

**PETROGRAFÍA Y DIAGÉNESIS A PARTIR DE NÚCLEOS DE
PERFORACIÓN DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS DE LA CUENCA SAN
JUAN, CHOCÓ.**

CRISTIAN GUACANEME MORA

**UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS GEOLOGICAS
PROGRAMA DE GEOLOGÍA
MANIZALES
2011**

**PETROGRAFÍA Y DIAGÉNESIS A PARTIR DE NÚCLEOS DE
PERFORACIÓN DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS DE LA CUENCA SAN
JUAN, CHOCÓ.**

CRISTIAN GUACANEME MORA

Anteproyecto presentado como requisito parcial

Para optar al título de Geólogo

Presidente de Tesis

Ph.D. CARLOS GUZMÁN LÓPEZ

UNIVERSIDAD DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS GEOLOGICAS

PROGRAMA DE GEOLOGÍA

MANIZALES

2011

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Presidente de Tesis

Manizales 24 de Enero de 2011

DEDICATORIA

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber”.

Albert Einstein

Dedico este trabajo a las personas que siempre creyeron en mi y me dieron su apoyo incondicional en este viaje de la vida y la academia, mi padre Jairo Luis y mi madre Ciralba.

Cristian Guacaneme Mora

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se realizó gracias al apoyo de la Universidad de Caldas y la Agencia Nacional de Hidrocarburos.

Expreso mis agradecimientos a:

PhD. Carlos Guzmán López, por su gran apoyo, incondicionalidad y amistad.

PhD. Andres Pardo, por su colaboración, incondicionalidad y asesoría en el proyecto.

Ms.Sc. Mauricio Alvarán, por su gestión en el proyecto.

Geólogo Carlos Borrero, por su colaboración y asesoría en el proyecto.

Ph.D. Agustin Cardona, por su colaboración y asesoría en el proyecto

Señorita Maria Dolly Ramirez, por su colaboración e incondicionalidad en el proyecto.

A los compañeros de tesis Fabian, Raul y Felipe por su apoyo académico y amistad.

A Germán Garzon Arias por su gran amistad, apoyo académico y motivación.

A Clemencia Alzate por su apoyo, amistad y motivación en este proyecto.

A mis hermanos Jhon, Cesar, Carolina y Claudia por su apoyo incondicional y paciencia.

Finalmente a todas aquellas personas y amigos que me apoyaron de alguna manera.

Gracias

RESUMEN

Se efectuó un análisis petrográfico y diagenético de 33 secciones delgadas provenientes de las unidades sedimentarias Cenozoicas del Pacífico Colombiano, con el fin de evaluar la calidad de las rocas como potenciales reservorios de hidrocarburos, así como su posible procedencia tectónica. Estas muestras provienen del pozo estratigráfico somero tipo (*slim hole*) Chocó 1 ST-S perforado por la ANH a una profundidad de 500 m, en el valle alto de río San Juan al sur del departamento del Chocó, la unidad perforada corresponde a la Formación Condoto de edad Mioceno medio. En cuanto al método petrográfico se realizó un conteo de 400 puntos por sección delgada con el fin de determinar la composición modal de los clastos e identificar los distintos procesos y productos diagenéticos. Se determinó la paragénesis diagenética, dividiéndose los procesos según el ambiente en el que se originan y el tiempo relativo de aparición.

En general, se identificaron litoarenitas, litoarenitas feldespáticas, arcosas líticas, ortoconglomerados, lutitas y arenitas volcánicas. En cuanto a la diagénesis temprana los principales eventos corresponden a compactación de los sedimentos, cementación de carbonatos, óxidos de hierro y zeolitas, metasomatismo por clorita, metasomatismo por óxidos de hierro, caolinitización de feldespatos, seritización de plagioclasas; en la diagénesis de enterramiento se presentó metasomatismo de silicatos y fragmentos líticos por carbonatos, corrosión de silicatos y fragmentos líticos por óxidos, y neomorfismo agradante del cemento carbonatado. En la diagénesis tardía se presentó disolución de los clastos, la matriz y los cementos. La porosidad de las rocas. A partir de este análisis se determinó que la unidad perforada (Formación Condoto) presenta bajo potencial como reservorio de hidrocarburos. Por otra parte, la procedencia tectónica (tectogénesis) es definida como un ambiente de arco magmático con influencias de orógeno reciclado lítico y basamento levantado, esta variedad de ambientes tectofaciales conllevan a una variedad de procedencias tectónicas ligada probablemente a movimientos a lo largo de fallas que indican un conjunto de ambientes litológicos de la roca fuente que varía desde rocas volcánicas intermedias a básicas como dacitas, andesitas y basaltos, y rocas sedimentarias como lutitas, lutitas silíceas y arenitas como suministro de sedimentos a las rocas sedimentarias de la cuenca.

Palabras claves: Cuenca San Juan, núcleos de perforación, análisis petrográfico, diagénesis, análisis de procedencia, rocas volcánicas, Formación Condoto.

ABSTRACT

Was made an analysis of 33 diagenetic and petrographic thin sections from the Cenozoic sedimentary units of the Colombian Pacific, in order to assess the quality of the rocks as potential reservoirs of oil and its possible tectonic origin. These samples are from shallow stratigraphic well type (*slim hole*) Choco 1 S-ST, ANH's drilled to a depth of 500 m, in the upper valley of San Juan River to the south of the department of Chocó, the unit drilled corresponds to the Condoto Formation with middle Miocene age. As for the method was performed petrographic counting 400 points per thin section to determine the modal composition of the clasts and identify the various diagenetic processes and products. Diagenetic paragenesis was determined by dividing the process according to the environment in which they originate and the relative time of occurrence.

In general, was identified lithoarenites, lithoarenites feldspathic, lithic arkose, ortoconglomerados, shales and sandstones volcanoclastic. As early diagenesis major events correspond to sediment compaction, cementation of carbonates, iron oxides and zeolites, metasomatism of chlorite, iron oxides metasomatism, metasomatism of feldspars by caolin, metasomatism of plagioclase by sericite, in burial diagenesis is presented metasomatism by silicate and carbonate lithic fragments, corrosion of silicates and oxides lithic fragments and carbonate cement agradant neomorfism. In the late diagenesis presented solution of the clasts, matrix and cement. The porosity of rocks from this analysis it was determined that the punch unit (Condoto Formation) has low potential as hydrocarbon reservoirs. Moreover, the tectonic origin (tectogenesis) is defined as a magmatic arc environment influences lithic recycled orogen and raised basement, this variety of environments tectofaciales lead to a variety of sources probably related tectonic movements along faults that indicate a set of environments of the source rock lithology ranging from basic to intermediate volcanic rocks such as dacite, andesite and basalt, and 'sedimentary' rocks as shale, siliceous shale and sandstone as sediment supply to the sedimentary rocks of the basin.

Keywords: San Juan Basin, cores, petrographic analysis, diagenesis, provenance analysis, volcanoclastic rocks, Condoto Formation. .

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	2
3. OBJETIVOS.....	3
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
4. LOCALIZACIÓN.....	4
5. METODOLOGIA.....	5
5.1 REVISION DE LA INFORMACIÓN.....	5
5.2 TRABAJO DE LABORATORIO.....	5
5.3 TRABAJO DE OFICINA.....	5
6. MARCO GEOLOGICO.....	6
6.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	6
6.2 ESTRATIGRAFIA.....	9
6.2.1. Grupo Cañasgordas (Kcg).....	9
6.2.1.1 Formación Barroso (K2br).....	9
6.2.1.2 Formación Penderisco: Miembro Urrao (K2pnu)	10
6.2.2 Complejo Santa Cecilia-La Equis (K2sc).....	11
6.2.3 Formación Iró (E2i)	11
6.2.4 Grupo San Juan (Nsj).....	13

6.2.4.1 Formación Istmina (N1is)	13
6.2.4.2 Formación Conglomerados de La Mojarra (N2cm).....	14
6.2.4.3 Formación Condoto (N2c).....	16
6.2.5 Formación Mayorquín (N3my)	16
6.2.6 Formación Raposo (N3rp).....	17
6.2.7. Depósitos Cuaternarios (Qal, Qt).....	17
6.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	18
6.3.1. FALLAS.....	18
6.3.1.1. Sistema de Fallas de San Juan (SFSJ).....	18
6.3.1.2. Falla de La Mojarra.....	18
6.3.1.3. Falla de Iró.....	18
6.3.2. PLIEGUES.....	19
6.3.2.1. Sinclinal de La Mojarra.....	19
6.3.2.2. Anticlinal de La Cuelga.....	19
6.3.2.3. Anticlinal de Ñápera	19
7. MARCO TEORICO GENERAL	20
7.1 CONCEPTOS Y TERMINOLOGIA EN DIAGENESIS	20
8. METODOS Y PETROGRAFÍA	22
8.1 METODOLOGIA GENERAL.....	22
8.2 PETROGRAFIA Y CLASIFICACION DE LAS MUESTRAS.....	23
8.2.1 Parte Inferior del pozo.....	23
8.2.2 Parte Media del pozo.....	26
8.2.3 Parte Superior del pozo.....	28
8.3.4 Clasificación de rocas volcanoclasticas	31
8.3 PROVENIENCIA Y TECTOFACIAS.....	33

8.4.1 Tectofacies y unidades fuente.....	33
8.4.2 Evaluación general.....	34
9. PROCESOS Y PRODUCTOS DIAGENÉTICOS.....	36
9.1. PARTE INFERIOR DEL POZO.....	36
9.1.1. Transformaciones del espacio intersticial.	36
9.1.1.1. Porosidad	36
9.1.1.2. Poronecrosis.....	37
9.1.1.3. Compactación.	37
9.1.2. Neoformaciones minerales.....	38
9.1.2.1. Cementos.....	39
9.1.2.1.1. Cemento de poros.....	39
9.1.2.1.2. Cemento pelicular.....	39
9.1.2.1.3. Cemento basal.....	40
9.1.2.1.4. Cemento ferruginoso de pigmento.....	40
9.1.2.2. Metasomatismo diagenético.....	41
9.1.2.2.1. Metasomatismo de líticos por carbonato.....	41
9.1.2.2.2. Metasomatismo de cuarzo por carbonatos.....	42
9.1.2.2.3 Metasomatismo de feldespatos por carbonatos..	42
9.1.2.2.4 Metasomatismo de micas por carbonatos..	42
9.1.2.2.5. Otros tipos de metasomatismo.....	43
9.1.3. Transformaciones de los componentes.....	44
9.1.3.1. Corrosión.....	44
9.1.3.2. Disolución.....	45
9.1.3.3. Neomorfismo.....	46
9.1.4. Secuencia paragénética y relacion con las etapas diageneticas.....	46
9.2. PARTE MEDIA DEL POZO.....	50

9.2.1. Transformaciones del espacio intersticial.....	50
9.2.1.1. Porosidad.....	50
9.2.1.2. Poronecrosis.....	51
9.2.1.3. Compactación.....	51
9.2.2. Neoformaciones minerales.....	52
9.2.2.1. Cementos.....	52
9.2.2.1.1. Cemento de poros.....	52
9.2.2.1.2. Cemento basal.....	53
9.2.2.1.3. Cemento ferrugino de pigmento.....	53
9.2.2.1.4. Cemento pelicular.....	54
9.2.2.2. Metasomatismo diagenético.....	54
9.2.2.2.1. Metasomatismo de cuarzo por carbonato.....	54
9.2.2.2.2. Metasomatismo de feldespatos por carbonatos.....	55
9.2.2.2.3. Metasomatismo de fragmentos líticos por carbonatos.....	55
9.2.2.2.4. Otros tipos de metasomatismo.....	56
9.2.3. Transformaciones de los componentes.....	57
9.2.3.1. Corrosión.....	57
9.2.3.2. Disolución.....	57
9.2.3.3. Neomorfismo.....	57
9.2.4. Secuencia paragénetica y relacion con las etapas diageneticas.....	58
9.3. PARTE SUPERIOR DEL POZO.....	62
9.3.1. Transformaciones del espacio intersticial.....	62
9.3.1.1. Porosidad.....	62
9.3.1.2. Poronecrosis.....	63
9.3.1.3. Compactación.....	63
9.3.2. Neoformaciones minerales.....	64
9.3.2.1. Cementos.....	64

9.3.2.1.1. Cemento de poros.....	64
9.3.2.1.2. Cemento basal.....	64
9.3.2.1.3. Cemento ferruginoso de pigmento.....	65
9.3.2.1.4. Cemento pelicular.....	65
9.3.2.2. Metasomatismo diagenético.....	66
9.3.2.2.1. Metasomatismo de cuarzo por carbonato.....	66
9.3.2.2.2. Metasomatismo de feldespatos por carbonatos.....	67
9.3.2.2.3. Metasomatismo de fragmentos liticos por carbonatos.....	67
9.3.2.2.4. Otros tipos de metasomatismo.....	68
9.3.3. Transformaciones de los componentes.....	69
9.3.3.1. Corrosión.....	69
9.3.3.2. Disolución.....	70
9.3.3.3. Neomorfismo.....	70
9.3.4. Secuencia Paragénética y relacion con las etapas diageneticas.....	72
10. CALIDAD DE LAS ROCAS COMO POTENCIALES RESERVORIOS....	75
11. CONCLUSIONES.....	77
12. ANEXOS.....	82
13. BIBLIOGRAFIA.....	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las muestras procedentes de niveles volcanoclasticos en el pozo estratigráfico Chocó 1 ST-S.....	31
Tabla 2. Secuencia Paragenética establecida para el segmento inferior del pozo estratigráfico.....	48
Tabla 3. Secuencia paragenética establecida para la muestra 71.43 del segmento inferior del pozo estratigráfico.....	49
Tabla 4. Secuencia paragenética establecida para el segmento medio del pozo estratigráfico.....	60
Tabla 5. Secuencia paragenética establecida para la muestra 173.48 del segmento medio del pozo estratigráfico.....	61
Tabla 6. Secuencia paragenética establecida para el segmento superior del pozo estratigráfico.....	73
Tabla 7. Secuencia paragenética establecida para la muestra 412.2 del segmento superior del pozo estratigráfico.....	74
Tabla 8: datos de porcentaje para los componentes de las muestras del segmento inferior del pozo estratigráfico.....	82
Tabla 9: datos de porcentaje para los componentes de las muestras del segmento medio del pozo estratigráfico.....	83
Tabla 10: datos de porcentaje para los componentes de las muestras del segmento superior del pozo estratigráfico.....	84
Tabla 11: datos de porcentajes para la clasificación de arenitas según Folk (1974).....	85
Tabla 12: datos de porcentajes para la clasificación de ruditas según Boggs (1992).....	86
Tabla 13: datos de porcentajes para la clasificación de rocas sedimentarias mixtas según Vatan (1967).....	86
Tabla 14: datos de porcentajes para la clasificación de la tectofacies según Dickinson (1985), diagrama ternario QtFL.....	87
Tabla 15: datos de porcentajes para la clasificación de la tectofacies según Dickinson (1985), diagrama ternario QmFLt.....	88

Tabla 16: datos de tamaño máximo y tamaño promedio, selección, esfericidad, angularidad y redondez de los clastos para cada una de las muestras del pozo estratigráfico.....	89
Tabla 17: datos porcentuales de los fragmentos liticos para cada una las muestras del pozo estratigráfico.....	90
Tabla 18: datos de porosidad relativa para cada una de las muestras del pozo estratigráfico.....	91
Tabla 19: Calidad de las rocas en cuanto al potencial como reservorio de hidrocarburos para cada una de las muestras del pozo estratigráfico.....	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la Cuenca San Juan y su relación con otras cuencas del Bloque Chocó; definición de elementos tectónicos mayores. En el recuadro se muestra la ubicación del pozo estratigráfico tipo “Slim hole” perforado por la ANH.....	4
Figura 2. Mapa Geológico del Bloque Chocó. (Tomado de EAFIT, 2007).....	7
Figura 3. Carta Cronoestratigráfica para el Bloque Chocó (Tomado de EAFIT, 2007).....	8
Figura 4. Correlación estratigráfica de la Cuenca San Juan. (Tomado de Servigecol, 2008).....	12
Figura 5. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca San Juan (tomada de EAFIT 2007).....	15
Figura 6. Condiciones generalizadas de presión y temperatura que controlan la diagenesis y el metamorfismo. Según McKinley et al. (2001).....	20
Figura 7. Grafica de composición modal de los clastos de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos para cada una de las muestras del pozo estratigráfico.....	24
Figura 8. Clasificación de Arenitas según Folk (1974).....	25
Figura 9. Clasificación de Ruditas según Boggs (1992).....	26
Figura 10. Clasificación de Rocas mixtas según Vatan (1967).....	29
Figura 11. Columna estratigráfica que muestra la ubicación, litología, granulometría y clasificación de las muestras petrográficas analizadas para el pozo Chocó 1 ST-S.	32
Figura 12. Clasificación de las muestras de acuerdo con la tectofacies, según la propuesta de Dickinson (1985), diagramas ternarios QtFL y QmFLt.....	34
Figura 13: Ortoconglomerado” friable de clastos sedimentarios en se observan contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de cuarzo monocristalino (Qm) y líticos sedimentarios (Ls), metasomatismo de líticos volcánicos (Lv) de composición básica por clorita (Mlc), también se observa Chert en contacto cóncavo-convexo con lutita. Muestra 32.61.....	37
Figura 14: Arenita volcánica donde se observa porosidad secundaria intergranular (Psi) y porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de feldespatos, metasomatismo de feldespato por	

caolín (Mfc), deformación mecánica de micas biotita (Dmm), clastos aislados de cuarzo monocristalino (Qm) y metasomatismo de fragmentos líticos por óxidos de hierro (Ox). Muestra 33.07 en luz polarizada.....38

Figura 15: Lutita arenosa en donde se observa porosidad secundaria de fractura (Psf), cemento de poros de óxidos (Cop), matriz arcillosa (Ma) y clastos aislados de cuarzo monocristalino (Qm). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 63.70.....38

Figura 16. Ortoconglomerado de clastos sedimentarios bien cementado; en luz polarizada plana (imagen izquierda) se observa contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas, deformación mecánica de líticos metamórficos (Dml), metasomatismo de líticos por carbonato (Mlc); y líticos sedimentarios de lutitas bien redondeadas (Ls); en nicoles cruzados (imagen derecha) se muestra metasomatismo de cuarzo por carbonato (Mcc), metasomatismo avanzado de esquisto por carbonato, cemento carbonatado de basal (Ccb), líticos volcánicos aislados (Lv), y Chert; también se presenta porosidad secundaria estilolítica (Pse), muestra 71.43.....39

Figura 17. Litoarenita madura en la que se aprecia contactos cóncavo-convexos entre los clastos de lutita y feldespato (Ccc), deformación mecánica de líticos (Dml), metasomatismo de feldespato potásico por caolín (Mfk), cuarzo monocristalino (Qm), lítico volcánico (Lv), lítico sedimentario, moscovita (m). Muestra 72.24, imagen en nicoles cruzados.....40

Figura 18. Litoarenita madura masiva; se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo-convexos entre los clastos de lutitas y feldespato (Ccc), metasomatismo de feldespato potásico por kaolín (Mfk), cemento oxido de poros (Cop), clastos subangulares de cuarzo monocristalino (Qm) y cristales de turmalina (Tur), muestra 72.24 en luz plana.....41

Figura 19. Litoarenita feldespática madura; se aprecia porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls) y cuarzo monocristalino (Qm), también se presenta metasomatismo de feldespato por caolin, cemento de oxido de poros (Cop), y clastos de minerales opacos (Ox) y Chert. Fotografía en nicoles planos, muestra 77.82.....42

Figura 20. Lutita arenosa volcánica, en luz polarizada plana (imagen izquierda) se observa matriz arcillosa (Ma), porosidad secundaria por disolución de los clastos y la matriz (Psd), cemento carbonatado de poros asociado a fracturas (Ccf), cemento de poros de óxidos (Cop), aisladamente se observan clastos de cuarzo monocristalino (Qm), fragmentos de lutitas (Ls) cristales de biotitas (Xm) y minerales opacos (Op). En nicoles cruzados (imagen derecha) además de los mismos procesos en la imagen izquierda se observa metasomatismo de feldespato por caolín, corrosion de cuarzo por carbonato (Corr) y cristales de feldespatos (Xf), muestra 89.61.....43

Figura 21. Lutita arenosa masiva; se observa cemento de óxidos de poros, porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), matriz arcillosa en alta proporción (Ma), materia orgánica (Mo), clastos de cuarzo monocristalino (Qm) y minerales opacos (Op), Fotografía en luz polarizada plana, muestra 101.3.....43

Figura 23. Litoarenita feldespática madura volcánica, donde se observa en luz polarizada plana (imagen izquierda) contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de cuarzo monocristalino (Qm) y líticos volcánicos (Lv), metasomatismo de feldespato por caolín (Mfcl), metasomatismo de plagioclasa por sericita (Mps), porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), porosidad secundaria estilolítica (Pse), clastos de lutitas subredondeadas (Ls), micas moscovita (m), y cristales de hornblenda (Hb) y zoisita (Zoi). En nicoles cruzados (imagen derecha) se muestran clastos de Chert además de algunos colores de interferencia asociado a las moscovitas, además de los mismos procesos que en la imagen izquierda, muestra 109.25.....44

Figura 24. Lutita arenosa masiva, se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos y la matriz (Psd), cemento de óxidos de poros (Cop), matriz arcillosa (Ma), metasomatismo de feldespato por caolín (Mfk) y clastos aislados de cuarzo monocristalino de tamaño arena muy fina (Qm), muestra 135.03 en luz polarizada plana.....45

Figura 25: Litoarenita submadura friable; se observa metasomatismo de líticos volcánicos (Lv) por clorita (Mlc), clastos subredondeados de lutitas (Ls), cuarzo monocristalino (Qm), clastos subangulares de feldespatos potásicos (Fk) y clorita. Fotografía en luz polarizada plana, muestra 137.46.....45

Figura 26. Arcosa lítica inmadura volcánica, se observa en luz polarizada plana (imagen izquierda) porosidad secundaria (Psd) por disolución de los clastos y la matriz arcillosa (Ma), porosidad vugular (Pv), corrosión (Corr) de feldespato por oxidos, cemento de oxido de poros (Cop), clastos angulares asilados de cuarzo monocristalino (Qm), en nicoles cruzados (imagen derecha) se observa metasomatismo de feldespato con macla de albita por sericita, inclusiones de apatito en feldespato (Ia), feldespato potásico con macla de Carlsbad (Fk), además de matriz arcillosa (Ma) y clastos de cuarzo monocristalino (Qm), muestra 153.47.....46

Figura 27. Columna que muestra porcentajes estimativos de la porosidad relativa para cada una de las muestras del pozo estratigráfico Chocó 1 ST-S, en donde los valores entre 0 y 10% corresponden a porosidad baja y los valores entre 10 y 20% a porosidad intermedia.....51

Figura 28. Ortoconglomerado de clastos sedimentarios, se observa en nicoles cruzados (imagen izquierda) cemento carbonatado basal (Ccb), cemento carbonatado de poros (Ccp), metasomatismo de fragmentos líticos por carbonato (Mlc), metasomatismo de feldespato por carbonato (Mfc), metasomatismo de

feldespato por caolín (Mfk), contactos cóncavo-convexos (Ccc), entre los clastos de lutita (Ls) y Chert, trituración (Trl) de lutitas (Ls). En luz polarizada plana (imagen derecha) se aprecia deformación mecánica de líticos (Dml), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre fragmentos líticos, metasomatismo de líticos plutónicos por carbonato (Mlc), metasomatismo de líticos plutónicos por clorita, cemento carbonato basal (Ccb), cemento carbonato de poros (Ccp) y líticos sedimentarios con venas de cuarzo (Ls), muestra 173.48.....52

Figura 29. Litoarenita submadura, en la imagen izquierda en luz polarizada plana se aprecia porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd) y porosidad secundaria estilolítica (Pse), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls) y cuarzo monocristalino (Qm), estilolitos (Es), metasomatismo de líticos volcánicos por clorita (Mlc) y clastos de moscovita (Mo). En la imagen derecha en nicols cruzados se observa la misma Litoarenita submadura en donde se muestra deformación mecánica de líticos (Dml), contactos cóncavo-convexos (Ccc), estilolitos (Es), clastos subangulares de cuarzo policristalino (Qp) y clastos subredondeados de Chert, muestra 212.86.....53

Figura 30. Litoarenita submadura friable, en la figura izquierda en nicols cruzados se puede observar clastos de plagioclasas con macla de albita, clastos subredondeados de lutitas (Ls), posiblemente metasomatismo de líticos volcánicos por moscovita (Mlm), clastos subangulares de cuarzo policristalino (Qp) y Chert. En la figura derecha en luz polarizada plana se observan los clastos flotantes de fragmentos líticos de lutitas (Ls), líticos volcánicos (Lv), metasomatismo de feldespato por caolín (Mfk), y clastos subangulares de clorita (Cl) y cuarzo monocristalino (Qm), muestra 214.84.....54

Figura 31. Conglomerado polimictico, aunque los clastos se presentan disgregados se puede diferenciar contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de líticos volcánicos (Lv) y lutitas (Ls), porosidad primaria interpartícula (Ppi), metasomatismo de líticos volcánicos por clorita (Mlc), clastos subredondeados de arenitas (La), y granos de hornblenda (Hb) y micas moscovita (Mo) en la matriz arenosa. Imagen en luz polarizada plana, muestra 215.....55

Figura 32. Arcosa submadura masiva; en luz polarizada plana nicols planos (imagen izquierda) se observa contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de cuarzo monocristalino (Qm) y plagioclasas (Pl), deformación mecánica de mica moscovita (Dmm), cemento de pigmento de óxidos (Cpo), cementos de poros de óxidos (Cop), metasomatismo de feldespato potásico por kaolín (Mfk), clastos subangulares de moscovita (Mo) y esfena (Es). En la fotografía derecha se observa la misma imagen en nicols cruzados donde se observa macla de albita en clasto redondeado de plagioclasa (Pl), granos subangulares de cuarzo monocristalino (Qm), metasomatismo de plagioclasa por sericita (Mps), y granos subangulares de moscovita (Mo), muestra 217.15.....56

Figura 33. Litoarenita feldespática inmadura, en la fotografía izquierda (luz polarizada plana) se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls), cemento de poros de óxidos (Cop), cemento de pigmento de óxidos (Cpo), metasomatismo de feldespato por caolín (Mfk), corrosión de lutitas por cemento de oxido (Corr), clastos redondeados de plagioclasa (Pl), subangulares de cuarzo monocristalino (Qm), fragmentos subredondeados de lutitas (Ls). En la imagen derecha en nicoles cruzados se muestran clastos subredondeados de Chert, cuarzo policristalino (Qp), cuarzo monocristalino (Qm), plagioclasa con macla de albita (Pl), fragmentos líticos de lutitas (Ls), y óxidos (Ox), muestra 221.67.....56

Figura 34. Paraconglomerado de clastos sedimentarios, se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), metasomatismo de feldespato por caolín (Mfk), metasomatismo (Mlc) de líticos volcánicos (Lv) por clorita, corrosión (Corr) de lutita por óxidos, metasomatismo de líticos por óxidos (Ox), también se observan clastos angulares de cuarzo monocristalino (Qm), líticos volcánicos subangulares (Lv), clastos de lutitas (Ls) y matriz arcillosa (Ma). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 226.63.....57

Figura 35. Conglomerado de clastos sedimentarios friable “Ortoconglomerado”, en la imagen izquierda se observa fragmentos de lutitas angulares (Ls), en contacto con matriz arenosa (Ma), líticos volcánicos subredondeados (Lv) sufriendo metasomatismo por clorita (Mlc), metasomatismo de feldespatos por kaolín (Mfk), y granos angulares aislados de cuarzo monocristalino (Qm), cuarzo policristalino (Qp). En la imagen derecha se evidencia porosidad secundaria por disolución de la matriz arenosa (Psd), deformación mecánica de mica biotita (Dmm), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de líticos volcánicos (Lv) y cuarzo, cemento de poros de óxidos (Cop), cemento de pigmento de óxidos (Cpo) en Chert, metasomatismo de líticos volcánicos por clorita, líticos sedimentarios (Ls) y granos moscovita (Mo). Fotografías en luz polarizada plana, muestra 257.33.....58

