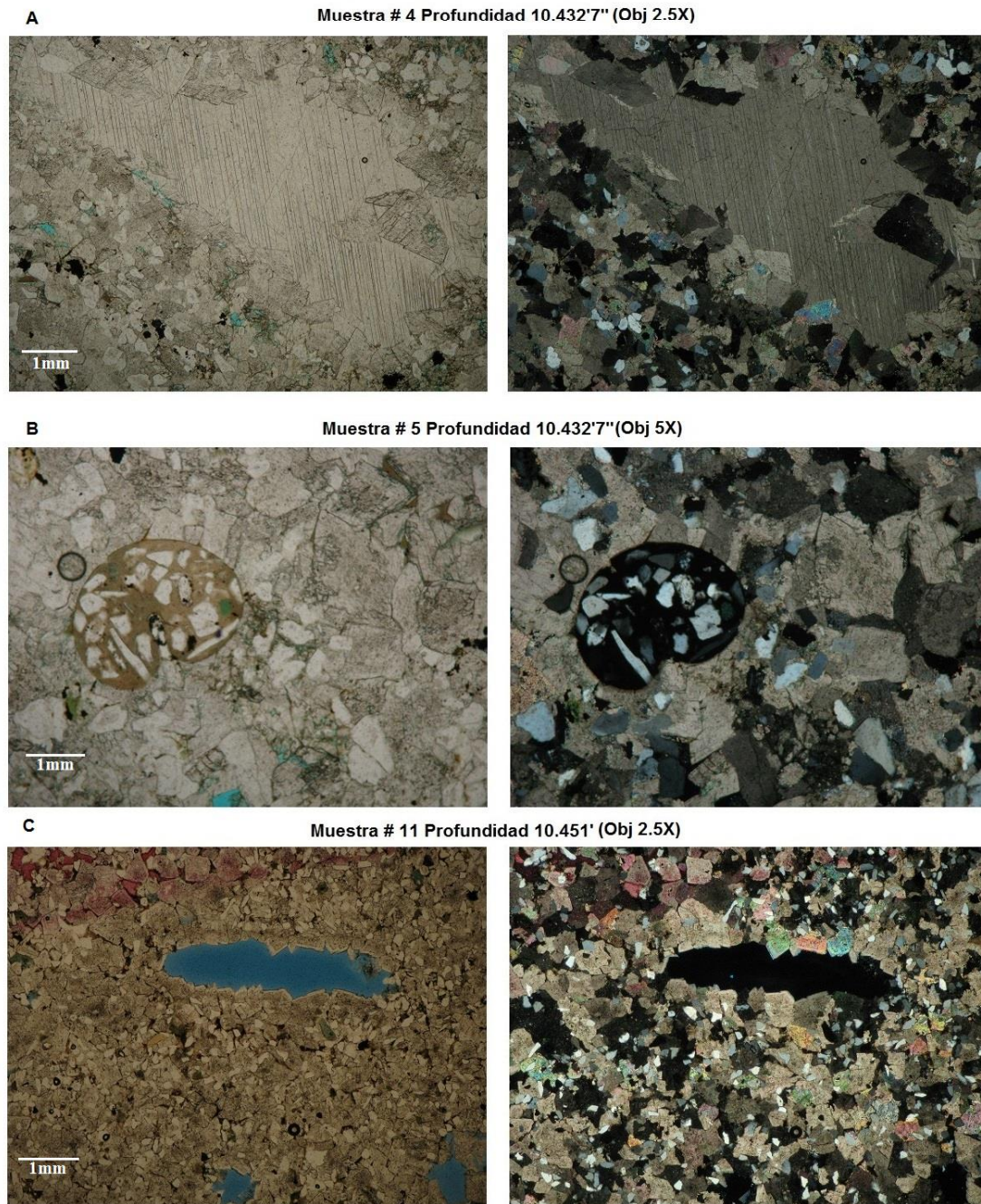


Figura 77. A: Carbonato cristalino de caliza (con escaso porcentaje de componentes extraclásticos) B: Carbonato cristalino de caliza (con escaso porcentaje de componentes extraclásticos, además muestra un fósil de Molusco fosfatizado) C: Dolomía calcítica aloquímica arenosa donde se observa la porosidad vug.

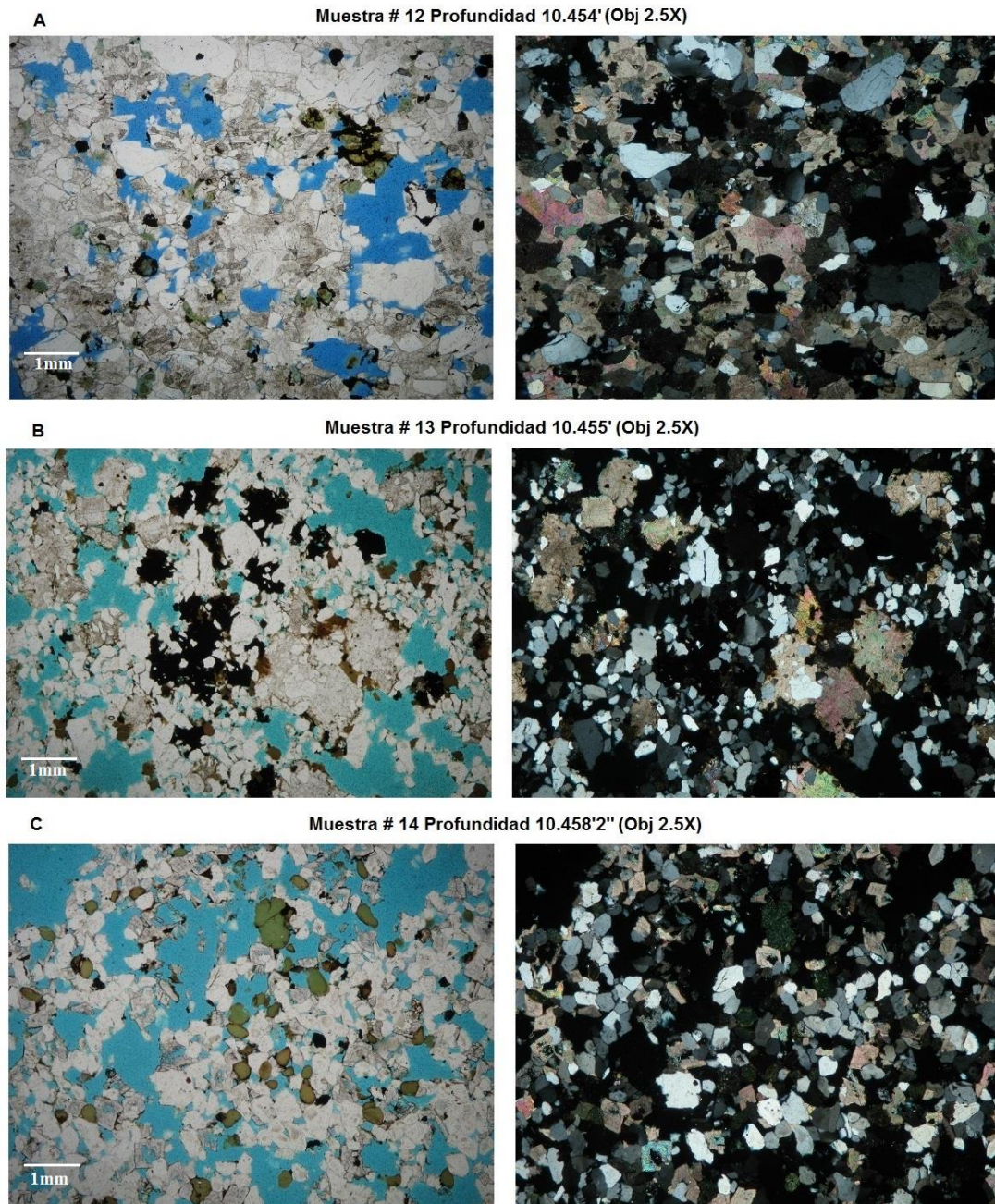


Figura 78. A: Arenisca dolocalcítica aloquímica con posible glauconitización de fragmentos de aloquímicos B: Arenisca dolomítica donde se puede apreciar el contenido de materia orgánica C: Arenisca dolocalcítica aloquímica con pellets glauconitizados.

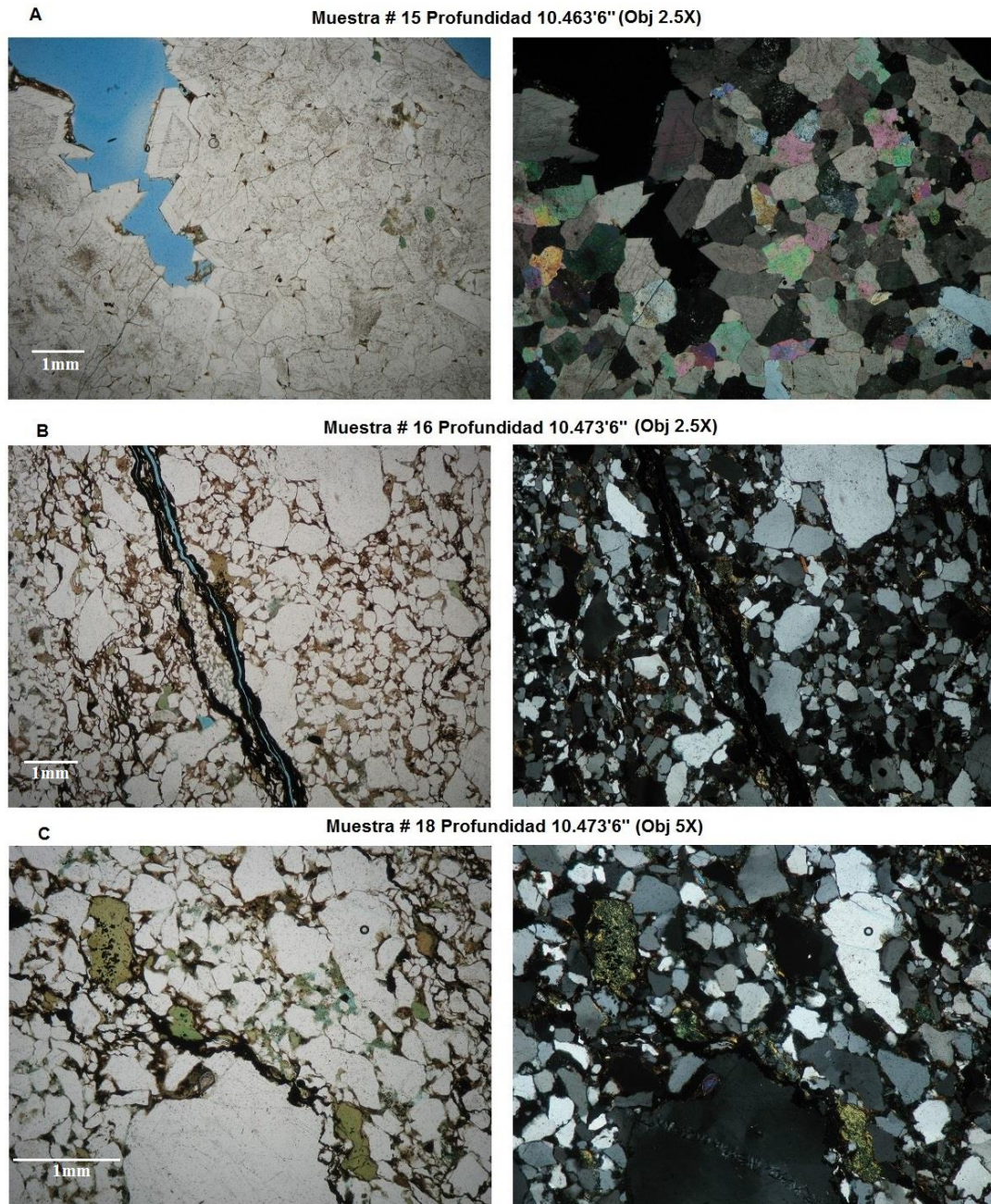


Figura 79. A: Carbonato cristalino de dolomita donde se observan los cristales subhedrales de dolomita y dolomita barroca y B: Arenisca dolomítica aloquímica con presencia de porosidad en fracturas C: Arenisca dolomítica aloquímica, se observan estilolitas que bordean a los granos de cuarzo y pellets glauconitizados.

5.2 Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos-X

A las muestras tomadas en cada uno de los pozos estudiados del Campo Maporal los técnicos de PDVSA Intevep le realizaron el ensayo de análisis Mineralógico por Difracción de Rayos-X, tomando en cuenta los datos de Roca Total o Mineralogía Total y en cuyo proceso van discriminando el porcentaje de ciertos minerales como Cuarzo, Feldespato Plagioclasa, Feldespato Potásico, Calcita, Dolomita, Ankerita, Pirita, Hematita y Minerales de Arcilla; en este ensayo también se arrojan resultados de estudios de proporciones relativas de Minerales de Arcilla en fracción <2 micras, discriminando los minerales de Caolinita, Clorita, Illita, Esmeclita. La finalidad de este ensayo, es obtener el porcentaje de abundancia de cada mineral nombrado.

Sin embargo es muy probable que exista discrepancia entre los resultados arrojados por el ensayo de Difracción de Rayos-X y los análisis petrográfico, debido a que el primero es un análisis semicuantitativo y el segundo cuantitativo, lo que quiere decir que se debe realizar un conteo modal más específico para tener resultados que coincidan.

A continuación se presentan las tablas que reflejan los resultados porcentuales de roca total (% en peso) en los ensayos de Difracción de Rayos-X realizados a cada uno de los pozos estudiados comparados con las tablas donde se ven reflejados los resultados obtenidos de los análisis petrográficos (los datos se encuentran agrupados en tres grupos: no carbonáticos (extraclásticos), carbonáticos y matriz).

5.2.1 Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos-X del pozo SMW-31X

Se presentan los resultados de los ensayos Roca Total y Proporción de Minerales de Arcilla que se hicieron durante el año 2013 y que le fueron aplicados a ocho muestras pertenecientes al Miembro Caliza “O” de la Formación Escandalosa.

Tabla 7. Resultado de difracción de rayos X de muestras pertenecientes al pozo SMW-31X

POZO	PROFUNDIDAD (Ft)	Roca total (% en peso)									Proporciones de minerales de arcilla (%)					PARASECUENCIAS
		Cuarzo	Feldesp. K	Feldesp Plag	Calcita	Dolomita	Siderita	Pirita	Ankerita	Min. Arcilla	Caolinita	Clorita	Cao-Clo	Ilita	Esmectita	
SMW-31X	10.036'			1	5		3		31	18	3		5			
	10.046'6"	6	3				1			9	1		1	7		8
	10.057'11"	8					1	2	2		15	2	8	5		7
	10.060'8"	3	3				1	Tz		12	Tz				12	6
	10.069'		10		21		Tz	3		21	2	1	3	5	10	
	10.072'0"	6	2				1	Tz	12	9	1				8	
	10.083'2"	2	2				1	1		14	1				13	5
	10.086'	1	1				1	1	10	13	4	3	3	3	0	

En la tabla 7 se puede observar la variación porcentual de los componentes siliciclásticos y carbonáticos en orden estratigráfico en el intervalo de 10086' a 10036' en el cual también se observan los porcentajes mayoritarios de Caolinita y Esmectita en el ensayo de Proporción de Minerales de Arcilla.

Tabla 8. Se muestra la comparación del porcentaje de los componentes no carbonáticos, carbonáticos y la matriz obtenidos tanto en el análisis petrográfico como en el ensayo de Difracción de Rayos-X para el pozo SMW-31X.

Profundidad	Análisis petrográfico			DRX		
	Componente No Carbonáticos	Componentes Carbonáticos	% de Matriz	Componente No Carbonáticos	Componentes Carbonáticos	% de Matriz
10.036'	15	30	10	1	8	18
10.046'6"	9	80	———	9	1	9
10.057'11"	4	50	———	8	1	———
10.060'8"	3	15	———	6	1	12
10.069'	18	45	5	10	21	21
10.083'2"	7	10	———	4	1	14
10.086'	5	6	———	1	1	13

En este caso se puede apreciar la concordancia en la ciclicidad del aumento porcentual de los componentes, es decir de la base a la profundidad de 10.069' aumentan todos los componentes, luego se observa como los mismos componentes disminuyen abruptamente en 10.060'8'' y vuelven aumentar hacia el tope a una profundidad de 10.036'.

5.2.2 Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos-X del pozo SMW-28

Se presentan los resultados de los ensayos Roca Total y Proporción de Minerales de Arcilla que se hicieron en abril del 2016 y que le fueron aplicados a 5 muestras pertenecientes al Miembro Caliza "O" de la Formación Escandalosa.

Tabla 9. Resultado de difracción de rayos X de muestras pertenecientes al pozo SMW-28.

POZO	PROFUNDIDAD (Ft)	Roca total (% en peso)								Proporciones de minerales de arcilla (%)				PARASECUENCIAS
		Cuarzo	Feldesp. K	Feldesp Plag	Calcita	Dolomita	Siderita	Pirita	Min. Arcilla	Caolinita	Clorita	Ilita	Ilita-Esmectita	
SMW-28	10.435'4"	57	3		4	7		5	24					8
	10.440'6"	18	3		45	24	2		8	63		36	Tz	
	10.460'0"	16	2		23	6	1	4	18		55	46		6
	10.471'8"	12	6		2	51		5	24	75		25		5
	10.484'6"	59	9		2	9		4	17		35	17	47	4

En la imagen se puede observar la variación porcentual de los componentes siliciclásticos, y carbonáticos en orden estratigráfico en el intervalo de 10435'4'' a 10484'6'' en el cual también se pueden apreciar los porcentajes mayoritarios de Caolinita y Clorita en el ensayo de Proporción de Minerales de Arcilla.

Tabla 10. Se muestra la comparación del porcentaje de los componentes no carbonáticos, carbonáticos y la matriz obtenidos tanto en el análisis petrográfico como en el ensayo de Difracción de Rayos-X para el pozo SMW-.28.

Profundidad	Análisis petrográfico			DRX		
	Componente No Carbonáticos	Componentes Carbonáticos	% de Matriz	Componente No Carbonáticos	Componentes Carbonáticos	% de Matriz
10.471'8"	5	45	———	18	53	24

En el pozo SMW-28 solo se pudo realizar la comparación entre el resultado de análisis petrográfico y Difracción de Rayos-X en una sola muestra, puesto que 10.471'8'' fue la única profundidad donde ambos ensayos se realizaron. De esta comparación se puede observar la similitud del dominio de los componentes carbonáticos sobre los componentes no carbonáticos, y una discrepancia entre la cantidad de matriz presente para esa muestra.

5.2.3 Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos-X del pozo SMW-23

Se presentan los resultados de los ensayos Roca Total y Proporción de Minerales de Arcilla que se hicieron en abril del 2016 y que le fueron aplicados a 24 muestras pertenecientes al Miembro Caliza "O" de la Formación Escandalosa.

Tabla 11. Resultado de difracción de rayos X de muestras pertenecientes al pozo SMW-23.

POZO	PROFUNDIDAD (ft)	Roca total (% en peso)								Proporciones de minerales de arcilla (%)				PARASECUENCIAS
		Cuarzo	Feldesp. K	Feldesp Plag	Calcita	Dolomita	Siderita	Pirita	Min. Arcilla	Clorita	Ilita	Ilita-Esmectita	Corrensita	
SMW-23	10.446'	24	6		21	36	2	3	8				X	5
	10.447'3"	27	2		1	63	1		6				X	
	10.447'10"	7	37			54	2						X	
	10.449'3"	57	2			22	4	6	9				X	
	10.450'10"	2			42	52			4	8	67	25		
	10.451'10"	6			28	63			3	8	90	2		
	10.454'	4			44	47	1		4				X	
	10.454'10"	8			32	54		2	4	23	77			
	10.456'	26			27	29		5	13		X	X		
	10.457'5"	40	8		10	4	5	9	24	23	47	30		
	10.459'6"	63	4			1		4	28	25	47	28		
	10.461'6"	69	10	1			1	2	17	9	65	26		4
	10.463'10"	8			36	51			5	39	10	51		
	10.466'	38			6	20	2	4	30	11	31	58		
	10.468'9"	10	3		61	23			3	93	7			
	10.472'	3			86	6			5	93	7			3
	10.473'7"	4			67	25	1		3	91	9			
	10.475'	31	2		30	14			23	10	26	64		
	10.478'6"	12	7			70		2	9	9	31	60		2
	10.480'	50	7		5	2		6	30	18	21	61		
	10.482'6"	34	5		4	24	1	5	27	72	16	12		
	10.485'3"	39			20	34			7	36	13	51		
	10.487'9"	8			75	10		1	6	80	20			
	10.489'	12			32	50			6	57	25	18		1

En la imagen se puede observar la variación porcentual de los componentes siliciclásticos, y carbonáticos en orden estratigráfico en el intervalo de 10446'4'' a 10487'6'' donde hay porcentajes mayoritarios de Cuarzo, Dolomita y Calcita y por otro lado un alto contenido de Clorita, Ilita e Ilita-Esmectita reflejados en el ensayo de Proporción de Minerales de Arcilla.

Tabla 12. Se muestra la comparación del porcentaje de los componentes no carbonáticos, carbonáticos y la matriz obtenidos tanto en el análisis petrográfico como en el ensayo de Difracción de Rayos-X para el pozo SMW-23.

Profundidad	Análisis petrográfico			DRX		
	Componente No Carbonáticos	Componentes Carbonáticos	% de Matriz	Componente No Carbonáticos	Componentes Carbonáticos	% de Matriz
10.446'	20	40	———	30	59	8
10.447'3"	10	37	———	29	65	6
10.449'3"	25	10	10	59	26	9
10.450'10"	15	60	———	2	94	4
10.451'10"	15	60	———	6	91	3
10.454'10"	15	45	———	26	86	4
10.456'	15	30	———	26	56	13
10.457'5"	30	15	———	48	19	24
10.463'10"	25	40	———	8	87	5
10.466"	20	20	———	38	28	30
10.468'9"	5	70	———	13	84	3
10.472'	10	80	———	3	92	5
10.473'7"	5	80	———	4	93	3
10.475'	20	15	———	33	44	23
10.480'	15	8	2	57	7	30
10.485'3"	45	30	———	39	54	7
10.489'	15	70	———	12	82	6

En el pozo SMW-23 se pueden observar varios ciclos de aumento de componentes tanto carbonáticos como no carbonáticos hacia el tope con un elevado dominio porcentual de componentes carbonáticos en ambos ensayos. Sin embargo se pudo apreciar al igual que en los casos anteriores el ensayo de Difracción de Rayos-X arroja que hay un porcentaje considerable (hasta 30%) de matriz lo cual no coincide con en el análisis petrográfico realizado a las secciones finas de este pozo, en las que en su mayoría no se observó matriz.

5.2.4 Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos-X del pozo SMW-13

Se presentan los resultados de los ensayos Roca Total y Proporción de Minerales de Arcilla que se hicieron en abril del 2016 y que le fueron aplicados a 20 muestras pertenecientes al Miembro Caliza “O” de la Formación Escandalosa.

Tabla 13. Resultado de difracción de rayos X de muestras pertenecientes al pozo SMW-13.

POZO	PROFUNDIDAD (Ft)	Roca total (% peso)								Proporciones de minerales de arcilla (%)								PARASECUENCIAS
		Cuarzo	Feldesp. K	Feldesp Plag	Calcita	Dolomita	Siderita	Pirita	Ankerita	Min. Arcilla	Caolinita	Clorita	Cao-Clo	Ilita	Ilita-Esmectita	Corrensite	Esmectita	
SMW-13	10.423'6"	23		1	27	39			8	26			74				8	
	10.426'6"	54		20	3	16		1	5				X		X		7	
	10.429'9"	3			49	45			3				X					
	10.432'7"	3			63	32		1	1				X		X			
	10.435'3"	9			42	46			3				X					
	10.436'6"	29			17	50		1	3		54		46					
	10.438'	22	2		33	32		1	10		12		75	13				
	10.441'3"	58	6		8		1	4	23	5			30	65			6	
	10.444'	6			48	41			5		16		62	22				
	10.445'2"	16	1		12	58	1	4	8				63	37			5	
	10.448'4"	14	2		14	65	1		4	41			29			30		
	10.450'	3				94			3	49	22		29					
	10.454'	24			1	68			7		10		65	25				
	10.455'	39				39		4	18	11			57	32				
	10.457'	44	3			40		3	10	3			39	58				
	10.460'	42	15		3	17	1	5	17		11		64	25			4	
	10.463'6"	8			5	71	1		15	12	15		46	27				
10.465'	3			2	92			3		21		53	26					
10.467'4"	14	1		12	67			6		30		42	28			3		
10.471'3"	7			4	61	3	6	19								2		

En la imagen se puede observar la variación porcentual de los componentes siliciclásticos, y carbonáticos en orden estratigráfico en el intervalo de 10423'6'' a 10471'3'' donde hay porcentajes mayoritarios de Dolomita, Cuarzo y Calcita en ese orden, y un alto contenido de Ilita e Ilita-Esmectita reflejados en el ensayo de Proporción de Minerales de Arcilla.

Tabla 14. Se muestra la comparación del porcentaje de los componentes no carbonáticos, carbonáticos y la matriz obtenidos tanto en el análisis petrográfico como en el ensayo de Difracción de Rayos-X para el pozo SMW-13.