Figura 36. Arcosa lítica submadura, se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo convexos-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls) y Chert, cemento de poros de óxidos (Cop), cemento de pigmento de óxidos (Cpo), metasomatismo de feldespato por kaolín (Mfk), granos de feldespato con inclusiones apatito (Fia), y clastos angulares de cuarzo monocristalino (Qm) y cloritas (Cl). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 315.63.....62

Figura 37. Litoarenita feldespática submadura friable, se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls), cemento de poros de óxidos (Cop), cemento de pigmento de óxidos (Cpo), metasomatismo de feldespato por kaolín (Mfk), clastos angulares de cuarzo monocristalino (Qm) y metasomatismo de lutitas por óxidos (Ox). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 316.88.....63

Figura 38. Lutita arenosa volcánica; se observa porosidad secundaria por disolución (Psd) de los clastos y la matriz arcillosa (Ma), porosidad secundaria estilolítica (Pse), cemento basal de óxidos (Cob), cemento de poros de óxidos (Cop), metasomatismo de feldespato potásico por kaolín (Mfk), metasomatismo de hornblenda por clorita (Mhc), corrosión de cuarzo por óxidos (Corr), también se observa clastos angulares de cuarzo monocristalino (Qm), cristales de hornblenda (Hb), oxihornblenda (OxH), micas biotita (Bi) y minerales opacos (Op). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 318.7.....64

Figura 39: Lutita volcánica, se observa corrosión (Corr) de cuarzo por matriz arcillosa (Ma), cristales de hornblenda (Hb) y clastos de minerales opacos (Op). Muestra 324, fotografía en luz polarizada plana.....65

Figura 40. Arcosa lítica inmadura, se aprecia porosidad secundaria por disolución de los clastos y la matriz (Psd), porosidad de tipo vugular (Pv), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls), cemento de poros de óxidos (Cop), metasomatismo de feldespato por kaolín (Mfk), matriz arcillosa (Ma), granos angulares de biotita (Bi), y clastos subangulares de Chert. Fotografía en nicols cruzados, muestra 354.7.....66

Figura 41. Arenita (Arcosa) volcánica, en luz polarizada plana (imagen izquierda) se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo-convexos (Ccc), deformación mecánica de micas (Dmm), cemento de poros de óxidos (Cop), metasomatismo de feldespato potásico por kaolín (Mfk), clastos subangulares de cuarzo monocristalino (Qm), granos subredondeados de plagioclasa (Pl), cristales de micas biotita (Bi) y moscovita (Mo), y cristales de anfíboles subhedrales y euhedrales (Hb). En nicols cruzados (imagen derecha) se observa metasomatismo avanzado de plagioclasa por sericita (Mps), además de algunos componentes y procesos de la imagen izquierda, muestra 371.85.....67

Figura 42. Litoarenita feldespática madura, se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd) de tipo intergranular, deformación mecánica de líticos (Dml), contactos cóncavo-convexos entre clastos de lutitas (Ccc), cemento de poros de óxidos (Cop), cemento de pigmento de óxidos (Cpo), metasomatismo de feldespato por kaolín (Mfk), metasomatismo de plagioclasa por sericita (Mps), clastos subangulares de cuarzo monocristalino (Qm), fragmento líticos subangulares de lutitas (Ls), líticos metamórficos (Lm), granos redondeados de glauconita (Gl), y metasomatismo de lutitas por óxidos (Ox). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 388.2.....68

Figura 43. Ortoconglomerado de clastos sedimentarios; en luz polarizada plana (imagen izquierda) se observa contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls), cemento carbonatado basal (Ccb), cemento carbonatado de poros (Ccb), cemento de óxidos de poros (Cop), metasomatismo de cuarzo por carbonato (Mqc), metasomatismo de fragmentos líticos por carbonato (Mlc), metasomatismo de líticos volcánicos por clorita (Mlcl), metasomatismo de feldespato por kaolín

(Mfk), y granos subangulares de cuarzo monocristalino (Qm). En nicoles cruzados (imagen derecha) se muestra metasomatismo parcial de Chert por carbonato, además de algunos componentes y procesos diagenéticos de la imagen izquierda. Muestra 412.2.....69

Figura 44. Litoarenita – Litoarenita feldespática madura; se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), deformación mecánica de líticos (Dml), contactos cóncavo-convexos (Ccc), metasomatismo de feldespato potásico por caolín (Mfk), también se observan granos subangulares de cuarzo monocristalino (Qm), fragmentos líticos subredondeados de lutitas (Ls), metasomatismo de lutitas por óxidos (Ox) y clastos redondeados de glauconita (Gl). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 438.85.....69

Figura 45. Litoarenita inmadura; en luz polarizada plana (imagen izquierda) se observa deformación mecánica de líticos (Dml), trituración de micas (Tr), estilolitos (Es), cemento de poros de zeolitas (Czp), metasomatismo de feldespato por caolín (Mfk), metasomatismo de líticos volcánicos por clorita (Mlc), clastos subangulares de Chert, clastos subredondeados de lutitas (Ls), líticos volcánicos redondeados (Lv). En nicoles cruzados se muestra cemento de sobrecrecimiento silíceo (Cso) en clasto de Chert, fragmentos líticos de lutitas con venas de sílice (Ls), líticos volcánicos redondeados (Lv), granos subangulares de cuarzo policristalino (Qp), feldespato potásico con macla de Carlsbad y granos angulares triturados de mica moscovita (Mo). Muestra 441.15.....70

Figura 46: Conglomerado de clastos sedimentarios “Ortoconglomerado”, se observa metasomatismo (Mlc) de lítico volcánico (Lv) por clorita (Cl), clastos redondeados de lutita (Ls), clastos subangulares de líticos volcánicos (Lv) y feldespatos potásicos (Fk). Fotografía en nicoles cruzados, muestra 456.4.....71

Figura 47. Ortoconglomerado de clastos ígneos; en luz polarizada plana (imagen izquierda) se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos y el cemento (Psd), contactos cóncavo-convexos (Ccc), cemento de poros de zeolitas (Czp), cemento pelicular de óxido (Cplo), metasomatismo de líticos volcánicos (Lv) por clorita (Mlc), metasomatismo de feldespato por caolín (Mfk), también se observan clastos de lutitas redondeadas (Ls), clastos subangulares de cuarzo policristalino (Qp), clastos angulares de Chert y minerales opacos (Op). En nicoles cruzados (imagen derecha) se observa cemento de poros de zeolitas (Czp), metasomatismo de feldespato por caolín (Mfk), metasomatismo de lítico plutónico por clorita (Mlc), líticos volcánicos subredondeados (Lv), clastos subangulares de lutitas (Ls), clastos angulares de cuarzo policristalino (Qp) y clastos subangulares de Chert. Muestra 459.....71

Figura 48. Distribución porcentual de las rocas en cuanto a la calidad del potencial como reservorio de hidrocarburos.....76

1. INTRODUCCIÓN

El Programa de Geología de la Universidad de Caldas, a partir del convenio realizado con la ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos) y en su interés de fortalecer el conocimiento geológico del territorio Colombiano, han propuesto un proyecto enfocado en la investigación petrológica con el fin de determinar el potencial como reservorio de las rocas sedimentarias de la Cuenca San Juan en el departamento del Chocó. Este estudio pretende aportar los elementos básicos para la caracterización de las unidades sedimentarias a partir de núcleos de perforación tipo “*slim holes*” involucrando aspectos como clasificación y análisis petrográfico, estudio de los procesos y productos diagenéticos, y análisis de procedencia de sedimentos; estos análisis petrológicos son complementados con estudios que se adelantan en petrofísica, geoquímica, palinología, nanofósiles y foraminíferos del mismo pozo, esto con el objetivo de lograr resultados puntuales respecto a la calidad de las rocas sedimentarias de la Cuenca San Juan como eventuales reservorios de hidrocarburos.

2. JUSTIFICACIÓN

Los estudios anteriores y la información geológica disponible en la Cuenca San Juan han permitido catalogar esta área por parte de la ANH como una cuenca Tipo 2 (Nuevas cuencas prospectivas E&P) con rocas sedimentarias depositadas durante el Cenozoico que tienen potencial como reservorio de hidrocarburos, por tal motivo se hace necesario el análisis petrográfico y diagenético de los núcleos de roca perforada para complementar los estudios simultáneos que se realizan en las áreas de geología estructural, petrofísica, bioestratigrafía, geoquímica, interpretación sísmica y las demás áreas de la geología que conlleven al cumplimiento de los objetivos planteados por la agencia y la universidad. En una fase posterior se integra la información, se evalúa la calidad de los datos existentes y se interpreta la información de la Cuenca San Juan para aportar al conocimiento geológico en cuanto al potencial del subsuelo como reservorio de hidrocarburos en Colombia.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar un análisis petrográfico y diagenético detallado a partir de núcleos de perforación tipo “*slim holes*” de las rocas sedimentarias de la Cuenca San Juan, al sur del departamento del Chocó.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar y analizar petrográficamente las rocas sedimentarias de la Cuenca San Juan a partir de secciones delgadas de los núcleos de perforación.
- Identificar los procesos y productos diagenéticos que afectaron las rocas sedimentarias de la Cuenca San Juan.
- Establecer la paragénesis diagenética de las rocas, teniendo presente métodos petrográficos se define la secuencia de eventos diagenéticos y se plantea un modelo general de la evolución diagenética de la unidad.
- Determinar la procedencia de sedimentos (tectogénesis) en las rocas sedimentarias de la cuenca.
- Determinar preliminarmente el potencial de las rocas como eventuales reservorios de hidrocarburos.

4. LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra en la costa pacífica al occidente de Colombia, en el valle alto de río San Juan al sur del departamento de Chocó, la Cuenca San Juan está limitada tectónicamente por el Sistema de Fallas de San Juan al noroeste y el Sistema de Fallas de Garrapatas al este y sureste que la separa del flanco oeste de la Cordillera Occidental (Cediél et al. 2003), y limita al suroeste por la línea de costa con el Océano Pacífico. El pozo estratigráfico Choco 1 ST-S perforado por la ANH se localiza entre los municipios de Condoto y Novita, precisamente en las coordenadas 5°0'31,19" latitud N y 76°38'28,47" longitud W. (Figura 1.)

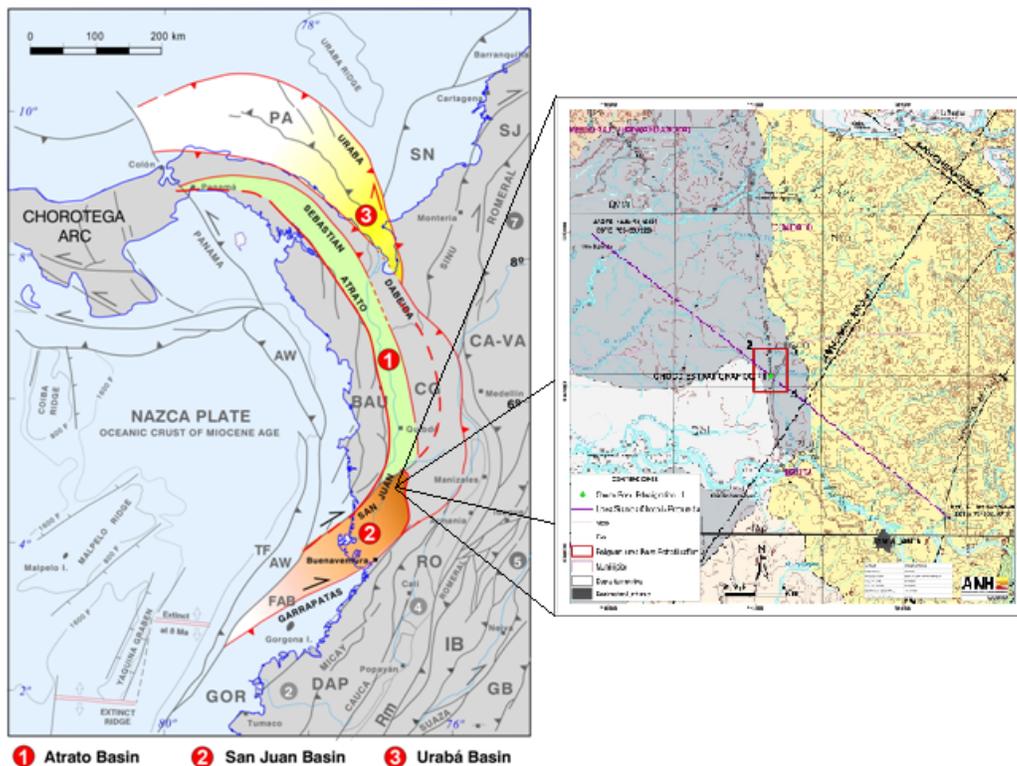


Figura 1. Localización de la Cuenca San Juan y su relación con otras cuencas del Bloque Chocó; definición de elementos tectónicos mayores. En el recuadro se muestra la ubicación del pozo estratigráfico tipo “Slim hole” perforado por la ANH.

5. METODOLOGÍA

La metodología seguida en este trabajo se desarrolló en las siguientes etapas.

5.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN.

La primera etapa se realizó en oficina y consistió en revisar lo publicado por diferentes autores sobre las rocas sedimentarias de la Cuenca San Juan, teniendo en cuenta las principales propuestas con respecto a la estratigrafía, cartografía geológica, tectónica regional, geología estructural y estudios geológicos en general sobre la zona.

5.2 TRABAJO DE LABORATORIO

Después de elaboradas las secciones delgadas a partir de los núcleos de roca se procedió a su estudio. Las muestras fueron analizadas y clasificadas siguiendo la propuesta de Folk (1974) para la clasificación de arenitas incluyendo la madurez textural, en cuanto a ruditas se trabajó con la clasificación de Boggs (1992), las rocas mixtas fueron clasificadas según Vatan (1967), y las rocas volcánicas según la propuesta de Fisher (1961). Complementariamente se hizo una determinación de tectofacies siguiendo la propuesta de Dickinson (1985). La parte central del estudio consistió en la identificación y establecimiento de los principales procesos y productos diagenéticos, y la sucesión de eventos. El trabajo específico sobre la diagénesis se hace teniendo presente las transformaciones del espacio intersticial, las transformaciones de los componentes y las neofORMACIONES minerales. Se puso énfasis en la clasificación de los cementos desde el punto de vista textural, estructural y composicional.

La siguiente fase es la determinación de la paragénesis diagenética a partir de lo observado a nivel de sección delgada, es decir considerando las relaciones entre los productos diagenéticos con el fin de establecer una secuencia relativa de eventos.

5.3 TRABAJO DE OFICINA.

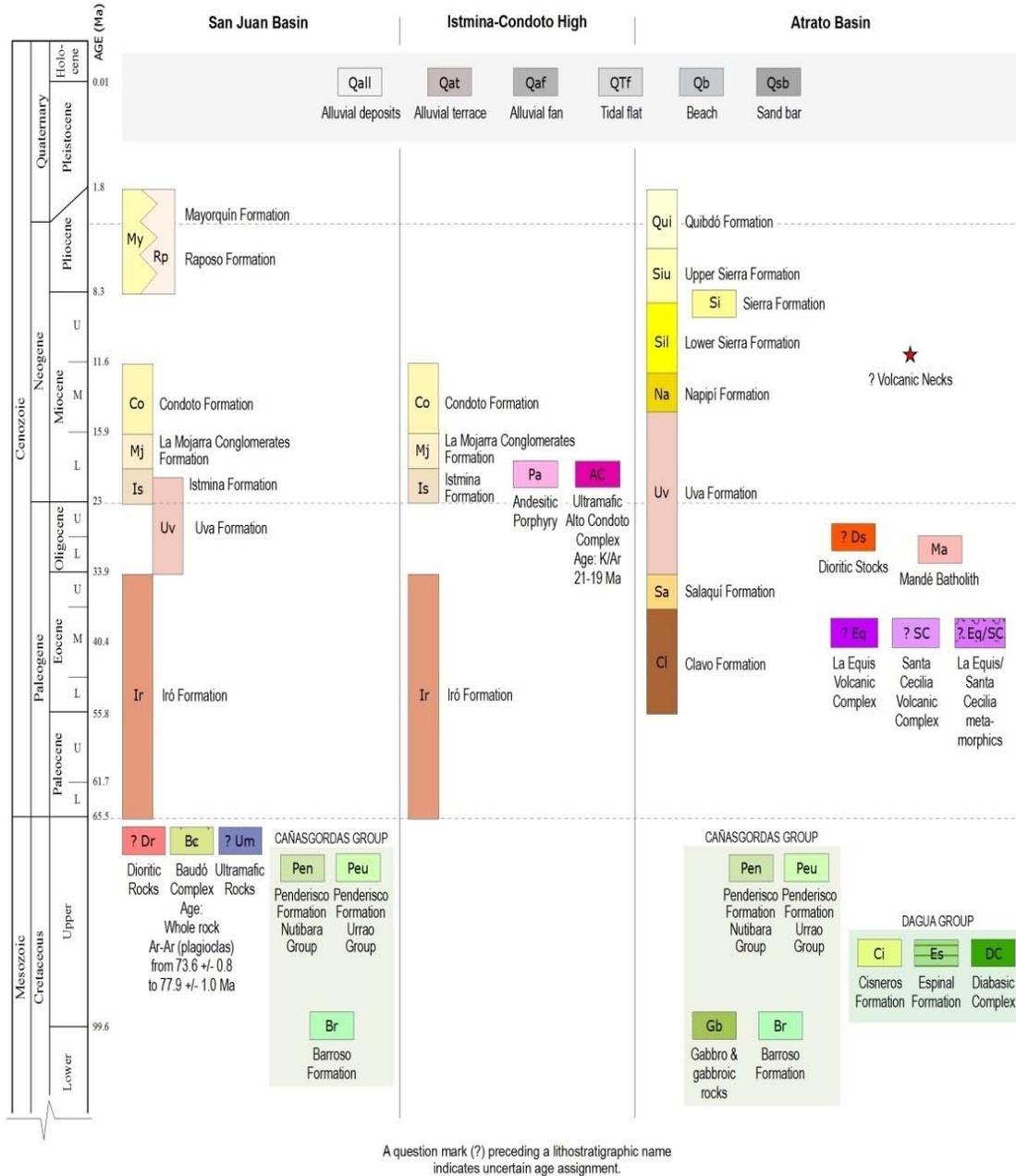
Con base en lo anterior se tabulan y analizan los datos petrográficos para interpretar el contexto sedimentario de la unidad perforada, se describen los procesos y productos diagenéticos para los segmentos superior, medio e inferior del pozo estratigráfico, y se analizan los datos de procedencia para identificar los principales ambientes tectónicos y litológicos que suministran sedimentos a la cuenca. La etapa final consistió en la elaboración del informe final en el que se consignan los aspectos ya referidos.

6. MARCO GEOLOGICO

6.1 GEOLOGIA REGIONAL

La Cuenca San Juan se encuentra dentro del Arco Chocó-Panamá (Figura 1) Cediél et al. (2003). Se trata de depósitos sedimentarios acumulados desde el Paleoceno sobre diferentes basamentos Cretácicos compuestos por restos de corteza oceánica con fragmentos de arcos de islas. Desde el punto de vista geotectónico la región ha sido sujeto de varios estudios de los cuales diversas denominaciones han sido propuestas: Etayo et al. (1986) propone los Terrenos Atrato - San Juan – Tumaco y Baudó. El Terreno Panamá - Baudó – Mandé, según Restrepo & Toussaint (1988) del cual hacen parte los denominados Arco de Mandé, la Serranía de Baudó y la Cuenca del Atrato - San Juan sobre la que se encuentra el área de estudio. Regionalmente esta zona es denominada el Bloque Chocó por Duque-Caro (1990) quien concluye con base en estudios paleontológicos de foraminíferos planctónicos, que se trata de un terreno exótico acrecionado al flanco NW de la Cordillera Occidental durante el Mioceno Medio, y sugiere un origen tan distante como proveniente de las actuales latitudes de Guatemala y México.

En términos generales se puede decir que existe cierto acuerdo en que se trata de un terreno constituido por basamento oceánico acrecionado al NW de Colombia durante el Mioceno. Lo anterior sugiere que la gruesa secuencia sedimentaria del Mioceno encontrada en el área fue depositada en una cuenca formada anterior o al parecer de manera coetánea con los procesos de acreción y deformada al menos en parte durante el mismo proceso. En el área de estudio se presenta la denominada zona deformada de Istmina la cual es una zona de falla orientada NE-SW y que es interpretada como el costado sur de la zona de sutura formada como resultado de la acreción del Bloque Chocó (Duque-Caro, 1990), en esta zona deformada de Istmina la dirección de acreción sugiere componentes de rumbo de tipo dextral. Dentro de este proceso tectónico se desarrolla la Cuenca San Juan con características estratigráficas y faciales propias de un paleodelta integrado por arenitas, conglomerados, lutitas y calizas en menor proporción que se depositaron en el Cenozoico sobre terrenos oceánicos que migraron desde finales del Cretácico y que colisionaron sucesivamente al borde continental del NW de Suramérica. Cediél et al. (2003). (Figura 2).



Sources:
 IGAC-INGEOMINAS 2006. Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano. Cartografía Geológica en escala 1:100.000
 Schmidt-Thomé, M., Feldhaus, L., Salazar, G., Muñoz, R., 1992. Explicación del mapa geológico, escala 1:250.000, del flanco oeste de la cordillera occidental entre los Ríos Andágueda y Murindó, Departamentos de Antioquia y Chocó, República de Colombia.
 Utah Minerals, 1980. Geological Map of the Atrato-San Juan Basins and Surrounding Areas. Scale 1:500.000 (unpublished).

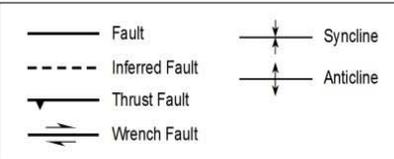


Figura 3. Carta Cronoestratigráfica para el Bloque Chocó (Tomado de EAFIT, 2007)

6.2 ESTRATIGRAFIA

Las unidades estratigráficas involucradas en este estudio comprenden edades desde el Cretácico medio (Grupo Cañasgordas) al reciente (Depósitos Cuaternarios). En el presente trabajo para la sucesión sedimentaria Cenozoica se siguen los nombres de Formación Iró y Grupo San Juan (Formaciones Istmina, Conglomerados de La Mojarra y Condoto), y Formaciones Mayorquín y Raposo según la nomenclatura de Figueroa y Núñez (1990) en Cossio (2002).

6.2.1 Grupo Cañasgordas

Se adopta esta unidad como basamento volcánico básico de la Cuenca San Juan, la cual comprende la Formación Barroso del Cretácico medio inferior y la Formación Penderisco (Miembro Urrao) del Cretácico superior.

6.2.1.1 Formación Barroso (k2br)

Referencias de la unidad: Álvarez y González (1978) asignan el nombre de Formación Barroso a un grupo de rocas volcánicas básicas localizadas en el flanco este de la Cordillera Occidental, esta unidad volcánica presenta intercalaciones de rocas efusivas y explosivas (espilitas, diabasas, basaltos porfídicos, rocas piroclásticas y brechas volcánicas) interestratificadas con rocas sedimentarias de fondo marino como chert negro, limolitas silíceas y grauvacas; comúnmente estos sedimentos son calcáreos y ocasionalmente fosilíferos con fauna del Cretáceo superior. Las facies efusivas de la Formación Barroso son basaltos con textura porfídica y matriz afanítica, también se ubican hacia el tope de la unidad lavas almohadilladas que caracterizan el volcanismo básico. Las facies piroclásticas conforman aglomerados y tobas con muy buena estratificación; estas últimas se alternan en capas entre flujos basálticos, principalmente sobre basaltos almohadillados y forman el tope sobre la cual reposa concordante el Miembro Urrao. Las rocas piroclásticas priman sobre el volcanismo efusivo en algunas partes de la Formación Barroso.

Para el origen de la unidad Ramírez (1976), basado en consideraciones teóricas correlacionadas con el estudio detallado de las rocas de la Formación Barroso concluye que estas rocas corresponden a un “Arco Insular”. En cuanto a la edad, Parra (1978) basado en criterios de polaridad para las unidades basálticas y los sedimentos intercalados, concluye que las rocas sedimentarias contienen bivalvos y amonites del Aptiano-Albiano, que alternados con basaltos amigdaloides corresponden a la parte

basal de la secuencia volcano-sedimentaria de la Formación Barroso. También se encontraron radiolarios entre capas sedimentarias delgadas intercaladas en las facies piroclásticas, los cuales fueron datados por Hermann Duque como Turoniano-Coniaciano; la discusión anterior sitúa el volcanismo de la Formación Barroso en el Cretáceo Tardío, desarrollándose desde el Aptiano-Albiano el cual se puede extender hasta el Paleoceno (Toussaint, et al, 1985).

6.2.1.2 Formación Penderisco: Miembro Urrao (k2pnu)

Referencias de la unidad: El Miembro Urrao del Grupo Cañasgordas fue definido por Álvarez y González (1978) para designar una secuencia de más de 5 Km de espesor de sedimentos plegados y fallados “tipo flysch” aflorantes en las cabeceras de las quebradas que drenan la Cordillera Occidental hacia el E, los cuales se pueden interpretar en términos de facies turbiditas proximales, Álvarez (1978). La unidad consta de grauvacas, limolitas, arcillolitas y localmente bancos de conglomerados de lutitas, calizas y vulcanitas básicas en estratos de pequeño espesor y fuertes buzamientos. Las grauvacas y lutitas tipo Urrao se intercalan a la base de la unidad con depósitos volcánicos de la Formación Barroso en aparentemente sincronismo. En la divisoria de aguas entre el Alto la Cristalina y la Quebrada San Mateo se marca un fuerte cambio litológico con la desaparición del depósito volcánico (Formación Barroso) y el inicio de sedimentitas continuas que se extienden como miembro sedimentario con un conglomerado grueso polimictico bien cementado. Álvarez y González (1978) han considerado este conglomerado como basal al Miembro Urrao.

Las areniscas del Miembro Urrao conforman el mayor porcentaje de los materiales sedimentarios con estratos de espesores variables y localmente con delgadas intercalaciones de lutitas; con estructuras sedimentarias como estratificación; laminación paralela y gradación granodecreciente con ocasionales marcas de oleaje, en general se diferencian areniscas margosas, litoarenitas y areniscas conglomeráticas muy pobres en fósiles y mal preservados. Las lutitas es la litología predominante en el Miembro Urrao después de las areniscas, las cuales priman hacia el techo de la unidad; las lutitas son de color gris oscuro a negro y presentan laminación fina en estratos delgados, ondulaciones y huellas de carga, con abundante materia orgánica y matriz o cemento sílice-arcilla. Los conglomerados del Miembro Urrao se componen de cantos de rocas sedimentarias detríticas además de rocas volcánicas básicas, rocas piroclásticas cuarzos, diabasas y chert, con matriz arenosa-calcárea.

Para esta sucesión de sedimentos donde predomina chert negro con lutitas y grauvacas finas se asigna edad máxima de Albiano medio con extensión hasta el Cenomaniano, Etayo et al. (1980), con base en fauna encontrada como *Ptychoceras* sp., y *Metahamites* sp. Por otro lado Parra (1978) reporta el análisis de foraminíferos planctónicos de la misma secuencia: *Globigerinella escheri* (kauffman) y *Ruboglovisgerina* de edad Turoniano-Coniaciano.

6.2.2 Complejo Santa Cecilia - La Equis (K_{2sc})

Referencias de la unidad: El nombre Complejo Santa Cecilia - La Equis fue propuesto originalmente por Salazar et al. (1991, En Zapata & Cossio, 1999) para caracterizar un evento volcánico - plutónico, que agrupa las rocas del Batolito de Mandé y las rocas volcánicas de las formaciones Santa Cecilia y La Equis, aflorantes a lado y lado del batolito. Esta unidad puede constituir la prolongación al sur del denominado Arco de Dabeiba (Duque-Caro, 1990b), elemento estructural mayor del Bloque Chocó el cual se describe por el carácter de *melange*, patrón fallado acompañado por un mosaico de edades (Cretáceo tardío a Mioceno) incluyendo un contraste en los ambientes sedimentarios, (Figura 2).

Zapata & Cossio (1999) dividen esta unidad en: Formación Santa Cecilia, compuesta por flujos de lava, aglomerados, brechas y tobas de composición básica, localmente lavas almohadilladas e intercalaciones de chert y calizas fosilíferas. La Formación La Equis la componen intercalaciones de aglomerados, brechas y flujos de lava de composición intermedia - ácida, localmente con estructura columnar. Las rocas del Complejo Santa Cecilia - La Equis fueron acumuladas como el resultado de la emanación a la superficie oceánica de lavas y piroclastos interpuestos con sedimentos finos (lodos) que permitían, en ocasiones, la actividad de organismos sobre el sustrato.

6.2.3 Formación Iró (E_{1I})

Referencias de la unidad: Oppenheim (1949, en Texaco, 1989) define informalmente la Formación Iró a partir de una sección observada en el río del mismo nombre, para designar la sucesión calcárea-silíceo que representa la unidad más antigua del Paleógeno en el área nororiente de las localidades de Santa Bárbara y Santa Rita, en el departamento del Chocó.

Texaco (1989) sigue el nombre Formación Iró para designar los estratos silíceo-calcáreos principalmente y siliciclásticos de edad aproximada Paleoceno-Eoceno, que en el área del río San Juan estarían suprayaciendo a rocas del Cretácico (Grupo Cañasgordas) e infrayacendo a las rocas siliciclásticas del Oligoceno denominadas informalmente Formación Sierra (Figura 3).

La composición de la unidad es variable, aunque predominan las calizas, cherts y arcillolitas. La Formación Iró según Oppenheim (1949, en: Texaco, 1989) está compuesta de chert, shale silíceo, shale, areniscas, arcillas y calizas. Según Texaco (1989) la unidad se compone predominantemente de chert calcáreo en capas delgadas a medias, intercalada con shales silíceos y shales negros, carbonosos y físisles.

Se ha estimado una edad Paleoceno - Eoceno tardío por la mayoría de autores, sin embargo algunos consideran que puede extenderse hasta el Maastrichtiano. Según Figueroa & Núñez (1990) la unidad pertenece al Paleoceno – Eoceno, mientras que Mera & Piragua (2000) asignan un rango de edad Maastrichtiano – Eoceno Superior para la Formación Iró. (Figura 5).

La Formación Iró se distribuye en la parte central conformando los flancos del Sinclinal de La Mojarra. Al sur entre los ríos Condoto e Iró, la Formación Iró se distribuye como una franja irregular bordeando el núcleo del Anticlinal de Ñápera y cubierta discordantemente por las rocas de la Formación Conglomerados de La Mojarra y localmente por la Formación Istmina en el flanco norte del Anticlinal de Ñápera. A nivel general, en la Formación Iró pueden distinguirse dos segmentos, uno lodolítico y otro con predominio de cherts y calizas.

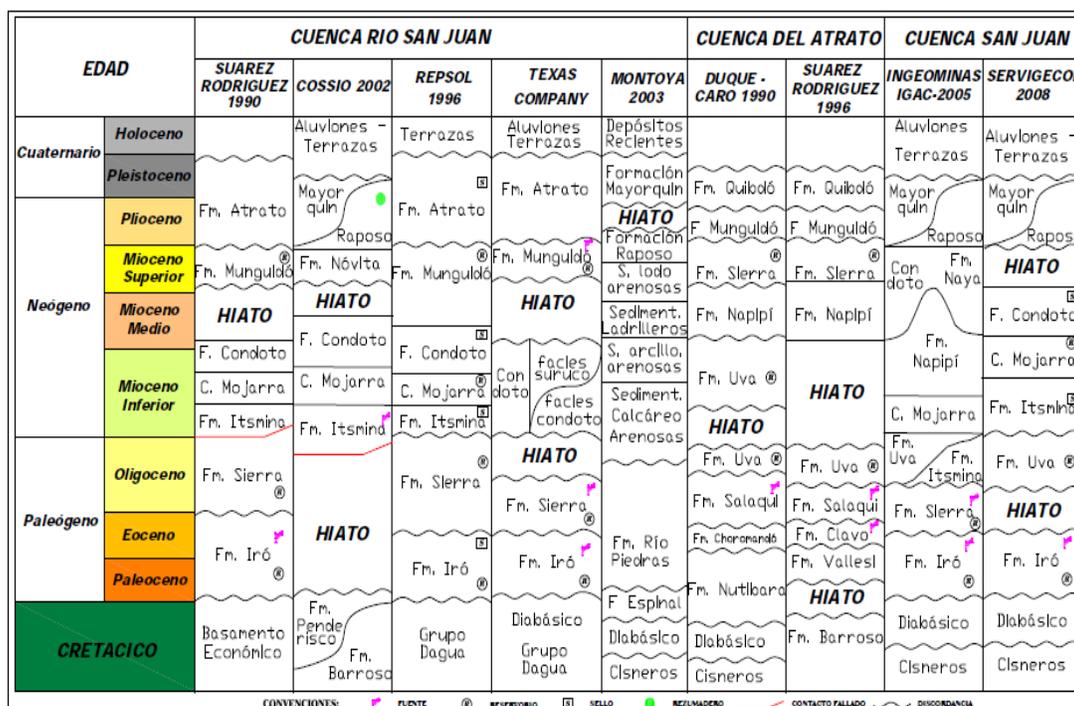


Figura 4. Correlación estratigráfica de la Cuenca San Juan. (Tomado de Servigecol, 2008)

6.2.4 Grupo San Juan (Nsj)

Referencias de la unidad: Figueroa & Núñez (1990) proponen el nombre Grupo San Juan para designar un conjunto de rocas sedimentarias pertenecientes al Mioceno inferior que afloran en la Subcuenca del río San Juan, el cual comprende las Formaciones Istmina, Conglomerados de La Mojarra y Condoto. Texaco (1989) nombra inicialmente el Grupo San Juan como Formación Condoto y las divide en las Facies Suruco y Facies Condoto, (Figura 4).

6.2.4.1. Formación Istmina (N_{1is})

Referencias de la unidad: Esta unidad fue definida por Figueroa & Núñez (1990) para agrupar un conjunto de estratos de edad Aquitaniano (Mioceno temprano) compuestos básicamente por rocas clásticas de grano fino con algunas intercalaciones de lentes conglomeráticos. El nombre Formación Istmina es seguido en la nomenclatura estratigráfica empleada por Cossio (2002), (Figura 4).

Según Figueroa & Núñez (1990) la Formación Istmina está constituida principalmente por limolitas, arcillolitas silíceas, localmente calcáreas y algunas grauvacas a subgrauvacas de grano fino intercaladas con algunos lentes y estratos delgados de conglomerado. Estas rocas están bien estratificadas y presentan abundante cantidad de troncos y restos de plantas carbonizados.

Para Cossio (2002) la unidad está conformada principalmente por areniscas líticas levemente calcáreas, areniscas tobáceas, limolitas y niveles de conglomerados. Se presentan en capas plano paralelas continuas que aumentan de espesor hacia el techo de la sucesión hasta formar capas muy gruesas.

Para Figueroa & Núñez (1990) el contacto inferior de la Formación Istmina con rocas del Oligoceno es concordante, observable en el río Suruco. El contacto superior con la Formación Conglomerados de La Mojarra es concordante y se presenta a lo largo del piedemonte de los cerros de La Mojarra; estos autores asumen que la Formación Istmina representa las facies finas de un sistema de abanicos submarinos. Cossio (2002) considera que el contacto inferior de esta unidad con la Formación Iró en el río San Juan es fallado, (Figura 5). El contacto superior con los Conglomerados de La Mojarra en el río Suruco es neto y se marca en el límite entre capas de limolitas y un potente conglomerado.

Muestras tomadas por Figueroa & Núñez (1990) de la Formación Istmina contienen foraminíferos planctónicos, entre ellos *Globigerinoides* y *Catapsydras Disimules* que sitúan la unidad dentro del Aquitaniano (Mioceno temprano). Por otro lado, muestras recolectadas en el Río Suruco y analizadas por Hermann Duque-Caro se encuentra la siguiente fauna: *Cibicidoides mexicana*, *Gyroidina soldanii*, *Lenticulina americana*,

Oridorsalis ecuatoriensis y *Vulvulina spinosa* de la zona de *Cibicoides perlucidus*, que permite asignar una edad entre el Oligoceno y Mioceno temprano, Cossio (2002). Según Mera & Piragua (2000) tres muestras tomadas de la Quebrada Profundó indican el Mioceno temprano para la Formación Istmina. El contacto de la Formación Iró con la Formación Istmina se manifiesta por el paso de faunas fósiles del Eoceno tardío a Mioceno temprano. El final del Eoceno tardío se basa en el último registro de *Globerinathea index* en concordancia con la última ocurrencia de planctónicos del Eoceno y la aparición de especies del Mioceno en muestras ubicadas más arriba estratigráficamente. La presencia del Mioceno está dada por la primera aparición de *Globerinatella insueta* de rango total Mioceno temprano, la cual es seguida por la aparición de *Globigerinoides sicanus* de biocrón Mioceno y luego *Globigerinoides quadrilobatus ampliapertura* de rango total Mioceno temprano. Entre la población de bentónicos sobresalen por su abundancia *Lenticulina americana grandis*, *Cibicides falconensis*, *Gyroidina soldanii*, *Lenticulina americana*, *Pullenia bulloides*, *Cibicides perlucida* y algunas *Uvigerinas* en formas afines a *U. mexicana*.

Para determinar un ambiente de depósito las capas subtabulares con laminación plano paralela, interlaminaciones carbonosas y las capas de calizas bioclásticas (wackestone), entre otras, permiten concluir que el ámbito de acumulación de esta unidad está asociado a ambientes marinos someros.

6.2.4.2. Formación Conglomerados de La Mojarra (N₂cm)

Referencias de la unidad: La Formación Conglomerados de La Mojarra fue definida por Figueroa & Núñez (1990) para describir una sucesión de edad Aquitaniano compuesta principalmente por conglomerados y arenitas conglomeráticas con algunas interposiciones locales de limolitas y lodolitas arenosas; los mismos autores ubican la sección tipo de esta unidad en la Quebrada Urriaga, afluente del Río Iró. Según estos autores, los contactos inferior y superior de la Formación Conglomerados de La Mojarra con la Formación Istmina y con la Formación Condoto son concordantes y el espesor de esta formación es de 1920 m, medido en la Quebrada Urriaga (Figueroa & Núñez, 1990).

Esta unidad corresponde al miembro basal de la unidad Facies Suruco, una de las dos unidades en las que Texaco (1989) dividió la Formación Condoto (Grupo San Juan, en la nomenclatura actual). Esta unidad se compone de una secuencia conglomerática espesa, con areniscas intercaladas formando lentes (Texaco, 1989).

Mera y Piragua (2000) describen una sucesión conglomerática espesa, con areniscas intercaladas formando lentes, en el flanco oeste del Sinclinal de Mojarra. El conglomerado tiene guijos y cantos de chert, fragmentos de rocas ígneas extrusivas, calizas grises y fragmentos de cuarzoarenitas con matriz arcillosa arenosa. Los conglomerados están intercalados con lentes de arenisca de grano grueso y limolitas, son frecuentes hacia el top fragmentos de madera carbonizados.

Figuroa & Núñez (1990) asignan edad Aquitaniano tardío a la Formación Conglomerados de La Mojarra con base en foraminíferos de muestras tomadas en la base, parte media y techo de la unidad. Se encontraron restos de *Globigerinoides diminute* asociados con *Globigerinoides bropherica* en pobre estado de preservación que indican esta edad, (Figura 5).

Para el ambiente de depósito los Conglomerados de La Mojarra fueron acumulados en un sistema de abanicos submarinos a modo de lóbulos de los que se pueden apreciar las discordancias intraformacionales.

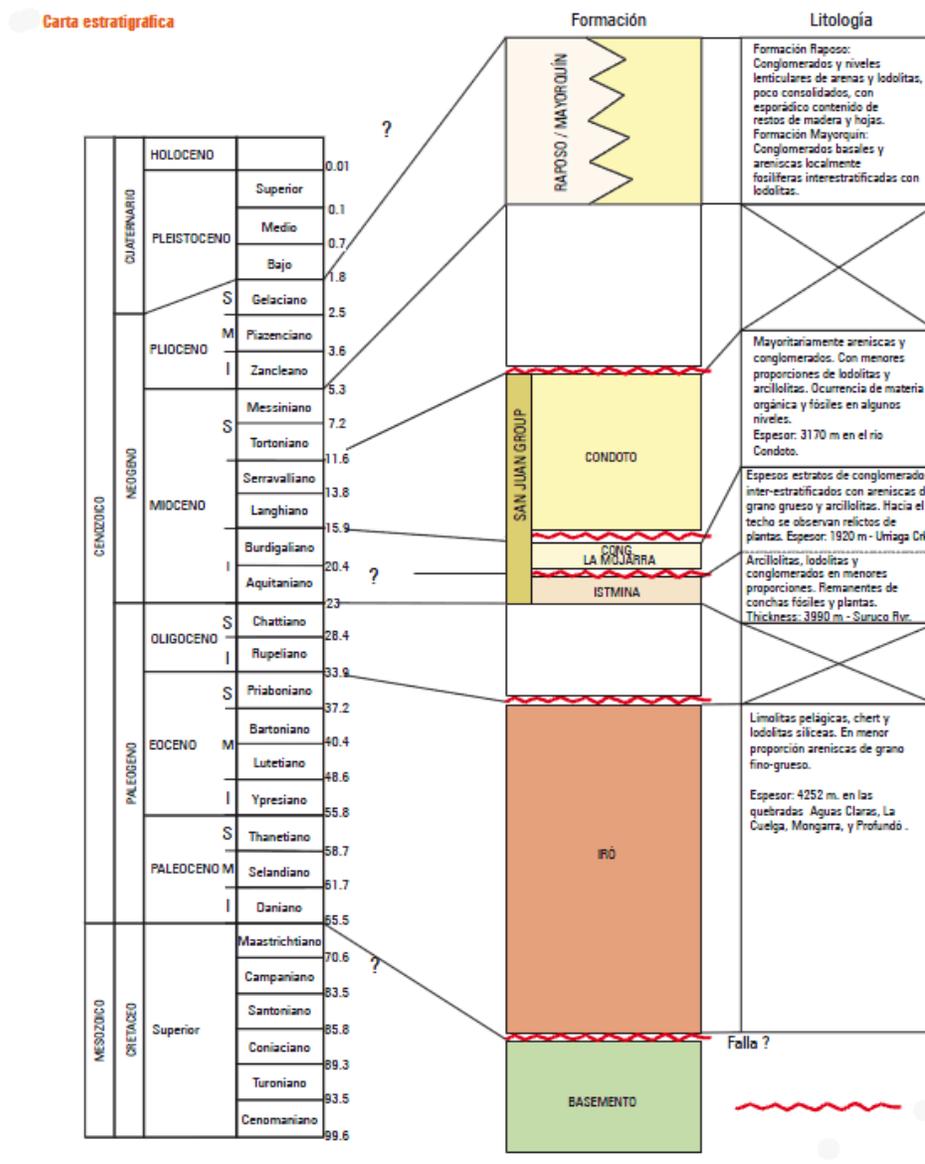


Figura 5. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca San Juan (tomada de EAFIT 2007)

6.2.4.3 Formación Condoto (N₂c)

Referencias de la unidad: la Formación Condoto es definida por Figueroa y Núñez, (1990) para designar una secuencia de arenitas y lutitas grises con intercalaciones de limolitas en capas delgadas aflorantes en la Subcuenca de río San Juan, la secuencia sedimentaria se encuentra en gran parte del área estudiada en amplias franjas afectadas por plegamientos y fallas. La unidad presenta un aparente contacto neto sobre la infrayacente Formación Conglomerados de la Mojarra en la zona del Río Capiro.

La Formación Condoto presenta su exposición más continua en el sector de La Barra – Ladrilleros – Juanchaco junto al Océano Pacífico, con espesores de 2800 a 3100 metros según corte geológico, Servigecol (2008). La edad de la Formación Condoto es Mioceno Medio Bajo a Mioceno Tardío Bajo (Duque Caro, 2008), Mioceno Medio (Duque, en Ingeominas, 2003), (Figura 4).

Para el ambiente de depositación se asocia a turbiditas lodosas que constan principalmente de gruesas sucesiones heterolíticas o intercalaciones de lodolitas calcáreas y silíceas con litoarenitas; ocasionalmente capas de limolitas y calizas tipo mudstone.

6.2.5 Formación Mayorquín (N₃my)

Referencias de la unidad: Aspen y Nivia (1985) definen la Formación Mayorquín para designar una secuencia sedimentaria marina subhorizontal que aflora en gran parte del área del borde costero del Pacífico, al suroeste del departamento del Chocó. La unidad consta principalmente de una secuencia horizontal a levemente inclinada de lutitas masivas y arcillolitas de color gris a gris oscuro, intercalaciones de litoarenitas de grano fino hasta gránulos y conglomerados con cantos fosilíferos, la Formación Mayorquín se presenta discordante sobre las formaciones infrayacentes Istmina, Conglomerados de la Mojarra y Condoto. Se ha calculado un espesor aproximado de 1200 metros (Ingeominas - Montoya, 2003) con estratos delgados de geometría subtabular a lenticular y contactos ondulados netos. La unidad se relaciona con un ambiente de depositación de plataforma marina y se le asigna una edad del Plioceno (Aspen, 1985 en Ingeominas - Cossio, 2003), con base en restos de conchas, bivalvos y gasterópodos. (Figura 5).

6.2.6 Formación Raposo (N3rp)

Referencias de la unidad: esta unidad es definida por Aspen y Nivia (1985) para designar un conjunto de rocas sedimentarias aflorantes en la cuenca del río San Juan, y que cubren gran parte del área. Aparentemente la Formación Raposo está en contacto normal con la localmente infrayacente Formación Mayorquín. En el sector oriental del río San Juan se presenta ligeramente inclinada a subhorizontal y se extiende regionalmente hacia el flanco oeste de la Cordillera Occidental. La unidad consta principalmente de una secuencia de litoarenitas y sublitoarenitas con granos de arena gruesa a gránulos subangulares, lodolitas de color gris claro con niveles de litoarenitas con tamaño de grano fino; se presentan capas tabulares para las lutitas y lenticulares para las arenitas, ocasionalmente intercaladas con arcillolitas plásticas de color gris claro y con capas delgadas de geometría tabular, bien estratificadas de cuarzoarenitas y litoarenitas conglomeráticas compuestas principalmente por cuarzo, feldespatos y minerales accesorios. La Formación Raposo se asocia a un ambiente de depósito tipo fluvial (ríos trenzados, abanicos y llanura de inundación), Montoya (2003). Aunque la unidad no presenta fósiles se ha determinado una edad Plioceno por correlación estratigráfica (Aspen, 1985 en Ingeominas - Cossio, 2003), y aun no se ha reportado un espesor estimativo de la unidad, (Figura 5).

6.2.7 Depósitos Cuaternarios (Qt, Qal)

Se presentan ampliamente distribuidos cubriendo de forma subhorizontal casi todas las unidades y estructuras en el área de estudio. Estos depósitos han sido tradicionalmente productores de oro y platino en la región, (Figura 2).

Las terrazas (Qt) están generalmente mal drenadas debido a su alta permeabilidad y tienen siempre un talud hacia los cauces de los drenajes. Su composición se asemeja a la de los conglomerados de La Mojarra, cuyos componentes esenciales son clastos de tobas, basaltos, dioritas y rocas sedimentarias.

Los depósitos aluviales recientes (Qal) están restringidos a los cauces de los drenajes más importantes y son aquellas zonas que se ven sometidas a inundaciones frecuentes. Se caracterizan por presentar escasa vegetación, permitiendo tener en superficie gran concentración de gravas y arenas sin desarrollo de suelos.

6.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

6.3.1 FALLAS

6.3.1.1 Sistema de Fallas de San Juan

El Sistema de Fallas de San Juan (SFSJ) es un conjunto de fallas orientadas NE-SW de carácter inverso con componente lateral dextral que controlan el cauce del Río San Juan. El sistema se compone de una falla mayor (Falla San Juan) que pone en contacto niveles inferiores de la Formación Iró con niveles de la Formación Conglomerados de La Mojarra. Dunia (2006), y de fallas menores en la parte norte que repiten niveles de las formaciones Istmina y Conglomerados de La Mojarra, (Figura 2).

6.3.1.2 Falla de La Mojarra

Inicialmente definida por Texaco (1989) como una falla inversa que se extiende por 8 Km en la parte norte de la zona de estudio, con rumbo promedio N45E y vergencia dominante hacia el noroeste, limita la discordancia en la base de la Formación Istmina y enfrenta niveles antiguos con niveles de la parte superior de la Formación Iró, siendo los anticlinales de La Cuelga y Colorado estructuras asociadas tectónicamente y paralelas a su trazo.

6.3.1.3 Falla de Iró

Es la falla más extensa en el área (27 Km) con rumbo promedio N50E y controla el cauce del Río Iró, presenta componente inverso con vergencia noroeste, similar a la Falla de San Juan, y componente de desplazamiento lateral dextral. En la mayor parte de su trazo esta falla afecta rocas de la Formación Iró y en menor proporción niveles de la Formación Istmina, Dunia (2006).

6.3.2 PLIEGUES

6.3.2.1 Sinclinal de La Mojarra

Texaco (1989) define El Sinclinal de La Mojarra y constituye la principal estructura en el área, posee una extensión de 22 Km y con orientación N60E, su eje se extiende en sentido suroeste-noreste, en superficie está desarrollado en las Formaciones Iró e Istmina y sepultado por la Formación Conglomerados de La Mojarra. Su flanco noroeste se encuentra plegado y afectado tectónicamente por las fallas de La Mojarra y San Juan. El flanco sureste está afectado por la Falla de Iró, y cubierto localmente por depósitos aluviales del Río Iró. Dunia (2006).

6.3.2.2 Anticlinal de La Cuelga

El Anticlinal de La Cuelga es una estructura simétrica de 15 Km de longitud que se encuentra interrumpido por las fallas de la Mojarra y Tadocito. Presenta rumbo dominante N40E, en su parte media y luego se flexiona pasando a rumbo N80E en el norte. (Dunia 2006). El anticlinal está conformado en superficie por rocas de la Formación Iró y se encuentra limitado en la parte sur por la Falla de La Mojarra.

6.3.2.3 Anticlinal de Ñápera

Este anticlinal junto con el Sinclinal de La Mojarra constituye dos de las estructuras más importantes en el área, tiene una longitud de 16.5 Km, con rumbo promedio N75E, en su núcleo afloran rocas del Complejo Santa Cecilia - La Equis y hacia la parte sureste la Formación Iró y en el flanco noroeste la Formación Istmina. Este pliegue se encuentra limitado en el costado noroeste por la Falla de Iró y en el sureste por el Río Condoto, Dunia (2006).

7. MARCO TEORICO GENERAL

7.1 CONCEPTOS Y TERMINOLOGIA EN DIAGENESIS

La **diagénesis** se define como el conjunto de todos los procesos que actúan modificando el sedimento después del depósito, Boggs (1992). La diagenesis comprende un amplio rango de procesos físicos, químicos y biológicos que actúan desde el momento del depósito hasta el inicio del metamorfismo o hasta que los sedimentos vuelven a ser expuestos a los procesos de meteorización. Las profundidades a las que tiene lugar varían desde la interface de depósito hasta posiblemente 20 km de profundidad; aunque los limites superiores de presión y temperatura no son claros, se considera que la diagenesis actúa a temperaturas menores a 300 °C y a presiones menores a 6 Kb, (Figura 6).

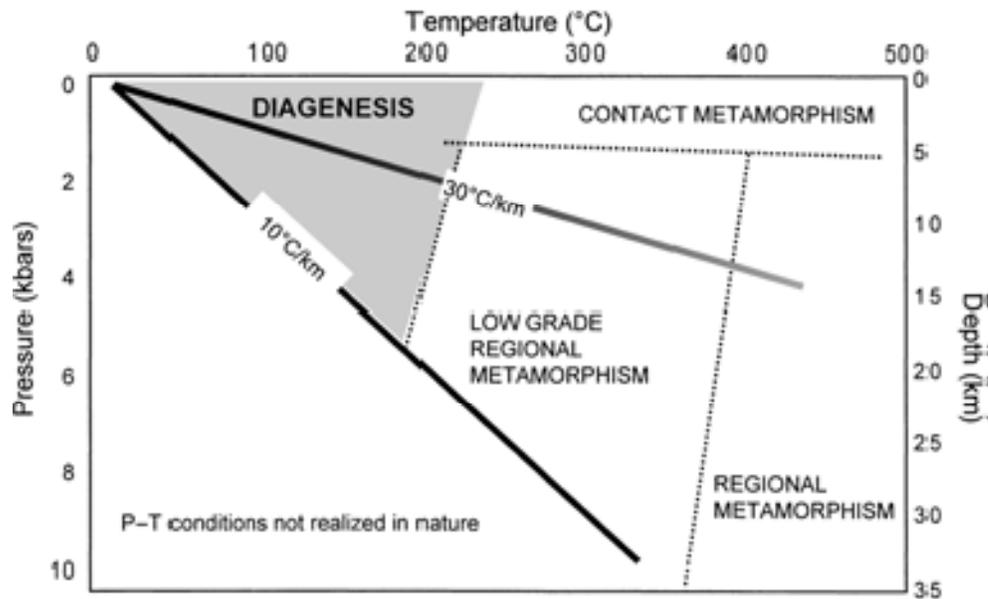


Figura 6. Condiciones generalizadas de presión y temperatura que controlan la diagenesis y el metamorfismo. Según McKinley et al. (2001)

Etapas diagenéticas: en esta trabajo se utilizan los términos eogénesis, mesogénesis y telogénesis propuestos por Choquette y Pray (1970) para describir los procesos que se dan durante las etapas de enterramiento temprano, enterramiento profundo y la fase final de diagenesis hasta la meteorización, respectivamente. Burley et al. (1985), utiliza estos términos y los define en tres regímenes que son:

Régimen eogenético: es la diagénesis que se da en el ambiente de depósito, en esta etapa se pueden dar cambios importantes, la naturaleza de los cuales está determinada por el Eh, pH y la composición química de las aguas intersticiales.

Régimen mesogenético: corresponde al enterramiento más profundo; las temperaturas elevadas adicionan energía al sistema lo que sumado a una circulación profunda de aguas intersticiales que tienen Eh, pH y composición química diferentes a la del ambiente de depósito produce un transporte de grandes cantidades de constituyentes disueltos generando importantes cambios diagenéticos regionales.

Régimen telogenético: se presenta cuando hay levantamiento y exposición de los sedimentos, se da a temperaturas y presiones bajas asociado generalmente con aguas intersticiales meteóricas y oxidantes.

A continuación se define de forma general los principales procesos y productos diagenéticos según la terminología utilizada por Burley et al. (1985).

Autigenesis: crecimiento mineral *In situ*.

Cementación: crecimiento o precipitación de minerales en los espacios porosos.

Compactación: conjunto de procesos físicos que producen el colapso de los espacios porosos.

Poronecrosis: es la extinción del poro por procesos de compactación y cementación.

Deshidratación: pérdida de H₂O desde minerales y materia orgánica por el incremento de temperatura.

Disolución: procesos en donde un mineral es destruido por la interacción con un fluido dejando una cavidad o poro.

Litificación: procesos de compactación y cementación en los sedimentos.

Neoformación: nuevo crecimiento de minerales durante la diagenesis.

Neomorfismo: transformación de un mineral involucrando cambios en la composición química del cristal.

Precipitación: cristalización de un mineral desde una solución.

Recristalización: Disolución seguida por precipitación involucrando cambios en el tamaño del cristal o hábito de un mineral específico dado.

Reemplazamiento: crecimiento de un mineral antigénico químicamente diferente al cuerpo de un mineral pre-existente.

Secuencia paragenética: orden temporal relativo de los procesos diagenéticos que ocurren en los sedimentos, estos procesos son inferidos por métodos petrográficos, geoquímicos o isotópicos.

8. METODOS Y PETROGRAFIA

8.1 METODOLOGIA GENERAL

Para la realización de este proyecto se tendrá en cuenta la metodología sugerida por la ANH así:

Descripción general: Para cada sección delgada se hará un conteo de 400 puntos. La información a consignar depende del tipo de roca.