Profundidad	Análisis petrográfico			DRX		
	Componente No Carbonáticos	Componentes Carbonáticos	% de Matriz	Componente No Carbonáticos	Componentes Carbonáticos	% de Matriz
10.426'6"	60	29	———	54	39	5
10.429'8"	1	93	———	3	94	3
10.432'7"	15	70	———	3	95	1
10.438'	45	25	———	24	65	10
10.441'3"	40	25	5	64	9	23
10.444	10	80	———	6	89	5
10.455'	40	25	5	39	39	18
10.463'6"	5	80	1	8	77	15
10.467'4"	20	65	———	15	79	6

En este caso se observa cierta ciclicidad en el aumento y disminución de los componentes en orden estratigráfico para cada ensayo, sin embargo también se observa discrepancia en el componente que tiene mayor predominio en cada caso, como lo es para 10.438' que tiene mayor dominio de los componentes no carbonáticos en el análisis petrográfico mientras que para la Difracción de Rayos-X sucede lo contrario. Al igual que en los otros pozos estudiados la Difracción de Rayos-X arrojó una cantidad de matriz que en el análisis petrográfico no se reconoció.

5.3 Calibración núcleo-registro

Antes de la elaboración de las columnas se realizó la calibración de los núcleos con los registros, esto se hace con el fin de corregir la profundidad de perforación con la que se realizó la toma de núcleo (registro coregamma) con la profundidad real en la que encuentran las muestras en el subsuelo (registro gamma ray). De esta forma se determinan el tope y base de las unidades estratigráficas estudiadas, se analizan secuencias, parasecuencias y se establece la correlación entre los diferentes pozos estudiados.

A continuación se muestra el cálculo realizado de los desfase de los registros coregamma y gamma ray en los cuatro pozos.

5.3.1 Calibración coregamma-gamma ray

La calibración se realiza debido a que durante la perforación de los pozos se arrastra un error en la estimación de la profundidad de las muestras del subsuelo, la cual es corregida al final de la perforación con la toma de registros donde se calcula con una herramienta la profundidad verdadera del pozo. Dado que las muestras de núcleos se toman antes de terminar la perforación completa del pozo, la profundidad de estos viene con el error que se arrastra durante la perforación al momento de ser tomados estos, por lo que todos los análisis que se hacen a los núcleos viene con el error de estimación verdadera de profundidad, por lo que debe de corregirse esta. Esta corrección se hace mediante la calibración del registro coregamma que se le toma al núcleo (profundidad de perforación) con el registro gamma ray que se toma al final de la perforación (profundidad verdadera)

La finalidad de correlacionar ambos registros es encontrar y modificar los errores del perforador, de esta manera se sabrá exactamente la profundidad del tope y la base de la unidad analizada. La comparación de los registros permitirá observar el desfase que exista entre ambos, para poder realizar la calibración del pozo es necesario tomar un marcador que sirva como referencia, bien sea un marcador regional o local de un intervalo interpretado.

A continuación se indican los cálculos realizados en ambos pozos

- Pozo SMW-31X

En los registros del pozo SMW-31X se tomó como marcador el punto A correspondiente a la base de la Formación Navay y el punto A' el cual es el base del miembro la Caliza "O" (Figura 80) no se observa un desfase entre las profundidades del gamma ray y el coregamma.

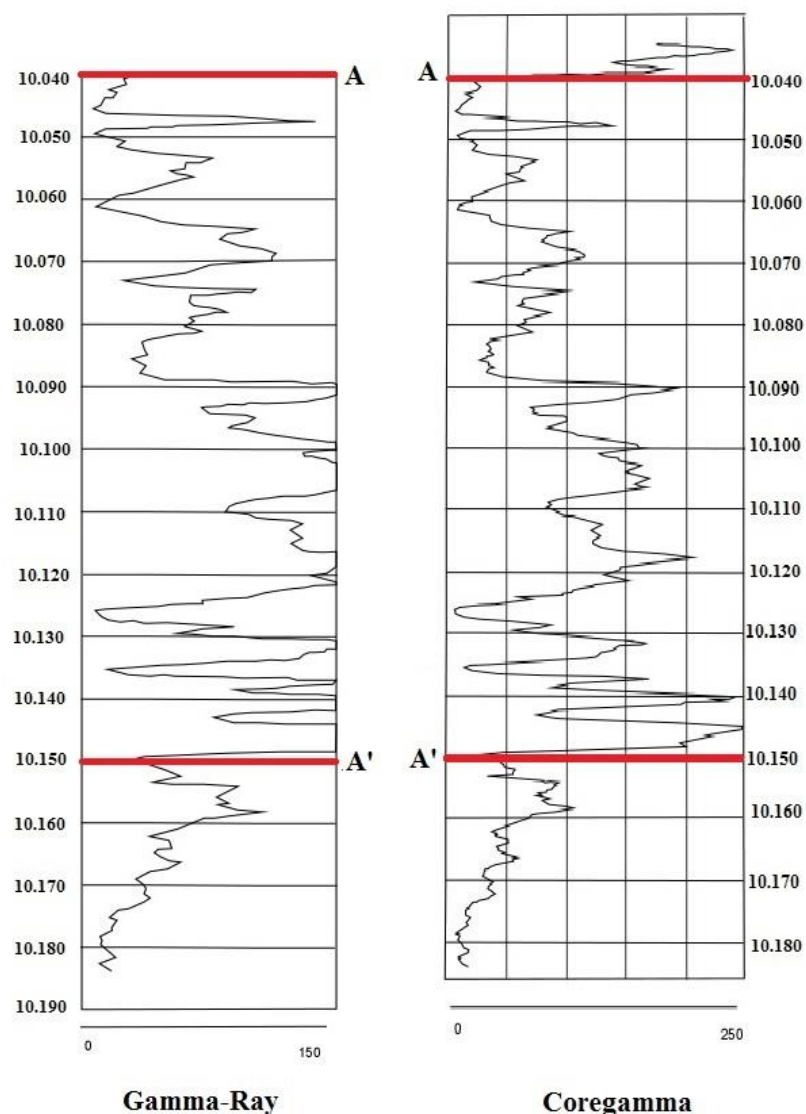


Figura 80. Calibración de los registros coregamma y gamma ray dentro del núcleo SMW-31X.

- Pozo SMW-28

En la calibración de los registros del pozo SMW-28 se tomó como marcador el punto B el cual corresponde a la base de la Formación Navay, y el punto B' que corresponde a una lutita interpretada como la superficie de máxima inundación (MFS) del intervalo O analizado (Figura 81). En el gamma ray la base de la Fm

Navay la profundidad corresponde a 10.450' y en coregamma 10.430', es decir que el desfase entre ambos registros es de 20 pie, mientras que en la superficie de máxima inundación del gamma ray es de 10.495' y en el coregamma 10.480' el desfase entre ambos es de 15 pie. En el gamma ray se expone toda la información encontrada a lo largo del pozo, mientras que el coregamma no, ya que pueden haber intervalos faltantes que no se muestrearon, y esto se sabe al calibrar ambos registros. (Ver figura 72)

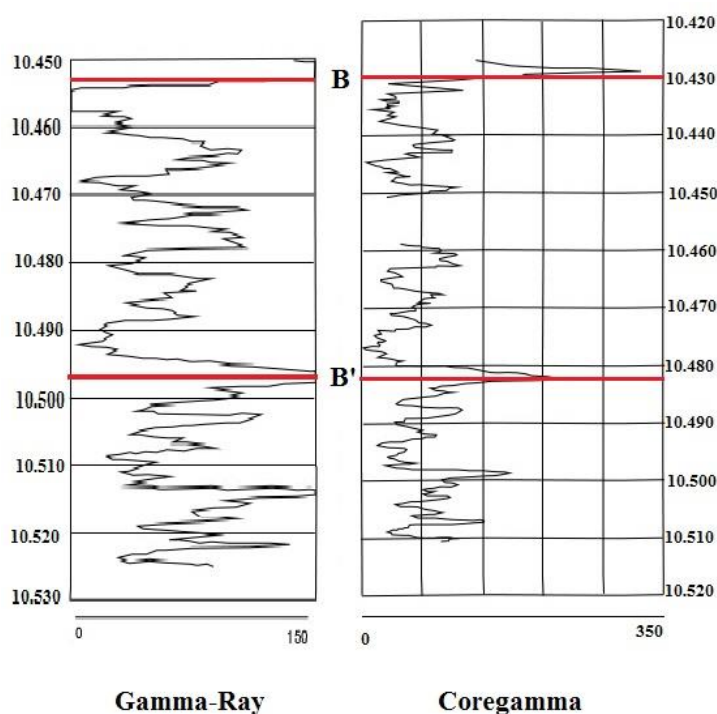


Figura 81. Calibración de los registros coregamma y gamma ray dentro del núcleo SMW-28.

- Pozo SMW-23

En la calibración del registro se tomó como marcador el punto C (ver figura 82) en cual representa a la base del Miembro La Morita de la Formación Navay. En el gamma ray el marcador C se encuentra en la profundidad 10.418' y en el coregamma

en la profundidad 10.410' por la cual el desfase entre ambo coregamma es de 8'. El segundo marcador es el punto C' y representa a la superficie de máxima inundación local que se encuentra en el Miembro Caliza "O" de la Formación Escandalosa, este marcador se encuentra en la profundidad 10.468' en el gamma ray mientras que en el coregamma se encuentra en la profundidad 10.460' por lo cual el desfase es de 8' entre ambos registros.

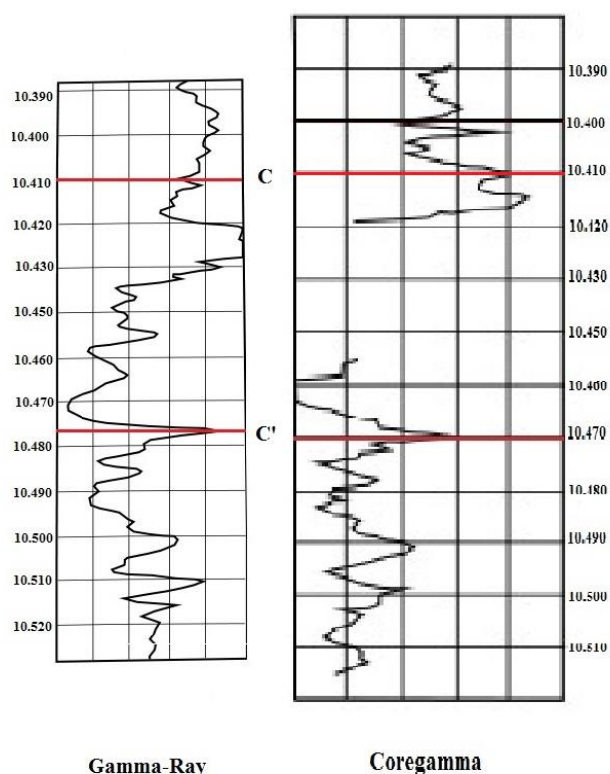


Figura 82. Calibración de los registros coregamma y gamma ray dentro del núcleo SMW-23.

- Pozo SMW-13

Para determinar el desfase entre registro se tomaron como marcador el punto D (ver figura 83) que representa la posible base del Miembro La Morita y el punto D' que representa a la superficie de máxima inundación que se encuentra en el Miembro Caliza "O" (Figura). En el gamma ray el marcador D se encuentra a la profundidad

10.430' mientras que en el coregamma se encuentra en la profundidad 10.410' es decir que existe un desfase de 20'. El segundo marcador el punto D' en el registro gamma ray se encuentra en la profundidad 10.480' mientras que en el coregamma se encuentra en la profundidad 10.460' lo cual significa que el desfase entre ambos registro es de 20'.

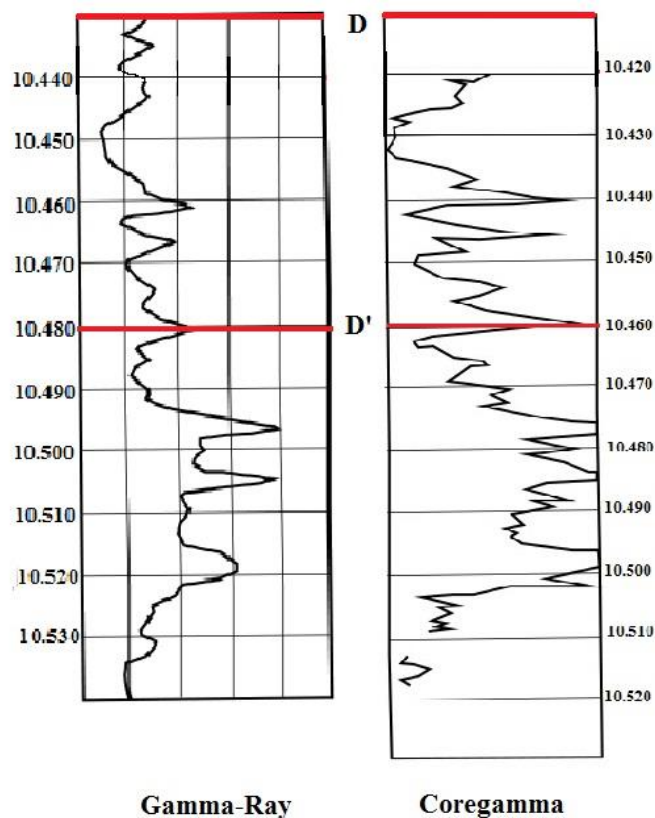


Figura 83. Calibración de los registros coregamma y gamma ray dentro del núcleo SMW-13.

5.4 Correlación Estratigráfica

Para realizar la correlación de los pozos, se tomó en cuenta la descripción sedimentológica de los núcleos, coregamma versus gamma-ray y la calibración entre ellos. La integración mencionada permitió caracterizar los rasgos sedimentológicos y electroformas de registro en los pozos que definen consistentemente una superficie de máxima inundación regional en la base del Miembro La Morita, este fue tomado como datum para la correlación, tomando además como pozo tipo el SMW-31X, debido a que presenta los núcleos completos de cada uno de los miembros (Miembro Arena P, Miembro Caliza O y Miembro La Morita) lo que permite tener con exactitud los límites de las secuencias.

En la figura 84 y 85 se muestra la correlación realizada en los coregramas, donde la línea roja superior representa el límite del Miembro La Morita y el Miembro Caliza O; la línea roja inferior representa la superficie de máxima inundación dentro del Miembro Caliza O. En la figura 85 se puede observar que hay un cambio lateral, aumentando el espesor desde la superficie de máxima inundación de la Caliza O y la base del Miembro La Morita. En la figura 86 se muestra la columna estratigráfica realizada, en la cual de igual forma se puede observar la correlación realizada de los 4 pozos, desde la superficie de máxima inundación que se encuentra en la Caliza O hasta la base de La Morita, en los pozos SMW-31X, SMW-28 y SMW-23 se mantiene el espesor, mientras que hacia el pozo SMW-13 el espesor se reduce.

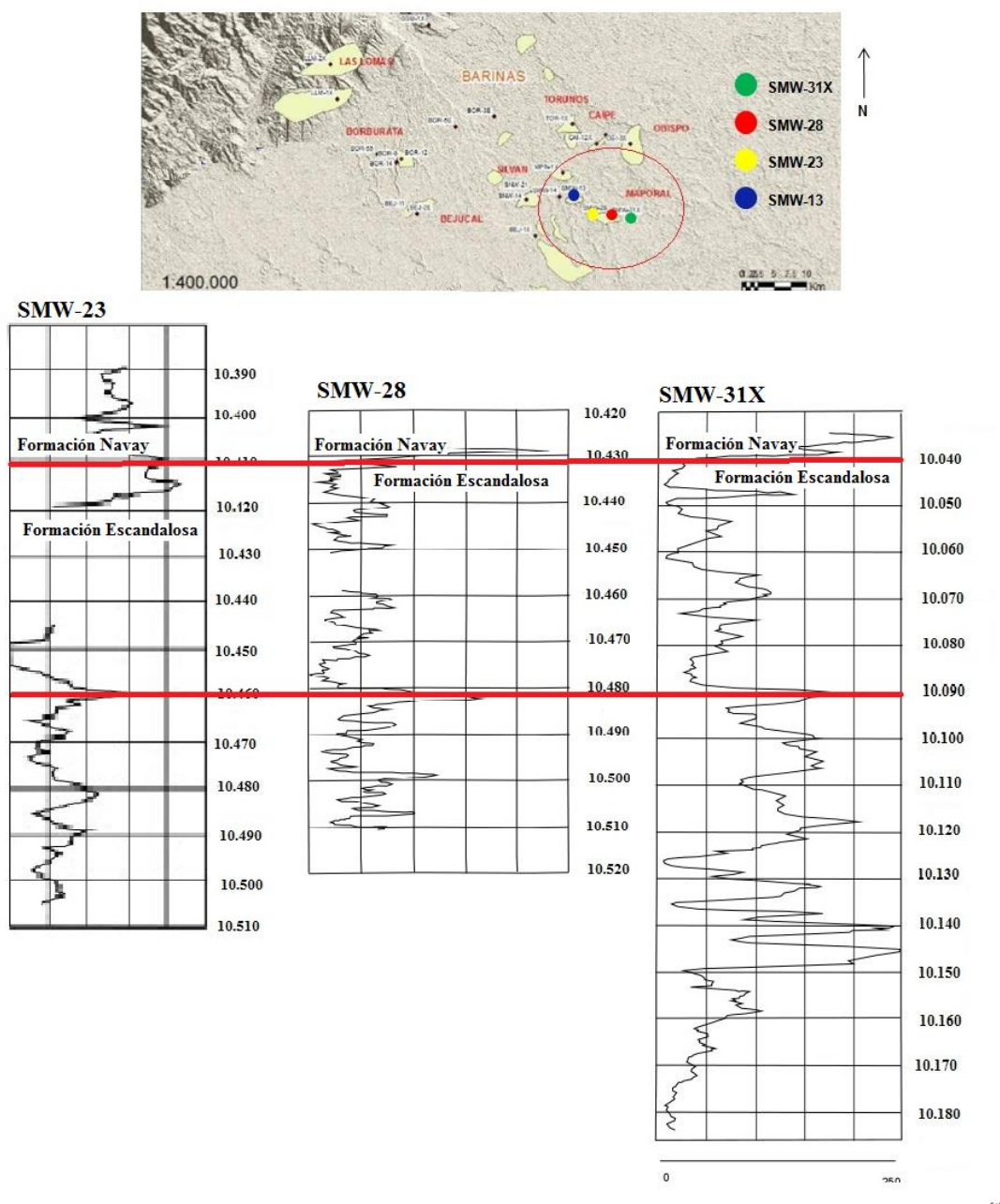


Figura 84. Ubicación de los pozos estudiados y correlación de los pozos SMW-31X, SMW-28 y SMW-23.

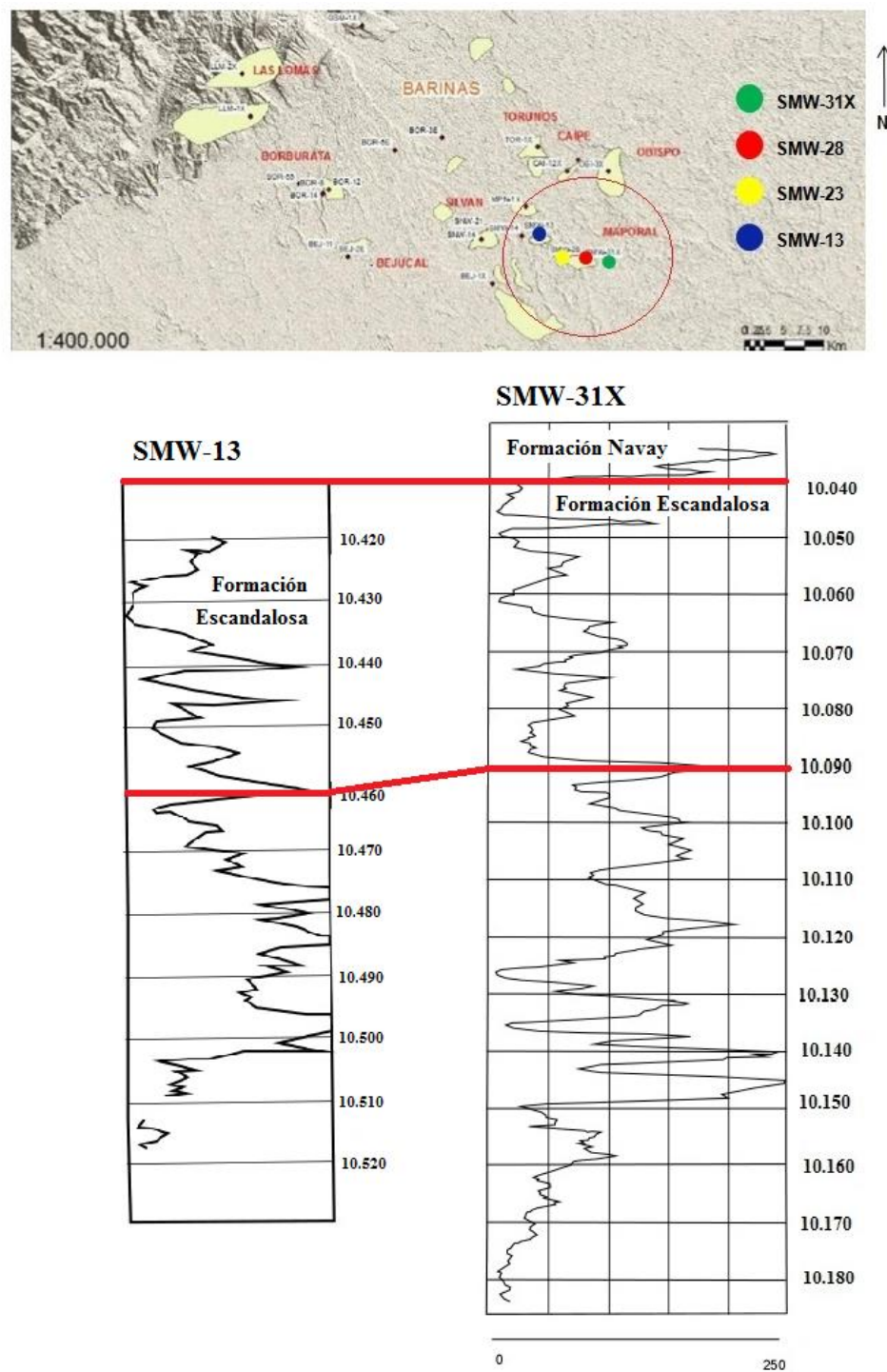


Figura 85. Ubicación de los pozos estudiados y correlación de los pozos SMW-31X y SMW-13.

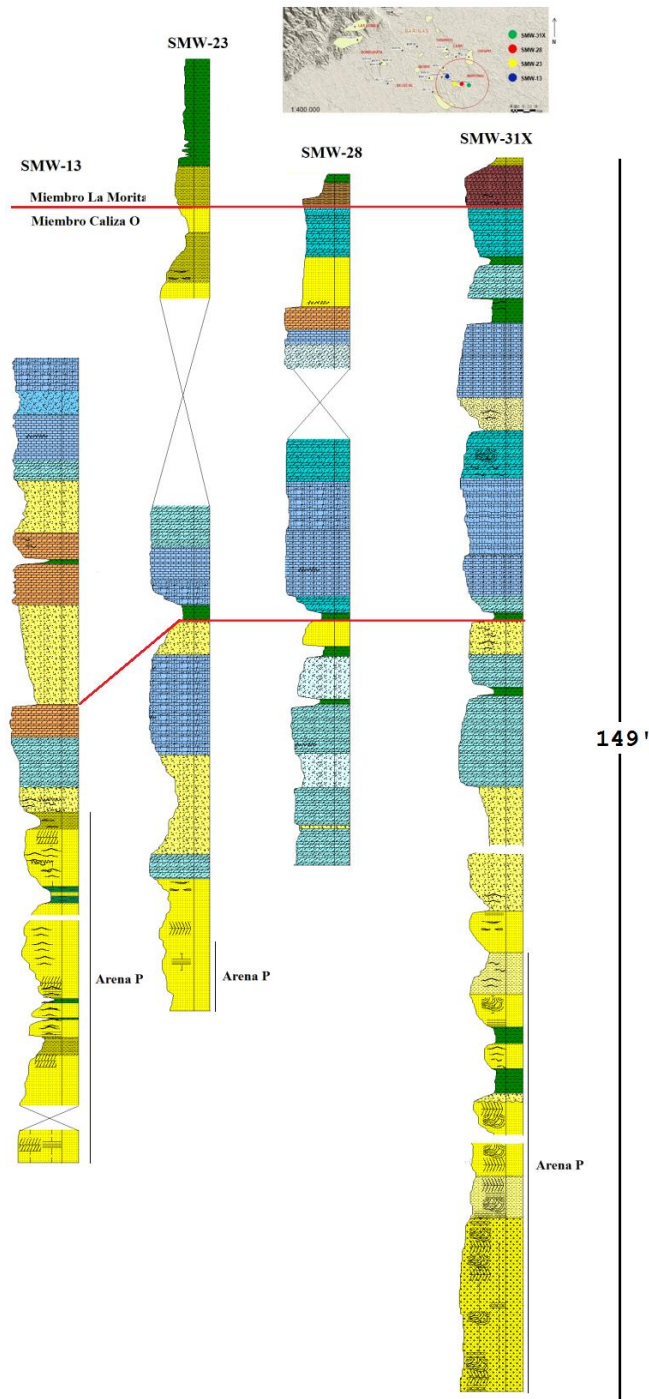


Figura 86. Correlación por medio de las columnas estratigráfica de los pozos SMW-31X, SMW-28, SMW-23 y SMW-13.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Interpretación y Análisis del Modelo Diagenético

6.1.1 Diagénesis de Siliciclásticos

El Miembro Arena “P” fue mejor estudiado en el pozo SMW-31X, donde se estudiaron xx pies de núcleos, analizándose las muestras correspondientes a las profundidades de 10.135’3”, 10.158’6”, 10.170’8” y 10.183’6”, en las que se pudieron observar los siguientes rasgos diagenéticos:

Cementación: este proceso se observó en tres muestras, 10.158’6”, 10.170’8” y 10.183’6” como precipitación de cemento de sílice rellenando poros o como sobrecrecimiento de granos. Esta precipitación ocurre debido a una sobresaturación del fluido del poro en ciertas sustancias, dando lugar a la formación de minerales de diversa composición química, en este caso sílice (Sandoval, 2000). Se notó que existe un incremento de cemento de sílice y disminución de porosidad secundaria a medida que aumenta la profundidad.