En el caso de rocas terrígenas se tendrá en cuenta, con respecto a la textura: tamaño de grano promedio, tamaño de grano máximo, porcentaje y tipo de matriz, selección y redondez. La composición de los clastos se hará teniendo presente: porcentaje de cuarzo monocristalino (Qm), cuarzo policristalino (Qp), Plagioclasas (Fp), Feldespatos alcalinos (Fk), Fragmentos líticos sedimentarios (Ls), plutónicos (Lp), volcánicos (Lv), metamórficos (Lm) y líticos no reconocibles (L). Los fragmentos de chert, de granito y de gneis se contarán separadamente ya que se incluyen diferentes polos según diferentes autores. A esto se suma las micas y los minerales densos. Adicionalmente se tendrá en cuenta el tipo de contactos y los cementos presentes. La porosidad se registrará en cuanto a su distribución en porcentaje siguiendo la clasificación de Selley (1982).

Clasificación: Se emplearán diferentes propuestas según la litología a estudiar.

Para las arenitas se hará combinando la clasificación composicional de Folk (1974) con la madurez textural establecida por el mismo autor. Asimismo las ruditas serán clasificadas de acuerdo a lo planteado por Boggs (1992), las rocas mixtas según la propuesta de Vatan (1967) y las rocas volcanoclasticas según la clasificación no genética de Fisher (1961).

Análisis diagenético preliminar: Se busca establecer de manera general los principales procesos y productos diagenéticos que se han presentado.

Para efectuar lo anterior se analizarán varios aspectos. En primer término se estudian las transformaciones del espacio intersticial en lo que respecta a la porosidad, poronecrosis y compactación. Seguidamente se establecen las neoformaciones minerales, lo cual incluye el estudio de los cementos, clasificándolos textural, composicional y estructuralmente; también en este aspecto se identifican los metasomatismos diagenéticos. Finalmente se hace el estudio de las transformaciones de los componentes (corrosión, disolución y neomorfismo). A partir de estos aspectos se elabora preliminarmente la paragénesis diagenética.

Procedencia tectónica. Se realiza de acuerdo con la propuesta de Dickinson (1985) quien considera dos diagramas triangulares QmFLt y QtFL.

El pozo estratigráfico somero Chocó 1 ST-S ha sido dividido en tres segmentos para su análisis, ya que se ha encontrado una relación petrofacial para la parte inferior y la parte superior del pozo donde las rocas corresponden a conglomerados, arenitas y lutitas con niveles volcanoclasticos mientras que para la parte media del pozo las rocas corresponden a arenitas y conglomerados sin evidencia de aporte volcanico primario, por lo tanto se propone presentar los datos en tres partes que son: segmento inferior que va desde la base del pozo hasta la muestra 153.47, segmento medio que va desde la muestra 173.48 hasta la muestra 257.33 y segmento superior que va desde la muestra 315.63 hasta el techo del pozo; tambien es importante tener en cuenta que la nomenclatura de la muestra corresponde a su altura en metros por encima de la base del pozo.

8.2 PETROGRAFÍA Y CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

A continuación se hace un análisis general para cada uno de los segmentos del pozo estratigráfico.

8.2.1 Parte Inferior

Las rocas corresponden predominantemente a arenitas de grano fino a grueso, lutitas arenosas y en menor proporción conglomerados mal seleccionados con clastos tamaño gránulos hasta guijos. El porcentaje de matriz arcillosa es bajo y la madurez textural se puede catalogar como submadura - inmadura ya que la mayoría de las muestras presentan mala selección y clastos generalmente angulares a subredondeados (aunque la corrosión de los granos por cementos puede afectar la redondez original) con baja a media esfericidad (Tabla 16),

Composicionalmente las rocas están compuestas predominantemente por clastos correspondientes a fragmentos liticos de lutitas (Ls) y liticos volcánicos de composición intermedia (Lv), le siguen en abundancia feldespatos potásicos (Fk), cuarzo monocristalino (Qm), plagioclasas (Fp) y cuarzo policristalino (Qp), (Figura 7).

Cuarzo: El cuarzo monocristalino (Qm) se presenta en todas las rocas, en porcentajes hasta en un 15%, el cuarzo policristalino (Qp) se presenta en porcentajes bajos hasta en un 6% y está ausente en algunas rocas, presenta extinción ondulante y corresponde a cuarzo volcánico, (Figura 13).

Feldespatos: Los feldespatos alcalinos y las plagioclasas se presentan en porcentajes moderados, los feldespatos potásicos (Fk) abundan hasta en un 27% y corresponden a Ortoclasa, Sanidina y Microclina; las plagioclasas alcanzan hasta un 8%, aunque están ausentes en algunas muestras (Figura 7). Se identifican maclas de Albita, Microclina, y Carlsbad.

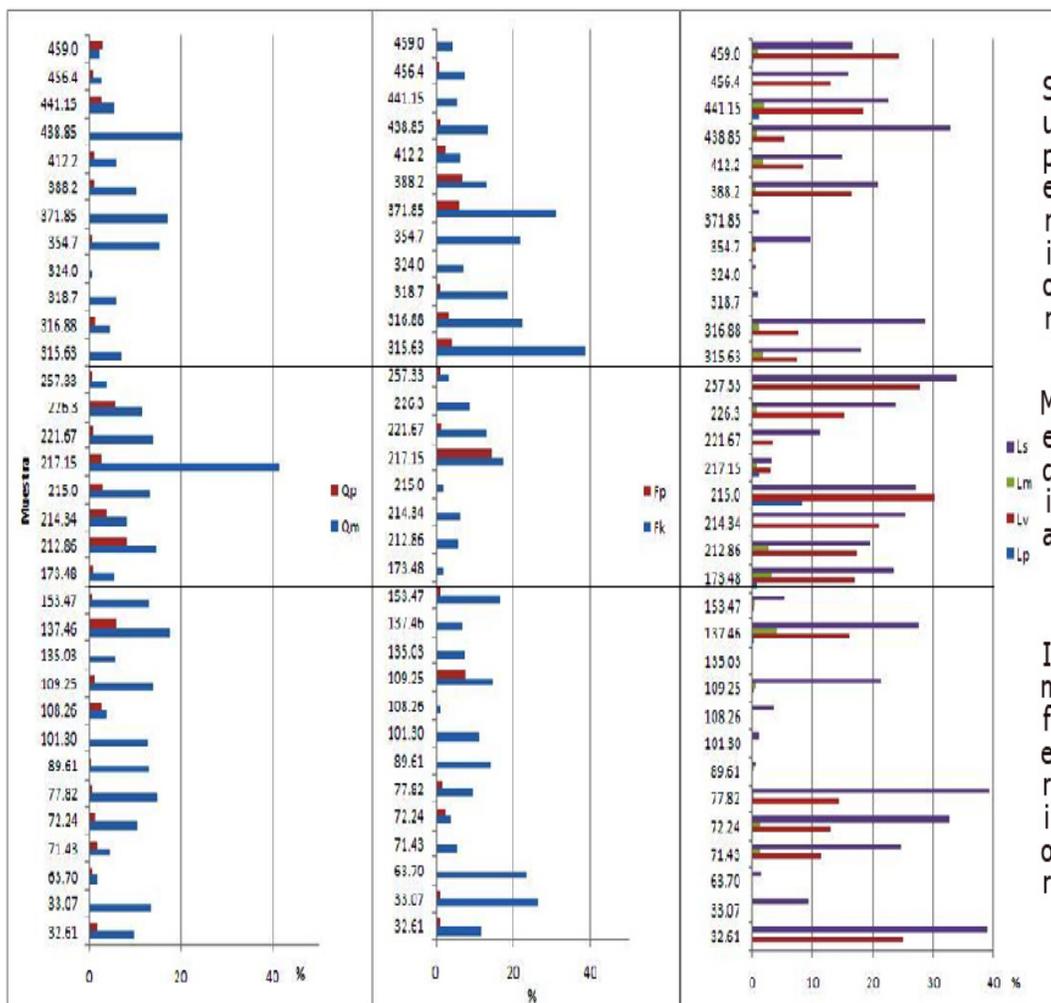


Figura 7. Grafica de composición modal de los clastos de cuarzo, feldespatos y fragmentos liticos para cada una de las muestras del pozo estratigráfico.

Fragmentos líticos: los fragmentos líticos predominantes corresponden a lutitas (Ls) hasta 40%, y líticos volcánicos como andesitas y basaltos (Lv) hasta en un 28%, también se presentan en algunas muestras clastos de chert hasta 9%. Los líticos metamórficos (Lm) como esquistos y los líticos plutónicos (Lp) como dioritas se presentan en muy bajo porcentaje, 4% y 0.3% respectivamente, y están ausentes en la mayoría de las muestras, (Figura 7).

Otros: los minerales accesorios son componentes relativamente abundantes, alcanzando hasta 12% en algunas muestras, en orden de abundancia predominan cristales de micas biotita y moscovita, 9% y 3% respectivamente, también se presentan cristales de anfíboles euhedrales de origen volcánico (8%), la clorita se presenta generalmente como mineral de alteración en líticos volcánicos y feldespatos hasta 8.5%. También se presentan óxidos en un 10%. Entre los minerales densos se tiene glauconita 2%, esfena 0.3% y turmalina (Figura 18).

Cementos: los cementos minerales son componentes abundantes, alcanzando en algunas muestras hasta 32%, aunque no están presentes en todas las muestras, corresponden en orden de abundancia a cementos carbonatado, ferruginoso y silíceo (Figuras 16, 18, 19, 20 y 21). Esta parte de los cementos se describe en detalle en el capítulo de diagenesis.

Matriz: es un componente muy importante puesto que alcanza en algunas muestras hasta un 64%, y corresponde principalmente a matriz arcillosa. Aunque el concepto de matriz es relativo con respecto al tamaño de los clastos, aquí se emplea para aquel material sedimentario de tamaño menor a 0.03 mm. (Figura 15).

Clasificación

Para este segmento del pozo las rocas clasificadas son representadas en los diagramas triangulares con puntos rojos (Figuras 8, 9 y 10). Según la clasificación de Folk (1974), se tienen seis arenitas que se ubican en los campos de Litoarenita, Litoarenita feldespática y Arcosa (Figura 8); en cuanto a ruditas se tienen tres muestras que corresponden a Conglomerados de clastos sedimentarios, (Figura 9); algunas muestras corresponden a Ortoconglomerados bien cementados como la muestra 71.43 (Figura 16), mientras que otras muestras se presentan friables (Figura 13). Finalmente se tienen cinco rocas mixtas que se ubican en los campos de Lutita arenosa, Lutita calcárea arenosa y Arenita lodosa. (Figura 10). Es de anotar que algunas muestras sobre todo en las arenitas y lutitas se presentan cristales de micas y anfíboles por lo tanto se propone utilizar la clasificación general y complementarla con la clasificación de Fisher (1967) para manifestar el carácter volcánico, (Tabla 1).

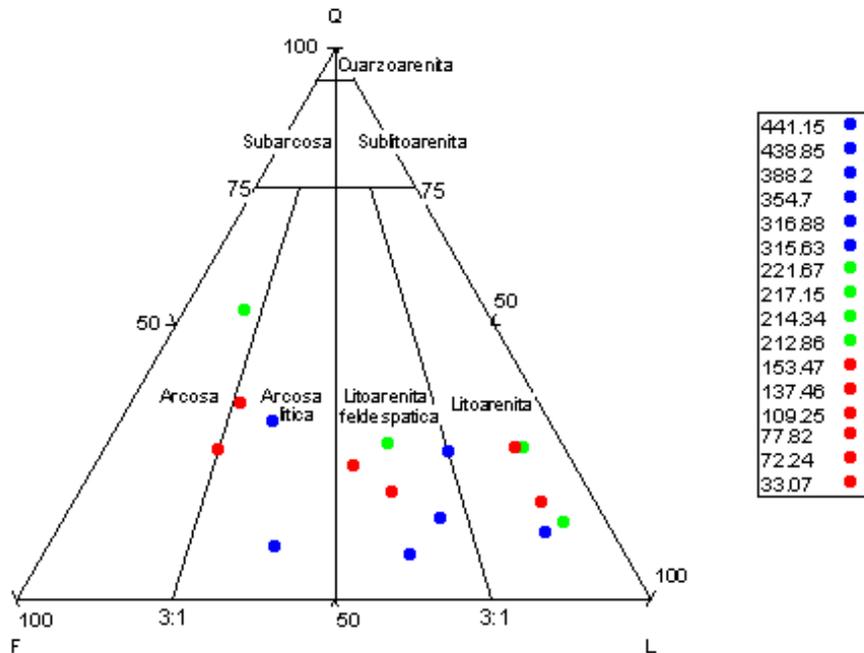


Figura 8. Clasificación de Arenitas según Folk (1974)

8.2.2 Parte Media

Para esta parte del pozo las rocas corresponden predominantemente a conglomerados de clastos tamaño gránulos y arenitas con clastos tamaño arena muy gruesa a media, el porcentaje de matriz arcillosa es muy bajo en la mayoría de las muestras aunque en algunas secciones puede llegar hasta un 15%, la madurez textural se puede catalogar como submadura-inmadura ya que las muestras presentan mala selección y clastos son baja a media esfericidad; en cuanto a la redondez los clastos predominan los angulares sobre los redondeados aunque en algunas muestras predominan los subredondeados, también hay que tener en cuenta que los procesos diagenéticos pueden afectar la redondez original de los clastos, (Figura 11).

Composicionalmente las rocas presentan abundantes clastos de fragmentos líticos sedimentarios como lutitas y arenitas (Ls), y fragmentos líticos volcánicos como andesitas y basaltos (Lv), le siguen en abundancia cuarzo monocristalino (Qm), feldespatos potásicos (Fk), cuarzo policristalino (Qp) y plagioclasa (Fp). La muestra 217.15 (Figura 32), muestra una composición muy diferente con respecto a las demás rocas del pozo (Figura 7), y corresponde a una arcosa en donde se ve una clara abundancia de silicatos con predominio de cuarzo monocristalino (Qm), feldespato potásico (Fk), plagioclasa (Fp), líticos sedimentarios (Ls), líticos volcánicos (Lv) y cuarzo policristalino (Qp).

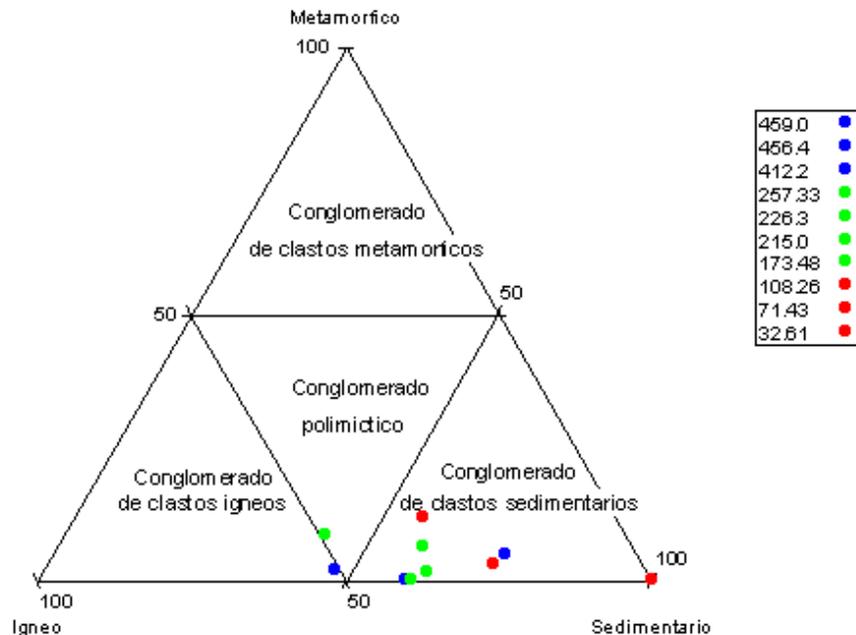


Figura 9. Clasificación de Ruditas según Boggs (1992)

Cuarzo: El cuarzo monocristalino (Qm) se presenta en todas las rocas, en porcentajes hasta en un 15% y corresponde a cuarzo ígneo, el cuarzo policristalino (Qp) se presenta en porcentajes bajos hasta en un 8% y se relaciona con cuarzo ígneo, (Figuras 26 y 29).

Feldespatos: Los feldespatos potásicos (Fk) abundan en porcentajes moderados hasta en un 13% y corresponden a Ortoclasa, Sanidina y Microclina; las plagioclasas (Fp) alcanzan hasta un 3% y están ausentes en algunas muestras. Se identifican maclas de Albita, Periclina, Microclina, Carlsbad, Carlsbad- albita y Pertita, (Figuras 26, 30 y 32).

Fragmentos líticos: Los fragmentos líticos predominantes corresponden a lutitas y arenitas en menor proporción (Ls) hasta 34%, y líticos volcánicos de composición intermedia a básica (Lv) hasta en un 30%, también se presentan en algunas muestras clastos de chert hasta 9%. Los líticos plutónicos se presentan en porcentaje moderado hasta en un 8.5% y corresponden a rocas ultrabásicas aunque se presentan en muy pocas muestras, y los líticos metamórficos (Lm) se presentan en bajo porcentaje hasta en un 3% y corresponden a clastos de esquistos principalmente, también están ausentes en la mayoría de las muestras. (Figuras 28, 29, 31, 34 y 35).

Otros: Los minerales accesorios son componentes relativamente abundantes, alcanzando hasta 16% en algunas muestras, en orden de abundancia predominan los minerales opacos (15%), le siguen las micas moscovita y biotita, 3.5% y 1.5% respectivamente, la clorita se presenta generalmente como mineral de alteración en líticos volcánicos y feldespatos hasta 2%. Entre los minerales densos se tienen anfíboles euhedrales en poca proporción (2%), glauconita 2% y esfena (0.5%), (Figuras 30, 31 y 32).

Cementos: los cementos minerales para esta parte del pozo son relativamente abundantes, alcanzando hasta un 26% en algunas muestras aunque no están presentes en todas, corresponden en orden de abundancia a cementos carbonatado, ferruginoso y silíceo, (Figura 28). También se describen en detalle en el capítulo de diagenesis.

Matriz: para esta parte del pozo la matriz se presenta en porcentajes bajos, hasta en un 15% y está ausente en algunas muestras. Aquí la matriz se compone de arena fina para algunos niveles conglomeráticos (Figura 31 y 35) y matriz arcillosa para los niveles arenosos, (Figura 34).

Clasificación

Para este segmento del pozo las rocas clasificadas son representadas en los diagramas triangulares con puntos verdes (Figuras 8, 9 y 10). Según la clasificación de Folk (1974), se tienen cuatro arenitas que se ubican en los campos de Litoarenita, Litoarenita feldespática y Arcosa (Figura 8); se puede ver un dominio de Litoarenitas. En cuanto a ruditas según la clasificación de Boggs (1992) se tienen cuatro muestras en donde tres corresponden a Conglomerados de clastos sedimentarios y uno corresponde a Conglomerado polimictico. (Figura 9). Para este segmento no se presentan rocas sedimentarias mixtas.

8.2.3 Parte Superior

Los niveles litológicos para esta parte del pozo corresponden predominantemente a arenitas de grano fino hasta muy grueso, con clastos mal seleccionados y de baja a media esfericidad; le siguen en abundancia ortoconglomerados de clastos sedimentarios y de clastos ígneos, mal seleccionados de baja a media esfericidad, y por último se tienen lutitas y limolitas volcánicas de moderada selección, con clastos de baja esfericidad y cristales euhedrales de anfíboles y micas, (Figura 11). En general los clastos angulares predominan sobre los clastos redondeados en una relación aproximada 3:1 (Tabla 16).

En cuanto a la composición, las rocas presentan clastos de fragmentos líticos como componentes principales, en donde predominan los clastos de lutitas (Ls), rocas volcánicas (Lv) y chert. Le siguen en abundancia feldespatos potásicos (Fk), cuarzo monocristalino (Qm), plagioclasas (Fp) y cuarzo policristalino (Qp), (Figura 7).

Cuarzo: el cuarzo monocristalino se presenta en todas las rocas aunque en proporciones variadas, su porcentaje oscila entre 20% y 0.5%, el cuarzo policristalino es un componente poco abundante, llegando en algunas muestras hasta un 3%, (Figura 7).

Feldespatos: estos silicatos se presentan de forma abundante en esta parte del pozo, predominan los feldespatos potásicos (Fk) con valores hasta 39%, están presentes en todas las muestras y corresponden a Sanidina y Microclina principalmente; las plagioclasas son mucho menos abundantes llegando hasta 7% , se encuentran ausentes en algunas muestras y corresponden a plagioclasas sódicas.

Fragmentos líticos: son los componentes más abundantes, alcanzan valores hasta del 33% en algunas muestras. Los fragmentos líticos predominantes son los líticos de lutitas (Ls) con valores hasta del 33% y están presentes en todas las muestras, le siguen en orden de abundancia los líticos volcánicos (Lv) con valores aproximados al 24.5% y llegan a estar ausentes en algunas muestras, corresponden a andesitas y basaltos alterados; los clastos de chert siguen en orden de abundancia alcanzando hasta un 6.5% y se presentan en casi todas las muestras; los líticos metamórficos (Lm) son los componentes siguientes en abundancia, presentan porcentajes muy bajos hasta un 2% y están ausentes en la mayoría de la muestras, corresponden a clastos de esquito y esquistos micáceos, por último se tienen los líticos plutónicos, los cuales son componentes que no llegan a superar el 1% en abundancia y se encuentran ausentes en la mayoría de las muestras, corresponden a granitos y granodioritas. (Figura 7).

Otros: para esta parte del pozo los minerales accesorios son componentes muy abundantes alcanzando hasta el 28% de los componentes en algunas muestras, en orden de abundancia se tienen minerales pesados con valores hasta del 16.5% y corresponden principalmente a anfíboles como hornblenda y oxihornblenda (Figura 38), turmalina 4%, glauconita 3.5% (Figura 44) y granate 0.5%; le siguen en abundancia las micas en

porcentajes cercanos al 11% y corresponden a micas clorita como mineral de alteración de los liticos volcánicos en un 6% (Figuras 36 y 46) y micas moscovita y biotita con valores de 5% y 3.5% respectivamente (Figuras 38, 41 y 45) Por último se tienen los minerales opacos que alcanzan valores hasta del 9.5% y corresponden principalmente a óxidos de hierro (hematita). Las micas y los anfíboles se presentan como cristales euhedrales que indican niveles con aporte volcánico primario. (Figura 38).

Cementos: los cementos minerales para esta parte del pozo son abundantes, alcanzando hasta un 32% en algunas muestras aunque no están presentes en todas, corresponden en orden de abundancia a cementos carbonatado (30%), cemento de zeolitas (15.5%), y cemento ferruginoso (11%), (Figuras 43, 45 y 47). Esta parte de los cementos se describen en detalle en el capítulo de diagenesis.

Matriz: la matriz se presenta de forma abundante en algunos niveles, alcanzando valores hasta del 23%, aunque está ausente en la mayoría de las muestras para esta parte del pozo. Corresponde principalmente a matriz arcillosa en la arenitas y en algunos conglomerados se presenta como matriz de arena fina, (Figuras 38, 39 y 40).

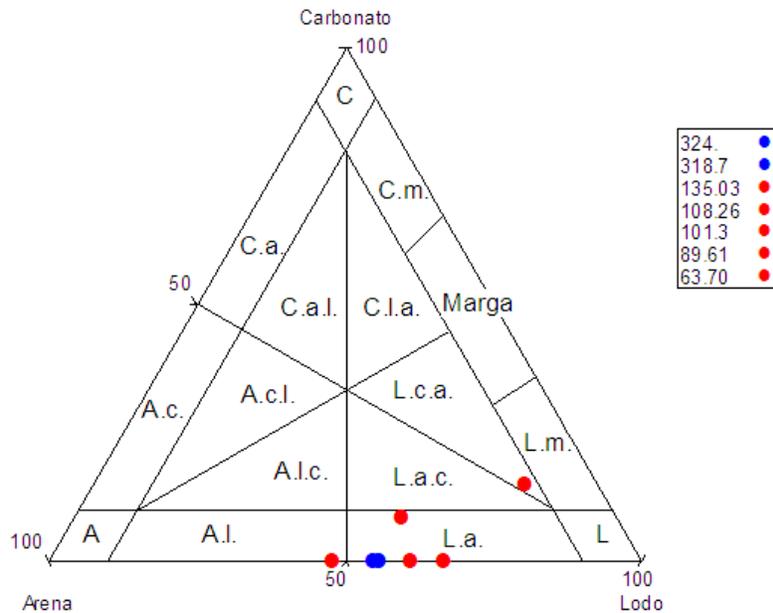


Figura 10. Clasificación de Rocas mixtas según Vatan (1967)

Donde:

C: Caliza	A: Arena
C.a: Caliza arenosa	A.c.l: Arenita calcárea lutítica
C.m: Caliza margosa	A.l.c: Arenita lutítica calcárea
C.a.l: Caliza arenosa lutítica	L.m: Lutita margosa
C.l.a: Caliza lutítica arenosa	L.c.a: Lutita calcárea arenosa
A.c: Arenita calcárea	L.a: Lutita arenosa
A.l: Arenita lutítica	L: Lutita

Clasificación

Para este segmento del pozo las rocas clasificadas son representadas en los diagramas triangulares con puntos azules (Figuras 8, 9 y 10). Según la clasificación de Folk (1974), se tienen siete arenitas que se ubican en los campos de Litoarenita, Litoarenita feldespática y Arcosa lítica; las Litoarenitas feldespáticas predominan levemente sobre las demás muestras. (Figura 8).

En cuanto a ruditas según Boggs (1992) se tienen tres muestras en donde dos corresponden a Conglomerados de clastos sedimentarios y la otra muestra corresponde a Conglomerado de clastos ígneos siendo esta última la única muestra del pozo en general que se ubica en este campo. (Figura 9).

Finalmente para las rocas mixtas se limitan a dos muestras que se ubican en el campo de Lutita arenosa. (Figura 10). También es importante resaltar que algunas muestras sobre todo en las lutitas se presentan cristales de micas y anfíboles por lo tanto se propone utilizar la clasificación de Vatan (1967) y complementarla con la clasificación de Fisher (1967) para manifestar el carácter volcánico, (Tabla 1).

8.3.4 Clasificación de Rocas Volcaniclasticas

Adicionalmente las rocas volcaniclasticas son clasificadas con la propuesta no genética de Fisher (1961) debido a que no es posible determinar si los niveles volcaniclasticos depositados son rocas piroclásticas de origen primario, depósitos piroclásticos retrabajados o epiclásticos. Estas rocas son representadas en la Tabla 1 en donde se utiliza la clasificación genética de Folk (1974) y Vatan (1967), las cuales son complementadas con la clasificación de Fisher (1961) debido a la abundancia de cristales euhedrales y subhedrales de anfíboles (hornblenda verde, oxihornblenda), además de micas biotitas y moscovitas en los niveles volcaniclasticos. Es de anotar que estos niveles volcaniclasticos están ausentes en el segmento medio y se ubican exclusivamente en los segmentos inferior y superior del pozo estratigráfico.

Muestra	Clasificación
371,85	Arenita (Arcosa) volcanica masiva
324	Lutita arenosa volcanica
318,7	Lutita arenosa volcanica
153,47	Arcosa litica inmadura volcanica
109,25	Litoarenita feldespatica volcanica madura
89,61	Lutita arenosa volcanica masiva
33,07	Arcosa - arcosa litica submadura volcanica masiva

Tabla 1. Clasificación de las muestras procedentes de niveles volcaniclasticos en el pozo estratigráfico Chocó 1 ST-S.

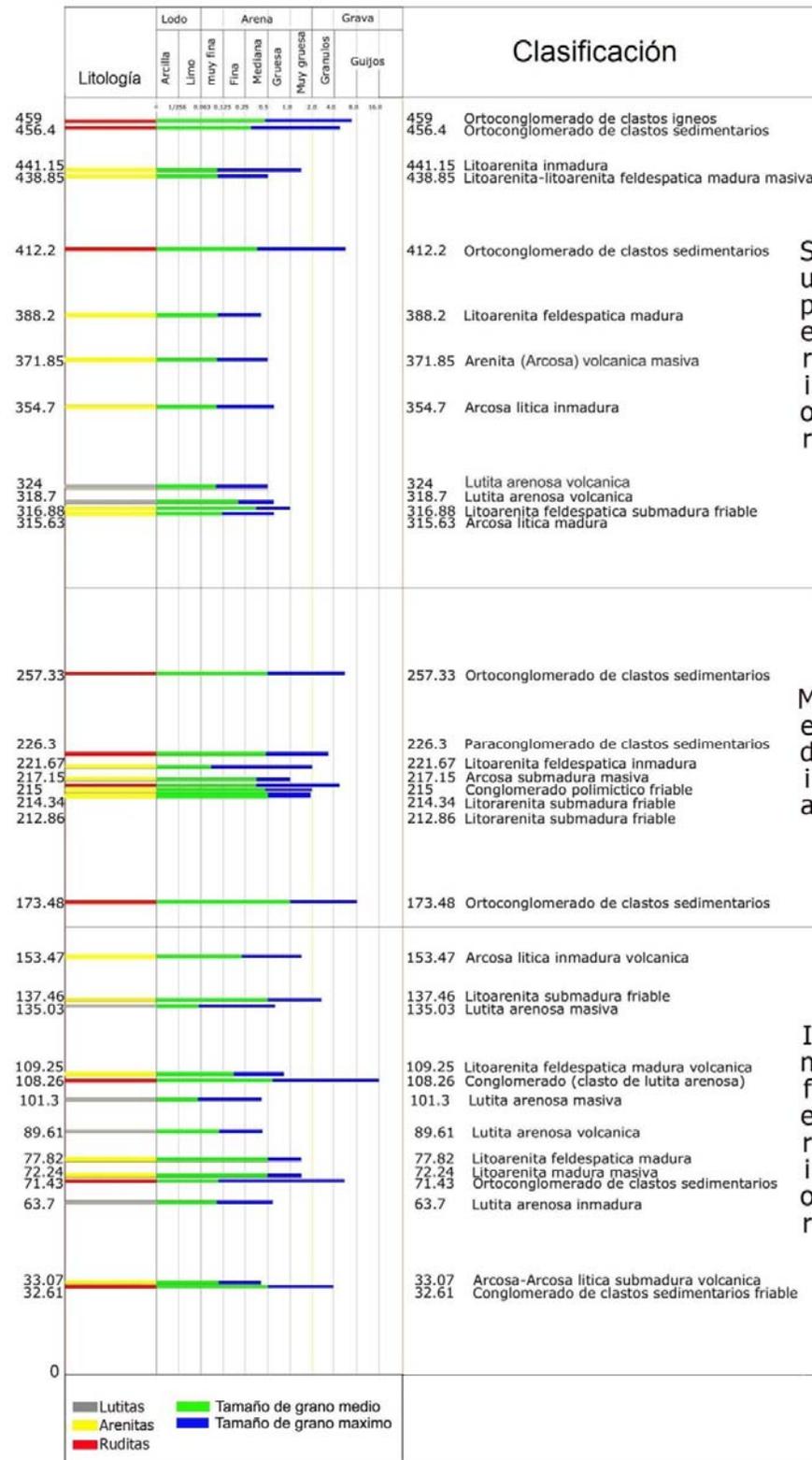


Figura 11. Columna estratigráfica que muestra la ubicación, litología, granulometría y clasificación de las muestras petrográficas analizadas para el pozo Chocó 1 ST-S.

8.4 PROVENIENCIA Y TECTOFACIAS

Para establecer estos dos aspectos se sigue la propuesta de Dickinson (1985), inicialmente se interpretan las tectofacias y las unidades fuente para después proponer una evolución general.

8.4.1 Tectofacias y unidades fuente

Para la parte inferior del pozo los diagramas de Dickinson muestran que los sedimentos que constituyen las rocas de la cuenca provienen de varios ambientes tectofaciales, las muestras (en rojo) se ubican en los campos de arco no disectado, arco transicional, arco disectado, basamento levantado, continental transicional y orógeno reciclado según el diagrama ternario QtFL. (Figura 12). Se nota un leve predominio de los ambientes de arco y basamento levantado sobre los demás ambientes tectofaciales. Al utilizar el diagrama ternario QmFLt se puede establecer que probablemente algunas de las muestras provienen realmente de orógeno reciclado lítico, debido al contenido relativamente alto de Lt. Los campos dominantes para esta parte del pozo corresponden a los ambientes de arco magmático, basamento levantado y orógeno reciclado lítico.

En la parte media del pozo los diagramas ternarios de Dickinson muestran una leve variación en la procedencia de los sedimentos, en donde las muestras (en verde) se ubican en los campos de arco no disectado, arco transicional, arco disectado y orógeno reciclado; no obstante, se puede observar que hay un predominio de arco no disectado sobre los demás ambientes en el diagrama QtFL. (Figura 12). Por otro lado, según el diagrama QmFLt las rocas se ubican predominantemente en el campo de orógeno reciclado lítico con algunas excepciones en los campos de arco transicional y basamento levantado. Al igual que en la parte inferior del pozo se puede establecer que las muestras de la parte media del pozo corresponden realmente a orógeno reciclado lítico.

Finalmente para la parte superior del pozo, se tiene que las muestras (en azul) se ubican en los campos de arco no disectado, arco transicional, arco disectado y basamento levantado, en el diagrama QtFL se puede ver un dominio del ambiente de arco transicional sobre los demás ambientes tectofaciales. En el diagrama QmFLt las muestras se ubican en los mismos campos con excepción de una muestra que se ubica en reciclado lítico, (Figura 12). A partir de los dos diagramas se puede establecer que hay un dominio de arco transicional sobre los demás ambientes tectofaciales para esta parte del pozo, aunque también se observa una moderada influencia de basamento levantando.

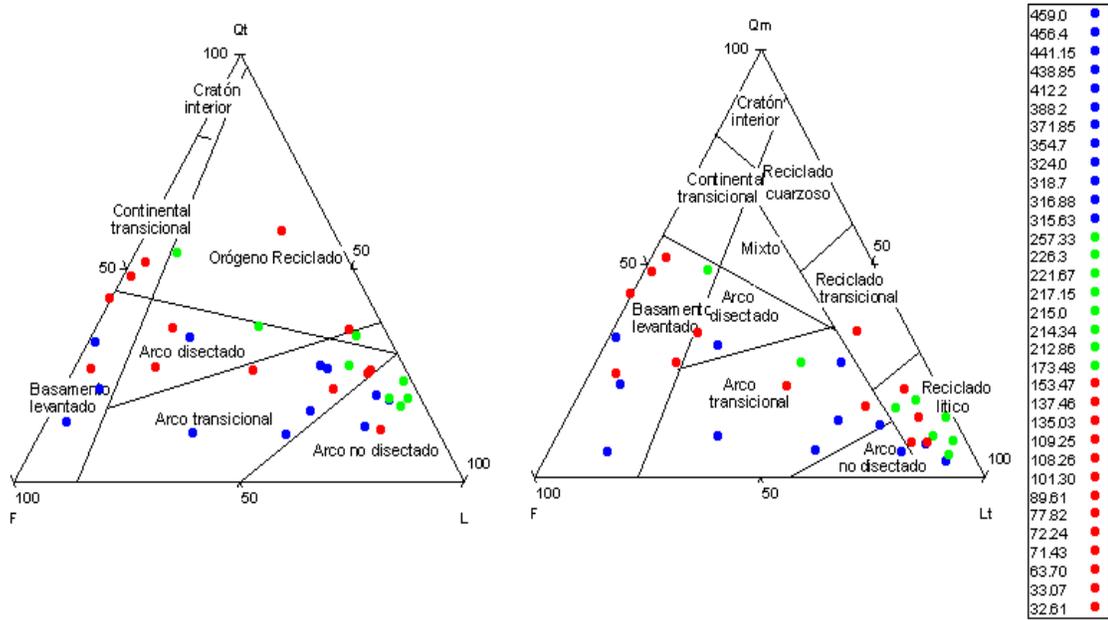


Figura 12. Clasificación de las muestras de acuerdo con la tectofacies, según la propuesta de Dickinson (1985), diagramas ternarios QtFL y QmFLt.

8.4.2 Evaluación general

En general se identifican tres ambientes tectofaciales principales que son en orden de influencia arco magmático, orógeno reciclado lítico y basamento levantado.

Asociado con arco magmático se tiene una litología fuente de rocas volcánicas andesíticas y basálticas, tal litología fuente puede ser correlacionada con las unidades Cretácicas de la Cordillera Occidental como la Formación Barroso del Grupo Cañasgordas y el Complejo Santa Cecilia- La Equis, lo cual se puede establecer por el alto contenido de fragmentos líticos volcánicos básicos y el predominio de cuarzo monocristalino sobre los feldespatos. El segmento inferior y sobre todo el segmento superior del pozo muestran una fuerte influencia de arco magmático transicional que indican que la cuenca estuvo influenciada por el vulcanismo y que posiblemente fue contemporáneo con la sedimentación.

El ambiente de orógeno reciclado lítico se relaciona con un levantamiento de la cuenca evidenciado por el alto contenido de líticos sedimentarios pertenecientes a unidades infrayacentes Paleocenas como la Formación Iró (limolitas, chert y lutitas silíceas) y la Formación Istmina (lutitas y arcillolitas), esto sugiere que cuando se estaban depositando los niveles de arenitas y conglomerados de la parte media del pozo, las rocas infrayacentes de la cuenca estaban siendo retrabajadas.

Asociado con bloques del basamento levantado se tienen como unidades fuente rocas dioríticas de la Cordillera Occidental y del batolito de Mandé, en donde los sedimentos

derivados depositados forman arenitas feldespáticas y arcosas., como es evidenciado en la muestra 217.15, (Figura 32); así como el aporte de fragmentos líticos como dioritas y granitos. Por otro lado, los fragmentos líticos metamórficos como esquistos y esquistos micáceos son difíciles de correlacionar con alguna unidad metamórfica específica debido a que regionalmente no se presentan, sin embargo se propone la posibilidad de que las rocas del Complejo Arquía, el Complejo Quebradagrande e incluso el Complejo Cajamarca sirvan como suministro de líticas metamórficos a la Formación Condoto.

La evaluación general de la proveniencia puede interpretarse como una variación en el tiempo principalmente controlada por la tectónica, en donde la transición de basamento levantado pasando por ambientes de arco magmático hasta orógeno reciclado puede estar influenciada por las características estructurales de la cuenca en que ocurrió la depositación, lo que conlleva a una variedad de procedencias tectónicas ligada probablemente a movimientos a lo largo de fallas.

La Formación Condoto está asociada a un ambiente de depósito correspondiente a un *fan* delta con mínimas incursiones marinas debido a su alto contenido de material terrígeno detrítico (Restrepo, 2010); en donde es claro que la depositación deltaica estuvo afectada por la actividad de un arco volcánico cercano evidenciado por depósitos de arenitas y lutitas volcánicas con alto contenido de cristales, y conglomerados con fragmentos líticos volcánicos.

9. PROCESOS Y PRODUCTOS DIAGENÉTICOS

La descripción que sigue a continuación se hace a partir principalmente de lo que se observó en las secciones delgadas. Hay que tener presente que la identificación precisa de los minerales diagenéticos no siempre es posible a partir del estudio de secciones delgadas, existen otras técnicas que permiten la identificación más confiable como por ejemplo análisis isotópicos, microscopia electrónica o microsonda, infortunadamente no se tuvo acceso a estos métodos. Por este motivo una clasificación exacta de los minerales carbonatados no fue posible por lo que todos los cementos carbonatados se agrupan en una sola categoría. A continuación se establecen los principales procesos y productos diagenéticos para cada uno de los segmentos del pozo estratigráfico.

9.1. PARTE INFERIOR

9.1.1. Transformaciones del espacio intersticial.

La porosidad observada es predominantemente secundaria, la porosidad primaria se presenta en muy bajo porcentaje ya que ha sido destruida por procesos de compactación y cementación.

9.1.1.1. Porosidad: en general, la porosidad es intermedia a baja, alcanzando valores máximos del 15%, aunque en la mayoría de los casos no supera el 10%, (Figura 27). La porosidad secundaria esta asociada principalmente a la disolución tipo vugular de cementos carbonatados, y en menor proporción a porosidad de fractura, porosidad estilolítica y porosidad de canal. (Figuras 14, 15, 19, 20, 24). En cuanto a la porosidad primaria se encuentran evidencias de porosidad intergranular e intragranular aunque en un porcentaje muy bajo que no supera el 3%.

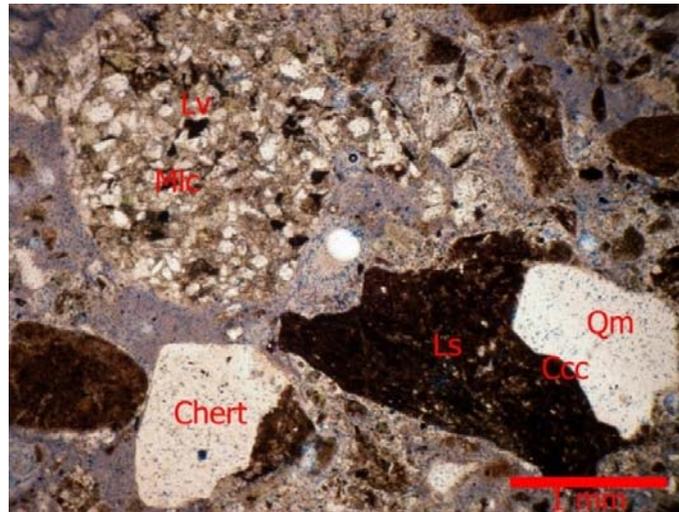


Figura 13: Ortoconglomerado” friable de clastos sedimentarios en se observan contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de cuarzo monocristalino (Qm) y líticos sedimentarios (Ls), metasomatismo de líticos volcánicos (Lv) de composición básica por clorita (Mlc), también se observa Chert en contacto cóncavo-convexo con lutita. Muestra 32.61.

9.1.1.2. Poronecrosis: Corresponde a los procesos de compactacion y cementacion; esta se evidencia por los contactos concavo-convexos, la deformacion mecanica y la trituracion, en cuanto a la cementacion los principales tipos observados son en orden de abundancia los cementos carbonatados, ferruginosos y siliceos. Esta aspecto es tratado en detalle en la parte de neoformaciones minerales.

9.1.1.3. Compactación: es uno de los principales procesos que destruye la porosidad, los efectos de la compactacion son significativos ya que predominan los contactos concavo-convexos entre los clastos, oscilando entre 60% y 80% del total de los contactos; siguen en importancia los contactos largos entre el 20% y 25%, los contactos puntuales con valores que no superan el 10%, y en menor medida los contactos flotantes que no superan el 5%. (Figuras 16, 17, 18 y 23). También asociados a la compactación se presenta en orden de importancia deformación mecánica de micas y fragmentos de esquistos (Figura 14, 16, 17) y la trituración de granos de feldespatos.

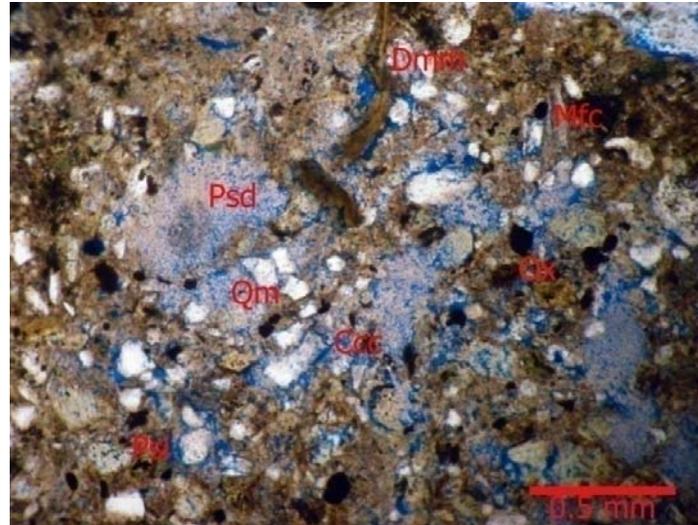


Figura 14: Arenita volcánica donde se observa porosidad secundaria intergranular (Psi) y porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de feldespatos, metasomatismo de feldespato por caolín (Mfc), deformación mecánica de micas biotita (Dmm), clastos aislados de cuarzo monocristalino (Qm) y metasomatismo de fragmentos líticos por óxidos de hierro (Ox). Muestra 33.07 en luz polarizada.

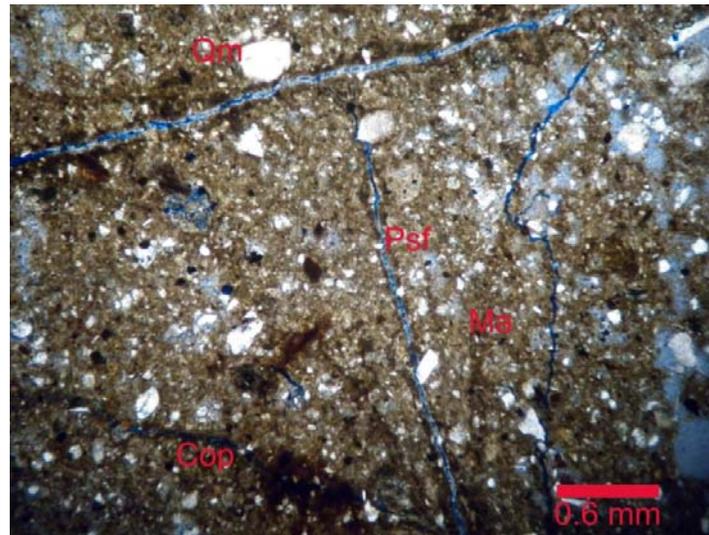


Figura 15: Lutita arenosa en donde se observa porosidad secundaria de fractura (Psf), cemento de poros de óxidos (Cop), matriz arcillosa (Ma) y clastos aislados de cuarzo monocristalino (Qm). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 63.70.

9.1.2 Neoformaciones minerales

Corresponden a los procesos mas importantes del área, se observa bajo la forma de diferentes tipos de cemento y de metasomatismo diagenetico.

9.1.2.1. Cementos: Existe variedad en los tipos de cemento. Estructuralmente se tienen principalmente cemento de poros, basal y en menor medida cemento pelicular y de pigmento.

9.1.2.1.1. Cemento de poros: Corresponde principalmente a cementos carbonatados y en menor proporción a ferruginosos y silíceos.

Los cementos carbonatados se presentan en la parte inferior del pozo sin mostrar ninguna tendencia preferencial. Su porcentaje oscila entre 1 y 11%. Se encuentran asociados con la porosidad primaria y esta constituido principalmente por cemento espartico (Figura 16), aisladamente se tiene neomorfismo agradante.

Al igual que los cementos carbonatados los cementos ferruginosos estan presentes en el pozo pero en una proporción mas baja, alcanza valores máximos del 8%, se desarrolla tanto en la porosidad secundaria como en la porosidad primaria predominando en esta última, (Figuras 21 y 24).

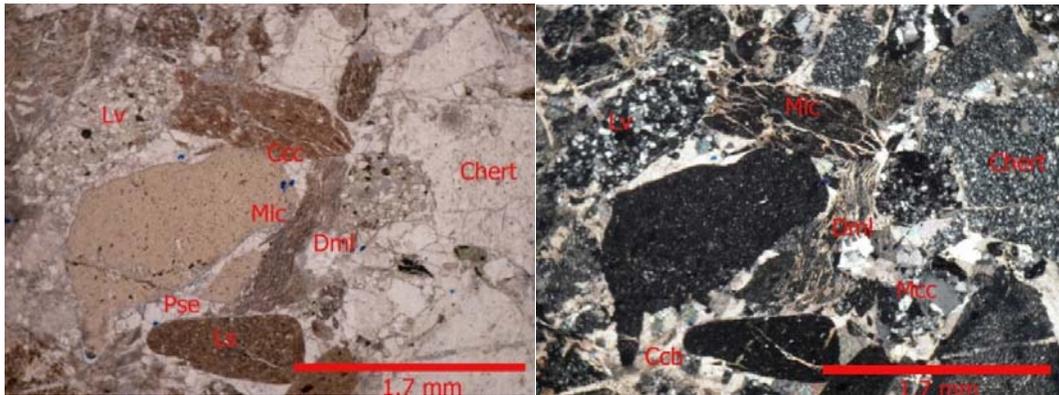


Figura 16. Ortoconglomerado de clastos sedimentarios bien cementado; en luz polarizada plana (imagen izquierda) se observa contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas, deformación mecánica de liticos metamórficos (Dml), metasomatismo de liticos por carbonato (Mlc); y liticos sedimentarios de lutitas bien redondeadas (Ls); en nicoles cruzados (imagen derecha) se muestra metasomatismo de cuarzo por carbonato (Mcc), metasomatismo avanzado de esquistos por carbonato, cemento carbonatado de basal (Ccb), liticos volcánicos aislados (Lv), y Chert; también se presenta porosidad secundaria estilolítica (Pse), muestra 71.43.

9.1.2.1.2. Cemento pelicular: es un cemento que se presenta en proporciones muy bajas, constituido por óxidos de hierro y en menor medida por clorita.

El cemento ferruginoso se identifica en porcentajes que no superan el 10%. Corresponde a hematita amorfa que impide la corrosión de cementos carbonatados de poros. El cemento clorítico alcanza un máximo de 1%.

9.1.2.1.3. Cemento basal: es un cemento que sigue en importancia al cemento de poros. Está compuesto por carbonatos, se observa en la muestra 71.43, (Figura 16). Alcanza valores hasta el 15% de los componentes, muestra una variedad textural debido a neomorfismo agradante, en ocasiones es poikilítico.

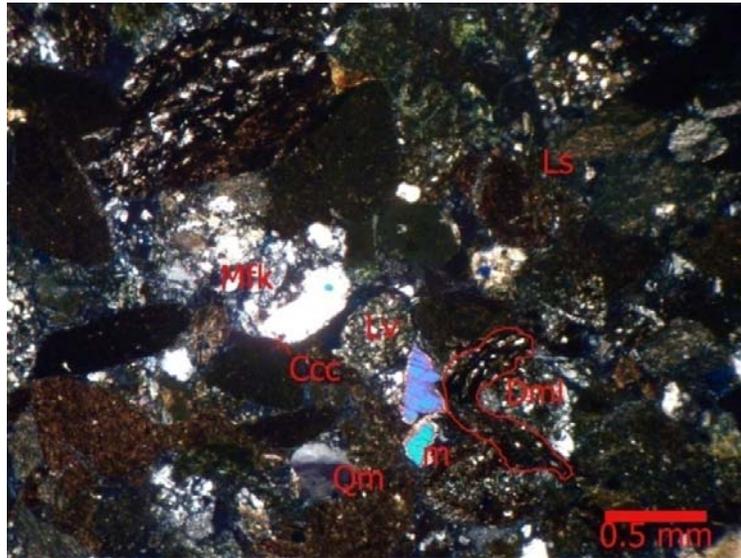


Figura 17. Litoarenita madura en la que se aprecia contactos cóncavo-convexos entre los clastos de lutita y feldespato (Ccc), deformación mecánica de líticos (Dml), metasomatismo de feldespato potásico por caolín (Mfk), cuarzo monocristalino (Qm), lítico volcánico (Lv), lítico sedimentario, moscovita (m). Muestra 72.24, imagen en nicoles cruzados.

9.1.2.1.4. Cemento ferruginoso de pigmento: es un tipo particular de cemento que es difícil ubicar en una de las categorías mencionadas; se observa como un pigmento que se superpone sobre los clastos líticos, la matriz y los cementos aportando un color rojo a los mismos.

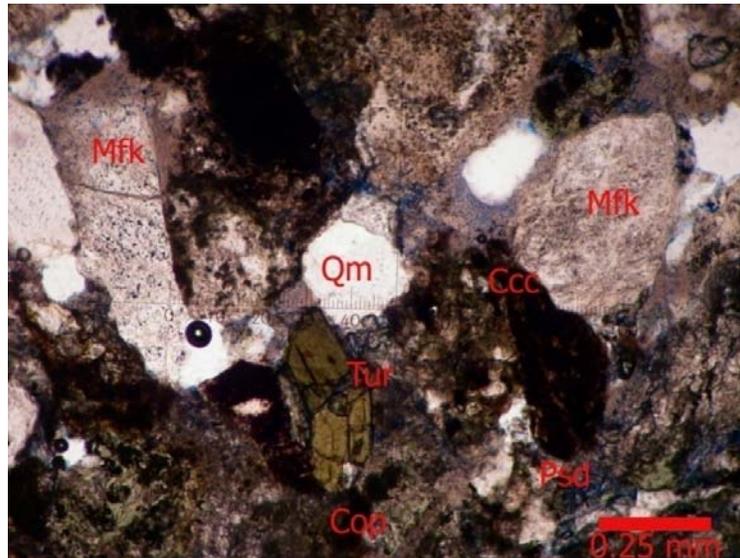


Figura 18. Litoarenita madura masiva; se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo-convexos entre los clastos de lutitas y feldespato (Ccc), metasomatismo de feldespato potásico por kaolín (Mfk), cemento oxido de poros (Cop), clastos subangulares de cuarzo monocristalino (Qm) y cristales de turmalina (Tur), muestra 72.24 en luz plana.

9.1.2.2. Metasomatismo diagenético: es un proceso muy importante, se encuentra en algunos niveles del segmento inferior del pozo estratigráfico con diversos grados de desarrollo. Los metasomatismos son de fragmentos liticos, cuarzo y feldespatos por carbonatos y en menor medida feldespatos por caolín, liticos volcánicos por clorita y plagioclasas por sericita.

9.1.2.2.1. Metasomatismo de fragmentos liticos por carbonato: es el mas importante aunque se encuentra restringido a algunos niveles; el grado de metasomatismo es variable, aunque en ocasiones puede ser avanzado y afectar todos los fragmentos liticos de lutitas, cherts y liticos volcanicos andesíticos y basálticos. (Figura 16). en general el metasomatismo se hace por carbonato microcristalino, sin embargo se tiene carbonato cristalino grueso debido a neomorfismo agradante.

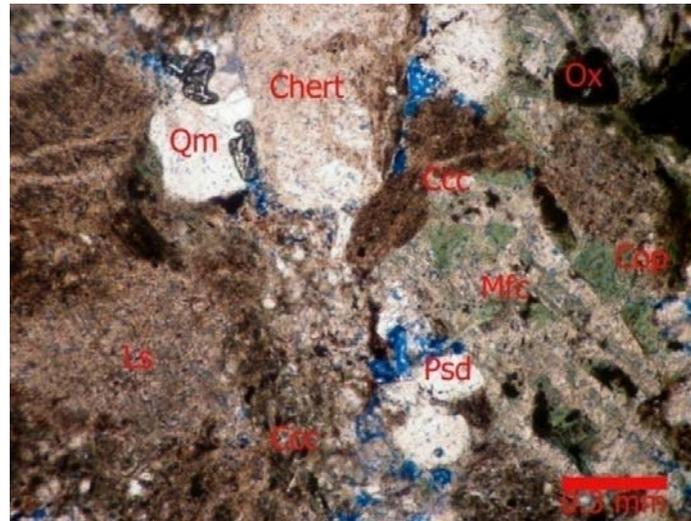


Figura 19. Litoarenita feldespática madura; se aprecia porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls) y cuarzo monocristalino (Qm), también se presenta metasomatismo de feldespato por caolin, cemento de oxido de poros (Cop), y clastos de minerales opacos (Ox) y Chert. Fotografía en nicoles planos, muestra 77.82.

9.1.2.2.2. Metasomatismo de cuarzo por carbonatos: este reemplazamiento tiene una proporción baja, alcanzando hasta un 6%. (Figura 16). Se presenta afectando predominantemente al cuarzo monocristalino y en menor proporción cuarzo policristalino.

9.1.2.2.3. Metasomatismo de feldespatos por carbonatos: es un proceso que tiene una importancia relativa. Se presenta en algunos niveles de la parte inferior del pozo, afectando mayoritariamente feldespatos alcalinos y menor proporción plagioclasas.

El Reemplazamiento de feldespatos se presenta en una proporción baja, afectando a lo sumo de 15% del total de los granos de feldespatos a nivel inferior del pozo. Los feldespatos alcalinos corresponden a Microclina y Sanidina principalmente (Figura 16).

9.1.2.2.4 Metasomatismo de micas por carbonato: es un proceso que se observa solo en la muestra 71.43 afectando micas moscovita y biotita en un porcentaje muy bajo (0.5%).