Compactación: este proceso se genera producto del aumento de la presión o carga sedimentaria al incrementarse la profundidad de soterramiento y generalmente se expresa con la disminución del volumen del sedimento, debido a la disminución de su porosidad original, expulsión del fluido intersticial, empaquetamiento más apretado por deformación y fracturamiento de los mismos (Sandoval, 2000). La compactación está íntimamente relacionada con los tipos de contactos encontrados, en estas cuatro muestras se observó que los granos estaban en contacto longitudinal en su mayoría y otros en contacto cóncavo-convexo, generando así la deformación de granos dúctiles, lo cual describe un nivel de compactación bajo a moderado.

Disolución: por la acción conjunta de presión y disolución hay componentes que son disueltos selectivamente (Zapata, 1983). La disolución de los materiales

sedimentarios durante la diagénesis puede ser en forma parcial y total e involucra no solo las partículas sedimentarias detríticas (esqueleto y/o matriz), sino que también pueden ser materiales previamente precipitados, reemplazados, recristalizados, etc. (Sandoval, 2000). Para este caso, dos muestras (10.135'3 y 10.170'8'') mostraron disolución de granos extraclásticos, mientras que en 10.158'6'' se observó solo disolución de cemento de sílice y para la última muestra (10.183'6'') no hubo ocurrencia de este proceso.

Presión- Solución: este proceso no es más que la disolución de los minerales por efecto del aumento de la presión litostática, para estas muestras a excepción de 10.183'6'' se observó la presión-solución dada por los contactos antes mencionados, longitudinal y cóncavo-convexo lo cual sugiere una compactación baja. (Figura 87).

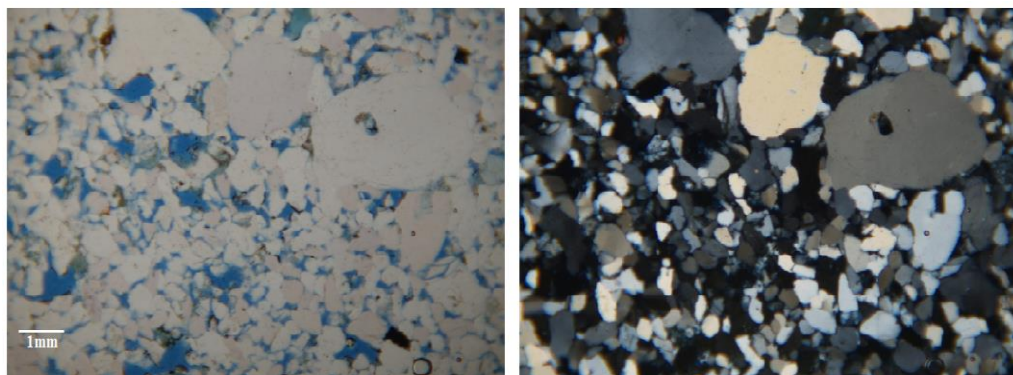


Figura 87. Tipos de contactos observados en la muestra 10.170'8'' del pozo SMW-31X, con objetivo de 2.5X en nicoles paralelos (Izquierda) y nicoles cruzados (derecha).

Por otra parte en 10.158'6'' se pudo observar la presencia de glauconita y materia orgánica, lo cual indica un ambiente reductor bajo una etapa diagenética temprana en la que es necesario que la materia orgánica sea capaz de absorber hierro y sílice coloidal (elemento constituyente de la glauconita), el cual precipitará por reducción de la materia orgánica en una etapa diagenética temprana (ZAPATA, 1983), ver figura 88.

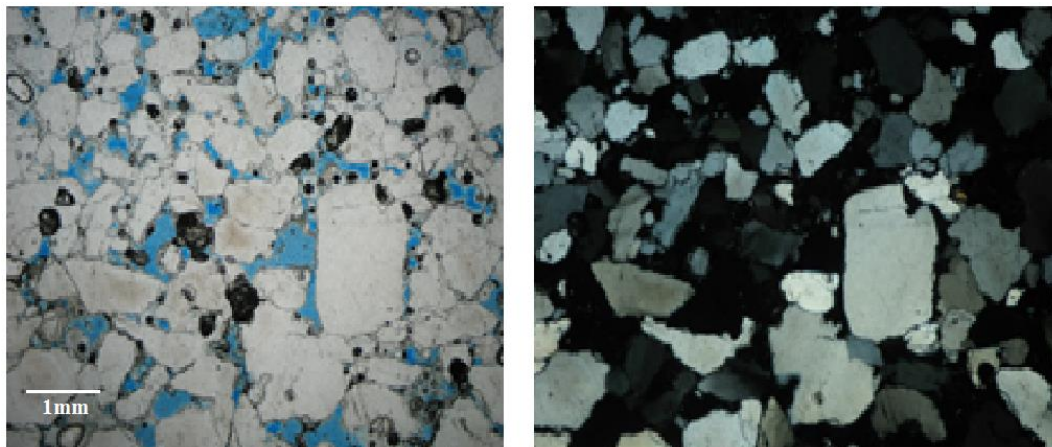


Figura 88. Se observa muy baja presencia de glauconita y materia orgánica, típico de un ambiente reductor en la muestra 10.158'6'', con objetivo 2.5X en nicoles paralelos a la izquierda y cruzados a la derecha.

6.1.2 Diagénesis de rocas carbonáticas

Según Zapata (1983) la diagénesis en zonas carbonáticas es la transformación de sedimentos carbonáticos en caliza (Folk, 1974), y comienza con los procesos que transforman ese sedimento, los cuales pueden ser procesos continuos y constante que trabajan el sedimento, o cambios en las rocas como respuesta a modificaciones ambientales.

Los procesos fundamentales que originan la diagénesis en las rocas carbonáticas son de dos tipos: orgánicos y químicos

Procesos orgánicos

Agregación

Por este medio ocurre la formación de pellet, en condiciones de poca compactación y depositación lenta (Zapata, 1983). De las 102 muestras analizadas en los pozos, en 52 muestras se evidenciaron rastros de procesos orgánicos de agregación. Los pellets que se observaron en las muestras de la Formación Escandalosa de los cuatro pozos están reemplazados glauconita y fosfato, figuras 89 y 90.

En el pozo SMW-31X de 10.114' hasta 10.042' se observaron pellets reemplazados por glauconita. Hacia la base se encontró un 10% de pellets y hacía el tope del intervalo se reduce hasta un 5%. En el pozo SMW-28 se observaron pellets (entre 10% y 5%) desde la profundidad de 10.510' hasta la 10.430'10''. En la mayoría de las muestras analizadas del pozo SMW-23 se encontraron fragmentos de pellets excepto en 10.473'7''. Por último en el pozo SMW-13 en las profundidades 10.459'7'', 10.458'2'', 10.447'3'', 10.440'6'' y 10.435' se encontraron pellets en baja proporción (entre un 3% y 1%).



Figura 89. Se observan estructuras semicirculares de color verde, correspondientes a pellets glauconitizados correspondiente a la muestra 10.092'6'' del pozo SMW-31X.



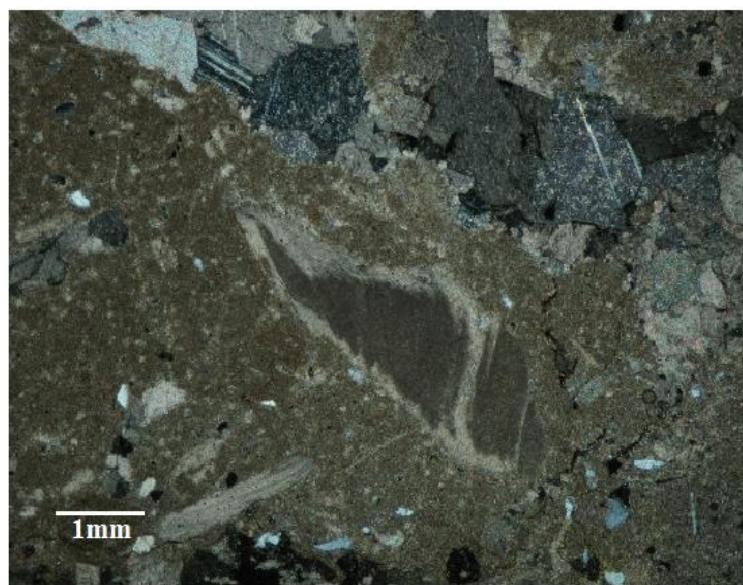
Figura 90. Se observan estructuras semicirculares de color verde, correspondientes a pellets glauconitizados correspondiente a la muestra 10.461'5'' del pozo SMW-28.

Erosión en partículas esqueléticas y envoltorio micrítico

Ambos procesos son producto de la acción erosiva de organismos comedores. Unos corroen externamente las conchas, desgastando su pared exterior, transformándola en un ropaje micrítico lodoso y otros horadan perforando a través de la concha, favoreciendo la penetración del lodo y otros materiales constituyentes de la matriz.

Estos procesos se producen a profundidades variables, desde marea alta hasta varias decenas de metros (Zapata 1983).

Solo se observa en pozo el SMW-31X en las muestras 10.036', 10.054'8'' hasta la 10.088'7'' y en el pozo SMW-28 en las muestras 10.445'3'', 10.465' 10.474'3'' y 10.503'9'' todas de la Formación Escandalosa. En la figura 91 se observa la gran cantidad de micrita rodeando todo el fósil lo cual representa un envoltorio micrítico. Mientras que la figura 92 muestra un fragmento de molusco corroído por un microorganismo.



2.5 NIGULES PARALELOS

Figura 91. Se observa la micrita como matriz de la roca envolviendo al fósil perteneciente a la muestra 10.060'8'' del pozo SMW-31X.

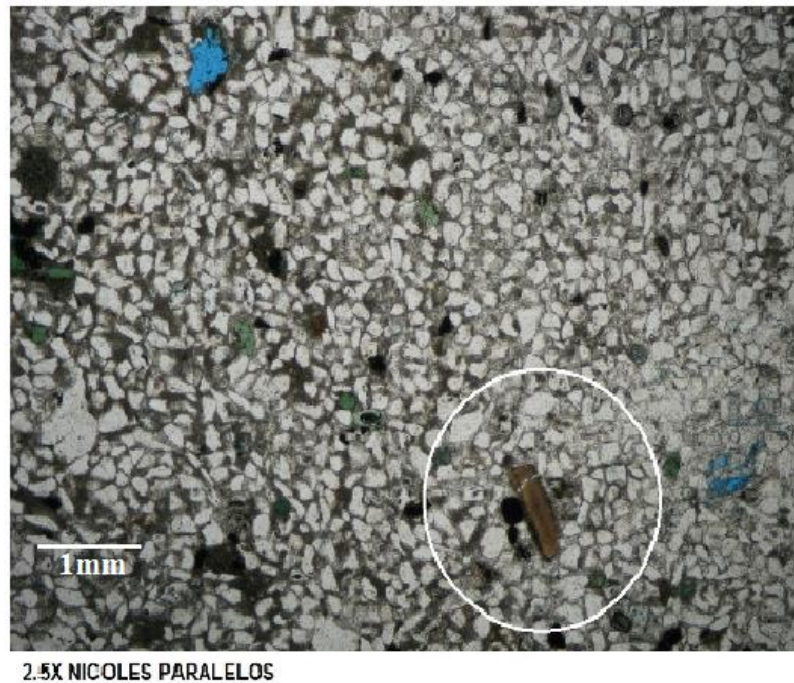


Figura 92. Se observa marcado por el círculo blanco, una estructura alargada que corresponde a un fragmento de molusco, corroído por microorganismos. Perteneciente 10.067' del pozo SMW-31X.

Procesos químicos

Cementación

Este proceso tiene lugar durante todo el tiempo diagenético. Se inicia en las etapas más iniciales de la diagénesis, bajo la influencia del ambiente depositacional y no se detiene mientras las condiciones del medio sean favorables para su ocurrencia (Fuchtbauer, 1974).

El pozo SMW-31X presenta espato y microespato en escasa proporción, específicamente en las muestras 10.060'8'', 10.086', 10.088'7'', 10.095'2'', 10.100'8'' y 10.103' (figura 93).

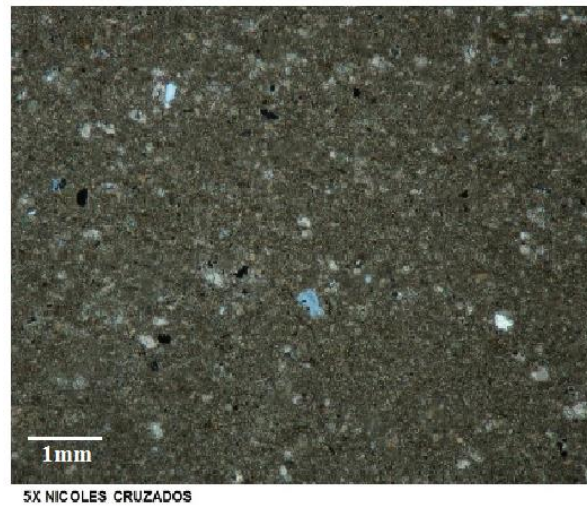


Figura 93. Cemento microespato como matriz perteneciente a la muestra 10.054'8'' del pozo SMW-31X.

Las muestras 10.060'8'', 10.83'2'' y 10.086' del pozo SMW-31X presentan cemento sintaxial o sobrecrecimiento de calcita precipitada en continuidad óptica (Zapata 1983), estos se presentan principalmente dentro de los Pelecípodos. En los otros tres pozos, el cemento sintaxial es el predominante y se encuentra en la mayoría de las muestras estudiadas, al igual que el cemento granular. (Figura 94)

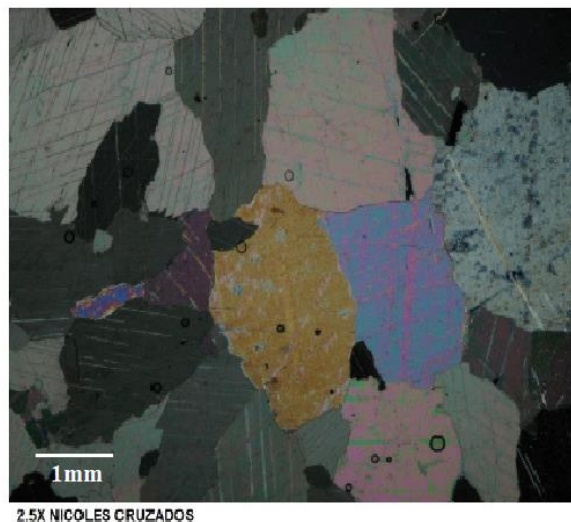


Figura 94. Se observan cemento sintaxial, con sus características maclas en la muestra 10.461'5'' del pozo SMW-28.

Neomorfismo

Transformación por la cual un mineral conserva su composición original, pero adquiere forma, tamaño de cristales y orientación diferente. Estos términos pueden usarse para expresar colectivamente inversión y recrystalización, o también cuando se desconoce el proceso exacto (Zapata, 1983).

De las 102 muestras analizadas solo 58 mostraron algún tipo de neomorfismo, todas estas muestra se encuentran a lo largo de la Formación Escandalosa. Para el pozo SMW-31X, de las 33 muestras analizadas, solo 27 mostraron algún tipo de neomorfismo, en las cuales se evidenció la inversión homoaxial, heteroaxial, agradante y recrystalización. En las muestras que van desde 10.103' hasta 10.059'10'' presentaron todas estas variedades de neomorfismos, y hacía el tope y hacía la base solo se observó recrystalización. Zapata (1983) define la inversión homoaxial como la transformación por medio de una película de líquido migrante, que causa simultáneamente disolución del viejo mineral y precipitación del nuevo como en el reemplazamiento ordinario. Para la inversión heteroaxial este mismo autor la define como una transformación por un cambio de posición de los iones en la película cristalina, sin presencia de líquido ni largo transporte de iones, no hay relación óptica ni textural entre los cristales de aragonito y calcita, la mayoría de las conchas de los moluscos son heteroaxial. Este proceso se genera en la diagénesis intermedia y es la huella que delata que la roca pasó por esta segunda etapa diagenética. En el pozo SMW-31X las muestras que presentaron este tipo de neomorfismo, van desde la 10.100'8'' hasta la 10.059'10''. En la figura 95 se observa la inversión heteroaxial, donde el aragonito cambia a calcita, aunque la presencia de aragonito, todavía se encuentra hacía los bordes, caso contrario ocurre en la figura 96 que pertenece al pozo SMW-28, donde la calcita está relleno completamente el molusco.



Figura 95. Se observa inversión heteroaxial dentro del fragmento de molusco pertenece a la profundidad 10.059'10'' del pozo SMW-31X.

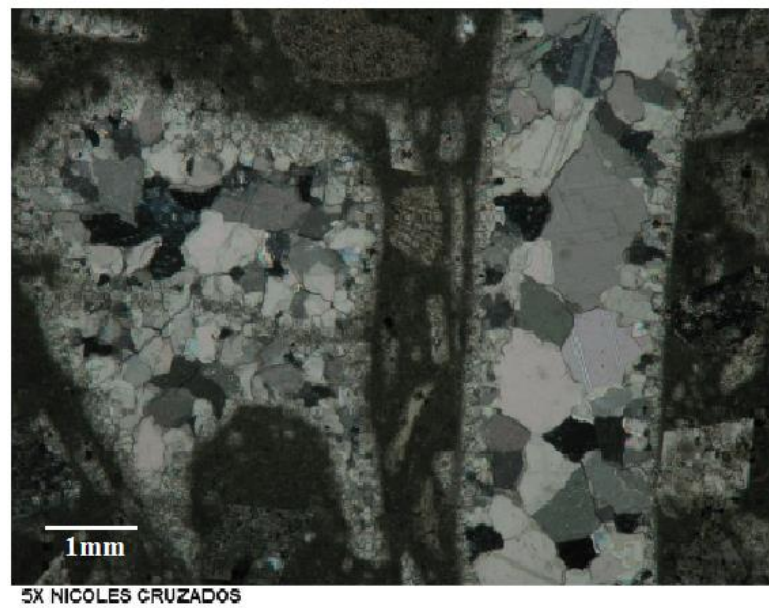
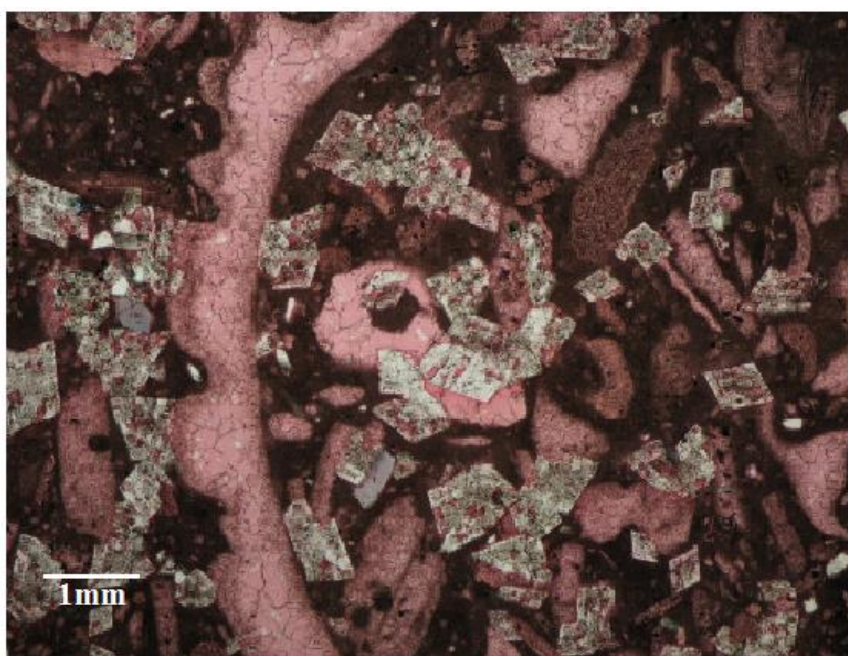


Figura 96. Se observa inversión heteroaxial dentro del fragmento de molusco pertenece a la profundidad 10.474'3'' del pozo SMW-28.

En el pozo SMW-28 también se observó neomorfismo a lo largo de toda la Formación Escandalosa, el neomorfismo más resaltante en este pozo es la recrystalización (figura 97). La recrystalización queda evidenciada básicamente en las distintas transformaciones que se producen en un polimorfo que provoca la aparición de nuevos cristales de la misma composición, pero con distintos tamaños y forma. En el pozo SMW-23 no se observa ningún tipo de neomorfismo, debido a la alta porosidad que se tiene en las muestras. Y en el pozo SMW-13 se presenta neomorfismo de recrystalización e inversión heteroaxial.



2.5 NICÓLES PARALELOS

Figura 97. Se observa la recrystalización de la micrita en granos de cemento espato (pequeños granos que nada en la micrita), y sustitución de dolomita a calcita, perteneciente a la profundidad 10.474'3'' del pozo SMW-28.

Reemplazo

Según Zapata (1983) es el reemplazamiento de los constituyentes originales por un mineral de composición completamente diferente, sin que para ello se desarrolle cavidades importantes.

Dolomitización: Según Méndez (2009) la conversión a dolomita se puede efectuar durante la diagénesis temprana, tan pronto como el sedimento es depositado, siendo penecontemporánea con la depositación (dolomitización singenética), cuando la dolomitización se efectúa un largo tiempo después de la depositación se denomina dolomitización de diagénesis tardía (epigenética), en este último caso es un reemplazo y difiere del neomorfismo. En ambientes hipersalinos el proceso de dolomitización puede ser muy temprano, debido a la presencia de sales minerales con alta proporción de Mg, este último caso es el que se observa en los cuatro pozos a lo largo del Miembro Caliza O. El tipo de dolomita que se reconoce es una dolomita sucia con impurezas, con caras curvadas de tipo barroca.

En el pozo SMW-23 se observan cristales de dolomita de tipo barroca, esto es con muchas impurezas y caras cristales curvadas, la cual está asociada a la diagénesis temprana en ambientes hipersalinos. En algunas de estas muestras se reconocieron restos de cristales de anhidrita. Se presenta en las muestras una elevada porosidad y además se evidencia que la matriz de estas rocas fue un lodo carbonático, con minerales evaporíticos como la anhidrita, que tempranamente se evaporaron, quedando el lodo enriquecido en magnesio, lo que dio origen al proceso de dolomitización, quedando el sedimento con espacios vacíos, lo que generó la porosidad secundaria. (Figura 98)

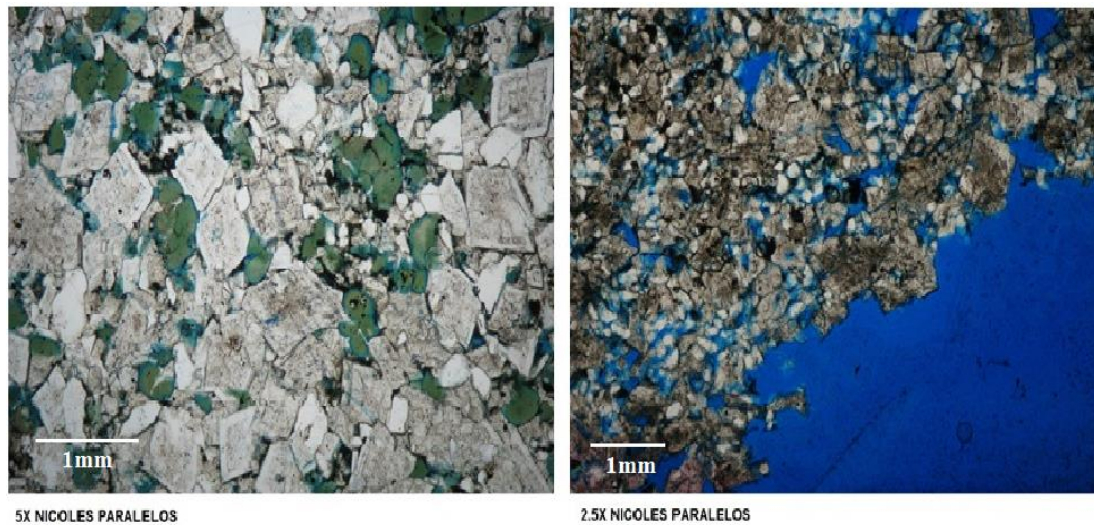


Figura 98. Hacia la izquierda se muestra dolomitización en el pozo SMW-28 perteneciente a la muestra 10.508' y hacia la derecha se observa la dolomitización con la porosidad intercrystalina ocupada por resina coloreada de azul, se observan los núcleos anubarrados de los cristales de dolomita y sobrecrecimiento limpio en la periferia perteneciente al pozo SMW-23 en la profundidad 10.447'3''.