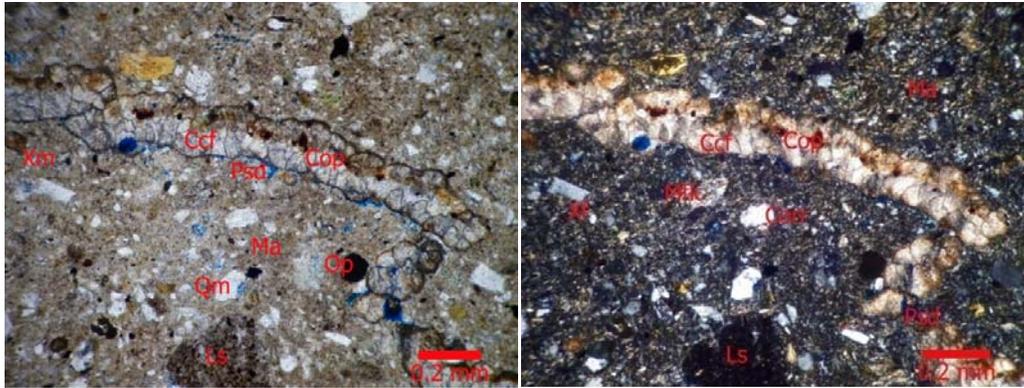


Figura 20. Lutita arenosa volcánica, en luz polarizada plana (imagen izquierda) se observa matriz arcillosa (Ma), porosidad secundaria por disolución de los clastos y la matriz (Psd), cemento carbonatado de poros asociado a fracturas (Ccf), cemento de poros de óxidos (Cop), aisladamente se observan clastos de cuarzo monocrystalino (Qm), fragmentos de lutitas (Ls) cristales de biotitas (Xm) y minerales opacos (Op). En nicols cruzados (imagen derecha) además de los mismos procesos en la imagen izquierda se observa metasomatismo de feldespato por caolín, corrosión de cuarzo por carbonato (Corr) y cristales de feldespatos (Xf), muestra 89.61.

9.1.2.2.5. Otros tipos de metasomatismo: además de los anteriores procesos se encuentran otros de proporción menor pero de gran importancia los cuales son en orden de abundancia metasomatismo de feldespatos por caolín, metasomatismo de micas y líticos volcánicos por clorita y de plagioclasas por sericita.

La caolinitización de feldespatos es un proceso relativamente abundante en la parte inferior del pozo. Se presenta de forma moderada afectando casi todos los niveles con porcentajes que varían desde 5% hasta 30% de los granos de feldespatos.

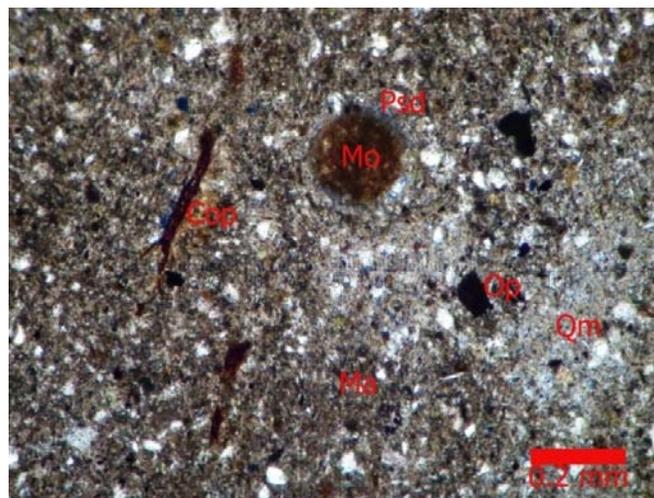


Figura 21. Lutita arenosa masiva; se observa cemento de óxidos de poros, porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), matriz arcillosa en alta

proporción (Ma), materia orgánica (Mo), clastos de cuarzo monocristalino (Qm) y minerales opacos (Op), Fotografía en luz polarizada plana, muestra 101.3.

El metasomatismo de micas y liticos volcánicos por clorita se presenta en baja proporción en algunos niveles del segmento inferior del pozo, el porcentaje máximo es de 8% del total de los granos de micas, mientras que para los liticos volcánicos de composición básica el porcentaje es hasta 10% de los clastos alterados.

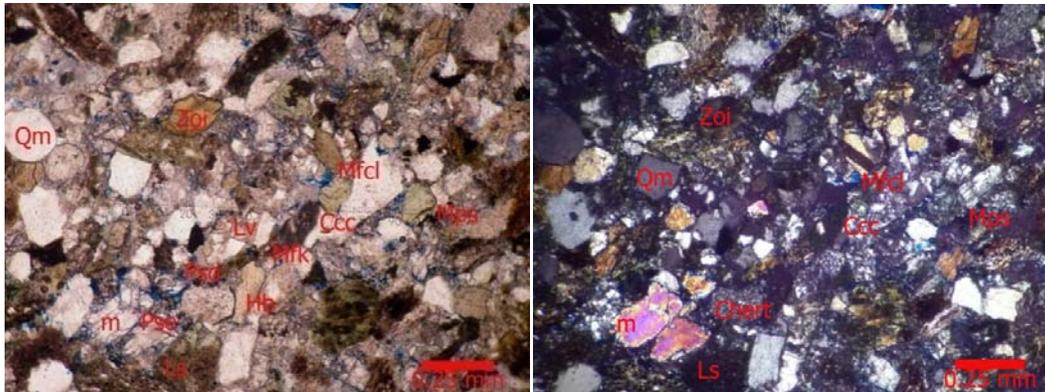


Figura 23. Litoarenita feldespática madura volcánica, donde se observa en luz polarizada plana (imagen izquierda) contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de cuarzo monocristalino (Qm) y liticos volcánicos (Lv), metasomatismo de feldespato por caolín (Mfcl), metasomatismo de plagioclasa por sericita (Mps), porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), porosidad estilolítica (Pse), clastos de lutitas subredondeadas (Ls), micas moscovita (m), y cristales de hornblenda (Hb) y zoisita (Zoi). En nicoles cruzados (imagen derecha) se muestran clastos de Chert además de algunos colores de interferencia asociado a las moscovitas, además de los mismos procesos que en la imagen izquierda, muestra 109.25.

9.1.3. Transformaciones de los componentes: son procesos relativamente menos importantes que los otros dos, en el segmento inferior se tienen los procesos de corrosión, disolución y neomorfismo.

9.1.3.1. Corrosión: se encuentra en algunos niveles del segmento inferior, corresponde predominantemente a corrosión de cuarzo, feldspatos y fragmentos liticos por cemento de óxidos de hierro y en menor proporción por matriz arcillosa.

La corrosión por cemento ferruginoso se presenta en algunos niveles en donde la corrosión de feldspatos alcanza hasta un 11%, el cuarzo se ve afectado por el óxido hasta un 6% y la corrosión de liticos hasta un 8%.

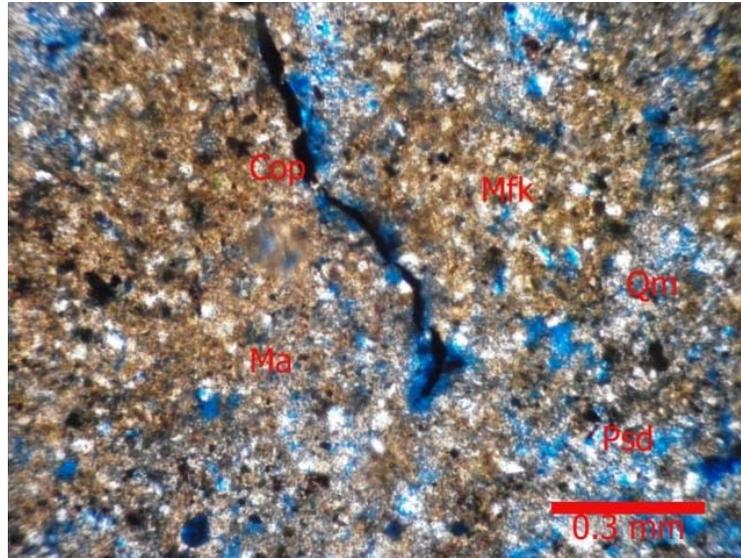


Figura 24. Lutita arenosa masiva, se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos y la matriz (Psd), cemento de óxidos de poros (Cop), matriz arcillosa (Ma), metasomatismo de feldespato por caolín (Mfk) y clastos aislados de cuarzo monocrystalino de tamaño arena muy fina (Qm), muestra 135.03 en luz polarizada plana.

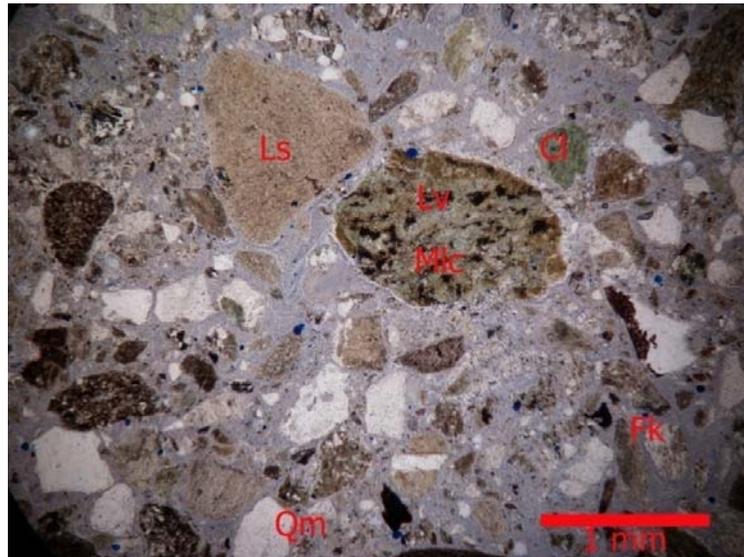


Figura 25: Litoarenita submadura friable; se observa metasomatismo de liticos volcánicos (Lv) por clorita (Mlc), clastos subredondeados de lutitas (Ls), cuarzo monocrystalino (Qm), clastos subangulares de feldspatos potásicos (Fk) y clorita. Fotografía en luz polarizada plana, muestra 137.46.

9.1.3.2. Disolución: está relacionada con la generación de porosidad secundaria, alcanza un máximo de 10% para algunos niveles del segmento inferior del pozo, afecta principalmente los clastos de feldspatos y liticos, y en menor proporción la matriz arcillosa. (Figuras 14, 19, 20, 24 y 26).

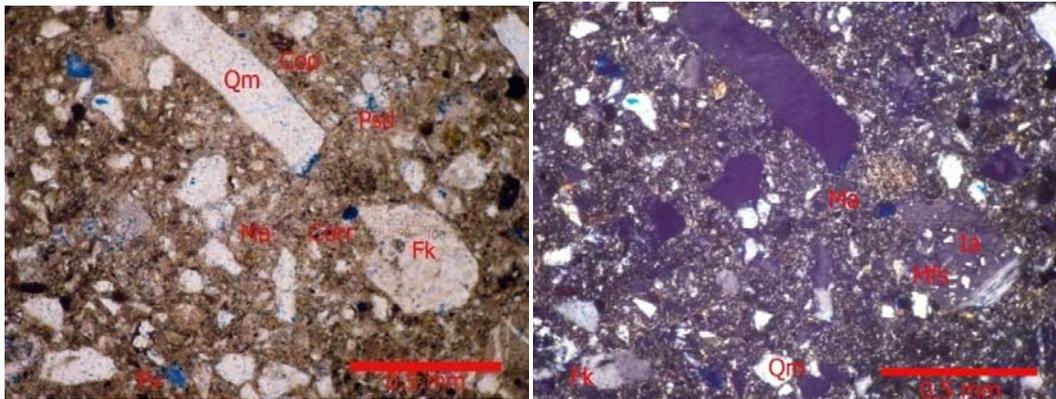


Figura 26. Arcosa lítica inmadura volcánica, se observa en luz polarizada plana (imagen izquierda) porosidad secundaria (Psd) por disolución de los clastos y la matriz arcillosa (Ma), porosidad vugular (Pv), corrosión (Corr) de feldespato por oxidos, cemento de oxido de poros (Cop), clastos angulares asilados de cuarzo monocristalino (Qm), en nicoles cruzados (imagen derecha) se observa metasomatismo de feldespato con macla de albita por sericita, inclusiones de apatito en feldespato (Ia), feldespato potásico con macla de Carlsbad (Fk), además de matriz arcillosa (Ma) y clastos de cuarzo monocristalino (Qm), muestra 153.47.

9.1.3.3. Neomorfismo: es un proceso que se encuentra asociado exclusivamente en los niveles conglomeraticos bien cementados (Figura 16), se observa neomorfismo agradante del cemento basal de carbonatos en una proporción del 20%, en menor medida se encuentra asociado con el metasomatismo de cuarzo y feldespatos por carbonatos. El neomorfismo degradante no se identifica en ningún nivel del segmento inferior.

9.1.4. Secuencia Paragénética y relación con las etapas diagenéticas.

La historia diagenética que se plantea para el segmento inferior del pozo se establece en términos relativos del tiempo, en donde los criterios seguidos en este segmento y en los otros segmentos son los propuestos por Fuchtbauer (1983), Burley et al. (1985) y Martin et al. (1994). La síntesis de la evolución diagenética para el segmento inferior del pozo estratigráfico se presenta en la Tabla 2.

Probablemente el primer proceso que se presentó fue la compactación la cual se puede plantear teniendo en cuenta la existencia de contactos cóncavo-convexos entre los clastos de cuarzo, feldespatos y líticos, así como la deformación mecánica de micas y fragmentos de esquistos; luego, con menor importancia se presenta la trituration de granos en una etapa de compactación más desarrollada. Estos procesos físicos se asocian con la diagenesis temprana o eogénesis, que indican el rápido enterramiento que

sufren los sedimentos, disminuyendo su volumen intergranular y reduciendo la porosidad primaria debido a la sobrecarga.

El metasomatismo por clorita también es un proceso temprano relacionado con la eogénesis; es un proceso muy importante que afecta principalmente los fragmentos líticos volcánicos en muchas muestras del segmento, también se presenta cloritización de micas pero con una importancia mucho menor. El metasomatismo de micas por óxidos de hierro también se evidencia en algunas muestras y está relacionado con la diagenesis de enterramiento en donde se produce la oxidación de minerales de hierro como biotitas.

La cementación es un proceso que se da en una etapa diagenética relativamente temprana pero posterior a la compactación, lo cual se puede deducir por el bajo volumen intergranular, el alto empaquetamiento y la gran cantidad de contactos cóncavo-convexos entre los clastos, esto sugiere que la compactación impidió una cementación significativa.

Los cementos se originan en varias generaciones, posiblemente están relacionados con la eogénesis pero también se pueden desarrollar en la diagenesis de enterramiento o mesogénesis hasta la telogénesis. La primera generación corresponde probablemente a la de los cementos de poros compuestos por sílice y óxidos de hierro (hematita) asociados con la porosidad primaria, posteriormente se desarrolla cemento clorítico pelicular que impide el desarrollo de los procesos de metasomatismo y corrosión por cementos carbonatados, lo que indica que el cemento clorítico se forma anterior o simultáneo al cemento carbonatado. Posterior a la formación de cementos se dan procesos de corrosión que afectan granos de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos por óxidos de hierro. la cual puede estar asociado con la diagenesis de enterramiento.

Los procesos neomórficos afectan principalmente a los cementos carbonatados y están relacionados con la diagenesis de enterramiento o mesogénesis, como se puede concluir al observar cristales desarrollados de esparita asociados con cemento carbonatado de poros (Figura 20). Posterior a los cementos se presenta el proceso de disolución relacionado con la telogénesis en donde los fluidos meteóricos interactúan con los diferentes componentes (clastos, matriz y cemento) llevando a la formación de porosidad secundaria.

Existen procesos de importancia menor que con la información obtenida no es posible ubicarlos en el tiempo. Uno de ellos es la caolinitización de feldespatos que pudo haberse desarrollado tanto en la diagenesis temprana o en la diagenesis tardía cuando las rocas son expuestas a superficie, de igual forma no se puede ubicar el metasomatismo de plagioclasas por sericita, ni tampoco la formación de cemento de poros ferruginoso, sin embargo, el cemento ferruginoso de pigmento posiblemente se origina posterior a los cementos de óxidos ya que tiñe tanto los clastos como la matriz en algunas rocas.

Paragénesis diagenética		
Procesos diagenéticos	Diagénesis temprana	Diagénesis tardía
Deformación mecánica de micas	██████████	
Contactos cóncavo-convexos	██████████	
Trituración de granos	-----	
Cemento silíceo de poros	-----	
Cemento ferruginoso de poros		??????
Cemento clorítico pelicular	-----	
Cemento carbonatado de poros	██████████	
Cemento ferruginoso de pigmento		██████████
Metasomatismo de micas por óxidos de hierro		-----
Metasomatismo de feldespatos por caolín	██████████	??????
Metasomatismo de litos volcánicos por clorita	██████████	
Metasomatismo de micas por clorita	██████████	
Metasomatismo de plagioclasa por sericita	██████████	??????
Porosidad de disolución		██████████
Corrosión de silicatos por óxidos de hierro		██████████
Neomorfismo agradante del cemento carbonatado		██████████

Muy Importante
 Importante
 Poco Importante

Tabla 2. Secuencia Paragenética establecida para el segmento inferior del pozo estratigráfico

Adicionalmente se establece la secuencia paragenética para la muestra 71.43 ubicada en la parte media del segmento inferior del pozo estratigráfico; debido a que la sección presenta procesos diagenéticos diferentes a las demás muestras del segmento se establece una paragénesis diagenética independiente (Tabla 3), en donde los criterios seguidos en esta muestra son los mismos que se proponen para el segmento inferior.

El primer proceso que se presentó fue la compactación, el cual es un proceso muy importante de la diagénesis temprana, este proceso se plantea teniendo en cuenta la gran cantidad de contactos cóncavo-convexos entre los clastos y la deformación mecánica de granos flexibles como micas y fragmentos de esquistos (Figura 16), Estos procesos de compactación mecánica al igual que el segmento inferior son procesos eogénicos e indican un rápido enterramiento de los sedimentos, en donde disminuye su volumen intergranular y se reduce la porosidad primaria. Posterior a la compactación se presenta metasomatismo de fragmentos litos volcánicos por clorita, el cual es un proceso muy importante y también está asociado con la diagénesis temprana ya que esta asociada a condiciones anóxicas, aunque también la cloritización puede estar asociada a condiciones telogénicas por levantamiento y exposición de las rocas, infortunadamente no se disponen de técnicas para determinar las condiciones reales del proceso de cloritización, así que se asume como desarrollado en la eogénesis.

Hay que tener en cuenta que a pesar de que la muestra presenta procesos de compactación, la cementación también es un proceso importante y se presenta en una etapa diagenética relativamente temprana pero posterior a la compactación. La cementación está relacionada con la porosidad primaria, principalmente se presentan como cementos carbonatados de poros y basal (Figura 16), en donde no es posible determinar cuál se formó primero por lo que se asumen simultáneos a partir de sus relaciones con otros productos diagenéticos.

Posterior a la cementación se presenta corrosión fragmentos líticos por carbonatos, el cual es un proceso muy importante y está relacionado con la mesogénesis, también se presenta metasomatismo de cuarzo, feldspatos por carbonatos de forma importante así como el metasomatismo de fragmentos líticos y chert por carbonatos. En esta muestra, los clastos presentan reemplazamientos por carbonatos de forma parcial hasta avanzada, (Figura 16).

Otro proceso mesogenético relacionado con los cementos carbonatados es el proceso de neomorfismo el cual es un proceso menos abundante pero importante, se presenta como neomorfismo agradante del cemento carbonatado, el cual es evidenciado por cristales de esparita de gran tamaño dentro del cemento con cristales más pequeños (micrita). El cemento de poros ferruginoso también se presenta en la muestra de forma importante, posiblemente se formó después del cemento carbonatado, aunque es difícil estimar su ubicación en el tiempo, (Figura 16).

Finalmente, en la diagenesis tardía o telogénesis se presentan los procesos de cementación por óxidos y disolución. Los cementos ferruginosos de pigmento se evidencian por clastos líticos teñidos de óxidos aunque este proceso es poco abundante es claro que los granos han sufrido una oxidación significativa debido a la exposición a la superficie de las rocas. Posterior a los cementos se presenta algo de disolución, afectando principalmente el cemento carbonatado, llevando a la formación de porosidad secundaria pero con una importancia muy baja, (Tabla 3).

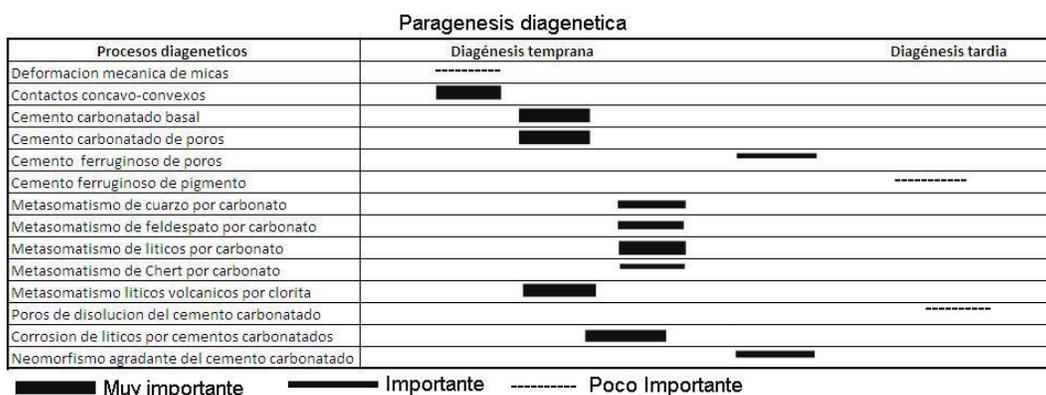


Tabla 3. Secuencia paragenética establecida para la muestra 71.43 del segmento inferior del pozo estratigráfico.

9.2. PARTE MEDIA

9.2.1. Transformaciones del espacio intersticial.

Para esta parte del pozo se presenta porosidad secundaria en mayor proporción y en menor proporción porosidad primaria, también se identifican los procesos de poronecrosis, compactación y cementación.

9.2.1.1. Porosidad: para este segmento medio del pozo la porosidad considerada es la mas baja de toda la columna estratigrafica, alcanzado valores hasta del 8% para algunas de las muestras llegando a estar ausente en otras (Figura 2), o su propoción es tan baja que no es determinable

La porosidad secundaria se encuentra en mayor proporción con la porosidad primaria, en donde predomina la porosidad vugular con porcentajes que alcanzan el 15% de la porosidad total, le siguen en abundancia porosidad interparticula con 7%, porosidad de fractura (4%) y de canal (2%). La porosidad primaria se calcula hasta en un 8% en algunas muestras y está asociada principalmente a porosidad intraparticula y en menor proporción intergranular.

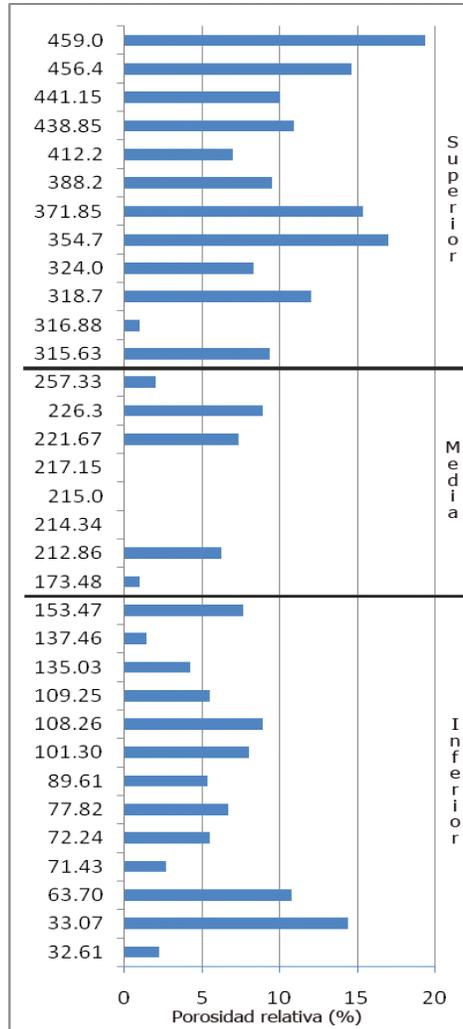


Figura 27. Columna que muestra porcentajes estimativos de la porosidad relativa para cada una de las muestras del pozo estratigráfico Chocó 1 ST-S, en donde los valores entre 0 y 10% corresponden a porosidad baja y los valores entre 10 y 20% a porosidad intermedia.

9.2.1.2. Poronecrosis: es el principal proceso destructor de la porosidad, en donde se identifica poronecrosis estructural asociada a la compactación y poronecrosis composicional relacionada con la precipitación de cementos en los espacios porosos, estos cementos se presentan en orden de abundancia en cemento carbonatado, cemento ferruginoso y menor medida cemento silíceo.

9.2.1.3. Compactación: en general la compactación ha sido relativamente alta, alcanzando valores hasta del 30% en algunas muestras del segmento medio, los efectos de la compactación son relativamente significativos ya que predominan los contactos

concavo-convexos entre los clastos, oscilando entre 30% y 60% del total de los contactos; siguen en importancia los contactos largos con 15%, los contactos puntuales con valores que no superan el 10%, y los contactos flotantes que no superan el 5%, (Figuras 28, 29, 32 y 33) También asociados a la compactación se presenta en orden de importancia deformación mecánica hasta en un 8% de los clastos de micas y fragmentos líticos de esquisto (Figuras 28, 29, y 32) y la trituración de granos hasta en un 5% de los granos de lutitas. (Figura 28).

9.2.2. Neoformaciones minerales.

Son los procesos más importantes, incluyen cementación y metasomatismo.

9.2.2.1. Cementos: estructuralmente existen diferentes tipos de cemento, predominan los cementos de poros y los cementos basales, en menor proporción se presentan los cementos de pigmento y los cementos peliculares.

9.2.2.1.1. Cemento de poros: es el cemento más abundante, corresponde principalmente a cemento carbonatado, siguen en abundancia los cementos ferruginosos y en una proporción muy baja los cementos silíceos. Los cementos carbonatados están presentes en algunos niveles del segmento medio, (Figura 28), su porcentaje alcanza un máximo del 25% y está relacionado con la porosidad primaria. Están compuestos principalmente por esparita y en menor medida por micrita, en ocasiones se observa neomorfismo agradante. Los cementos de poros ferruginosos se dan hasta en un 15% de los cementos y está asociado a hematita amorfa (Figuras 32 y 33); los cementos silíceos se presentan en muy bajo porcentaje hasta un 2% en algunos niveles.

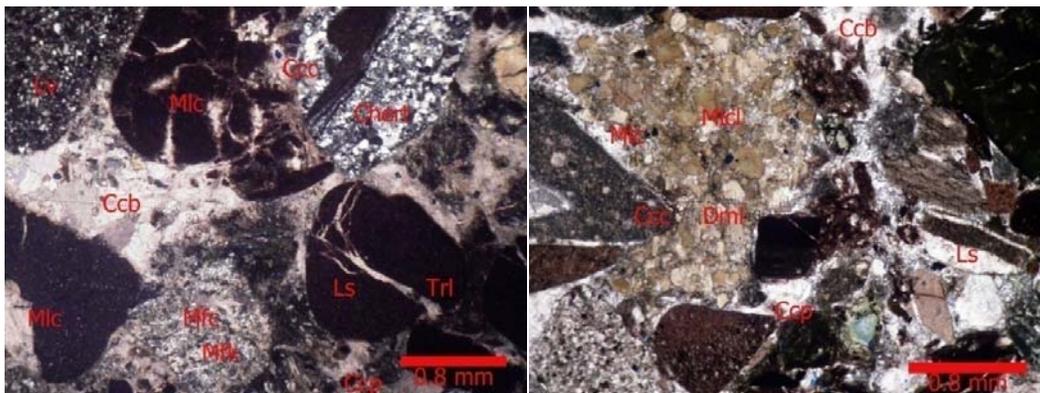


Figura 28. Ortoconglomerado de clastos sedimentarios, se observa en nicoles cruzados (imagen izquierda) cemento carbonatado basal (Ccb), cemento carbonatado de poros (Ccp), metasomatismo de fragmentos líticos por carbonato (Mlc), metasomatismo de feldespato por carbonato (Mfc), metasomatismo de

feldespato por caolín (Mfk), contactos cóncavo-convexos (Ccc), entre los clastos de lutita (Ls) y Chert, trituración (Trl) de lutitas (Ls). En luz polarizada plana (imagen derecha) se aprecia deformación mecánica de líticos (Dml), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre fragmentos líticos, metasomatismo de líticos plutónicos por carbonato (Mlc), metasomatismo de líticos plutónicos por clorita, cemento carbonato basal (Ccb), cemento carbonato de poros (Ccp) y líticos sedimentarios con venas de cuarzo (Ls), muestra 173.48.