Dedolomitización: Es un proceso de disolución mediante el cual los rombos de dolomita son lixiviados dejando un espacio poral que es posteriormente rellenado por cristales finos de calcita delineados por calcita drúsica.

Este remplazamiento se presenta en escasas proporciones a lo largo de cuatro pozos. En el pozo SMW-28 (figura 99) se observa la dedolomitización microcristalina, definido por Zapata (1983) en donde los rombos de dolomita son reemplazados por una acumulación de pequeños cristales de calcita, este reemplazo comienza a menudo en el interior del rombo de tal manera que solo una pequeña envoltura de dolomita queda o en caso extremo queda la forma romboédrica.



Figura 99. Dedolomitización microcristalina presente en el pozo SMW-28 en la profundidad 10.445'. Evidenciado por los manchones rojos dentro de la dolomita (los círculos blanco encierran a la dolomita que está pasando por un proceso de dedolomitización, y se puede observar por el manchón rojo en el interior de la dolomita).

Silicificación: el término se refiere a reemplazo de sílice. El material silíceo reemplaza parcial o totalmente a rocas carbonáticas, esqueletos y madera. Los minerales de sílice más típicamente antigénicos son: cuarzo, calcedonia, cuarzina y chert (Zapata, 1983).

Este tipo de reemplazamiento se encuentra presente a lo largo de todos los pozos en poca proporción. En el pozo SMW-28 se observa la silicificación en la muestra 10.445'9'' de un fósil que está siendo reemplazado por calcedonia (Figura 100) la cual representa una silicificación diagenética inicial (o temprana), generalmente relacionada con depositación marina (Zapara, 1983).



Figura 100. Reemplazamiento de calcedonia en un fósil perteneciente al pozo SMW-28 en la profundidad 10.445'9''.

Glaucionitización y Piritización: Se refiere al reemplazo por glauconita y/o pirita que tiene lugar en las rocas carbonatadas. Estos dos procesos indican condiciones reductoras del medio diagenético en ambiente marino. Puede ocurrir en forma conjunta o separada (Zapata, 1983).

En la mayoría de las muestras analizadas se encontró este tipo de reemplazamiento, en algunos casos aparece de forma simultánea o solo aparece la glauconita.



Figura 101. Se observa en color negro el mineral opaco que corresponde a la pirita, perteneciente al pozo SMW-28 en la profundidad 10.479'4''.



Figura 102. Se aprecia la glauconitización de granos subredondeados correspondientes a pellets en el pozo SMW-31X en la profundidad 10.114'.

La pirita ocurre en el pozo SMW-28 siendo menos frecuente en el pozo SMW-31X y se presenta reemplazando a los cristales de dolomita. En muestra de mano, esta pirita se encuentra relleno de cavidades en las estilolitas.

Otros reemplazamientos observados en las muestras son de fosfato y anhidrita. El fosfato tiene poca aparición en todos los pozos estudiados, mientras que la anhidrita es más abundante, y se encuentra dentro de fósiles, o reemplazando cemento de dolomita.

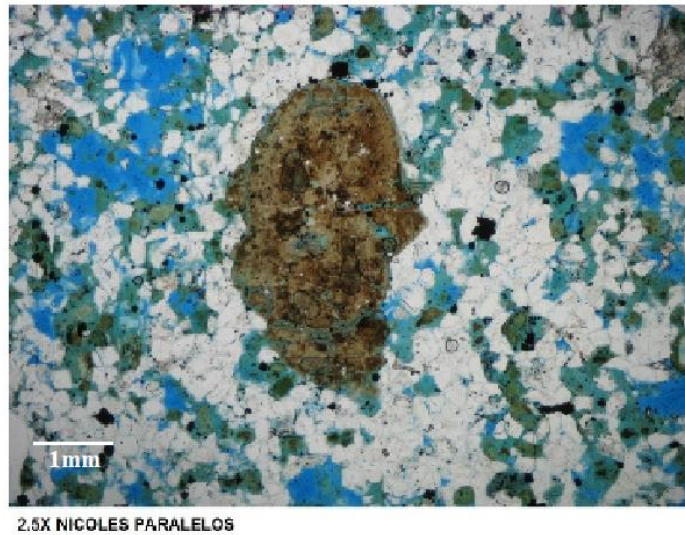


Figura 103. Se observa un fragmento fosfatizado color marrón en la zona central perteneciente al pozo SMW-23 en la profundidad 10.457'5''

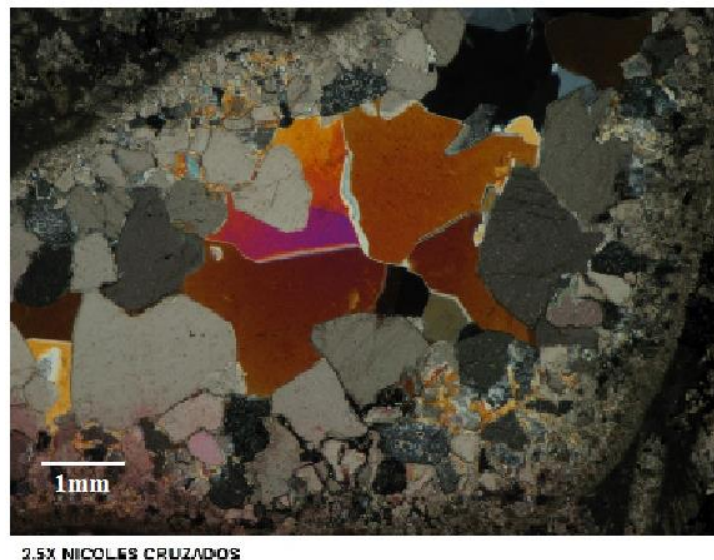


Figura 104. Se muestra un fósil siendo reemplazado por anhidrita en el pozo SMW-31X en la profundidad 10.083'2''.

Disolución: Aquellos procesos por medio de los cuales los carbonatos y otros minerales son disueltos selectivamente, generalmente, por la acción conjunta de presión y disolución. Incluye también la formación de porosidad, normalmente disminuye la porosidad y permeabilidad (Zapata, 1983).

La disolución presente en los cuatro pozos estudiados, varía entre disolución de los granos y disolución del cemento. En los pozos SMW-28, SMW-23 y SMW-13 la disolución del cemento carbonático es más abundante. En la Figura 105 se observa la disolución de la matriz.

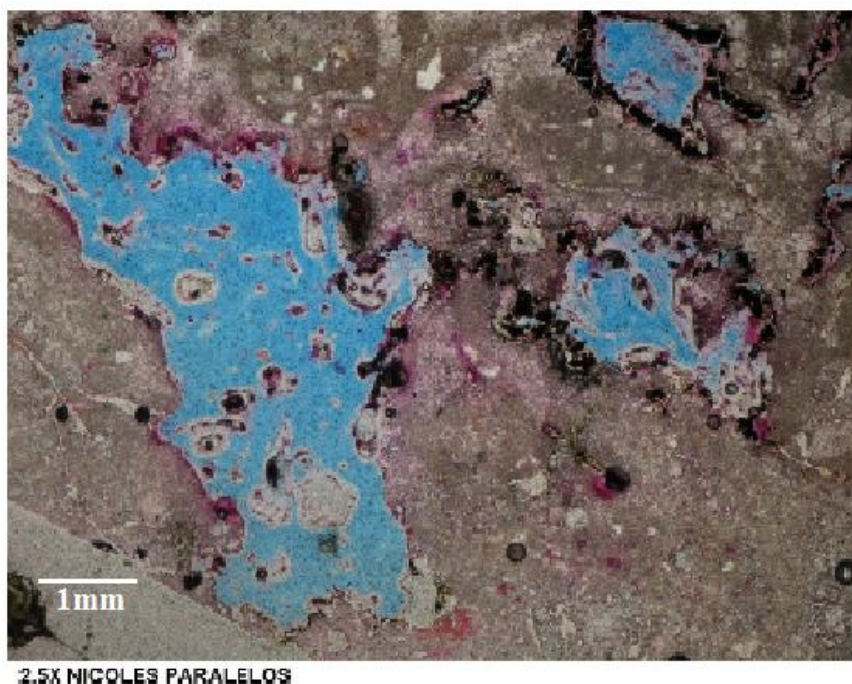


Figura 105. Se observan zonas azules (porosidad) dentro de la sección fina correspondiente a disolución de la matriz en la profundidad 10.086' en el pozo SMW-31X.

Compactación: Según Sandoval (2000) se refiere a los principales cambios físicos que tienen lugar en un sedimento desde el mismo instante en que estos son depositados, se producen esencialmente por efecto de la compactación mecánica producto del aumento de la presión o carga sedimentaria al incrementarse la profundidad de soterramiento y generalmente se expresa como una disminución de su

porosidad original, expulsión del fluido intersticial, empaquetamiento más apretado y por deformación y fracturamiento de los mismos.

Una evidencia de compactación se ve reflejada en las estilolitas que no son más que estructuras de origen diagenético “prelitificación”, formadas por sobrecarga, que son consecuencia de la disolución de material carbonático a lo largo de líneas aserradas, dentadas. En el pozo SMW-31X se evidencian estas estilolitas 10.059’10’’ y 10.060’8’’, en el pozo SMW-28 en las profundidades 10.445’9’’, 10.486’ y en el pozos SMW-13 en la profundidad 10.423’3’’.

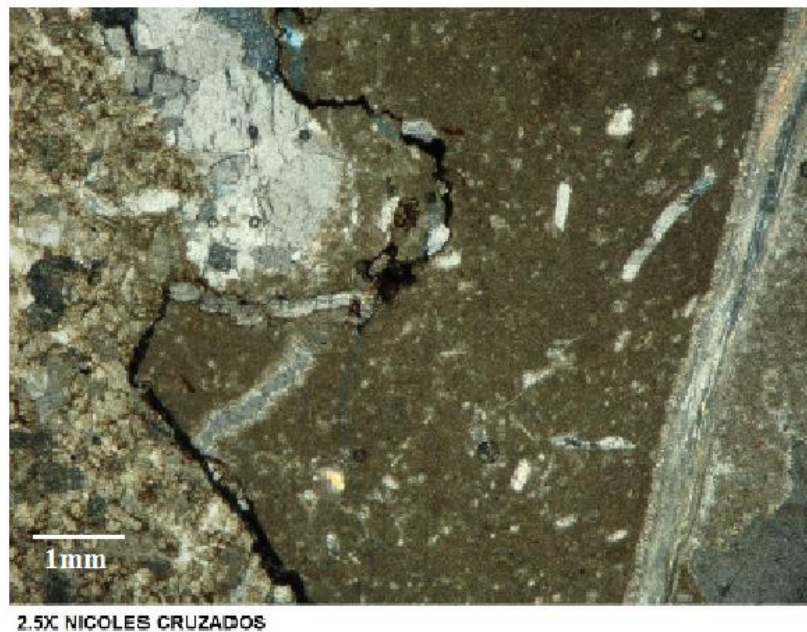


Figura 106. Muestra una estilolita en el pozo SMW-31X en la profundidad 10.059’10’’

Según Mendez (2009) la estilolitización aun cuando es común en las rocas sedimentarias de carbonatos, se presenta con mayor frecuencia en los sedimentos o facies que han tenido un proceso de litificación menor en o cerca de la superficie. En numerosos núcleos de Cretácico de la cuenca de Maracaibo en Venezuela, las facies transgresivas no expuestas directamente a la exposición aérea, o menos afectada por diagénesis de aguas meteóricas, generalmente presentan mayor incidencia y número de estilolita.

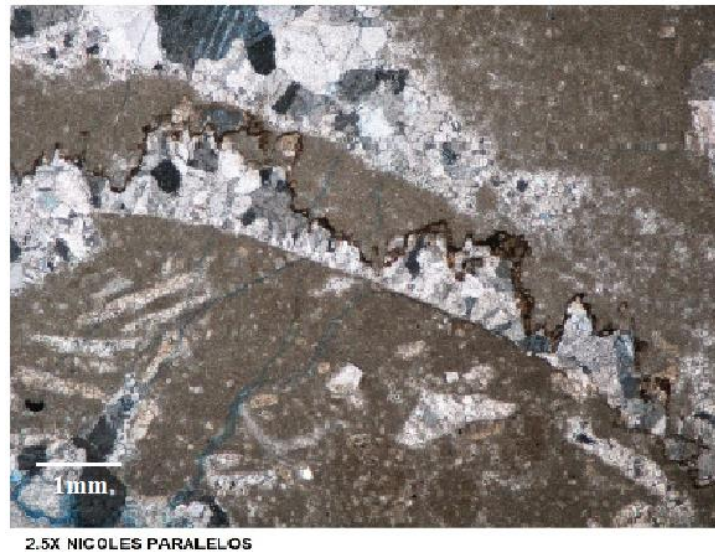


Figura 107. Muestra una estilolita a lo largo de la sección fina en el pozo SMW-28 en la profundidad 10.448’

Las estilolitas deben ser de origen post-cementación, pues interceptan a la micrita o al cemento intergranular a lo largo de un mismo plano de microfractura. Es posible que las estilolitas comiencen a desarrollarse en sedimentos que están claramente cementados, y que por liberación de carbonato de calcio aporten al proceso de cementación. Presumiblemente el crecimiento de una estilolita se detiene cuando la permeabilidad del sedimento ha disminuido tanto, como resultado de la cementación, que inhibe la movilidad iónica. Hay también referencias de formación de estilolitas en el proceso diagenético temprano y es debido a la mínima sobrecarga a corta distancia de la interfase agua sedimento. En muestra de mano la acumulación de estilolitas se encontraban hacia el tope, al igual que en el pozo SMW-28, mientras que en el pozo SMW-23 se observaron una gran cantidad de estilolitas hacia la base, generando de igual forma microfallas, por lo cual se puede decir que la mayor compactación fue hacia el tope de la Formación Escandalosa.

De todas las muestras analizadas el contacto longitudinal y cóncavo-convexo fueron los más predominantes, la mayoría de estos contactos se observan en muestras donde el contenido de arenisca es considerable aun cuando estas presentan una pequeña cantidad de cemento calcáreo. El contacto longitudinal según Sandoval

(2000) se forman por efectos del aumento de la presión de soterramiento lo cual puede ocurrir cuando por efectos de la presión- solución, se desarrollan contactos longitudinales entre granos o partículas rígidas (Figura 108).

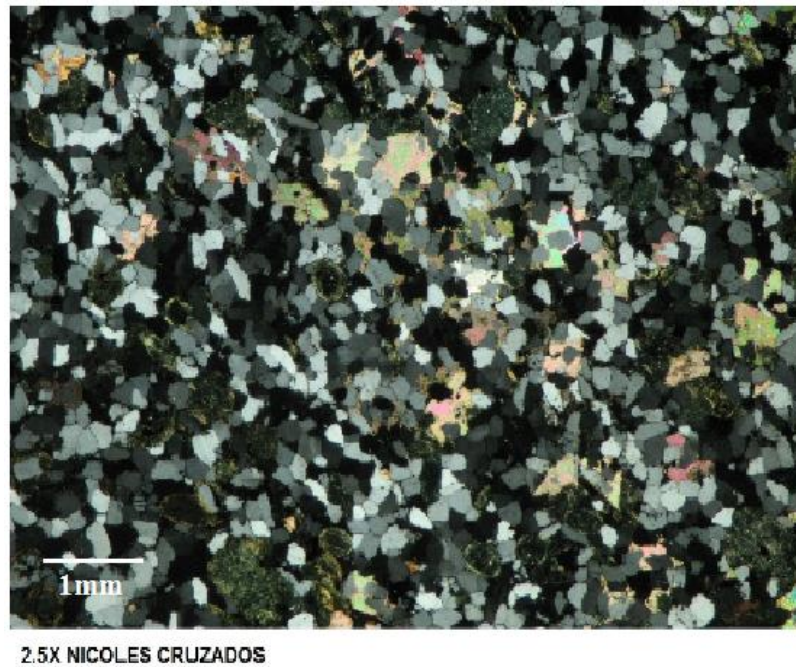


Figura 108. Se observan contactos longitudinales entre los granos de cuarzo del pozo SMW-13 en la profundidad 10.440'6''.

La presencia de contactos longitudinales predominando, contacto cóncavo-convexo y suturados describen un proceso en el que se está pasando de una compactación baja a una alta por lo cual se puede decir que el nivel de compactación es intermedio.

Tabla 15. Rasgos diagenéticos del pozo SMW-31X.

Muestra	Clasificación según dunham 1962 yMont 1985	Episodios diagénicos	Paragenética	Procesos orgánicos			Cementación					Reemplazamiento					Neomorfismo			Contacto-Presión-Solución			Disolución			Porosidad			Zonación de minerales																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				Bioturbación	Mineralización	Formación de enrojecimiento micritico	Microspato	Pseudospato	Dipato	Granular	Satúrcal	Monico	Manisco	Filoso	Radial	Tipo de cemento predominante	Dolomitización	Dedolitización	Silicificación	Glaucinitización	Fossilización	Astirina	Para	N. inserción homocaxal	Recristalización	N. inserción Agralante	N. inserción heterocaxal	Grano-Matriz	Grano-Cement	Tangencial	Longitudinal	Conca-Corse	Suturado	Estallida	Grano-Matriz	Cemento	Pt. Fósil	Intrapartícula	Intrapartícula	Disolución	Fractura	Vag.	Modica	Dolomia-Caleita	Caleita-Dolomia	Dolomia barrosa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
10.036'	Dolomia Aloquímica Arenosa	4	P8	X				X					CaMgCO3				X		X	X								X	X			X													X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
10.041'	Arenisca Dolomítica						X							CaMgCO3	X						X	X									X	X			X										X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
10.042	Dolomia Aloquímica Arenosa								X					CaMgCO3	X						X	X									X	X			X											X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
10.046 6"	Caliza Dolomítica Arenosa					X					X			CaMgCO3	X						X									X	X				X			X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
10.049'	Dolomia Calcítica Alouquímica Arenosa								X					CaMgCO3		X	X				X	X	X						X	X				X		X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
10.053 6"	Mudstone			X			X							CaMgCO3							X														X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
10.054 8"	Mudstone				X		X							CaMgCO3							X														X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
10.057 11"	Mudstone	3		X		X							CaMgCO3							X																	X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
10.059 10"	Dolomia Calcítica Aloquímica Lodosa			X	X				X	X				CaMgCO3	X					X		X	X		X									X		X										X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
10.060 8"	Packstone de Pelecipodos			X	X			X		X	X	X		CaMgCO3	X					X		X	X		X										X													X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
10.067'	Arenisca Micritica				X	X	X							CaCO3			X			X	X	X		X					X	X						X				X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
10.069'	Dolomia Aloquímica Arenosa									X				CaMgCO3	X						X	X							X	X							X											X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
10.072 8"	Arenisca Micritica					X	X	X					X	CaCO3				X		X	X	X		X													X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
10.081'	Caliza Aloquímica Arenosa		2			X	X					X	X	CaCO3				X		X	X		X			X													X										X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
10.083 2"	Packstone de Pelecipodos			X	X	X		X	X			X		CaMgCO3	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X		X								X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
10.086'	Packstone de Pelecipodos				X	X			X	X				CaMgCO3	X						X	X	X		X			X							X														X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
10.088 7"	Dolomia Calcítica Aloquímica Arenosa				X	X		X			X		X	CaMgCO3	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X													X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
10.091'	Arenisca Dolomítica Aloquímica						X					X		CaMgCO3				X	X	X		X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
10.092 6"	Arenisca Dolomítica Aloquímica								X		X			CaMgCO3				X											X	X									X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
10.095 2"	Caliza Dolomítica Arenosa				X				X		X			CaMgCO3	X	X				X		X	X		X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
10.100 8"	Dolomia Aloquímica Arenosa	1						X	X				CaMgCO3	X	X				X		X	X		X																										X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
10.103'	Dolomia Arenosa							X						CaMgCO3	X					X		X			X																									X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
10.105 2"	Caliza Dolomítica Aloquímica Arenosa										X	X		CaMgCO3							X		X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
10.107 6"	Dolomia Arenosa										X	X		CaMgCO3																X	X																							X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
10.108 5"	Caliza Dolomítica Aloquímica Arenosa													CaMgCO3				X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

Tabla 16. Rasgos diagenéticos del pozo SMW-28.

[illegible]

Tabla 17. Rasgos diagenéticos del pozo SMW-23.

Muestra	Clasificación según dunham 1962 y Mont 1985	Episodios diagnósticos	Pansecuencias	Procesos orgánicos		Cementación							Reemplazamiento			Neomorfismo			Contacto-Presión-Solución				Disolución			Porosidad			Zonación de minerales																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
				Bioturbación	Mineralización	Formación de envoltorio mineralógico	Microespato	Pseudospato	Epigato	Granular	Subaral	Mosaico	Menisco	Fibroso	Radial	Tipo de cemento predominante	Dolomitización	Dedolitización	Silicificación	Glauconitización	Fontañización	Ashubita	Perla	N. anoxia horizontal	Recristalización	N. anoxia aglutinante	N. anoxia heteroclasica	Gruco-Matriz	Gruco-Gramet	Tangencial	Longitudinal	Conca-Corve	Sudrado	Estilobila	Gruco-Matriz	Cemento	Pr. Fosil	Interpartícula	Intrapartícula	Disolución	Fractura	Vug	Moldita	Dolomia-Calcita	Caliza-Dolomitea	Dolomitea barrosa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
10.446'	Dolomia Calcítica Aloquímica Arenosa	4	P5					X	X				CaMgCO3		X											X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

Tabla 18. Rasgos diagenéticos del pozo SMW 13

[illegible]

6.2 Síntesis de la Diagénesis a partir del análisis petrográfico

Los análisis petrográficos realizados fueron vitales para realizar interpretaciones que pudieran facilitar la comprensión de las etapas diagenéticas regidas por los diferentes procesos diagenéticos, bajo los cuales se encuentran las rocas sedimentarias que constituyen las muestras analizadas. Dichos procesos fueron mencionados anteriormente y son: cementación, compactación, presión-solución, reemplazamiento, disolución, etc.

Expuesto esto, se pudieron reconocer 4 episodios definidos por procesos diagenéticos claves en cada uno de los pozos descritos en orden estratigráfico, los cuales se encuentran reflejados en las tablas 8, 9, 10 y 11 mostradas anteriormente.

Episodio 1

Fue identificado en los pozos SMW-31X, SMW-28, SMW-23, SMW-13 y se caracteriza por la presencia de cemento de sílice en el Miembro Arena P estudiado en el pozo SMW-31X, este episodio también se define por tener un proceso de dolomitización temprana con cristales curvados de dolomita mejor conocida como dolomita barroca que tiene una elevada incidencia en los 4 pozos mencionados, también se define por la aparición de cemento carbonático de tipo granular y menisco, bajo un proceso de reemplazamiento por glauconitización y piritización moderada. En este episodio también se observa disolución de granos hacia la base y de cemento hacia el tope del intervalo, así como un proceso de agregación en la cual los pellets se observaron en condiciones de baja compactación. El Neomorfismo en forma de recristalización comienza a aparecer a partir de la profundidad 10.124' en el pozo SMW-31X y 10.508' en el pozo SMW-28. También se puede apreciar un nivel de compactación leve puesto que solo se observaron dos tipos de contactos predominantes, longitudinales en la mayoría de los casos y cóncavo-convexos en segundo lugar. En este caso se puede inferir una diagénesis **temprana**, de bajas profundidades y bajas temperaturas, en un ambiente freático entre la zona vadosa y la zona de mezcla de agua meteórica con agua marina.

Episodio 2

Este episodio se observó en los pozos SMW-31X, SMW-28 y SMW-23 con disolución solo de granos, y un nivel de Neomorfismo mucho mayor que el episodio anterior debido a la alta cantidad de muestras que presentan Neomorfismo agradante, inversión homoxial e inversión heteroaxial, también se puede apreciar un proceso de glauconitización y piritización más elevado. Este episodio se caracteriza por poseer reemplazamiento por silicificación así como un elevado nivel de recrystalización a lo largo de todo el intervalo de los 3 pozos mencionados. En este caso desaparece el cemento carbonático de tipo menisco, aumenta la cantidad de cemento granular y se observan las primeras apariciones de cemento syntaxial en continuidad óptica. Para este episodio y por los procesos diagenéticos más resaltantes la diagénesis es **temprana a intermedia**, con un grado de dolomitización bastante importante y la alta presencia de dolomita barroca, característico de un ambiente meteórico donde predominan los procesos de dolomitización y disolución.

Episodio 3

La característica más importante de este episodio son las primeras apariciones de microestilolitas debido a la compactación diferencial entre secuencias litológicas diferentes y los arreglos de espesores pronunciados. Desaparece la glauconitización y piritización para el pozo SMW-31X, aunque en los pozos SMW-28 y SMW-13 existen estos tipos de reemplazamientos, pero de una forma mucho más elevada que en los episodios anteriores, sin embargo disminuye el reemplazamiento por dolomitización. Hay presencia de Neomorfismo moderado con niveles de recrystalización elevados y disolución de cemento en los 3 pozos mencionados. Para este episodio ya se comienzan a observar niveles de fosfatización y se conserva el dominio de cemento carbonático de tipo granular y syntaxial con continuidad óptica, lo cual es respuesta a un proceso diagenético **intermedio**, en un ambiente meteórico por debajo de la zona freática de aguas frescas.

Episodio 4

Este episodio solo pudo caracterizarse en los pozos SMW-31X y SMW-23, el cual tiene como característica más relevante la aparición de contacto suturado entre los granos lo cual indica un nivel de compactación medio por efectos de presión-solución, continúa disminuyendo el nivel de reemplazamiento por dolomitización aunque todavía se observa la alta presencia de dolomita con caras redondeadas (dolomita barroca). De la misma manera se observó la reducción de cemento granular y sintaxial, y una gran cantidad de cemento de tipo mosaico, generado bajo una diagénesis *intermedia*, que se produjo en un ambiente freático de aguas frescas por debajo de la zona vadosa.

En general, con todos los resultados proporcionados gracias al estudio de los procesos diagenéticos mediante evaluaciones petrográficas para los 4 pozos en el intervalo geológico estudiado, se pudo interpretar que las rocas sedimentarias que se encuentran en los niveles más profundos sufrieron una diagénesis *temprana* posterior a su deposición, para los siguientes intervalos la diagénesis pasa de *temprana* a *intermedia* y en su mayoría se debe a cambios por presiones litostáticas.

6.3 Interpretación diagenética a partir del ensayo de proporción de minerales de arcilla

Como se pudo apreciar en el capítulo V un análisis por Difracción de Rayos-X puede efectuarse a la roca en su totalidad o solo a su fracción fina (menor a 2 micras). La aplicación de esta técnica en el análisis de la fracción fina, permite la identificación de los minerales de arcillas presentes en la roca, previa su separación y concentración. A continuación, se hará el análisis diagenético e interpretación de las etapas diagenéticas a partir de las arcillas presentes.

En la figura 109 se puede observar las condiciones de pH y K^+ a las cuales se pueden formar cada una de las arcillas estudiadas.

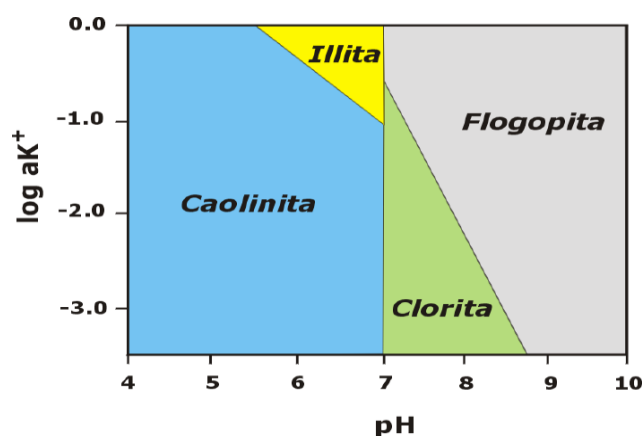


Figura 109. Diagramas de “barreras geoquímicas”. Modificado de Krumbein & Garrels (1952).

Teniendo el tipo de arcillas identificadas, se puede determinar las profundidades hasta las que llegó el soterramiento de la roca, y por lo tanto su estado diagenético. SENGOZAC (1970) establece la relación de minerales de arcilla hidratados con el medio donde se encuentran, determinando el desarrollo de minerales como la Clorita y la Ilita a partir de la relación con los componentes Mg y K^+ contenidos en dicho medio. En la siguiente imagen se puede observar que un ambiente rico en K^+ es adecuado para activar arcillas tipo Ilita, mientras que un medio rico en Mg puede formar clorita. Ver figura 110.

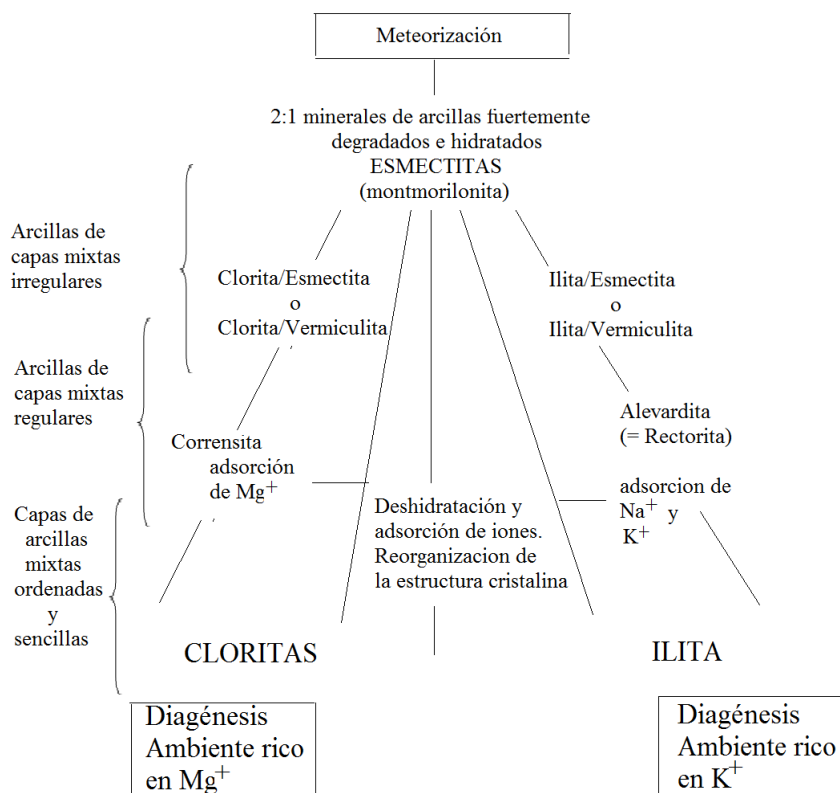


Figura 110. Transformación de los minerales de arcillas durante la diagénesis. Tomado de Sandoval (2000).

Los resultados del ensayo de proporción de minerales de arcillas realizados en los cuatro pozos fueron recalculados para conocer la cantidad exacta de Caolinita, Clorita, Ilita, Ilita-Esmectita y Esmectita presentes en cada pozo (tabla 19) para reforzar el modelo diagénético que permita conocer las etapas diagénéticas y su influencia o no a nivel de parasecuencias.

Tabla 19. Resultados de los recalculos de cada mineral de arcilla presente en los 4 pozos.

Minerales	Proporción total de los minerales de arcilla en cada parasecuencia descrita							
	Parasecuencia 1	Parasecuencia 2	Parasecuencia 3	Parasecuencia 4	Parasecuencia 5	Parasecuencia 6	Parasecuencia 7	Parasecuencia 8
Caolinita	—	—	—	1%	27,06%	3,13%	16,66%	33,37%
Ilita	20%	21,20%	37%	33,36%	37,35%	31,86%	49,22%	40,70%
Ilita-Esmectita	—	40,40%	30,66%	35,86%	13,69%	17,98%	9,88%	25,92%
Esmectita	—	—	—	—	13,35%	23,18%	—	—
Clorita	80%	38,40%	32,33%	29,77%	8,53%	23,82%	24,07%	—
ETAPAS DIAGENÉTICAS	Diagénesis somera a bajas profundidades y con temperaturas menores a los 60 °C	Diagénesis somera a bajas profundidades y con temperaturas menores a los 60 °C	Diagénesis somera a intermedia con profundidades medias y con temperaturas entre 60 °C y 100 °C	Diagénesis somera a intermedia con profundidades medias y con temperaturas entre 60 °C y 100 °C	Diagénesis somera a intermedia con profundidades medias y con temperaturas entre 60 °C y 100 °C	Diagénesis intermedia con profundidades medias y temperaturas mayores a 100 °C	Diagénesis intermedia con profundidades medias y temperaturas mayores a 100 °C	Diagénesis intermedia con profundidades medias y temperaturas mayores a 100 °C

Para conocer el grado de diagénesis que ha sufrido una roca se realiza el estudio petrográfico de las secciones finas, puestos que es allí donde se evidencian los procesos diagenéticos sufridos ya sea por aumento de profundidad o de temperatura. Para obtener un análisis más preciso acerca del grado diagenético sufrido por la roca se puede hacer un análisis de arcillas a partir de la identificación de los minerales de arcillas presentes en la roca, a partir de allí se puede conocer hasta que profundidad llegó el soterramiento diagenético y por ende a que etapa diagenética corresponde figura 111.

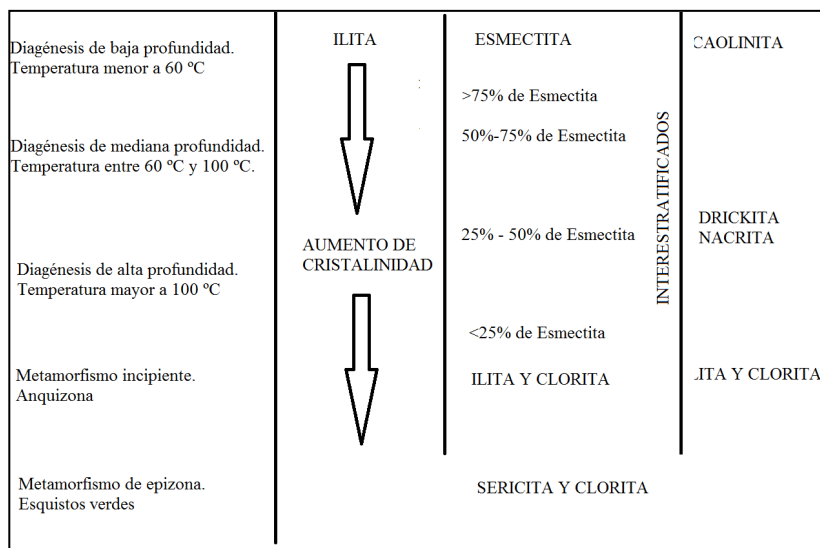


Figura 111. Etapas diagenéticas y % de capas de Illita en los interestratificados (I/S).

En base a la información presentada anteriormente se pudo interpretar que las parasecuencias 1 (definida en la base de los pozos SMW-31X y SMW-23) y 2 (definida en los pozos SMW-31X, SMW-28 y SMW-23) de las cuales se tomaron muestras para el ensayo de proporción de minerales de arcilla, se encuentran bajo una etapa diagenética somera a bajas profundidades y con temperaturas menores a 60 °C. Posteriormente se observaron en las parasecuencias 3, 4 y 5 muestras de Ilita en menor cantidad que de I/S y Clorita donde esta última tuvo alta relevancia con porcentajes entre 31% y 65% indicando entonces una diagénesis de somera a intermedia a profundidades medias y temperaturas entre 60 °C y 100 °C. Así mismo las parasecuencias 6, 7 y 8 presentaron niveles de Ilita representativos (más del 30%) y un porcentaje apreciable de caolinita (hasta 27%) al igual que la presencia de clorita, lo cual es indicador de una diagénesis intermedia con profundidades medias y temperaturas mayores a los 100 °C.

6.4 Ambiente y Modelo sedimentológico

Los pozos estudiados en el Campo Maporal en la cuenca de Barinas, se encuentran separados una distancia promedio de 3km (3km entre el pozo SMW-31X y el SMW-28, 3.8km entre el pozo SMW-28 y el SMW-23 y 3.5km entre el pozo SMW-23 y el pozo SMW-13). Los pozos se encuentran ubicados de este a oeste (SMW-31X, SMW-28 y SMW-23) mientras que el pozo SMW-13 se encuentra ubicado hacía el noroeste. Litológicamente son muy parecidos los pozos que se encuentran más cercanos, mientras que los pozos con más separación tienen diferencias litológicas marcadas. En el pozo SMW-31X se identificaron los tres miembros que constituyen al intervalo Cretácico entre la Formación Escandalosa, con los miembros Arena P y Caliza O y en la Formación Navay con el Miembro La Morita, de este último solo se observó parte de la base constituida por lutitas y limolitas negras con alto contenido de fosfato.

Los análisis petrográficos y de Difracción de Rayos X (DRX) dieron un gran aporte en la interpretación del modelo sedimentológico planteado para dicha zona de estudio. Cada miembro identificado tiene sus propias características sedimentológicas obtenidas en los análisis realizados, por lo cual se hará una interpretación sedimentológica de las parasecuencias presentes en el Miembro Caliza O de la Formación Escandalosa y una interpretación ambiental de los miembros presentes en dicha formación.

6.4.1 Formación Escandalosa

Esta formación se encuentra constituida por los miembros Arena P y Caliza O. El Miembro Arena P está definido por sedimento siliciclástico en su mayoría, con algunas pequeñas variaciones carbonáticas hacía el tope. El Miembro Caliza O está compuesta por sedimento netamente carbonatico. Esta diferencia conlleva a realizar una interpretación sedimentológica diferente.

Este trabajo especial de grado está enfocado en el estudio del Miembro Caliza O, por lo cual se hará más énfasis en este miembro. Para el pozo SMW-31X serán estudiados los miembros que constituyen la Formación Escandalosa al igual que el

intervalo observable del Miembro La Morita. Para los otros tres pozos solo serán estudiados una pequeña parte del Miembro Arena P y todo el Miembro Caliza O perteneciente a la Formación Escandalosa.

Miembro Arena P

En el pozo SMW-31X el Miembro Arena P se encuentra definida por intervalos siliciclásticos tipo arena, que varían en su tamaño de grano desde muy grueso hacia la base hasta muy fino. Hacia el tope se observan intervalos carbonáticos, con una gran variedad de estructuras sedimentarias y huellas fósiles, las cuales son importantes para la identificación de la depositación de los sedimentos en la plataforma. Las huellas fósiles identificadas en este intervalo se encuentran entre la facies de ***Cruziana***, ***Skolithos*** y ***Zoophycus***, ubicadas en la plataforma interna (Shoreface) en un ambiente marino restringido, submareal.

La presencia de estructuras sedimentarias como laminación y estratificación sugieren una depositación en un ambiente costero de plataforma interna. Hacia el tope se presentan intervalos con presencia de estructuras sedimentarias como rizadura y una elevada bioturbación, indicando la profundización de la plataforma interna, posiblemente asociado a una ligera transgresión. Las diversas huellas fósiles observadas en las rocas pertenecen a la facies ***Cruziana***, ***Skolithos*** y ***Zoophycus***. Para la facies ***Skolithos*** ubicada en el Shoreface (plataforma interna) se presentan las huellas de ***Skolithos***, ***Paleophycus***, ***Rosselia*** entre otros asociados a controles ecológicas de salinidad, variaciones de alta y baja energía del agua. En la facies ***Cruziana*** se observan huellas fósiles de ***Thalassinoides***, ***Asterosoma***, ***Scolicia***, ***Rhyzocorallium***, ***Teichichnus***, ***Chondrites*** y ***Planolites*** las cuales se presentan en condiciones ecológicas marinas, aguas salobres, baja energía, temperatura de agua específica y bajo nivel de oxígeno. En la facies ***Zoophycus*** se observa una huella de ***Spirophyton*** asociado a un ambiente marino profundo, se encuentra comúnmente en la pendiente distal, esta huella fósil es la evidencia de que el pozo SMW-31X se

encontraba en la zona más profunda de la cuenca. En la figura 112 se observan las huellas de *Rosselia* y *Spirophyton* observadas en el pozo SMW-31X.

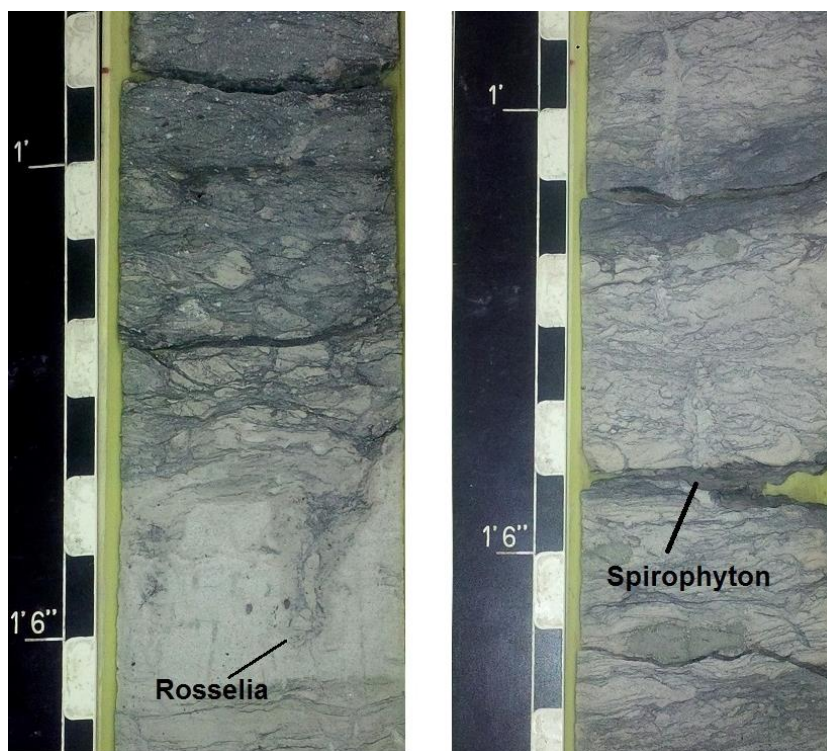


Figura 112. Trazas fósiles observadas en los núcleos del pozo SMW-31X, se describen de facies Skolito la traza de *Rosselia* y la facies Zoophycus la traza *Spirophyton*.

El pozo SMW-23 el Miembro Arena P se encuentra definido por intervalos siliciclásticos tipo arena con un tamaño de grano medio, presenta capas de carbón a lo largo de todo el intervalo lo cual refleja una mayor influencia continental. La presencia de estructuras sedimentarias como estructuras bidireccionales y rizaduras sugiere una depositación en un ambiente costero de plataforma interna, en un ambiente marino restringido.

El pozo SMW-13 está definido por intervalos siliciclasticos tipo arena que van desde muy grueso hasta fino intercalado hacía el tope con material arcilloso.

Las trazas fósiles identificadas en este intervalo se encuentran presente entre las facies ***Cruziana*** y ***Skolithos***, ubicadas en la zona de plataforma interna (Foreshore). En términos generales las rocas ubicadas en este miembro se encuentran entre el área Foreshore y Upper Shoreface. Entre la zona intermareal y supramareal

Miembro Caliza O:

Se ubica hacia el tope de la Formación Escandalosa y se encuentra infrayacente a la Formación Navay. Caracterizado por ser un miembro carbonatico, este intervalo se encuentra ubicado en todos los pozos estudiados del Campo Maporal, posee su mayor espesor en el pozo SMW-31X que se encuentra ubicado hacia el este de los otros pozos. Para la identificación del ambiente de formación de este intervalo, fueron utilizados los estudios petrográficos y de Difracción de Rayos X además de la presencia de algunas bioturbaciones y restos fósiles como pelecípodos y gasterópodos.

En la base de este intervalo se pueden observar la presencia de ciertas huellas fósiles, perteneciente a la facies ***Cruziana***, obteniendo un ambiente de sedimentación entre la zona submareal e intermareal por la presencia de minerales de sílice, glauconita y restos de concha de moluscos como gasterópodos, hacia el pozo SMW-31X por la poca diversidad de huellas fósiles en la base se define un ambiente marino profundo dentro del ambiente marino restringido. En todas las parasecuencias restantes hacia el tope existirán fluctuaciones entre la zona supramareal e intermareal debido al aumento de rocas con contenido de dolomita.

De forma general los ambientes para la generación de las rocas carbonáticas de la Formación Escandalosa están ubicados en la plataforma interna, entre el Backshore y el Shoreface, entre la zona submareal y supramareal.

6.4.2 Estratigrafía secuencial de los pozos SMW-31X, SMW-28, SMW-23 y SMW-13

El Miembro Caliza O de la Formación Escandalosa se encuentra presente en los cuatro pozos, se obtuvo una secuencia constituida por ocho parasecuencias de las cuales se determinaron los ambientes de depositación. Las secuencias 1 y 2 perteneces al Miembro Arenas P de la Formación Escandalosa se presenta en el pozo SMW-31X y la secuencia 2 se presenta en el pozo SMW-13. A continuación se describe la secuencia 3 perteneciente al Miembro Caliza O y sus parasecuencias. (Ver columna sedimentológica anexa)

Secuencia 3

En el pozo SMW-31X se observan las ocho parasecuencias que van desde 10.130' hasta la profundidad 10.040'. En el pozo SMW-28 solo se observan las parasecuencias desde la dos hasta la ocho en la profundidad 10.510' hasta la profundidad 10.430'. En el pozo SMW-23 solo se observan seis parasecuencias, en donde las parasecuencias seis y siete se encuentran ausentes por falta de información, las parasecuencias observadas van desde la profundidad 10.495' hasta la profundidad 10.410'. Y en pozo SMW-13 se observan las ocho parasecuencias desde la profundidad 10.474' hasta 10.420'. Estas secuencias se componen de carbonatos de mezclas, areniscas y dolomías, las cuales conforman el Miembro Caliza O de la Formación Escandalosa.

Parasecuencias 1: Pozo SMW-31X, se presenta en las profundidades 10.130' hasta la 10.125', está compuesta de arenisca de granos medio hacia la base, que presenta huella de *Thalassinoides* que indican un ambiente marino y de bajo a intermedios niveles de energía, y hacia el tope es una arenisca que comienza a presentar una ligera reacción al HCl, ambiente intermareal a submareal. En el pozo SMW-23 la parasecuencia está constituida por arenisca de grano grueso a medio en la base, con estratificación bidireccional además de huellas de *Thalassinoides*, hacia el tope se observa una arenisca de grano medio con alto contenido de glauconita, el ambiente de depositación es submareal. En el pozo SMW-13 se presenta en las

profundidades 10.474' hasta la profundidad 10.472' constituida por una arenisca dolomítica aloquímica, se observan *Thalassinoides* y *Paleophycus* además de estructuras tipo flaser y rizaduras lo cual indica un ambiente de alta energía, depositado entre la zona intermareal a supramareal

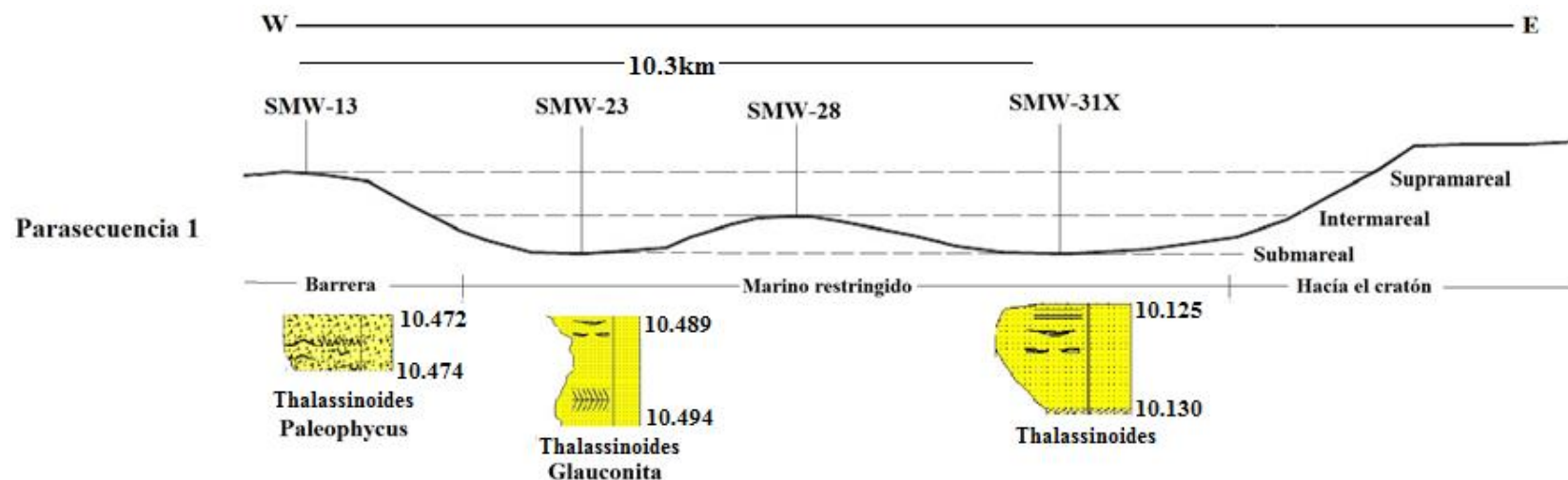


Figura 113. Modelo sedimentológico de la parasecuencia 1 de los cuatro pozos.

La figura 113 muestra el modelo sedimentológico de la parasecuencia 1 donde se encuentran distribuidos los cuatro pozos de este a oeste, en el pozo SMW-28 no se observa la parasecuencia 1 pero se infiere como es la forma de la cuenca en esa zona. Los pozos SMW-31X y SMW-23 se encuentran entre la zona submareal e intermareal, mientras que el pozo SMW-13 se encuentra en la zona supramareal, al borde de la cuenca.