9.2.2.1.2. Cemento basal: es un tipo de cemento que se encuentra de manera relativamente alta, se presenta en algunos niveles del segmento medio, alcanza valores altos, cercanos al 30%, corresponde a cementos carbonatados que varían texturalmente. Predomina el cemento esparítico, pero también puede estar relacionado con neoformismo agradante. Texturalmente se presenta isopaco y poikilitico. (Figura 28).

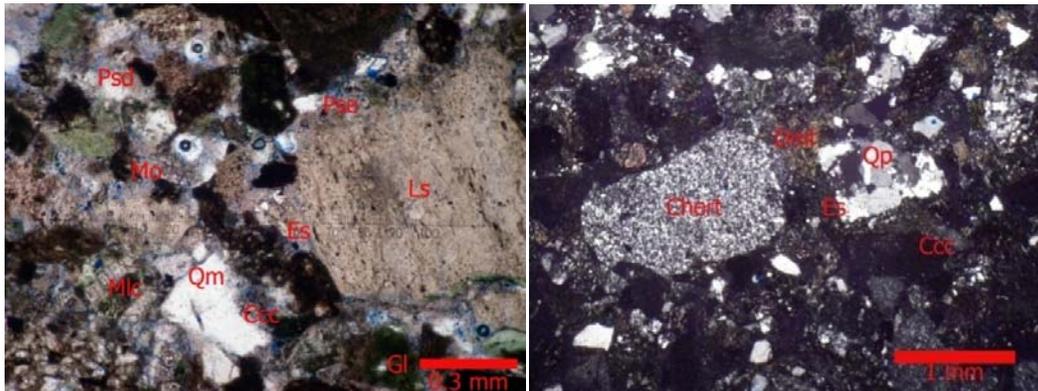


Figura 29. Litoarenita submadura, en la imagen izquierda en luz polarizada plana se aprecia porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd) y porosidad secundaria estilolítica (Pse), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls) y cuarzo monocristalino (Qm), estilolitos (Es), metasomatismo de líticos volcánicos por clorita (Mlc) y clastos de moscovita (Mo). En la imagen derecha en nicoles cruzados se observa la misma Litoarenita submadura en donde se muestra deformación mecánica de líticos (Dml), contactos cóncavo-convexos (Ccc), estilolitos (Es), clastos subangulares de cuarzo policristalino (Qp) y clastos subredondeados de Chert, muestra 212.86.

9.2.2.1.3. Cemento ferruginoso de pigmento: es un cemento que se presenta en algunos niveles del segmento medio, se encuentra recubriendo clastos, matriz y cemento. Alcanza un máximo del 15% y también está relacionado con óxidos de hierro, (Figuras 32 y 33).

9.2.2.1.4. Cemento pelicular: se presentan en algunos niveles del segmento medio en porcentajes muy bajos, hasta un 6%, están compuestos por clorita, silice y óxidos de hierro.

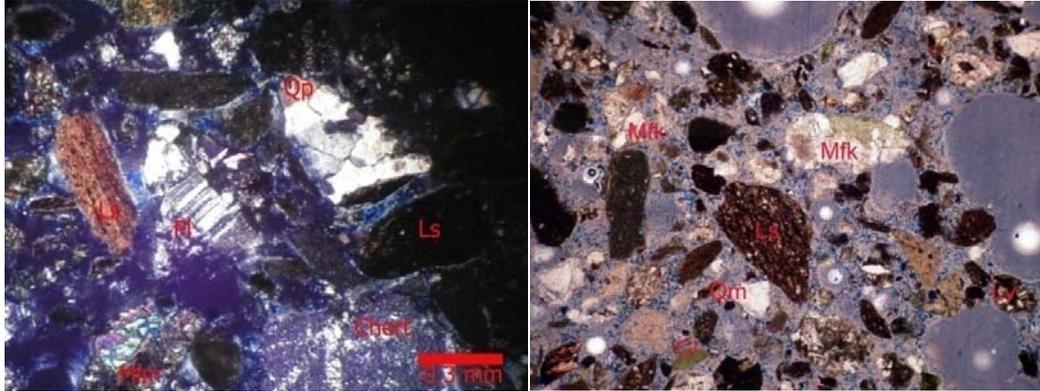


Figura 30. Litoarenita submadura friable, en la figura izquierda en nicoles cruzados se puede observar clastos de plagioclasas con macla de albita, clastos subredondeados de lutitas (Ls), posiblemente metasomatismo de líticos volcánicos por moscovita (Mlm), clastos subangulares de cuarzo policristalino (Qp) y Chert. En la figura derecha en luz polarizada plana se observan los clastos flotantes de fragmentos líticos de lutitas (Ls), líticos volcánicos (Lv), metasomatismo de feldespato por caolín (Mfk), y clastos subangulares de clorita (Cl) y cuarzo monocristalino (Qm), muestra 214.84.

9.2.2.2. Metasomatismo diagenético. Es uno de los principales procesos diagenéticos, se encuentra en algunos niveles del segmento medio del pozo estratigráfico en diversos grados de alteración desde metasomatismo avanzado, parcial o mínimo. Los metasomatismos son de fragmentos líticos, cuarzo y feldespatos por carbonatos y en menor medida de líticos volcánicos por clorita, feldespatos por caolín, plagioclasas por sericita y líticos de lutitas por óxidos de hierro.

9.2.2.2.1. Metasomatismo de cuarzo por carbonatos: es un proceso extendido que se presentan en algunos niveles del segmento como en la muestra 173. 35 (Figura 28). Este reemplazamiento tiene una proporción relativamente alta, alcanzando hasta un 16%. Se presenta afectando predominantemente al cuarzo monocristalino y en menor proporción cuarzo policristalino.

9.2.2.2. Metasomatismo de feldespatos por carbonatos: es un proceso que tiene una importancia relativa. Se presenta en algunos niveles de la parte media del pozo, afectando mayoritariamente feldespatos alcalinos y menor proporción plagioclasas.

El reemplazamiento de feldespatos por carbonatos se observa en las muestras 173.41; la proporción en que se encuentra es baja, afectando a lo sumo de 6% del total de los granos de feldespatos a nivel medio del pozo. Los feldespatos alcalinos corresponden a Microclina y Sanidina principalmente (Figura 28).

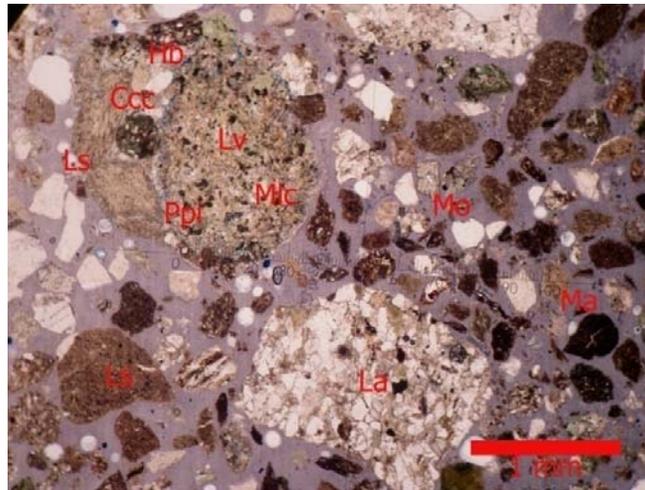


Figura 31. Conglomerado polimictico, aunque los clastos se presentan disgregados se puede diferenciar contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de liticos volcánicos (Lv) y lutitas (Ls), porosidad primaria interparticula (Ppi), metasomatismo de liticos volcánicos por clorita (Mlc), clastos subredondeados de arenitas (La), y granos de hornblenda (Hb) y micas moscovita (Mo) en la matriz arenosa. Imagen en luz polarizada plana, muestra 215.

9.2.2.2.3. Metasomatismo de fragmentos liticos por carbonatos: es un proceso poco abundante ya que se observa solo en la muestra 173.48 afectando principalmente los clastos de lutitas hasta un 35%, los clastos volcánicos están reemplazados hasta un 25%, en menor medida se tiene metasomatismo de chert por carbonatos hasta un 7%, liticos metamórficos (esquistos) hasta 6%, liticos plutónicos como dioritas hasta un 5%, el grado de metasomatismo es avanzado hasta parcial en los fragmentos liticos (Figura 28).

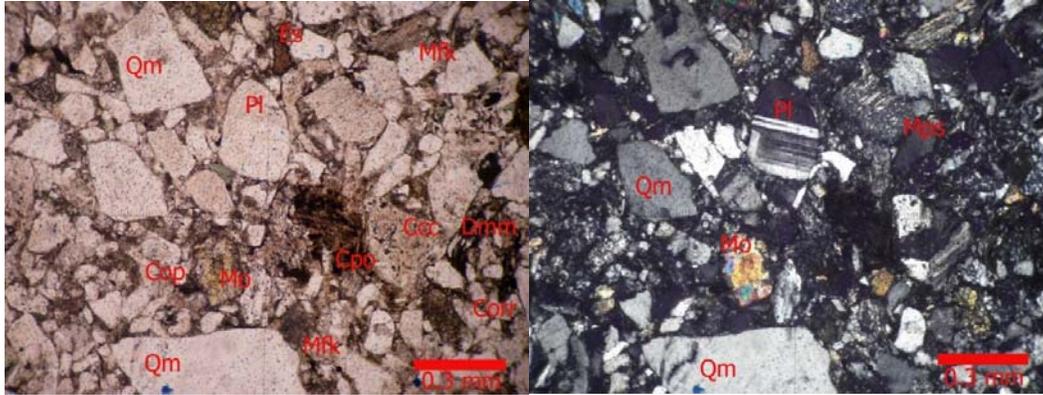


Figura 32. Arcosa submadura masiva; en luz polarizada plana nicoles planos (imagen izquierda) se observa contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de cuarzo monocristalino (Qm) y plagioclasas (Pl), deformación mecánica de mica moscovita (Dmm), cemento de pigmento de óxidos (Cpo), cementos de poros de óxidos (Cop), metasomatismo de feldespato potásico por kaolín (Mfk), clastos subangulares de moscovita (Mo) y esfena (Es). En la fotografía derecha se observa la misma imagen en nicoles cruzados donde se observa macla de albita en clasto redondeado de plagioclase (Pl), granos subangulares de cuarzo monocristalino (Qm), metasomatismo de plagioclase por sericita (Mps), y granos subangulares de moscovita (Mo), muestra 217.15.

9.2.2.4. Otros tipos de metasomatismo: en menor importancia relativa se identifican otros tipos de metasomatismo, dentro de estos procesos se idéntica en orden de abundancia, caolinitización de feldespatos que llega hasta un 15%, cloritización de líticos volcánicos básicos hasta un 14%, le sigue el metasomatismo de plagioclasas por sericita hasta un 10%, y en menor proporción oxidación de líticos sedimentarios y micas biotitas hasta un 6%. (Figuras 28, 29, 30, 31, 32, 34 y 35)

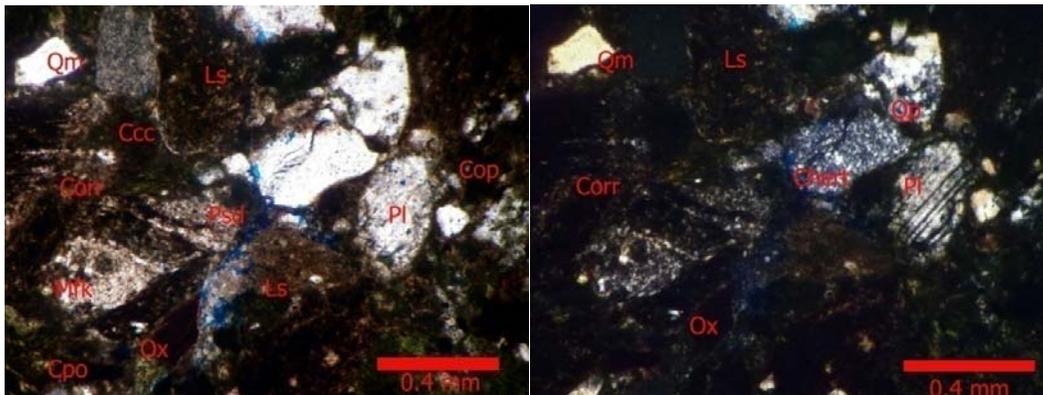


Figura 33. Litoarenita feldespática inmadura, en la fotografía izquierda (luz polarizada plana) se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls), cemento de poros de óxidos (Cop), cemento de pigmento de óxidos (Cpo), metasomatismo

de feldespato por caolín (Mfk), corrosión de lutitas por cemento de oxido (Corr), clastos redondeados de plagioclasa (Pl), subangulares de cuarzo monocristalino (Qm), fragmentos subredondeados de lutitas (Ls). En la imagen derecha en nicoles cruzados se muestran clastos subredondeados de Chert, cuarzo policristalino (Qp), cuarzo monocristalino (Qm), plagioclasa con macla de albita (Pl), fragmentos líticos de lutitas (Ls), y óxidos (Ox), muestra 221.67.

9.2.3. Transformaciones de los componentes: son procesos de importancia relativa. Se identifica corrosión, neoformismo y disolución.

9.2.3.1. Corrosión: es un proceso de poca abundancia, se presenta de dos formas que son corrosión del cemento de óxidos que afecta principalmente los líticos, feldespatos y cuarzo hasta en un 7%, y en menor proporción corrosión de cuarzo y feldespatos por matriz arcillosa hasta un 2%, (Figura 33 y 34).

9.2.3.2. Disolución: esta asociada con la producción de porosidad secundaria, afecta principalmente la matriz hasta en un 12%, también se presenta disolución de los clastos hasta un 9% y disolución del cemento carbonatado hasta un 3%, (Figuras 29 y 35).

9.2.3.3. Neomorfismo: es un proceso de abundancia menor, se presenta solo en algunos niveles a la base del segmento medio del pozo estratigráfico. Se identifica principalmente neoformismo agradante y está asociado con el cemento carbonatado basal y cemento carbonatado de poros, afectando hasta un 16% del cemento, (Figura 28).

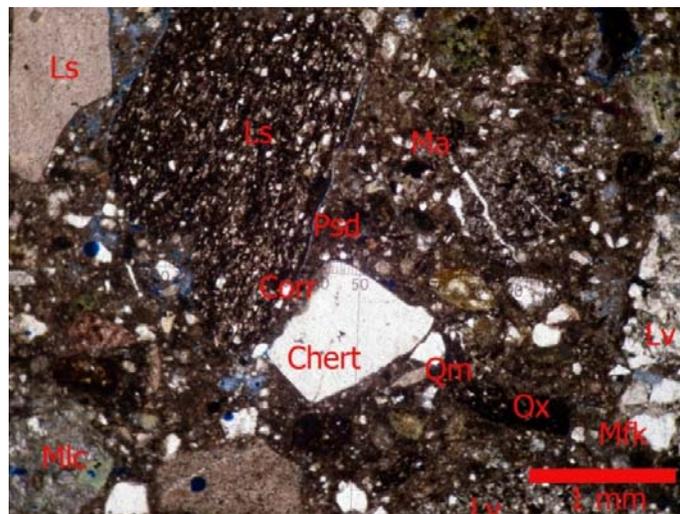


Figura 34. Paraconglomerado de clastos sedimentarios, se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), metasomatismo de feldespato por caolín (Mfk), metasomatismo (Mlc) de liticos volcánicos (Lv) por clorita, corrosión (Corr) de lutita por óxidos, metasomatismo de liticos por óxidos (Ox), también se observan clastos angulares de cuarzo monocristalino (Qm), liticos volcánicos subangulares (Lv), clastos de lutitas (Ls) y matriz arcillosa (Ma). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 226.63.

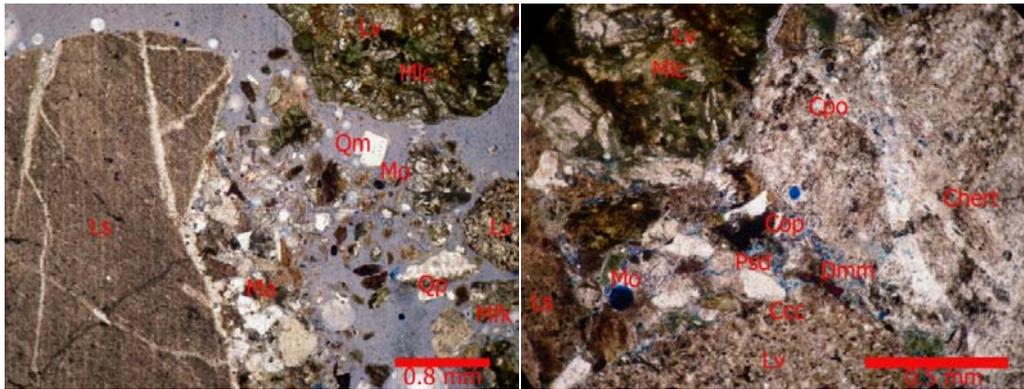


Figura 35. Conglomerado de clastos sedimentarios friable “Ortoconglomerado”, en la imagen izquierda se observa fragmentos de lutitas angulares (Ls), en contacto con matriz arenosa (Ma), liticos volcánicos subredondeados (Lv) sufriendo metasomatismo por clorita (Mlc), metasomatismo de feldespatos por kaolín (Mfk), y granos angulares aislados de cuarzo monocristalino (Qm), cuarzo policristalino (Qp). En la imagen derecha se evidencia porosidad secundaria por disolución de la matriz arenosa (Psd), deformación mecánica de mica biotita (Dmm), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de liticos volcánicos (Lv) y cuarzo, cemento de poros de óxidos (Cop), cemento de pigmento de óxidos (Cpo) en Chert, metasomatismo de liticos volcánicos por clorita, liticos sedimentarios (Ls) y granos moscovita (Mo). Fotografías en luz polarizada plana, muestra 257.33.

9.2.4. Secuencia Paragénética y relacion con las etapas diageneticas.

La historia diagenética que se plantea para este segmento del pozo estratigráfico al igual que en el segmento inferior se establece en términos relativos del tiempo (Tabla 4), en donde los criterios seguidos son los propuestos por Fuchtbauer (1983), Burley et al. (1985) y Martin et al. (1994). La síntesis de la evolución diagenética se presenta en la Tabla 4.

Inicialmente, así como en el segmento inferior el primer proceso que se presentó fue la compactación, la cual se puede establecer teniendo en cuenta la existencia de contactos

cóncavo-convexos entre los clastos de cuarzo, feldespatos y líticos, posteriormente se presenta la deformación mecánica de micas y fragmentos de esquistos; Estos procesos de compactación se asocian con la eogénesis, lo que indica que los sedimentos fueron enterrados rápidamente, disminuyendo su volumen intergranular y reduciendo la porosidad primaria debido a la sobrecarga.

Seguidamente se presenta metasomatismo por clorita, es un proceso muy importante que afecta principalmente los fragmentos líticos volcánicos en muchas muestras del segmento medio, también se presenta cloritización de micas pero con una importancia mucho menor. Este metasomatismo tal vez este relacionado a condiciones anoxicas asociadas con la eogénesis o también puede estar relacionado con la telogénesis cuando las rocas son expuestas a superficie; El metasomatismo de micas por óxidos de hierro también se evidencia en algunas muestras pero es un proceso poco importante y está relacionado con la diagénesis de enterramiento en donde se produce la oxidación de minerales de hierro como micas biotitas y algunos fragmentos líticos.

En la diagénesis temprana también se forman cementos, principalmente cemento silíceo de poros pero con poca importancia, los cuales se originan posterior a la compactación también se desarrollan cementos ferruginosos en varias generaciones, posiblemente relacionados con la eogénesis pero también se pueden desarrollar en la mesogénesis o hasta en la telogénesis, como el cemento ferruginoso pelicular el cual es poco abundante, mientras que el cemento ferruginoso de pigmento es más abundante y posiblemente se desarrolla en la diagénesis tardía.

Posterior a la formación de cementos se dan los procesos de corrosión que afectan los clastos de silicatos y fragmentos líticos. La corrosión posiblemente se asocia con la diagénesis de levantamiento y exposición o telogénesis, la cual se presenta principalmente como corrosión de cuarzo, feldespatos y líticos sedimentarios por óxidos de hierro de forma importante. A continuación de la corrosión se presenta el proceso de disolución, el cual también está relacionado con la diagénesis tardía o telogénesis en donde los fluidos meteóricos interactúan con los diferentes componentes (clastos, matriz y cemento) llevando a la formación de porosidad secundaria.

Existen procesos de gran importancia pero con la información obtenida no es posible ubicarlos en el tiempo, como por ejemplo la caolinitización de feldespatos, la cual pudo haberse desarrollado tanto en la diagénesis temprana como en la diagénesis tardía cuando las rocas son expuestas a superficie, de igual forma no se puede ubicar metasomatismo de plagioclasas por sericita, ni tampoco la formación de cementos ferruginosos de poros y basal, sin embargo, el cemento ferruginoso de pigmento posiblemente se origina posterior a los cementos de óxidos ya que tiñe tanto los clastos como la matriz en algunas rocas, (Tabla 4).

Paragénesis diagenética

Procesos diagenéticos	Diagénesis temprana	Diagénesis tardía
Deformación mecánica de micas	=====	
Contactos cóncavo-convexos	████████	
Cemento silíceo de poros	-----	
Cemento ferruginoso de poros	??????	
Cemento ferruginoso basal	??????	
Cemento ferruginoso pelicular	-----	
Cemento ferruginoso de pigmento		████████
Metasomatismo de micas por óxidos de hierro		-----
Metasomatismo de feldespato por caolín	??????	
Metasomatismo de liticos volcánicos por clorita	████████	
Metasomatismo de micas por clorita	████████	
Metasomatismo de plagioclasa por sericita	??????	
Corrosión de silicatos por óxidos de hierro		=====
Corrosión de liticos por óxidos de hierro		=====
Porosidad de disolución		=====

████████ Muy Importante █████████ Importante ----- Poco Importante

Tabla 4. Secuencia paragenética establecida para el segmento medio del pozo estratigráfico.

Adicionalmente se establece la secuencia paragenética para la muestra 171.48 ubicada en la parte inferior del segmento medio del pozo estratigráfico; debido a que la sección presenta procesos diagenéticos diferentes a las demás muestras del segmento se establece una paragénesis diagenética independiente (Tabla 5), en donde los criterios seguidos en esta muestra son los mismos que se proponen para la muestra 71.43.

Al igual que en las anteriores secuencias paragenéticas el primer proceso que se presentó fue la compactación, el cual es un proceso muy importante de la diagenesis temprana, este proceso se plantea teniendo en cuenta la gran cantidad de contactos cóncavo-convexos entre los clastos y la deformación mecánica de granos flexibles como micas y fragmentos liticos (Figura 28); en una etapa de compactación más desarrollada se produce la trituración de granos aunque tiene muy poca importancia. Estos procesos de compactación mecánica al igual que el segmento inferior son procesos eogenéticos e indican un rápido enterramiento de los sedimentos, en donde disminuye su volumen intergranular y se reduce la porosidad primaria. También se presenta metasomatismo de fragmentos liticos volcánicos por clorita, el cual es un proceso muy importante y también está asociado con la diagenesis temprana; la cloritización de micas también se presenta pero con una abundancia muy baja.

Seguidamente y de gran importancia se formaron los cementos carbonatados basales y de poros, que como se dijo anteriormente no es posible saber cual se formó primero, aunque es claro que se formaron en una etapa diagenética temprana ya que están relacionados con la porosidad primaria, (Figura 28).

Posterior a la cementación se presenta metasomatismo de fragmentos liticos y cuarzo por carbonatos, los cuales son procesos muy importantes y están relacionados con la diagenesis de enterramiento, también se presenta metasomatismo de feldespatos y chert por carbonatos de forma menos importante. Al igual que en la muestra 71.43 los clastos

presentan reemplazamientos por carbonatos de forma parcial hasta avanzada, (Figura 28). Después de la formación de cementos carbonatados se presenta corrosión de cuarzo, feldspatos y fragmentos líticos por carbonatos, los cuales son procesos de gran importancia y posiblemente están relacionados con la mesogénesis hasta la telogénesis.

Otros cementos también se presentan en la sección 173.48, que son los cementos ferruginosos de poros y de pigmento, aunque tienen muy poca importancia. El primero tal vez se desarrolla en la diagenesis temprana aunque también se puede originar en la diagenesis de enterramiento mientras que el segundo es claro que se forma posterior al cemento ferruginoso de poros debido a la oxidación que se produce por la exposición a la superficie de las rocas.

Finalmente, en la diagenesis tardía o telogénesis se presenta neomorfismo agradante del cemento carbonatado el cual es evidenciado por la existencia de cristales de esparita dentro del cemento carbonatado basal y de poros, (Figura 28).

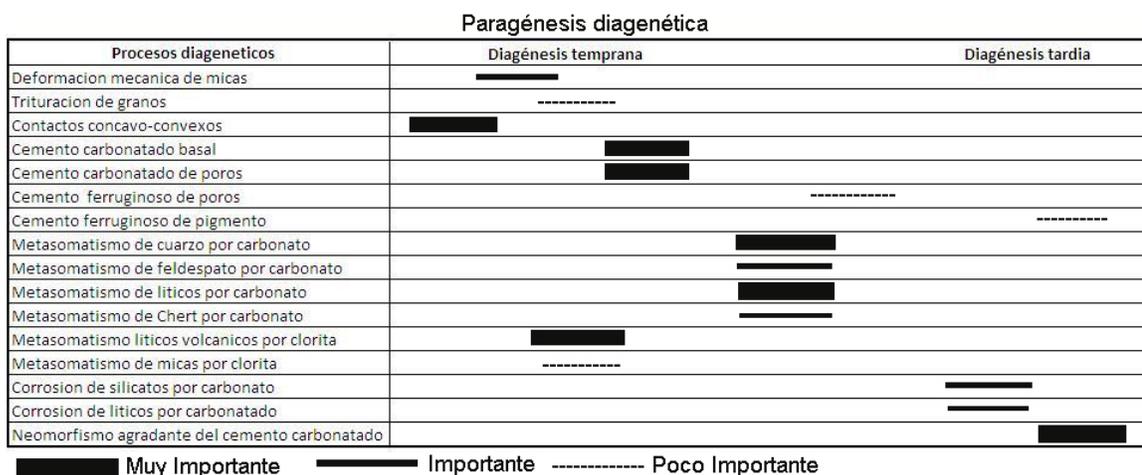


Tabla 5. Secuencia paragenética establecida para la muestra 173.48 del segmento medio del pozo estratigráfico

9.3. PARTE SUPERIOR

9.3.1. Transformaciones del espacio intersticial: la porosidad general es baja debido a la poronecrosis estructural y compocional que han sufrido los sedimentos para esta parte del pozo.

9.3.1.1. Porosidad: este segmento superior presenta los valores mas altos de porosidad con respecto a los otros segmentos del pozo estratigrafico, aunque los valores siguen siendo bajos hasta intermedios, y oscilan a traves del segmento entre 7% y 18% (Figura 27). La porosidad dominante es la porosidad secundaria y en menor proporcion se presenta porosidad primaria.

La porosidad primaria alcanza hasta un 13% en algunas muestras, se presenta principalmente como porosidad interparticula y en menor medida como porosidad intraparticula. La porosidad secundaria se presenta hasta en 20% y se presenta principalmente como porosidad de tipo vugular, le sigue en abundancia porosidad de fractura, porosidad intercrystalina y porosidad de canal. (Figuras 36, 37, 38, 40, 41, 42, 44 y 47).