Parasecuencia 2: En el pozo SMW-31X se presenta en las profundidades 10.125' hasta la profundidad 10.118' hacia la base se observa una ligera capa de lutita seguida por una capa de arenisca dolomítica lodosa, en toda la parasecuencia se presentan huellas fósiles de *Thalassinoides* y hacia la base se presentan huellas de *Chondrites*, esto indican un ambiente submareal. En el pozo SMW-28 se presenta en la profundidad 10.510' hasta 10.500', la parasecuencia comienza con la depositación de una dolomita calcítica arenosa y hacia el tope una arenisca dolomítica aloquímica, presenta estratificación tipo festón hacia la base y hacia el tope se presentan brechas y nódulos de calcita, se observa porosidad tipo vug hacia el tope, lo cual indica una depositación en un ambiente intermareal. En el pozo SMW-23 se presenta en la profundidad 10.490' hasta 10.478', se deposita en la base un nivel leve de lutita y hacia el tope una arenisca dolocalcítica aloquímica con abundante glauconita y leve reacción al HCl, presenta huellas de *Thalassinoides* lo cual indica que se encuentra en un ambiente submareal superior a intermareal. En el pozo SMW-13 se presenta en la profundidad 10.472' hasta 10.470', se deposita una dolomía calcítica arenosa con huellas de *Thalassinoides* en un ambiente de alta energía, lo cual indica una zona de depositación supramareal

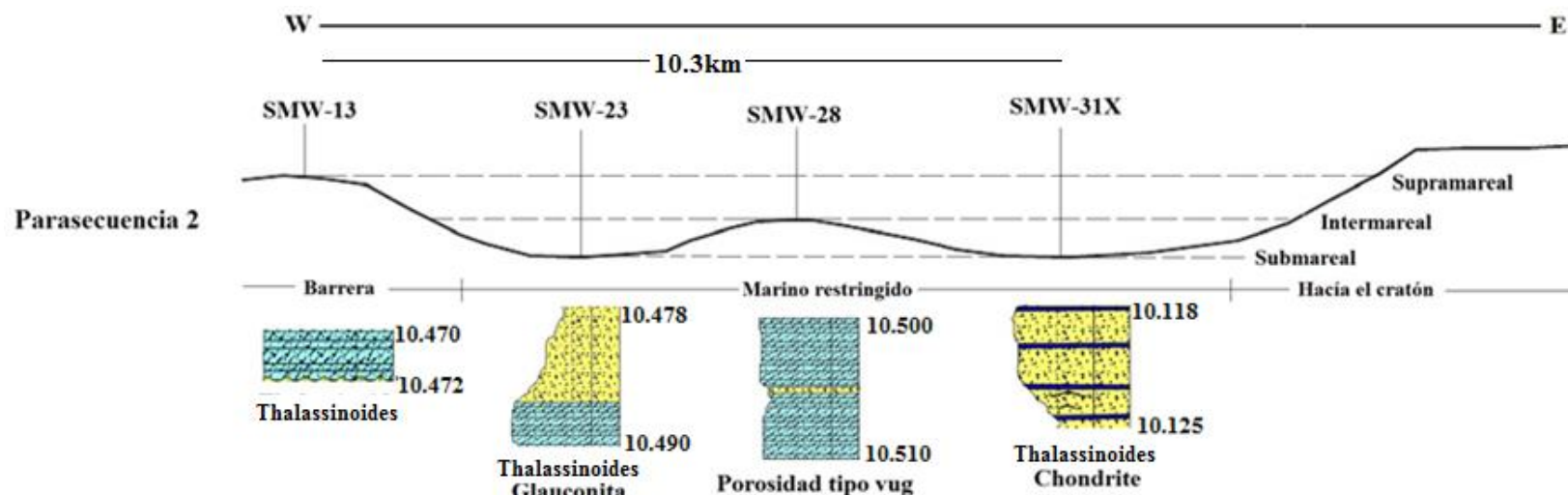


Figura 114. Modelo sedimentológico de la parasecuencia 2 de los cuatro pozos.

En la figura 114 se observa el modelo sedimentológico de la parasecuencia 2, las diversidades de huellas fósiles ayudaron a determinar la zona en donde se encuentra cada pozo, el pozo SMW-13 se encuentra en un ambiente de alta energía en la zona supramareal. El pozo SMW-23 se encuentra en la zona submareal y esto es debido a la cantidad de glauconita presente y las huellas de *Thalassinoides*. El pozo SMW-28 se encuentra en la zona intermareal, debido a la presencia de porosidad vug y la presencia de dolomita. El pozo SMW-31X se deposita en un ambiente submareal debido a las huellas fósiles de la facies Cruziana.

Parasecuencia 3: En el pozo SMW-31X se presenta en la profundidad 10.118' hasta 10.100', en la base comienza con una capa de lutita y huellas de *Thalassinoides* seguido por una arenisca dolomítica aloquímica y hacia el tope se presenta una dolomía calcítica aloquímica arenosa con huellas de *Thalassinoides* y *Planolites* y porosidad tipo vug, lo cual indica una exposición subaérea, en un ambiente submareal superior a intermareal. En el pozo SMW-28 se presenta en las profundidades 10.500' hasta 10.490' presenta una leve capa de lutita en la base, seguido por una arenisca dolocalcítica aloquímica con estructura tipo festón y hacia el tope presenta una dolomía calcítica aloquímica arenosa, porosidad tipo vug y moldica hacia el tope, lo cual indica una exposición suaérea, en un ambiente intermareal. En el pozo SMW-23 se presenta en las profundidades 10.478' hasta la profundidad 10.470' en la base, con una arenisca dolocalcítica aloquímica con un alto contenido de fósiles hacia la base y hacia el tope se observa una caliza dolomítica aloquímica arenosa, con un hardground en contacto con la siguiente parasecuencia, lo cual indica un ambiente submareal. En el pozo SMW-13 se presenta en las profundidades 10.470' hasta la profundidad 10.467', presenta una dolomía calcítica aloquímica arenosa sin ningún tipo de huella fósil se presume que se depositó en un ambiente intermareal cercana a la zona supramareal (figura 115).

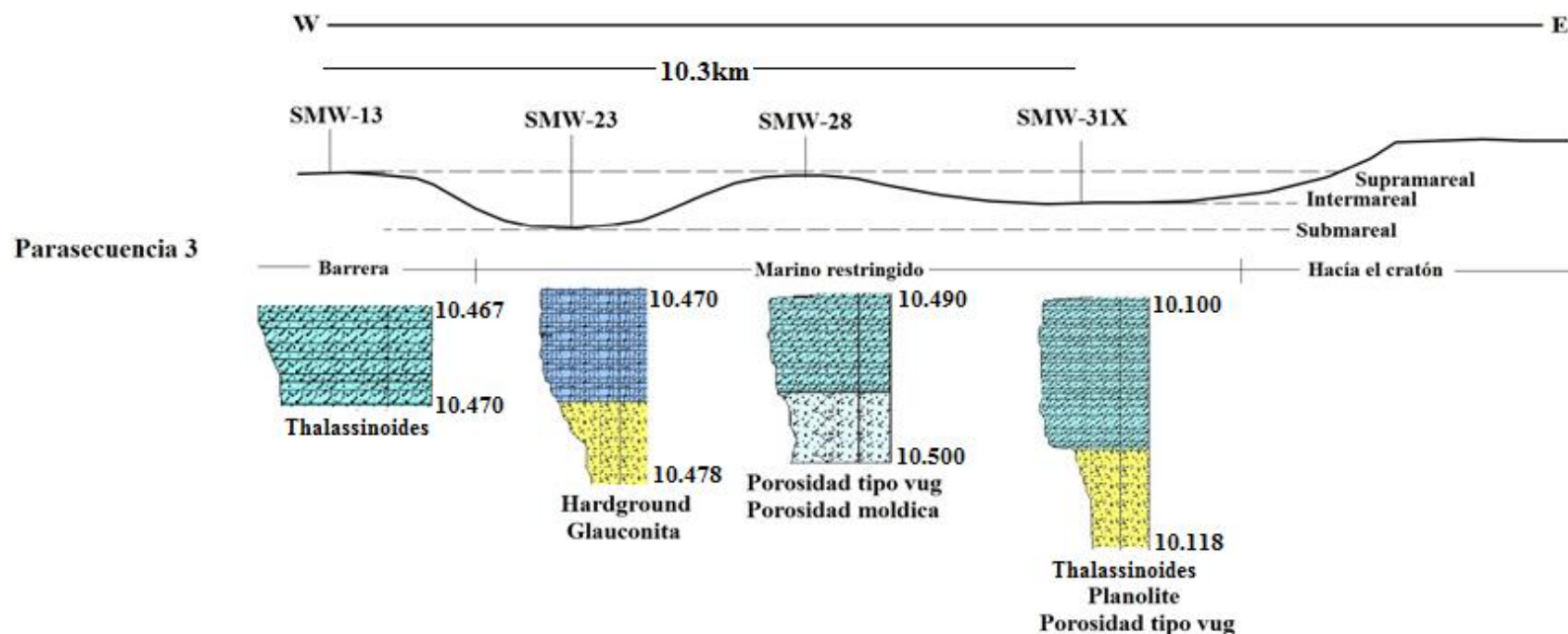


Figura 115. Modelo sedimentológico de la parasecuencia 3 de los cuatro pozos.

En la figura 115 se observa un cambio en la depositación en el pozo SMW-31X, en donde pasa de submareal a intermareal debido a la aparición de porosidad tipo vug, el pozo más profundo en esta parasecuencia es el SMW-23 debido a la presencia de glauconita y hardground. El pozo SMW-13 se encuentra en un ambiente de alta energía. El pozo SMW-28 se encuentra en la zona supramareal debido a la porosidad tipo vug y moldica las cuales son evidencia de una exposición suroárea.

Parasecuencia 4: En el pozo SMW-31X (10.100' hasta 10.090') en la base se presenta una lutita con huellas de *Thalassinoides*, seguido por una dolomía calcítica aloquímica arenosa con huellas fósiles de *Planolite* y *Thalassinoides*. El contacto con el próximo intervalo dentro de la parasecuencia es de tipo hardground que conecta con una arenisca dolomítica aloquímica, presenta huellas de *Thalassinoides* rellenas del material suprayacente, que indica una pequeña transgresión que ocasiona que se deposite el sedimento superior en las huellas dejadas en la capa inferior, además presenta porosidad tipo vug, esto indica una zona de depositación intermareal. En el pozo SMW-28 (10.490' hasta 10.482') comienza con una ligera capa de lutita, seguido de una dolomía calcítica aloquímica arenosa, presenta un contacto hardground con la próxima parasecuencia y huellas de *Thalassinoides*, hacia el tope se observa una dolomía aloquímica arenosa con huellas de *Thalassinoides* y porosidad tipo vug esta parasecuencia tuvo una exposición subaérea en un ambiente intermareal cercana a la zona supramareal. En el pozo SMW-23 (10.470' hasta 10.460') hacia la base se tiene una caliza dolomítica aloquímica arenosa con alto contenido de glauconita, seguido por una arenisca dolomítica aloquímica con leve presencia de glauconita, presentan huellas de *Planolites*, *Rhizocorallium* y *Asterosoma*, que son propios de ambientes marinos, pero sin alejarse mucho de la zona submareal. En el pozo SMW-13 se encuentra en las profundidades 10.467' hasta 10.460' con una arenisca dolomítica aloquímica en la base presenta huellas de *Thalassinoides*, presenta estructuras tipo flaser y rizadura por lo cual se presume que se depositó en un ambiente supramareal (figura 116)

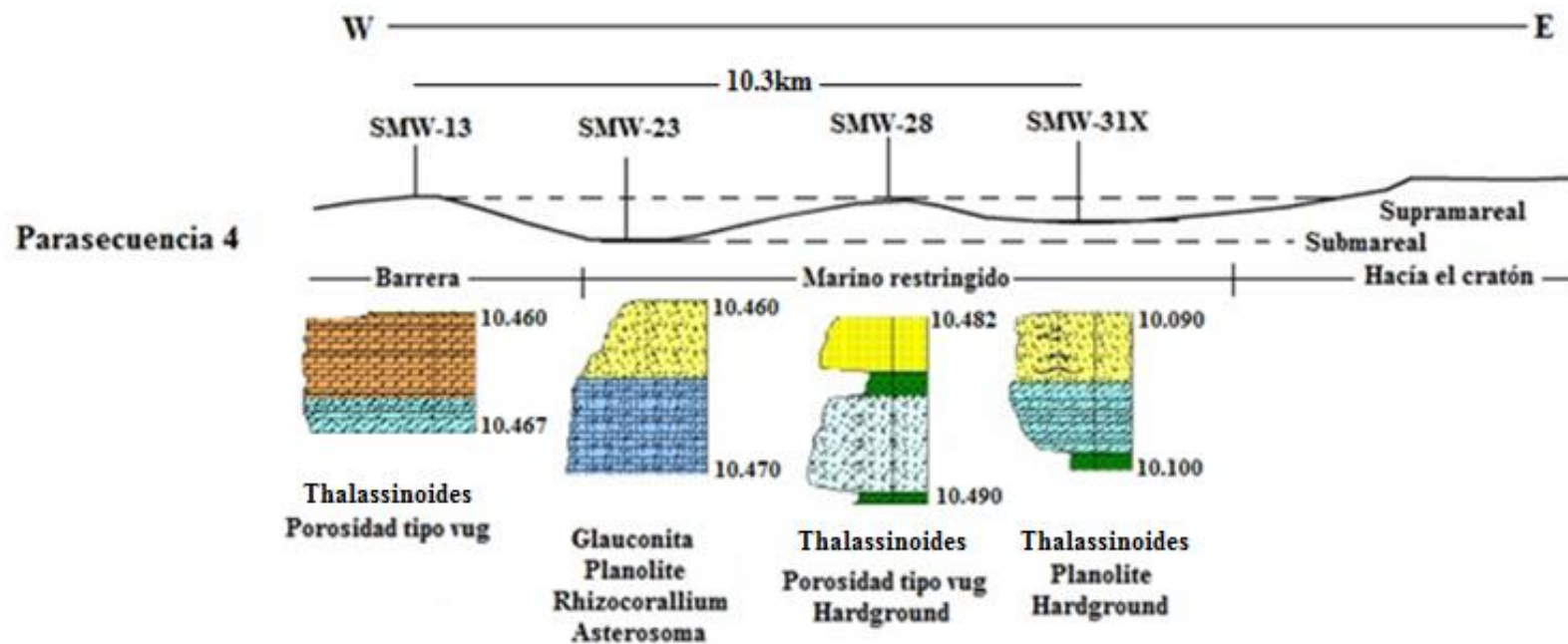


Figura 116. Modelo sedimentológico de la parasecuencia 4 de los cuatro pozos.

En la figura 116 se observa la zona de depositación de los pozos en la parasecuencia 4, el pozo SMW-13 se encuentra en la zona supramareal al igual que el pozo SMW-28 mientras que el pozo SMW-31X se encuentra en la zona intermareal y el pozo SMW-23 se encuentra en la zona submareal.

Parasecuencia 5: SMW-31X (10.090' hasta 10.072') comienza con una lutita que representa la superficie de máxima inundación en la Formación Escandalosa seguido por dolomía calcítica aloquímica arenosa que contienen huellas de *Thalassinoides*, luego Packstone con porosidad vug y móldica y hacia el tope caliza aloquímica arenosa con fósiles bien preservados de Gasterópodos, presentan huellas de *Planolites*, *Scolicia*, *Teichnius*, *Diplocrateiron*, *Thalassinoides* y *Rhizocoralium*, debido a la alta diversidad de huellas fósiles que se encontró, las cuales son propias de ambiente marino, indican un ambiente submareal superior a intermareal, de alta energía. En el pozo SMW-28 (10.482' hasta 10.464') en la base comienza con una lutita, seguida por dolomía aloquímica arenosa con huellas de Thalassinoides, por encima de este intervalo se depositó un packstone con porosidad vug, y hacia el tope se observa caliza dolomítica aloquímica arenosa, con fósiles de Gasterópodos bien preservados, además de huellas fósiles de *Thalassinoides*, *Rhizocoralium*, *Gyrolites* y *Scolicia*, esta se depositó en un ambiente submareal superior a intermareal. En el pozo SMW-23 (10.460' hasta 10.444') presenta lutita con huellas de *Planolites*, *Thalassinoides*, *Rhizocoralium* rellena de glauconita y *Asterosoma*, seguida de caliza dolomítica aloquímica arenosa, carbonato cristalino de calcita y hacia la tope dolomía calcítica aloquímica arenosa con huellas de *Thalassinoides* porosidad vug y móldica. Se depositó en un ambiente submareal a intermareal. SMW-13 (10.460' hasta 10.446') en la base se presenta una arenisca dolomítica aloquímica con abundante glauconita porosidad vug, abundante fósiles y hacia la tope dolomía aloquímica arenosa, lo cual indica una exposición subaérea depositado en la zona supramareal (figura 117).

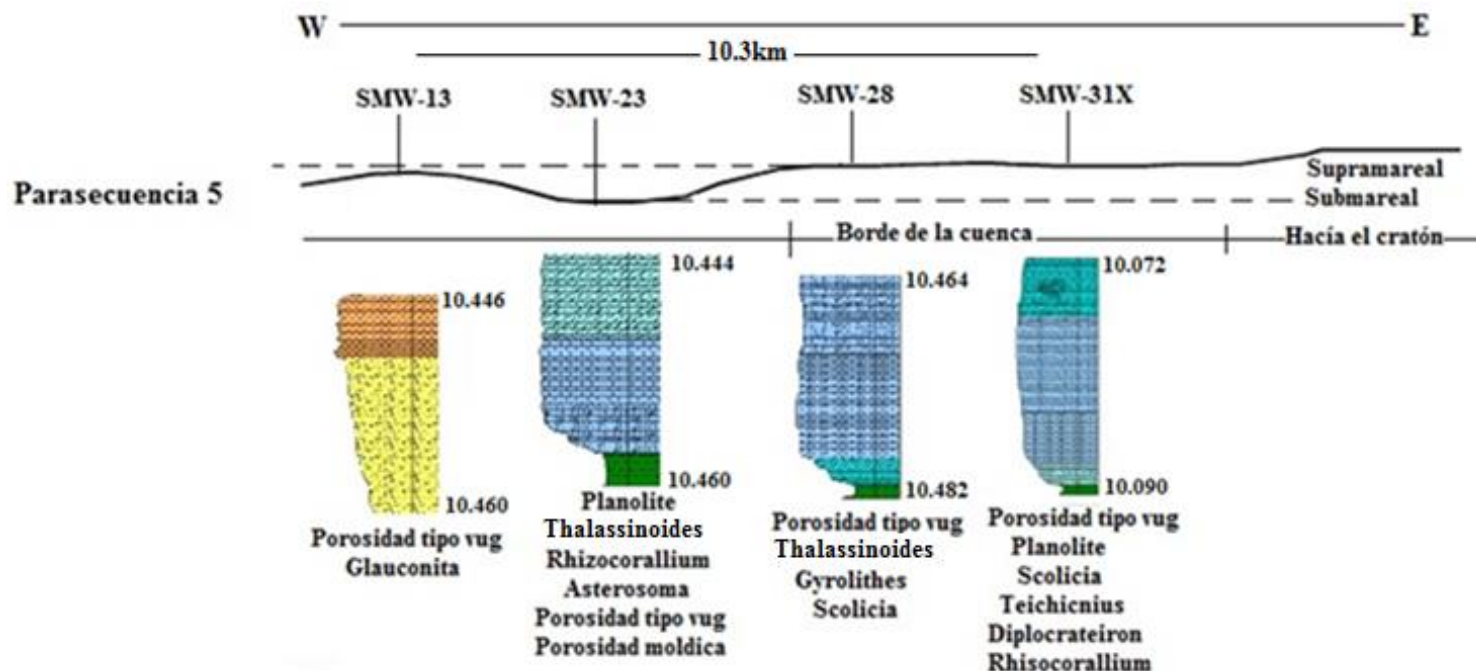


Figura 117. Modelo sedimentológico de la parasecuencia 5 de los cuatro pozos.

En la figura 117 se observa la zona de depositación de los cuatro pozos en la parasecuencia 5, la cual se encuentra por encima de la superficie de máxima inundación perteneciente al Miembro Caliza O, en esta parasecuencia la zona de depositación cambia, y el pozo SMW-28 y el SMW-31X se encuentran en la zona supramareal, pasando a estar en el borde de la cuenca, mientras que el pozo SMW-13 después de la transgresión (después de la superficie de máxima inundación) queda sumergida y el pozo SMW-13 sigue estando en la zona submareal.

Parasecuencia 6: Pozo SMW-31X (10.072' hasta la profundidad 10.060') hacía la base se tiene una dolomía aloquímica arenosa, presenta huellas fósiles de *Skolithos*, *Thalassinoides* y *Asterosoma*, seguido por arenisca micritica aloquímica con huellas de *Planolite* con porosidad vug, y hacía el tope packstone con porosidad vug lo cual indica un ambiente intermareal a supramareal. Pozo SMW-13 (10.446' hasta la profundidad 10.438') presenta una pequeña capa de lutita hacía la base con huellas de *Thalassinoides*, *Chondrite* y *Paleophycus*, seguido por carbonato cristalino de dolomita que indica una profundización por la desaparición del cuarzo en esta facies, hacía el tope arenisco dolomítico aloquímica, se depositó en un ambiente intermareal a supramareal

Parasecuencia 7: Pozo SMW-31X (10.460' hasta la profundidad 10.052') hacía la base se presenta mudstone seguido por lutita con huellas de *Planolites*, *Zoophycus* y *Scolicia*, lo cual indica un ambiente de baja energía, depositado en una zona submareal. Pozo SMW-28 (10.450' hasta la profundidad 10.442') carbonato cristalino dolomita con huellas de *Planolites*, *Scolicia* y *Thalassinoides*, hacía el tope packstone con huellas de *Planolite* y *Scolicia* depositado en un ambiente submareal. Pozo SMW-13 (10.438' hasta la profundidad 10.428') arenisca dolocalcítica aloquímica las cuales presentan porosidad vug, hacía el tope un carbonato cristalino de calcita no presenta porosidad vug lo cual indica un ambiente supramareal a intermareal.

Parasecuencia 8: Pozo SMW-31X (10.052' hasta la profundidad 10.040') Dolomía calcítica aloquímica arenosa, seguida por lutita y hacía el tope dolomía aloquímica arenosa con huellas de *Thalassinoides* y porosidad móldica y tipo vug. Lo cual indica una exposición subaérea en un ambiente intermareal a supramareal. Pozo SMW-28 (10.440' hasta la profundidad 10.430') arenisca de grano medio con huella de *Planolites* y *Thalassinoides*, seguido por arenisca dolomítica micrítica con huellas de *Paleophycus* y *Thalassinoides*, hacía el tope dolomía aloquímica arenosa con huellas de *Rhisocoralium*, porosidad vug y móldica depositadas en un ambiente

intermareal a supramareal, en donde el intervalo tuvo una exposición subaérea. Pozo SMW-23 (10.420' hasta la profundidad 10.410') arenisca de grano fino hacía la base con *Planolites* y *Thalassinoides*, hacía el tope lutita lo cual indica un ambiente de baja energía, depositado en la zona submareal. Pozo SMW-13 (10.428' hasta la profundidad 10.420') hacía la base arenisca calcidolomítica aloquímica y hacía el tope caliza dolomítica aloquímica arenosa con huellas de *Thalassinoides*. Lo cual indica un ambiente marino supramareal (figura 118).

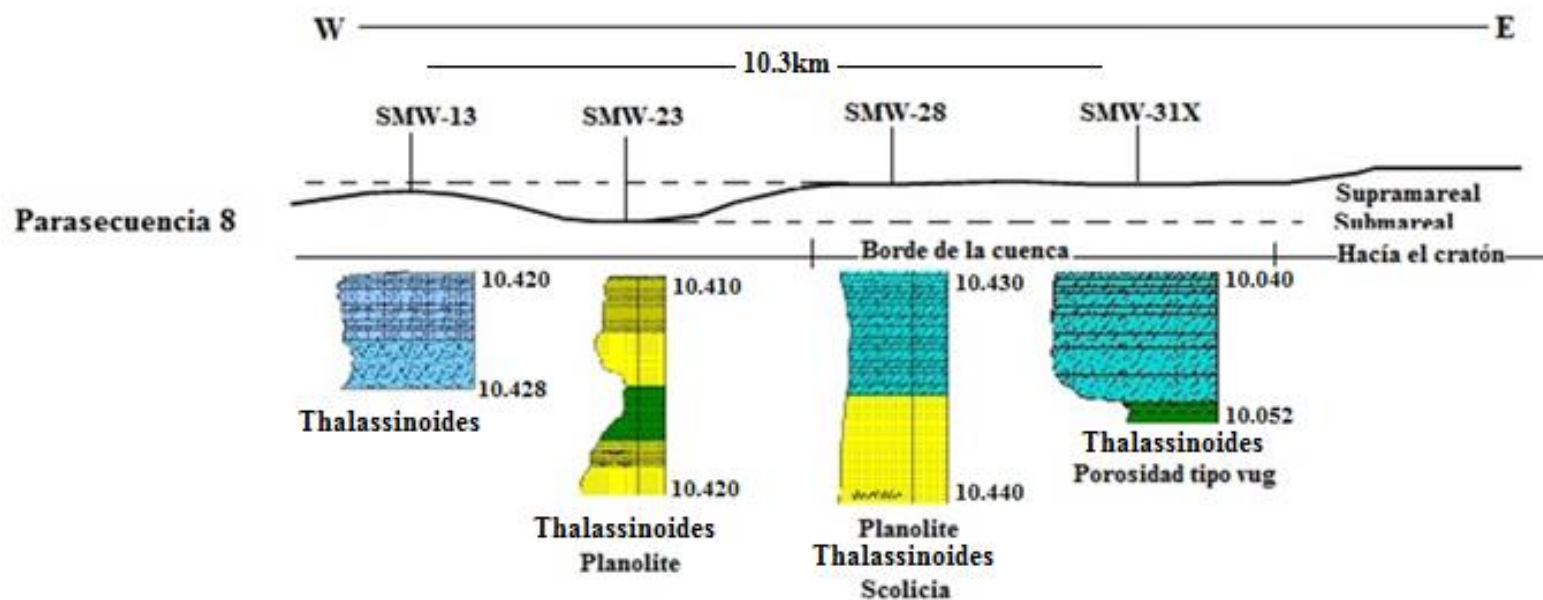


Figura 118. Modelo sedimentológico de la parasecuencia 8 de los cuatro pozos.

En la figura 118 se observa la parasecuencia 8, el pozo SMW-13 en esta parasecuencia se encuentra parcialmente sumergido, mientras que el pozo SMW-23 se encuentra en la zona submareal, siendo este el pozo más profundo en todo el Miembro Caliza O. el pozo SMW-28 y SMW-31X se encuentran en el borde de la cuenca en un ambiente supramareal.

6.5 Datos bioestratigráficos

La datación bioestratigráfica se realiza mediante el estudio de fósiles que puedan permitir realizar un cálculo relativo de las edades de una formación.

En este caso, se tomó información del pozo BOR-3E perteneciente al Campo Borburata y del pozo LLM-1X del Campo Las Lomas, los cuales se encuentran aledaños al Campo Maporal y son correlacionables en el Miembro La Morita ya que ésta representa la superficie de máxima inundación regional y la cual puede ser utilizada para extrapolar la data bioestratigráfica a la zona de estudio en este trabajo especial de grado.

A continuación, se muestran los resultados de data bioestratigráfica realizados en los trabajos de Martínez (2016) y Oropeza (2015), para la Formación Navay Miembro La Morita.

Martínez (2016) realizó un análisis de data bioestratigrafico en las muestras 11879'6" y 11854'6" del Campo BOR-3E pertenecientes al intervalo del Miembro La Morita de la Formación Navay, en el cual se identificaron foraminíferos planctónicos, bentónicos, fragmentos de bivalvos y restos de peces fosfatizados, descritos detalladamente en las tablas 20 y 21.

Tabla 20. Foraminíferos plantónicos y bentónicos con fragmentos de conchas datadas para saber edades relativas cretácicas, desde el Albiense hasta el Campaniense, además de ubicar la posición de sedimentación en la plataforma marina. Tomado de Martínez (2016).

Muestra 11.879'6" del pozo BOR-3E	
Fósiles	Edad Asignada
Foraminíferos Planctónicos	
<i>Heterohelix reussi</i>	(Cenomaniense tard - Camp. Temp)
<i>Heterohelix moremani</i>	(Albiense tardío - Santoniense)
<i>Hedbergella delrioensis</i>	(Albiense - Coniaciense)
<i>Hedbergella planispira</i>	Albiense - Camp. Temp)
<i>Hastigerinoides sp.</i> (fragmento)	(Turonense tardío - Santo.)
<i>Globigerinelloides ultramicrus</i>	_____
? <i>Whiteinella baltica</i>	(Cenomaniense tard - Santo.)
Foraminíferos Bentónicos	
<i>Gavelinella sp.</i> (plataforma externa - talud)	
<i>Bulimina sp.</i> (plataforma talud)	
Otros	
Fragmentos de bivalvos y ?restos de peces fosfatizados	
Paleoambientes: plataforma externa - talud	

Tabla 21. Foraminíferos plantónicos y bentónicos con fragmentos de conchas datadas para saber edades relativas cretácicas, desde el Albiense hasta e Maastrichtiense, ubicando la posición de la sedimentación en la plata forma marina. Tomado de Martínez (2016).

Muestra 11.854'6" del pozo BOR-3E	
Fósiles	Edad Asignada
Foraminíferos Planctónicos	
<i>Heteroelix globulosa</i>	(Turonense - Maast)
<i>Hedbergella planispira</i>	(Albiense - Camp. Temp)
<i>Hedbergella delrioensis</i>	(Albiense - Coniaciense)
<i>Globigerineiloides bolli</i>	(Turonense tard - Camp)
<i>Globigerineiloides cf. Subcarinatus</i>	(Santoniense - Maast)
<i>?Archaeoglobigena blowi</i>	(Coniaciense - Maast)
Foraminíferos Bentónicos	
<i>Gavelinella sp.</i> (plataforma externa - talud)	
<i>Bulimínidos</i> (plataforma talud)	
Otros	
Fragmentos de bivalvos y ?restos de peces fosfatizados	
Paleoambientes: palataforma externa - talud	

Por otra parte, Oropeza (2015) utilizó los foraminíferos planctónicos identificados dentro de la Formación Navay en los núcleos del pozo LLM-1X específicamente en la muestra 12.343' tomada de la base de dicha formación, y de acuerdo a su descripción definió una edad entre Turoniense Tardío a Coniaciense, y la muestra 12.331', ubicada al tope de Navay en la cual se tiene una edad menor entre Turoniense Tardío a Campaniense, lo cual se describe a continuación en la tabla 22.

Tabla 22. Foraminíferos (planctónicos) identificados dentro de la Formación Navay, cuenca de Barinas. Tomado de Oropeza (2016).

Muestra 13.343' DEL POZO LLM-1X	
Fósiles	Edad Asignada
<i>Heterohelix reussi</i>	(Cenomaniense tard - Camp. Temp)
<i>Hedbergella delrioensis</i>	(Albiense - Coniaciense)
<i>Hedbergella planispira</i>	(Albiense - Camp. Temp)
<i>Dicarinella cf. Primitiva</i>	(Turonienne tardío - Coniaciense)
<i>Hastigerinoides watersi</i>	(Turonienne tardío - Santo)
<i>Whiteinella spp.</i>	(Cenomaniense tard - Santo.)
<i>Whiteinella cf. Baltica</i>	(Cenomaniense tard - Santo.)
Muestra 13.331' DEL POZO LLM-1X	
<i>Hedbergella planispira</i>	(Albiense - Campaniense temp.)
<i>Globigerinelloides bolli</i>	(Turonienne tard - Campaniense)

Sin embargo, al hacer el análisis petrográfico de las muestras seleccionadas en cada uno de los pozos estudiados del Campo Maporal, no se obtuvo información de fósiles que permitieran realizar el estudio bioestratigráfico propio, por lo tanto, toda la información antes mencionada fue usada para correlacionar y de esta manera se pudo concluir que el intervalo estudiado tiene una edad a partir del Cenomaniense.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El estudio sedimentológico y estratigráfico, mediante descripción de núcleos y análisis petrográfico, que se le realizó a los núcleos de los pozos SMW-31X, SMW-28, SMW-23 y SMW-13 generó las siguientes conclusiones:

Los pozos estudiados en el Campo Maporal en la cuenca de Barinas se encuentran ubicados de este a oeste (SMW-31X, SMW-28 y SMW-23) mientras que el pozo SMW-13 se encuentra ubicado hacia el noroeste y están separados una distancia de 3km entre el pozo SMW-31X y el SMW-28, 3.8km entre el pozo SMW-28 y el SMW-23 y 3.5km entre el pozo SMW-23 y el pozo SMW-13.

El Miembro Arena P de la Formación Escandalosa, constituido básicamente de niveles arenosos impregnados de crudo solo pudo describirse en el pozo SMW-31X y SMW-13, a diferencia de otro miembro de esta misma formación llamado Caliza O constituido básicamente por carbonatos de mezcla que fueron descrito en los cuatro pozos mencionados. Se conoce la existencia de un miembro suprayacente a este último llamado Miembro La Morita de la Formación Navay del cual solo pudo describirse la base en los pozos SMW-31X, SMW-28 y SMW-23.

El estudio sedimentológico que le fue realizado a los cuatro pozos, se hizo con la ayuda de registros de *Gamma-ray* y *Core gamma*, que fueron calibrados para poder hacer una comparación entre las litologías descritas y dichos registros, uniendo profundidades para finalmente obtener una correlación usando como datum principal el contacto del Miembro Caliza O de la Formación Escandalosa con la base del Miembro La Morita de la Formación Navay, denominada superficie de máxima inundación regional.

En la realización del estudio secuencial se identificaron en el pozo SMW-31X tres secuencias correlacionadas con los otros tres pozos, en las que la secuencia uno está compuesto por dos parasecuencias, la secuencia dos de tres parasecuencias y en

la secuencia tres de 8 parasecuencias, esta última fue identificada en los pozos SMW-28, SMW-23 y SMW-13.

El Miembro Arena P descrito principalmente en el pozo SMW-31X en las profundidades 10.135'3'', 10.148'10'', 10.158'6'', 10.170'8'' y 10.183'6', está constituido por areniscas cuarzosas y muy glauconíticas, ligeramente impregnadas de crudo debido a la formación de porosidades interpartícula, móldica, por disolución y con cavidades tipo vug, cuyos porcentajes varían de acuerdo a la composición de la roca, pero en general no sobrepasan el 15% de poros a excepción de casos extremos con niveles porosos que alcanzan el 25%.

El Miembro Caliza O forma parte del yacimiento de hidrocarburo del Campo Maporal, con intervalos importantes de impregnación debido a la presencia de porosidades por disolución en su mayoría, seguida de porosidades móldicas, y tipo vug en último lugar.

En la Arena P y en la Caliza O fueron identificados Icnogéneros en altas cantidades que generaban un nivel elevado de bioturbación, debido a los ambientes estresados en los que se encontraban para ese momento, principalmente por características reductoras, por la presencia de glauconita y pirita, dichas huellas fósiles fueron clasificadas dentro de las ichnofacies de los *Skolithos*, *Cruziana* y *Zoophycus*, las cuales fueron claves para conocer los ambientes sedimentológicos de cada intervalo.

Para el Miembro Arena P observado y descrito solo en el pozo SMW-31X se encontraron huellas fósiles de las facies *Cruziana*, *Skolithos* y *Zoophycus*, típicos de un ambiente marino restringido dentro de la plataforma interna (Shoreface) entre. En la facies *Zoophycus* se encontró una huella de *Spirophyton* que representa una regresión que indica la profundización de la cuenca y está asociado a un ambiente marino profundo dentro de esta misma cuenca.

El Miembro Caliza O fue descrito en todos los pozos estudiados se depositó en un ambiente marino restringido en la plataforma interna, la base se depositó en un ambiente por debajo de la zona intermareal. Hacia el tope se evidenció la sedimentación en un ambiente supramareal e intermareal, dentro de la plataforma interna. Esta depositación varía en cada para secuencia, concluyendo que el pozo más profundo dentro de la cuenca es el pozo SMW-23 que se encuentra en la zona submareal. Después de la superficie de máxima inundación presente en la Caliza O (parasecuencia 5), el pozo SMW-31X y SMW-28 quedan en el borde de la cuenca y el pozo SMW-13 queda parcialmente sumergido, mientras que pozo SMW-23 se encuentra en la zona submareal.

La evaluación petrográfica y los ensayos de Difracción de Rayos- X, se realizaron para conocer las composiciones mineralógicas de los intervalos litológicos de interés, para los cuerpos más arenosos y cuarzosos se usó la clasificación de Pettijohn y Silver (1973), para los intervalos carbonáticos donde se observaron en su mayoría muestras con gran cantidad de dolomita, y en algunos casos con presencia considerable de calcita generadas por procesos diagenéticos, se usó la clasificación de Mount (1985) modificado por Aquino (2015) y para otras muestras con texturas depositacionales se usó la clasificación de Dunham (1962).

Todos los intervalos estudiados mediante petrografías fueron clasificados en 18 microfacies donde dominaban los carbonatos cristalinos y los carbonatos de mezcla con muy bajo contenido aloquímico que en su mayoría sufrieron procesos de reemplazamiento por glauconita o pirita.

La diagénesis y sus etapas fueron definidas para el intervalo estudiado a través de cuatro episodios, donde se observó que los intervalos arenosos dispuestos hacia la base en los pozos de interés, generaban características que permitieron inferir la presencia de una diagénesis **temprana** para un primer episodio, generada en un ambiente freático de aguas frescas entre la zona vadosa y el ambiente meteórico.

Para los niveles carbonáticos dispuestos la diagénesis es de **temprana** a **intermedia** por la aparición de procesos neomórficos como la recrystalización, neomorfismo agradante, inversión homoaxial e inversión heteroaxial, y la continuidad en aparición de procesos como dolomitización, dedolomitización y variaciones en los tipos de cementos, características consideradas para un segundo episodio, bajo un ambiente diagenético meteórico.

Posteriormente comenzaron las apariciones de microestilolitas que fueron el principal marcador de un episodio tres con diagénesis **intermedia** en un ambiente meteórico por debajo de la zona freática de aguas frescas y finalmente se caracterizó un episodio cuatro con diagénesis **intermedia** por la compactación media a elevada de sus granos, apareciendo el contacto suturado, en un ambiente freático por debajo de la zona vadosa.

Las dolomías encontradas son diagenéticas producto del reemplazamiento de Ca por Mg. En la mayoría de los casos las dolomías son de diagénesis temprana al predominar la zonación de tipo dolomía barroca. En los carbonatos las porosidades eran muy escasas lo cual indica una formación lenta de las dolomías ya que la rapidez con la que se genera dicho proceso es directamente proporcional al nivel de porosidad dentro de la roca.

La glauconitización actúa en conjunto con la agregación, debido a que los pellets, peloides y otros organismos formados en condiciones de poca compactación, se encuentran reemplazados por glauconita y pirita.

La fosfatización se observó hacia el tope de los intervalos de los pozos SMW-31X, SMW-28 y SMW-13 donde los fragmentos de moluscos, pelecípodos y foraminíferos cuyo principal componente es el aragonito, ahora se encontraba compuesto por fosfato. En el tope del pozo SMW-28 se encontró la muestra 10. 429'2'' con un alto nivel de fosfatización típico de las litologías del Miembro La Morita de la Formación Navay.

El ensayo de proporción de minerales de arcillas realizado en profundidades específicas en cada uno de los pozos organizados por parasecuencias, arrojó etapas diagenéticas de bajas profundidades y temperaturas que no sobrepasan los 60 °C hasta diagénesis con profundidades muy elevadas que sobrepasan los 100 °C, complementando así la información diagenética generada por los estudios petrográficos.

En este estudio mediante la correlación hecha con los resultados de datación bioestratigráfica a las muestras en el Miembro La Morita de los pozos BOR-3E y LLM-1X, se pudieron identificar foraminíferos planctónicos y bentónicos que ayudaron a establecer una clasificación de edades relativas cretácicas entre el Cenomaniense y el Turoniense, las cuales se pueden extrapolar a dicho miembro en los pozos estudiados del Campo Maporal.

Recomendaciones

Con el fin de expandir ésta investigación, complementar con datos posteriores y generar datos que permitan conocer con exactitud los límites entre las secuencias de sumo interés, se recomienda la integración de otros estudios como lo son Catodoluminiscencia, Microscopía electrónica, Geoquímica, Isotopos radiactivos, datos bioestratigráficos, etc.

Se recomienda investigar pozos aledaños que permitan conocer los cambios de facies laterales con exactitud, con el fin de crear un modelo más preciso de la configuración sedimentológica y estratigráfica de la cuenca.

BIBLIOGRAFÍA

- AAPG, (1962), “*Clasification of Carbonate Rocks, Memoir 1*”, Tulsa, USA.
- AAPG, (1978), “*Carbonate Rock Constituents, Textures, Cements and Porosities, Memoir 27*”, Tulsa, USA.
- Aquino, R, et al. (1994), “*Estudio Sedimentológico, Bioestratigráfico y Geoquímico del Núcleo Torunos-IX, Campo Torunos, Estado Barinas*”. Corpoven, S.A. Reporte Interno.
- Aquino, R., De Guerra, C. y Boujana, M., (1995), “*Facies Costera de una Plataforma Carbonática Cretácica: El Miembro O de la Formación Escandalosa, Sedimentología, Diagénesis, Bioestratigrafía y Análisis Secuencial en Núcleos de la Cuenca de Barinas*”. IX Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas.
- Aquino, R. et al. (1996, marzo), “*Carbonatic Shelf: The O Member of Escandalosa Formation, Western Venezuela, South America*”, Publicado en 17TH Regional African European Meeting of Sedimentology, Sfax, Túnez.
- Aquino, R., & Boujana, M., (1996, septiembre) “*The Dolomitized O Limestone in the Barinas Basin: A Hydrocarbon Reservoir in Carbonates Rocks*”, Publicado en la II AAPG/SVG International Congress and Exhibition, Caracas.
- Aquino, R., Kupecz, J., et al. (1997, Abril). “*Sedimentological Study of Cores and Correlation with Well Logs, O, Limestone, Barinas, Basin*”, Venezuela, publicado en Dallas, EEUU, AAPG.
- Aquino, R., Kupecz, J. y otros (1997, septiembre) “*Influencia de los Procesos Sedimentarios y Diagenéticos en la Calidad como Roca Reservorio del Intervalo O, Formación Escandalosa, Área de Barinas, Subcuenca de*

Venezuela”, publicado en Cartagena de Indias, Colombia en el VI Simposio Bolivariano de Cuencas Subandinas.

- Aquino, R. y otros, (1998), “*Caracterización Sedimentológica y Petrofísica de la Caliza O, Formación Escandalosa- Cuenca Barinas*”. Informe Interno de CORPOVEN, S.A.
- Arche, A. (2010) “*Sedimentología: del proceso físico a la cuenca*”. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España, 1290 p.
- Audemard, F. (1991) “*Tectonics of Western Venezuela*”. Tesis. Rice University. Houston, TX, EEUU. 245 pp.
- Bathurst, R. (1975), “*Carbonate Sediments and Their Diagenesis*”, 2da Edición, New York, Elsevier, 658 p.
- Bebout y Loucks (1984), “*Manual para la Descripción de Núcleos*”, LAGOVEN[^]
- Chacín, E. (2007, octubre 21-25), “*Evolución del Control Geológico Operacional en Pozos de la Cuenca Barinas-Apure, Venezuela*”, PDVSA, IX Congreso Geológico Venezolano, Caracas.
- Contreras M, (2004), “*Caracterización petrofísica para la identificación de petrofacies y extrapolación del modelo a través de redes neuronales en los miembros O y P de la Formación Escandalosa*”, Mem XIII Congreso Venezolano de Geofísica: 182-185. Sociedad Venezolana de Geofísica, Caracas.
- De Toni, Loureiro, B., Márquez, C., Colleta, B., (1995). “*Eventos y estilos tectónicos en la cuenca de Barinas-Apure*”. Sociedad Venezolana de Geólogo, Caracas, V Simposio Bolivariano, 311-313.

- Escalona, N (1988), "*Petrología Sedimentaria del Miembro O, Formación Escandalosa Pozos SMW-14 y SMW-21, Campos Maporal y Silván, Estado Barinas*", CORPOVEN S.A. Reporte Interno.
- Escalona, N (1989), "*Paragénesis y Modelo diagenético del Miembro O de la Formación Escandalosa, Pozos SMW-14 y SNW-21, Campos Maporal y Silván, Estado Barinas*". Corpoven S.A. Reporte Interno.
- Fierro, S. I., (1977). Geología de la región Barinas-Mucuñuque-Pedraza. *II Cong. Latinoam. Geol.*, Caracas. 3: 1743-1763.
- Fierro, S. I., (1977). "*Geología de la región de Caparo, estados Barinas y Mérida*". *II Cong. Latinoam. Geol.*, Caracas. 3: 1765-1767.
- Figueroa, L., Aquino, R, Kupecz, J., Hernández, E., Prieto, M., Salazar, R., Pérez, M., Vargas, Y., Bueno, J., Zorrilla, J., Guaregua, R., Villasana, J., (1998), "*Caracterización Sedimentológica y Petrofísica de la Caliza O, Formación Escandalosa- Cuenca Barinas*". Informe Interno de CORPOVEN, S.A.
- González de Juana, C., Iturralde, C., & Picard, X., (1980). "*Geología de Venezuela y De Sus Cuencas Petrolíferas*". Edic. Foninvé, Caracas. 2 Vols., 1031 p.
- Helenes, J.; C. de Guerra y J. Vásquez, (1994). "*Estratigrafía por secuencias del Cretáceo superior en el subsuelo del área de Barinas*". (Upper Cretaceous stratigraphy in the subsurface at Barinas). Mem., *IV Simp. Bolívar*, "Exploración petrolera en las cuencas subandinas", Pto. La Cruz, 29-38 p.
- Kiser, G. D., (1997). Comentarios enviados al CIEN, *Comite Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura de PDVSA*.

- LAGOVEN (1984), *Curso De Facies Carbonáticas Manual para la Descripción de Núcleos*, Bebout y Loucks.
- Lugo, J. (1991). “*Cretaceous to neogene tectonic control on sedimentation: Maracaibo basin*”, Venezuela. Tesis de la Universidad de Texas, Grado académico Ph. D., 238.
- Méndez Baamonde, J. (2006), “*Petrología*”, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Méndez Baamonde, J. (2007), “*Carbonatos, Origen y Sedimentación*”, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 270 p.
- Méndez Baamonde, J. (2007, octubre 21-25), “*Porosidades y Fracturas en Carbonatos*”, Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, UCV, IX Congreso Geológico Venezolano, Caracas.
- Méndez Baamonde J. (2007, octubre 21-25), “*Sabkhas, dolomitas y fracturas en el Miembro O de la Formación Escandalosa, Barinas*”. IX Congreso Geológico Venezolano, Caracas.
- PDVSA – Intevep (1997). “*III Léxico Estratigráfico de Venezuela (LEV III)*” disponible en www.pdv.com/lexico, actualizado en abril de 2005.
- Pemberton, G. MacEachern, J. (desconocido) “*Applied Ichnology Short Course, The Use of Trace Fossils in Sequence Stratigraphy, Exploration and Production Geology*”, Department of Earth & Atmospheric Sciences, University of Alberta, Edmonton y Department of Earth Sciences, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia.
- Pemberton, G. MacEachern, J. et al. (desconocido) “*Trace Fossils Atlas, The Recognition Of Common Trace Fossils In Cores*”, Department of Earth &

Atmospheric Sciences, University of Alberta, Edmonton y Department of
Earth Sciences, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia.

- Pierce, G. R., (1960). “*Geología de la cuenca de Barinas*”. III Cong. Geol. Venez., Caracas, 1959, Mem., 1: 214-276.
- Sandoval, M. (2000), “*Diagénesis de Areniscas*”, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, UCV, Caracas, Venezuela.
- Wilson, J. (1975), “*Carbonate Facies in Geologic History*”, New York, Springer-Verlag, 471 p.
- Yoris, F. y M. Ostos (1997). “*WEC: Evaluación de Pozos, Capítulo 1: Geología de Venezuela*”. Schlumberger, pp 4.
- Zapata, E. (1983), “*Manual de petrografía y diagenesis de rocas carbonáticas, GEOS N° 28*”, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Caracas Venezuela.

APÉNDICE

Conceptos relacionados con el presente trabajo según Méndez (2009) y Zapata (1983):

Componentes de los carbonatos

Los componentes de los carbonatos pueden ser divididos en cuatro grupos:

1. Granos Esqueletales

Son aquellos que están representados por los fragmentos y partes Esqueletales que a través del tiempo y espacio han sido fundamentales en las rocas carbonáticas y otros sedimentos (Méndez, 2009).

- **Algas calcáreas**

Representan uno de los componentes más importantes de los depósitos carbonaticos por su gran diversidad y por ocupar prácticamente todos los ambientes, dependiendo del género y la especie, en la sedimentación de carbonatos. Como grupo, ellas se extienden de mares tropicales a polares y viven desde la zona intertidal hasta profundidades de 250m. En relación a su color las algas calcáreas son divididas en algas verdes, rojas, marrones y verde-azules (Zapata, 1983). El color presente en las algas es la respuesta de un mecanismo de adaptabilidad y hábitat relacionados con la temperatura y profundidad de las aguas.

- **Briozoarios**

Son organismos coloniales sésiles adheridos al sustrato o a otros organismos sésiles como corales. Las colonias varían de 1mm a 1m, y están compuestos por calcita magnesiana y algunas formas modernas pueden presentar aragonito o una combinación de ambos minerales (Méndez, 2009).

- **Equinodermos**

Son aquellos organismos que están compuestos de alto contenido de magnesio y de un cristal simple de calcita donde los granos individuales muestran extinción unitaria. Durante el Paleozoico y Mesozoico constituyeron una biota importante, principalmente los crinoideos en los arrecifes y plataforma. En los

sedimentos de carbonato modernos se encuentran desde las zonas intermareales hasta las áreas profundas del talud exterior (Méndez, 2009).

- **Foraminíferos**

Son animales cercanos al Filum Protozoa, unicelulares o acelulares y la mayoría secreta o reúne una cubierta mineral. La mayor parte de las estructuras esqueletales están entre 1mm y 10mm. Los foraminíferos bentónicos están compuestos por calcita y calcita magnesia, muy raramente por aragonito. Los foraminíferos bentónicos modernos son abundantes en la zona de laguna detrás del arrecife y en las zonas neríticas someras. Los foraminíferos plantónicos presentan calcita, y son de diversas formas pero en secciones finas generalmente son circulares a subcirculares con cámaras y por ser organismos flotadores, presentan una distribución muy amplia en todas las edades (Méndez, 2009).

- **Moluscos**

Forman parte de la mayoría de los pelecípodos y son habitantes de los fondos acuáticos, viven principalmente en aguas marinas someras dentro de la zona sublitoral (Zapata, 1983). Los constituyen las siguientes clases: Bivalvia, Gastrópoda, Escafópoda, Cefalópoda y Chitones (Scoffin, 1987). La mayoría son bentónicos. Algunos bivalvos como las ostreas pueden formar estructuras y montículos similares a arrecifes, sin embargo los primeros están compuestos de aragonito, por lo tanto su estructura interna no se preservará. Otros como las ostreas están compuestos de calcita con bajo Mg, con lo cual sus características texturales generales se conservan.

2. Granos no esqueletales

Son aquellos derivados principalmente por mecanismos fisicoquímicos y en los cuales la precipitación inorgánica, la cementación, la energía de la corriente, etc., son mecanismos de Formación. Muchos granos no esqueletales poseen componentes biogénicos que pueden constituir el núcleo de los ooides o contribuir eficazmente a la Formación de los granos, como ocurre en los casos de los oncolitos, donde el desarrollo de las algas verde-azules, constituyen la estructura laminar periférica. Otro caso específico es el de los estromatolitos, los cuales desarrollan

importantes estructuras sedimentarias donde los procesos bioquímicos y físico-químicos se interconectan. Tanto los oncolitos como los estromatolitos se están incluyendo entre los granos o elementos no esqueléticos, ya que, aun cuando los procesos biogénicos son tanto, o más importantes que los físicos, no desarrollan estructuras esqueléticas propiamente dichas (Méndez, 2009).

- **Intraclastos y Extraclastos**

Los intraclastos son fragmentos de rocas carbonáticas, comúnmente de débil consolidación, que ha sufrido desgaste por transporte dentro de la cuenca donde se originó y se depositó, pero siempre perteneciendo a la cuenca interna. También se puede denominar granos detríticos. Los extraclastos son fragmentos de caliza o minerales ajenos a la sedimentación de la cuenca y transportados a ésta desde áreas cercanas (Zapata, 1983).

- **Ooides**

Son cuerpos esféricos a elipsoidales que poseen una estructura radial o con una o más láminas concéntricas regulares, generalmente alrededor de un núcleo el cual puede ser una partícula de carbonato, fragmento esquelético, cuarzo, etc. Un sedimento compuesto de Ooides se denomina oolita. La mayor parte de los ooides poseen un diámetro que fluctúa entre 0.2 y 0.5 mm, aun cuando este diámetro es generalmente exclusivo hasta 2 mm. Cuando los granos son mayores de 2 mm, se pueden usar el término genético de pisolita. La laminación de los ooides tiende a acentuar la redondez del grano. Los ooides de ambiente marinos se forman generalmente en aguas agitadas y muy someras, donde constantemente son movidos como olas de arenas, dunas y ondulaciones, por la variación de las mareas, tormentas y oleaje. Sin embargo actualmente se conoce que ciertos tipos de ooides se pueden formar en zonas parcialmente protegidas y con oleajes moderados. En base a las observaciones efectuadas en ooides de ambientes modernos se obtienen algunas conclusiones importantes (Méndez, 2009).

1.- El tamaño (diámetro) de los ooides varía frecuentemente entre 0.2 y 1 mm. Son muy comunes entre 2,0 y 0,5mm, pero ocasionalmente pueden llegar hasta los 2mm.

2.- El escogimiento es de pobre a regular, ocasionalmente bueno.

3.- Se forman preferentemente en ambientes de más o menos 2m de profundidad, aun cuando pueden llegar a formarse hasta 10 y 15m de profundidad.

4.- Los ooides pueden ser de estructura radial, tangencial, o desordenada. Algunos pueden tener una combinación de tangencial y radial.

5.- Los ooides de estructura tangencial son de aragonito. Los de estructura radial, pueden ser de aragonito, calcita Mg, o calcita.

- **Peloides y Pellets**

Son granos esféricos, cilíndricos o granulares, los cuales no poseen estructura interna diferenciable y están compuestos por carbonato microcristalino. La mayor parte de los peloides se encuentran en el rango de 0.1-0.5 mm de diámetro, aun cuando pueden llegar a tener varios mm. Generalmente son bien redondeados, ovalados o esféricos y son uniformes en tamaño, cuando menos los de un mismo depósito. La mayor parte de los peloides son de origen fecal y se denominan pellets. Los peloides de origen fecal generalmente presentan un buen escogimiento. Algunos peloides pueden representar proceso de agregación de partículas muy finas. Los peloides que se encuentran en los sedimentos recientes generalmente poseen diámetros inferiores a 1 mm. Los peloides fecales se pueden derivar de Gasterópodos, Pelecípodos, braquiópodos, crustáceo, ostrácodos, equinodermos, tunicatos, etc. En los ambientes recientes pueden ser un constituyente importante y dominante en las zonas someras por debajo y entre mareas, en niveles de baja energía (Méndez, 2009).

3. Cementos carbonáticos

Se desarrollan en los espacios vacíos o bordeando a un fragmento esquelético o de origen inorgánico como un ooide. Los cementos pueden ser de calcita baja en Mg, aragonito o calcita Mg, dependiendo del ambiente diagenético en los cuales se originen. Los cementos como la esparita (calcita con baja Mg) formada por precipitación directa y no por neomorfismo de otros minerales de carbonato preexistentes, es un elemento fundamental en las clasificaciones texturales de las rocas carbonáticas. Los cementos marinos están constituidos por aragonito y calcita de alto magnesio. El aragonito se muestra más abundante que la calcita magnesiana bordeando los granos calcáreos. En la roca de playa los cementos también están representados por estos dos minerales (Méndez, 2009). Según Zapata, 1983 el tamaño de los cristales de los cementos carbonáticos estos se pueden clasificar en:

- **Espato:** es una calcita que generalmente forma cristales de 2-10 micras o más de diámetro y se distingue de la micrita por su transparencia, así como por su mayor tamaño cristalino. Este tipo de calcita generalmente se forma como simple cemento precipitado “in situ” en los poros.
- **Microespato:** calcita microcristalina generalmente de 5 a 15 micras de tamaño, producto de recristalización de micrita. Puede llegar a tener hasta 30 micras cuando es amorfo o tosco.
- **Pseudoespato:** es una fábrica de caliza neomórfica de recristalización con un promedio de tamaño entre 30 y 40 micras. Es una esparita neomórfica ya que se deriva de micrita o de fragmentos de bioclastos.

Tipos de cementos comunes

Méndez, 2009 catalogó los cementos en los siguientes tipos:

- **Bladed o tipo hoja:** Cemento de calcita en forma de hoja cuya relación de largo con respecto al ancho es de 1.5 a 1, hasta 6 a 1.
- **Botroidal:** es un cemento marino de aragonito el cual se forma en las zonas del arrecife y presenta una forma de abanico muy diferente a los demás tipos de cemento.

- **Dentado:** Cemento tipo drusy o granular, muy característico, de ahí su denominación. Ocurre en la zona vadosa o en un ambiente meteórico en general.
- **Drusa (drusy):** similar al anterior, con cristales anhedrales o subhedrales. El tamaño de los cristales usualmente se incrementa desde las paredes de los granos hacia el centro del espacio poroso.
- **Equidimensional:** cemento granular de calcita con cristales de tamaño muy similar donde el largo con respecto al ancho es de 1.5 a 1.
- **Fibroso:** también llamado acicular, radial, palisade, etc. Los ejes largos de los cristales están perpendiculares a los bordes de los granos. Se forma generalmente durante la diagénesis temprana. Puede estar en forma de aragonito (fibras largas), calcita magnesia (fibras cortas), y calcita con bajo Mg por inversión.
- **Granular:** también llamado mosaico, blocky, drusy, equant. Se forma generalmente después de la litificación del sedimento y compactación en ambiente marino. Es un cemento de calcita.
- **Gravitacional:** tiene aspecto de una corteza de color oscuro, propio de la zona vadosa. Esporádicamente en una entre y sobre mareas. Se forma de manera gravitacional en torno a la superficie de los granos, alargando la estructura en dirección de la acumulación.
- **Isópaco:** cemento alrededor de los granos con un espesor o un grosor uniforme.
- **Menisco:** cemento de calcita formada por capilaridad entre los bordes más cercanos de los granos, típica de la zona vadosa.
- **Micritico o microcristalino:** cemento formado por micrita de calcita Mg. Se puede encontrar en rocas de playas, cavidades de arrecifes, como cemento submarino, etc.
- **Poiquilitopico:** cemento y termino textural, donde cristales granulares sin una orientación común se encuentran dentro de un cristal más largo o un mineral.

- **Sintaxial:** formado por crecimiento sintaxial sobre un núcleo generalmente de equinodermos, aun cuando pueden ser otros organismos. Indica ambiente diagenético de aguas frescas, cementación subáerea, o cementación marina muy temprana. Ocasionalmente cementación profunda.

4. Micrita

Es un término descriptivo con el cual se designa el material de grano muy fino o microcristalino calcáreo con un diámetro inferior de 4 micras. Folk (1959), limitó la micrita hasta 4 micras y Leighton y Pendexter (1962), hasta 3 micras. En términos generales, la micrita es utilizada para designar la matriz de grano fino en rocas carbonáticas. En los trabajos de campo y descripción manual de rocas, un alto predominio de micrita se utiliza para designar a una calcilutita, pelita calcárea, Mudstone, etc (Méndez, 2009).

Diagénesis de rocas carbonatadas

Según Zapata, 1983 la diagénesis de los carbonatos está definida bajo los siguientes procesos:

1. Procesos químicos que originan la diagénesis:

- **Cementación:** relleno de poros por precipitación de minerales.
- **Compactación:** Los principales cambios físicos que tienen lugar en un sedimento desde el mismo instante en que estos son depositados, se producen esencialmente por efecto de la compactación mecánica producto del aumento de la presión o carga sedimentaria al incrementarse la profundidad de soterramiento y generalmente se expresa como una disminución del volumen de sedimento, debido a la disminución de su porosidad original, expulsión del fluido intersticial, empaquetamiento más apretado por deformación y fracturamiento de los mismos.
- **Disolución:** de los minerales constituyentes, por efectos conjuntos de presión y disolución. Son disueltos selectivamente, generalmente, por la acumulación conjunta de presión y disolución. Incluye también la

formación de porosidad, normalmente disminuye la porosidad y permeabilidad. Dentro de este proceso se puede ubicar el proceso de estilolitización.

Disolución por presión: es el proceso donde los granos sufren disolución de sus contactos. Durante la acción de presión disolución, los puntos de contacto entre granos cambian a superficies de contacto. Los granos menos solubles penetran los granos más solubles, mientras cada uno sufre pequeños cambios de forma.

Estilolitas: son estructuras de origen diagenético, formadas por sobrecarga, que son consecuencia de la disolución de material carbonático a lo largo de líneas aserradas, dentadas.

- **Neomorfismo:** de minerales carbonáticos originales hacia nuevas formas más estables, bajo condiciones variables a través de procesos tales como inversión y recristalización. Dentro de este se encuentra:

Inversión: es la transformación de un polimorfo de un mineral a otro, permaneciendo la composición química constante, un ejemplo de esto es la transformación de calcita ortorrómbica en calcita romboédrica. Y tiene dos tipos:

Inversión Homoaxial: transformación por medio de una película migrante, que causa simultáneamente disolución del viejo mineral y precipitación del nuevo con el reemplazamiento ordinario.

Inversión Heteroaxial: transformación por un cambio de posición de los iones en la película cristalina, sin presencia de líquido ni largo transporte de iones. No hay relación óptica ni textural entre los cristales de aragonito y calcita.

Neomorfismo Agradante: es el proceso mediante el cual el carbonato finamente cristalino es sustituido por calcita espática (incluye Microespato y Pseudoespato).

Recristalización: donde las fases mineralógicas inicial y final son las mismas, pero su forma cristalina, tamaño u orientación son diferentes.

- **Reemplazamiento:** es el cambio de los constituyentes originales por un mineral de composición completamente diferente, sin que para ello se desarrollen cavidades importantes. Por ejemplo reemplazamiento por dolomita, anhidrita, yeso, sílice, piritita, putrefacción orgánica de partículas, glauconita, etc. Los principales procesos de reemplazamiento son:

Dedolomitización: es un proceso de disolución mediante el cual los rombos de dolomita son lixiviados dejando un espacio poral que es posteriormente rellenado por cristales finos de calcita delineados por calcita drústica.

Dolomitización: es considerada un proceso diagenético tardío en sedimentos antiguos. La formación diagenético de la dolomita, a partir de la calcita, ocurre en un ambiente hipersalino o por lo menos en soluciones de mayor salinidad que el agua marina normal.

Glauconitización y Piritización: se refiere al reemplazo por glauconita y/o piritita que tiene lugar en las rocas carbonatadas. Estos dos procesos indican condiciones reductoras del medio diagenético en ambiente marino. Puede ocurrir en forma conjunta o por separado. La formación de sulfuros exige condiciones altamente reductoras (Eh negativo) y ácidos (pH bajo), mientras que la glauconita exige condiciones menos reductoras. Por lo que la formación de glauconita ocurre en los

primeros centímetros por debajo de la entrecara de deposición y la pirita a niveles un poco más profundos.

Silicificación: se refiere al reemplazamiento de sílice. El material silíceo reemplaza parcial o totalmente a rocas carbonáticas, esqueletos, y maderas. También puede ocurrir silicificación producto de cementación silícea y por rellenos en poros, fisuras y diaclasas.

- **Solución:** de minerales inestables particularmente aragonito (Méndez, 2009).

2. Procesos orgánicos:

- **Acción bacterial:** exige la preservación de la materia orgánica, la cual sería atacada por bacterias anaeróbicas, en un medio diagenético reductor, es decir ambiente marino poco profundo con enterramiento rápido.
- **Agregación:** por este mecanismo ocurre la formación de pellets, en condiciones de poca compactación y deposición lenta.
- **Bioturbación:** conduce a la disgregación y mezcla de materiales en un medio oxigenado de profundidad variable.
- **Erosión o perforaciones y envoltorios micríticos:** son producto de la acción erosiva de organismos comedores. Unos corroen externamente las conchas, desgastando su pared exterior transformándolas en un ropaje micrítico lodoso y otros horadan perforando a través de la concha favoreciendo la penetración de lodo y otros materiales constituyentes de la matriz.
- **Reducción de partículas esqueléticas:** esto implica una gradación en el tamaño de las partículas, de arena a limos con escaso redondeamiento.

Estructuras sedimentarias

Prácticamente todas las estructuras originadas por las corrientes, oleaje, carga de los sedimentos etc., que se encuentran en los sedimentos clásticos terrígenos, también se originan en los carbonatos, principalmente las derivadas del oleaje y

corrientes, estratificación horizontal, laminación, estratificación cruzada, gradación, etc. Generalmente, muchas de las estructuras son de origen biogénico o por efecto de la diagénesis, desarrollada en los ambientes superficiales y cuando el sedimento no está completamente litificado. En los carbonatos, gran parte de las estructuras sedimentarias formadas en la superficie o cerca de éstas, se modifican o no se preservan, debido a que estos sedimentos durante su ciclo de Formación en un complejo sedimentario están expuestos a la meteorización, erosión y diagénesis temprana, cuando desciende el nivel del mar (Méndez, 2009).

El mismo autor define las siguientes estructuras sedimentarias que fueron consideradas para este trabajo:

Capas o estratos: La estratificación se expresa por unidades de roca de forma generalmente tabular o lenticular, que poseen alguna unidad litológica o estructural y se distinguen de otros estratos con los cuales están estructurados. El término estrato se emplea para una capa mayor de 1 cm de espesor, reconocible entre otras capas superiores e inferiores.

Concreciones: Subesféricas, ovaladas, en forma de disco, etc., formadas por las soluciones (diagénesis o poco después de la sedimentación) y composición diferente a la roca en las que se encuentran. De sílice, calcita, dolomita, pirita, óxidos de hierro o fosfato de calcio. En calizas, generalmente con un núcleo formado por fósil o fragmentos. Poseen formas esféricas irregulares, elipsoidales o aplanadas y se encuentran paralelas a la capa.

Cono en cono, conos encajados: Estructura concrecional con el desarrollo sucesivo de conos, unas sobre otros. Los conos se encuentran paralelos a las capas, pero también se forman radialmente alrededor de una concreción calcárea. Generalmente los conos están formados por fibras de calcita paralelas a los ejes del cono.

Estratificación cruzada: Término utilizado para la estratificación inclinada. La sedimentación formada por capas frontales mayores de 1 cm de espesor, donde la estratificación interna es inclinada con respecto a la superficie principal de

acumulación. La laminación cruzada generalmente se indica para capas menores de 1 cm.

Estromatolitos: Son estructuras que se forman por el crecimiento de las colonias de cianobacterias, denominadas en conjunto, algas verde-azules. Presentan formas muy varias como: domos, crecimiento planos, en forma ondulada y como oncolitos (parecidas a concreciones originadas por el enrollamiento de las algas en torno a un núcleo).

Estructuras de cargas: Se denominan corrientes moldes de agua (load casts). Se forman como resultados de la socavación y empuja por la arena suprayacente en el fango o barro infrayacente. Por lo tanto no es un relleno de una depresión.

Estratificación gradada: Un tipo de estratificación en el cual, cada estrato muestra una gradación en el tamaño del grano, del grueso abajo a fino arriba.

Estratificación convoluta: Unidad sedimentaria con laminación deformada, limitada por estratos normales no deformados.

Estructuras nodulares: Se presentan en las calizas particularmente cuando hay interestratificación con sedimentos más finos o cuando ocurre una diagénesis temprana en zonas aisladas de la estratificación. En general los nódulos de chert se pueden encontrar interestratificados entre sedimentos finos como ocurre en la Formación La Luna de Cretácico Superior de la cuenca de Maracaibo.

Geodas: Forma subesférica con el interior hueco. La envoltura exterior de calcedonia y el revestimiento interno en forma de drusa.

Grietas de desecación: Por desecación de sedimentos. También utilizado (shrinkage crachs)

Grietas y diques: En los sedimentos calcáreos parcialmente cementados o litificados se pueden encontrar cavidades en forma de grietas y diques. Hay grietas en forma de hojas que se desarrollan paralelamente a la estratificación, aun cuando algunos pueden presentar extensiones como “raíces”.

Laminaciones: Son las unidades más pequeñas de la estratificación. Por lo general varían entre 0,05 y 1,0 mm de espesor. Son características de los sedimentos más

finos como las lutitas y limolitas. Por lo general cuanto más delgadas son las laminaciones, más lenta es la velocidad de acumulación.

Marca de corriente y oleaje: Empleada para formas irregulares debidas a erosión por corrientes.

Marcas de surcos: Estructura formada por erosión en el lodo y relleno posterior por arena. Rara vez tiene más de algunos mm de ancho, pero puede mantener una continuidad de 1 m o más. En sección transversal son angulares o redondeadas. Se desarrollan en ambientes más distales que los moldes aflautados.

Marca de oleaje: Estructura para indicar marcas de oleaje y dirección de corriente. Términos relacionados: estratificación de oleaje u ondulítica, la laminación cruzada del oleaje, está relacionada con la migración de óndulas.

Marca de base: Aplicada a ciertos jeroglíficos hallados en la superficie inferior de algunas areniscas y calizas. Se originan en la superficie de capas lodosas por corrientes, organismos u otros agentes. Cuando los elementos han sido consolidados y expuestos a la interperie los estratos pelíticos o lutíticos son destruidos con mayor facilidad, dejando al descubierto en las bases de las areniscas, formas en realces o calcos.

Nódulos: Con una composición diferente a la roca en la cual se hayan encajados. La superficie externa, por lo general no es lisa, sino que presenta pequeños relieve o rugosidades. Los más frecuentes son los nódulos de chert que aparecen en calizas y dolomitas. No presentan estructura interna y en su interior se pueden encontrar restos de silicificados de fósiles u ooides.

Otras estructuras biogénicas: En este grupo se incluyen las diversas estructuras formadas por los organismos como la bioturbación general, Formación de madrigueras, horadaciones, restos de huellas, etc. La bioturbación se genera sobre el sedimento blando no litificado y es común en los ambientes de las lagunas someras situadas detrás del arrecife o margen de la plataforma.

Paleocarst: Se origina cuando los carbonatos están expuestos a la superficie, donde se origina la disolución y cementación por la presencia de aguas meteóricas. El

paleocarst es diferente al carst, ya que este último puede formar superficies abruptas originadas por procesos masivos de disolución y erosión debido a una mayor pluviosidad características de climas húmedos.

Septarias: De forma subesférica (de 15 a 40 cm), con la existencia de dos sistemas de grietas; uno radial, cuyas fisuras se ensanchan hacia el centro, y otro concéntrico, cuya intersección con el radial produce un trazado poligonal.

Turboglifos: Erosión en lutitas (corrientes) y posterior relleno por areniscas.

Topee: Estructuras de suelos endurecidos de forma poligonal levantadas como un cono por agrietamiento y formadas por capas o costras endurecidas por cemento fibrosos de aragonito y de calcita Mg peloidal; se encuentran en las lagunas y salinas someras; forma de anticlinal de 20 cm de altura y 40 cm longitud; pueden alcanzar más de 1 metro de altura y varios metros de largo.

Otros términos importantes en rocas carbonáticas

- **Aloquímicos:** termino para granos o partículas de carbonatos que se han formado por precipitación química en el interior de la cuenca de depósito, pero que en su mayor parte, han sufrido algún transporte posterior. Existen cuatro tipos de aloquímicos importantes: los intraclastos, las oolitas, los fósiles y los pellets (Zapata, 1983).
- **Brechas:** fragmentos angulares de rocas la mayor parte de los cuales son mayores de 2mm de diámetro. Generalmente representan facies en el talud externo (Méndez, 2009).
- **Carbonato Cristalino:** termino que se usa en la clasificación de Dunham cuando la textura depositacional ha sido reemplazada completamente por esparita o dolomita (Méndez, 2009).
- **Carbonato de mezcla:** nombre con el cual se designa a los carbonatos con un alto contenido de siliciclásticos (Méndez, 2009).

- **Detrítico:** son partículas sólidas arrastradas y depositadas procedentes del exterior de la cuenca. También se le conoce como sedimentos o rocas formadas predominantemente por partículas detríticas (Zapata, 1983).
- **Dolomita Barroca:** denominada también dolomita “saddle” o “white sparry”. Se caracteriza por una red cristalina combeada, con caras cristalinas curvadas, planos de clivajes curvados y extinción marcadamente ondulosa. Debido a las inclusiones de fluidos y cristales de calcita reliquias (cuando es reemplazo) se observa manchada o ligeramente “sucia” en secciones delgadas (Méndez, 2009).
- **Estratigrafía secuencial:** rama de la estratigrafía relacionada con las secuencias sedimentarias asociadas a los ciclos eustáticos, a través de la sedimentología, estratigrafía convencional, unidades de correlación, datos sísmicos, registros eléctricos, etc (Méndez, 2009).
- **Exposición subáerea:** son áreas donde la superficie del sedimento o roca muestran los efectos de haber estado expuestas a la superficie de la tierra. Para reconocer superficies de exposición subaéreas, necesitan haber estado expuestas suficientemente para permitir que procesos diagenéticos subaéreos modifiquen o borren las fábricas preexistentes (Méndez, 2009).
- **Facies sedimentarias:** es una masa de rocas o sedimentos que puede ser definida y separada de otras por su litología, geometría, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles (Selley, R. 1976).
- **Geopetal:** es una estructura interna de relleno de conchas fósiles por lodo carbonático, la cual es útil como indicador de base y tope (Zapata, 1983).
- **Hardground:** superficie cementada y litificada en el suelo marino, tanto somero como profundo, debido a la escasa sedimentación. La cementación se produce por aragonito y calcita Mg en los ambientes someros (Méndez, 2009).
- **Ignofacies (Ichnofacies):** facies sedimentarias caracterizadas por la presencia de estructuras originadas por la actividad de organismos (Méndez, 2009).

- **Lodolita calcárea:** término de la clasificación de Dunham alusivo a las rocas carbonáticas que contienen menos del 10% de granos y el resto es matriz de lodo carbonático. Equivale en parte a micrita y lutita (Zapata, 1983).
- **MFS “Maximum flooding Surface”:** es el nivel de máxima transgresión a nivel local o regional (Méndez, 2009).
- **Microfacies:** conjunto de características litológicas, biológicas y texturales visibles en láminas delgadas (carbonatos) o finas (clásticos) (Méndez, 2009).
- **Ortoquímico:** son precipitados químicos normales, formados en el interior de la cuenca de depósito o dentro de la roca misma, y que muestran poca o ninguna evidencia de transporte significativo (Zapata, 19883).
- **Parasecuencia:** es una sucesión relativamente concordante de capas o conjunto de capas genéticamente relacionadas y limitadas por superficies de inundación o sus superficies correlativas. Es una unidad estratigráfica depositada durante un ciclo eustático de 4° y 5° orden (Méndez, 2009).
- **Secuencia estratigráfica:** es una sucesión más o menos concordante de estratos o reflectores sísmicos de connotación estratigráfica, genéticamente relacionados y delimitados en el tope y la base por discordancias o sus superficies correlativas equivalentes, indicando cambios regionales relativos en el nivel del mar (Méndez, 2009).