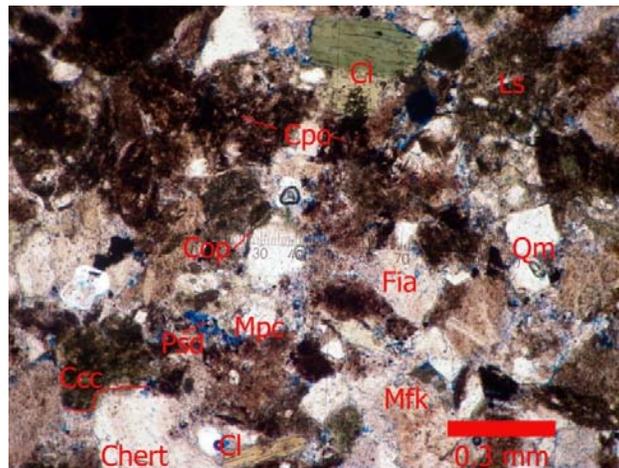


Figura 36. Arcosa lítica submadura, se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo convexos-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls) y Chert, cemento de poros de óxidos (Cop), cemento de pigmento de óxidos (Cpo), metasomatismo de feldespato por kaolín (Mfk), granos de feldespato con inclusiones apatito (Fia), y clastos angulares de cuarzo monocristalino (Qm) y cloritas (Cl). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 315.63

9.3.1.2. Poronecrosis: se presenta poronecrosis estructural y en menor medida pero de gran importancia poronecrosis compocisional, esta ultima se manifiesta a partir de cementos precipitados de tipo carbonatado, cemento de zeolitas y ferruginoso.

9.3.1.3. Compactación: se manifiesta principalmente por los tipos de contacto entre los clastos, tambien por la deformacion macanica de micas y fragmentos liticos de esquistos, ademas de la trituracion de granos y algunas estructuras de presion disolucion (estilolitos).

En general los tipos de contacto son principalmente contactos cóncavo-convexos, aproximadamente en un 70% en algunas muestras, le siguen en abundancia los contactos largos hasta en unos 45%, contactos puntuales hasta en 15% y contactos flotantes hasta en un 10% en algunas muestras del segmento superior, (Figuras 36, 37, 40, 41, 42, 43, 44 y 47)

La deformación mecánica se presenta en menor proporción, afectando principalmente micas biotita y moscovita y en menor proporción fragmentos liticos de esquistos (Figuras 42, 44, 45). La trituración de granos se presenta en clastos de micas y feldespatos en muy baja proporción, y los estilolitos se evidencian hasta en un 0.5% de los procesos de compactación, (Figura 45)

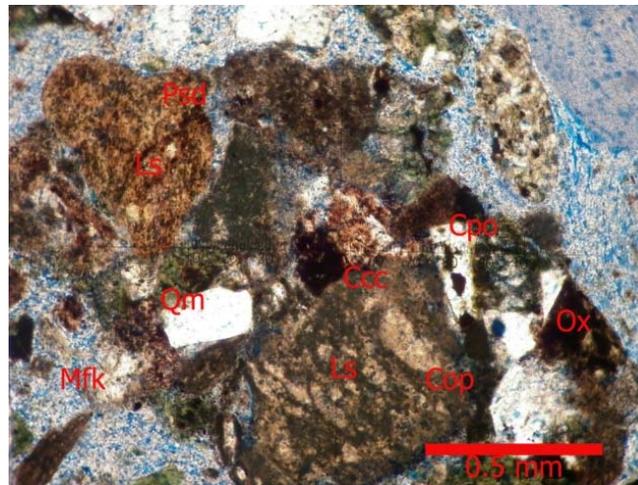


Figura 37. Litoarenita feldespática submadura friable, se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls), cemento de poros de óxidos (Cop), cemento de pigmento de óxidos (Cpo), metasomatismo de feldespato por kaolín (Mfk), clastos angulares de cuarzo monocristalino (Qm) y metasomatismo de lutitas por óxidos (Ox). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 316.88.

9.3.2. Neoformaciones minerales: son procesos que aun siguen siendo importantes, se presenta tanto procesos de cementacion como de metasomatismo diagenetico.

9.3.2.1. Cementos: estructuralmente se diferencian los cementos de poros y los cementos basales predominantemente, en menor proporcion se presentan los cementos de pigmento y los cementos peliculares.

9.3.2.1.1. Cemento de poros: es el cemento mas abundante, corresponde principalmente a cemento carbonatado, siguen en abundancia los cementos zeoliticos y en una proporción menor los cementos ferruginosos. Los cementos carbonatados están presentes en los niveles mas altos del segmento superior, (Figura 43), su porcentaje alcanza un máximo del 30% y está relacionado con la porosidad primaria; están compuestos principalmente por cristales de esparita y en menor abundancia por micrita, en ocasiones se observa neomorfismo agradable. Los cementos de poros zeoliticos tambien se presentan en los niveles mas superficiales del pozo, alcanzan hasta un 25% y se componen de pequeños cristales con forma tabulares y rombicas de zeolitas (Figuras 45 y 47). Los cementos de poros ferruginoso dan hasta en un 15% de los cementos y está asociado a hematita amorfa. (Figuras 36, 37, 38, 40, 41, 42 y 43).

9.3.2.1.2. Cemento basal: este tipo de cemento que se encuentra de manera relativamente alta, se presenta cemento carbonatado basal en la muestra 412.2 en donde alcanza valores hasta del 20%, corresponde principalmente a cementos carbonatados que varian texturalmente, predomina el cemento esparitico, pero tambien puede estar relacionado con neomorfismo agradable (Figura 43), texturalmente se presenta isopaco y poikilitico. Tambien se presenta cemento de oxidos basal en porcentajes hasta del 8%, y esta asociado a rocas volcanoclasticas (Figura 38).

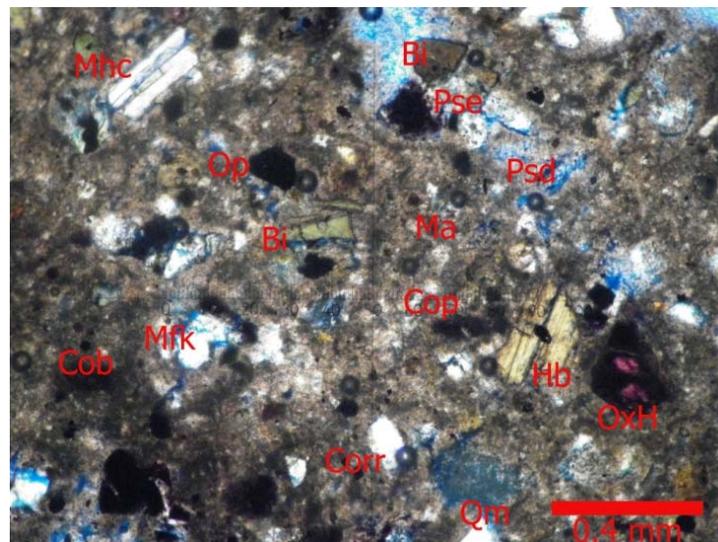


Figura 38. Lutita arenosa volcánica; se observa porosidad secundaria por disolución (Psd) de los clastos y la matriz arcillosa (Ma), porosidad secundaría estilolítica (Pse), cemento basal de óxidos (Cob), cemento de poros de óxidos (Cop), metasomatismo de feldespato potásico por kaolín (Mfk), metasomatismo de hornblenda por clorita (Mhc), corrosión de cuarzo por óxidos (Corr), también se observa clastos angulares de cuarzo monocristalino (Qm), cristales de hornblenda (Hb), oxihornblenda (OxH), micas biotita (Bi) y minerales opacos (Op). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 318.7.

9.3.2.1.3. Cemento ferruginoso de pigmento: es un cemento que se presenta en algunos niveles del segmento superior, se encuentra recubriendo clastos, matriz y cemento. Alcanza un máximo del 20% y también está relacionado con óxidos de hierro o hematita amorfa, (Figuras 37 y 42).

9.3.2.1.4. Cemento pelicular: se presentan en algunos niveles del segmento superior, alcanza hasta un 3%, están compuestos por clorita, zeolitas y óxidos de hierro, (Figura 47).

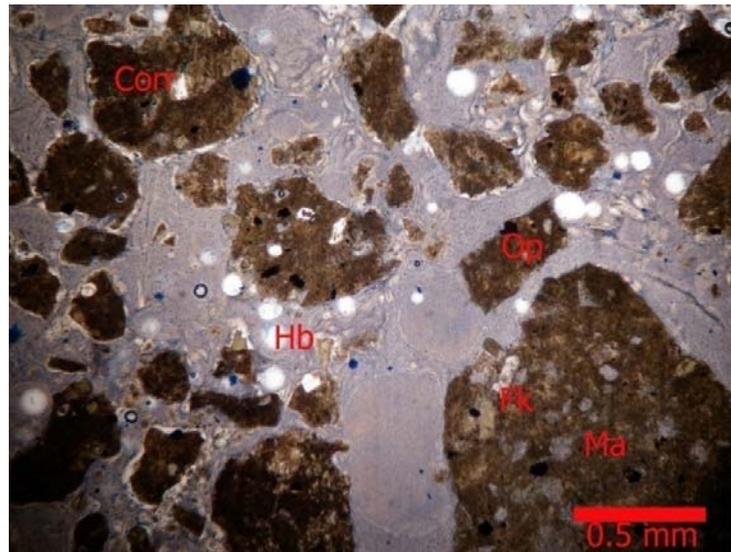


Figura 39: Lutita volcánica, se observa corrosión (Corr) de cuarzo por matriz arcillosa (Ma), cristales de hornblenda (Hb) y clastos de minerales opacos (Op). Muestra 324, fotografía en luz polarizada plana.

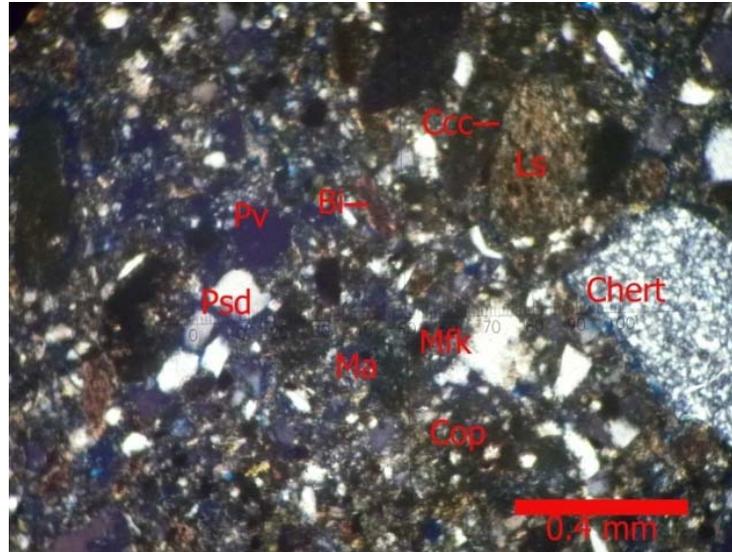


Figura 40. Arcosa lítica inmadura, se aprecia porosidad secundaria por disolución de los clastos y la matriz (Psd), porosidad de tipo vugular (Pv), contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls), cemento de poros de óxidos (Cop), metasomatismo de feldespato por kaolín (Mfk), matriz arcillosa (Ma), granos angulares de biotita (Bi), y clastos subangulares de Chert. Fotografía en nicoles cruzados, muestra 354.7.

9.3.2.2. Metasomatismo diagenético. son procesos de mucha importancia, se encuentran en todos los niveles del segmento superior del pozo estratigráfico en diversos grados de alteración desde metasomatismo avanzado, pasando por parcial hasta mínimo. Los metasomatismos son principalmente de fragmentos líticos, cuarzo, feldespatos y otros minerales por carbonatos y en menor medida alteración de feldespatos por caolín, líticos volcánicos por clorita, plagioclasas por sericita, y en menor proporción fragmentos líticos y micas por óxidos de hierro.

9.3.2.2.1. Metasomatismo de cuarzo por carbonatos: es un proceso poco extendido que se presenta en algunos niveles del segmento como en la muestra 412.82 (Figura 43). El reemplazamiento es parcial y tiene una proporción intermedia, alcanzando hasta un 15% de los granos de cuarzo. Se presenta afectando predominantemente al cuarzo monocristalino y en menor proporción cuarzo policristalino.

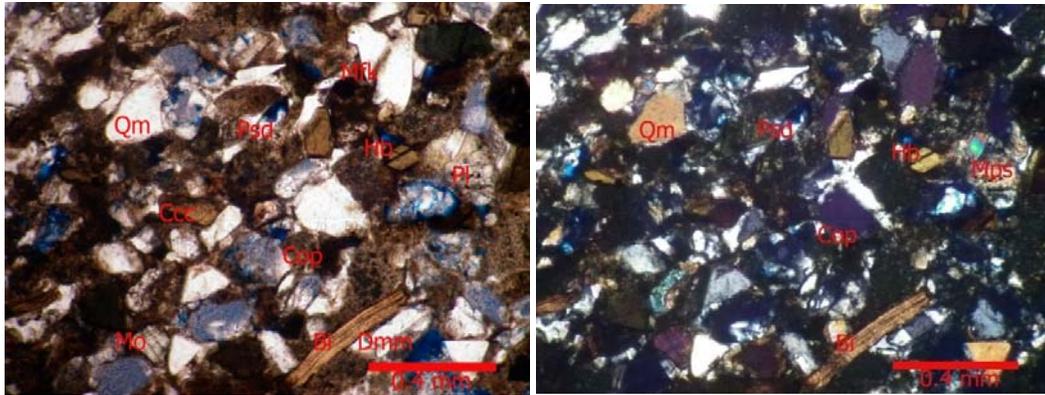


Figura 41. Arenita (Arcosa) volcánica, en luz polarizada plana (imagen izquierda) se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), contactos cóncavo-convexos (Ccc), deformación mecánica de micas (Dmm), cemento de poros de óxidos (Cop), metasomatismo de feldespato potásico por kaolín (Mfk), clastos subangulares de cuarzo monocristalino (Qm), granos subredondeados de plagioclasa (Pl), cristales de micas biotita (Bi) y moscovita (Mo), y cristales de anfíboles subhedrales y euhedrales (Hb). En nicoles cruzados (imagen derecha) se observa metasomatismo avanzado de plagioclasa por sericita (Mps), además de algunos componentes y procesos de la imagen izquierda, muestra 371.85.

9.3.2.2.2. Metasomatismo de feldespatos por carbonatos: este proceso se presenta en algunos niveles de la parte superior del pozo, afectando mayoritariamente feldespatos alcalinos y menor proporción plagioclasas; el reemplazamiento de feldespatos se observa en las muestras 412.81, la proporción que se encuentra es baja, afectando a lo sumo de 12% del total de los granos de feldespatos, el mineral reemplazante es esparita y en menor media micrita. Los feldespatos alcalinos corresponden a Microclina y Sanidina principalmente (Figura 43).

9.3.2.2.3. Metasomatismo de fragmentos líticos por carbonatos: es un proceso abundante que se observa solo en la muestra 412.81 afectando principalmente los clastos de lutitas hasta un 20%, los clastos de chert están reemplazados hasta un 12%, en menor medida se tiene metasomatismo de líticos volcánicos hasta un 10%, y los líticos metamórficos (esquistos) y los líticos plutónicos básicos hasta un 2% respectivamente, el grado de alteración es avanzado hasta parcial en los clastos líticos (Figura 43),

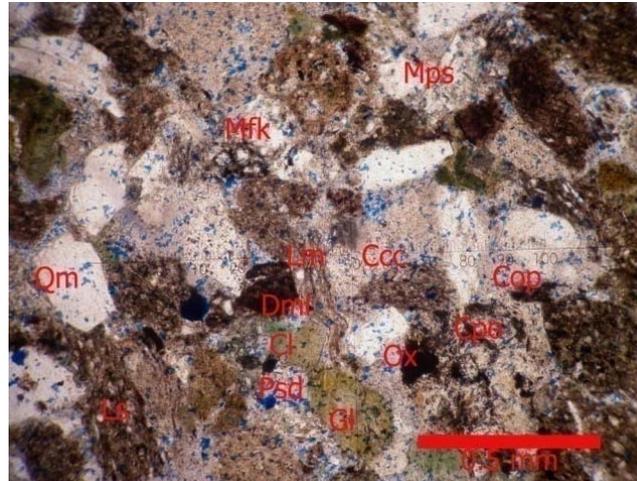


Figura 42. Litoarenita feldespática madura, se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd) de tipo intergranular, deformación mecánica de líticos (Dml), contactos cóncavo-convexos entre clastos de lutitas (Ccc), cemento de poros de óxidos (Cop), cemento de pigmento de óxidos (Cpo), metasomatismo de feldespato por kaolín (Mfk), metasomatismo de plagioclasa por sericita (Mps), clastos subangulares de cuarzo monocristalino (Qm), fragmento líticos subangulares de lutitas (Ls), líticos metamórficos (Lm), granos redondeados de glauconita (Gl), y metasomatismo de lutitas por óxidos (Ox). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 388.2.

9.3.2.2.4. Otros tipos de metasomatismo: en menor importancia relativa pero de gran abundancia se identifican otros tipos de metasomatismo, dentro de estos procesos se observan en orden de abundancia, caolinitización de feldespatos que llega hasta un 35%, (Figuras 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45 y 47), cloritización de líticos volcánicos básicos hasta un 30%, (Figuras 43, 45, 46 y 47), le sigue el metasomatismo de plagioclasas por sericita hasta un 14%, (Figuras 41 y 42) y en menor proporción oxidación de líticos sedimentarios y micas biotitas hasta un 9%.

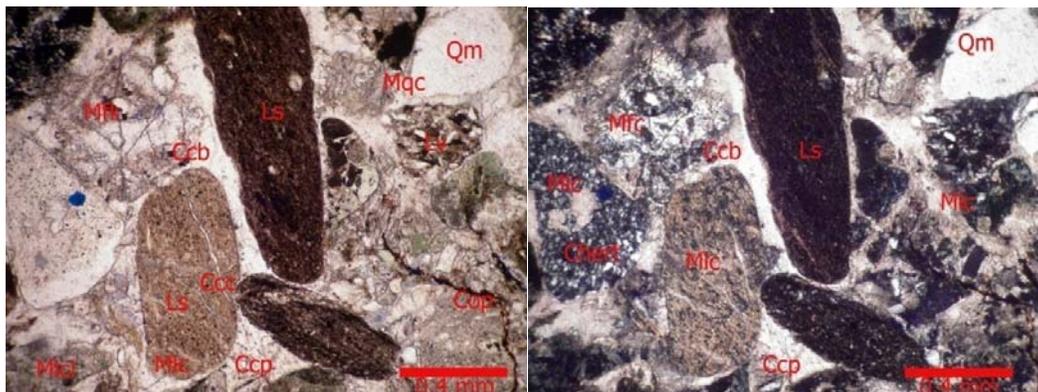


Figura 43. Ortoconglomerado de clastos sedimentarios; en luz polarizada plana (imagen izquierda) se observa contactos cóncavo-convexos (Ccc) entre los clastos de lutitas (Ls), cemento carbonatado basal (Ccb), cemento carbonatado de poros (Ccb), cemento de óxidos de poros (Cop), metasomatismo de cuarzo por carbonato (Mqc), metasomatismo de fragmentos líticos por carbonato (Mlc), metasomatismo de líticos volcánicos por clorita (Mlcl), metasomatismo de feldespato por kaolín (Mfk), y granos subangulares de cuarzo monocristalino (Qm). En nicoles cruzados (imagen derecha) se muestra metasomatismo parcial de Chert por carbonato, además de algunos componentes y procesos diagenéticos de la imagen izquierda. Muestra 412.2

9.3.3. Transformaciones de los componentes: son procesos de poca importancia con respecto a los otros procesos diagenéticos. Se identifica corrosión, neoformismo y disolución.

9.3.1. Corrosión: es un proceso de poca abundancia, se presenta de dos formas que son corrosión del cemento de óxidos que afecta principalmente los líticos, feldespatos y cuarzo hasta en un 16%, y en menor proporción corrosión de cuarzo y feldespatos por matriz arcillosa hasta un 10% de los granos. (Figura 39)



Figura 44. Litoarenita – Litoarenita feldespática madura; se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos (Psd), deformación mecánica de líticos (Dml), contactos cóncavo-convexos (Ccc), metasomatismo de feldespato potásico por caolín (Mfk), también se observan granos subangulares de cuarzo monocristalino (Qm), fragmentos líticos subredondeados de lutitas (Ls), metasomatismo de lutitas por óxidos (Ox) y clastos redondeados de glauconita (Gl). Fotografía en luz polarizada plana, muestra 438.85.

9.3.3.2. Disolución: esta asociada con la producción de porosidad secundaria, afecta principalmente los clastos hasta en un 15%, la matriz arcillosa hasta en un 12%, también se presenta disolución del cemento zeolítico hasta un 10% y disolución del cemento ferruginoso hasta un 3%. (Figuras 36, 37, 38, 40, 41, 42, 44 y 47)

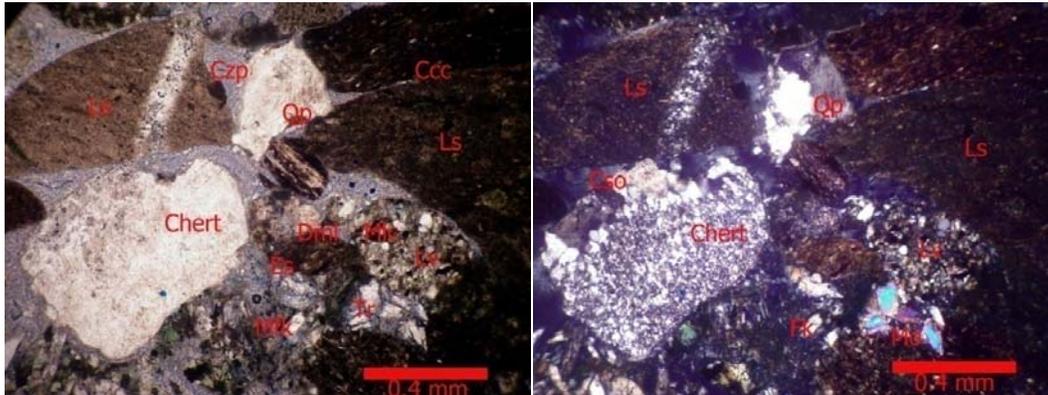


Figura 45. Litoarenita inmadura; en luz polarizada plana (imagen izquierda) se observa deformación mecánica de líticos (Dml), trituración de micas (Tr), estilolitos (Es), cemento de poros de zeolitas (Czp), metasomatismo de feldespato por caolín (Mfk), metasomatismo de líticos volcánicos por clorita (Mlc), clastos subangulares de Chert, clastos subredondeados de lutitas (Ls), líticos volcánicos redondeados (Lv). En nicoles cruzados se muestra cemento de sobrecrecimiento silíceo (Cso) en clasto de Chert, fragmentos líticos de lutitas con venas de sílice (Ls), líticos volcánicos redondeados (Lv), granos subangulares de cuarzo policristalino (Qp), feldespato potásico con macla de Carlsbad y granos angulares triturados de mica moscovita (Mo). Muestra 441.15.

9.3.3.3. Neomorfismo: es un proceso de abundancia menor, se presenta solo en los niveles más superficiales del segmento superior del pozo estratigráfico. Se identifica principalmente neomorfismo agradante y está asociado con el cemento carbonatado basal y cemento carbonatado de poros, afectando hasta un 16% del cemento, (Figura 43).

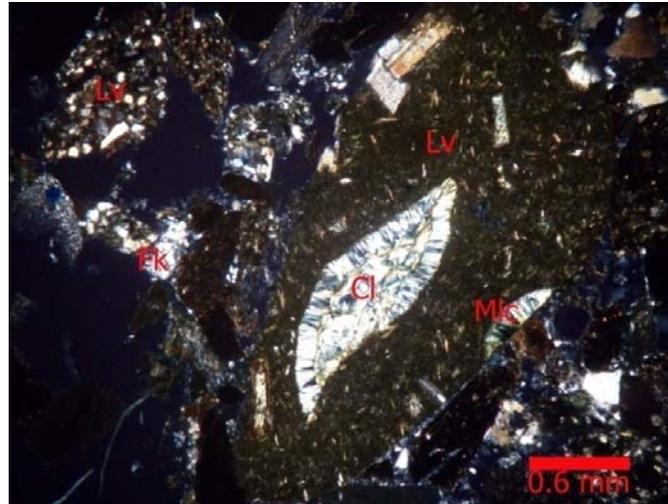


Figura 46: Conglomerado de clastos sedimentarios “Ortoconglomerado”, se observa metamatismo (Mlc) de lítico volcánico (Lv) por clorita (Cl), clastos redondeados de lutita (Ls), clastos subangulares de líticos volcánicos (Lv) y feldespatos potásicos (Fk). Fotografía en nicols cruzados, muestra 456.4.

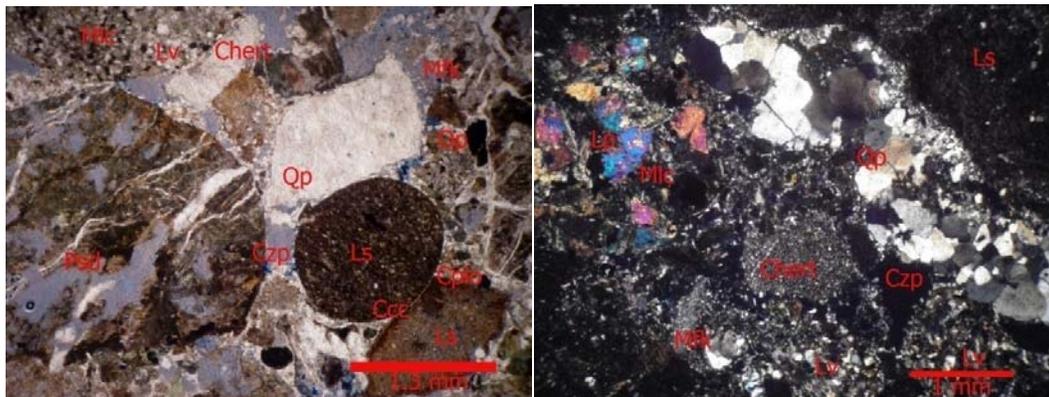


Figura 47. Ortoconglomerado de clastos ígneos; en luz polarizada plana (imagen izquierda) se observa porosidad secundaria por disolución de los clastos y el cemento (Psd), contactos cóncavo-convexos (Ccc), cemento de poros de zeolitas (Czp), cemento pelicular de oxido (Cplo), metamatismo de líticos volcánicos (Lv) por clorita (Mlc), metamatismo de feldespato por caolín (Mfk), también se observan clastos de lutitas redondeadas (Ls), clastos subangulares de cuarzo policristalino (Qp), clastos angulares de Chert y minerales opacos (Op). En nicols cruzados (imagen derecha) se observa cemento de poros de zeolitas (Czp), metamatismo de feldespato por caolín (Mfk), metamatismo de lítico plutónico por clorita (Mlc), líticos volcánicos subredondeados (Lv), clastos subangulares de lutitas (Ls), clastos angulares de cuarzo policristalino (Qp) y clastos subangulares de Chert. Muestra 459.

9.3.4. Secuencia Paragénética y relación con las etapas diagenéticas.

Al igual que en los segmentos anteriores la historia diagenética que se plantea para el segmento superior del pozo se establece en términos relativos del tiempo, en donde los criterios seguidos en este segmento son los propuestos por Fuchtbauer (1983), Burley et al. (1985) y Martin et al. (1994). La síntesis de la evolución diagenética para el segmento superior del pozo estratigráfico se presenta en la Tabla 6.

Inicialmente se tienen los procesos relacionados con la compactación como son la generación de contactos cóncavo-convexos entre los clastos de cuarzo, feldspatos y fragmentos líticos; seguidamente se desarrolla la deformación mecánica de micas y fragmentos de esquistos; luego, con menor importancia se presenta la trituración de granos y se evidencian estilolitos en una etapa de compactación más desarrollada. Estos procesos físicos al igual que en los anteriores análisis paragenéticos se asocian con la diagenesis temprana o eogénesis, que indican el rápido enterramiento que sufren los sedimentos produciendo la disminución del volumen intergranular entre los granos y la reducción de la porosidad primaria debido a la sobrecarga.

El metasomatismo por clorita también es un proceso temprano relacionado con la eogénesis; de la misma forma que en los otros segmentos la cloritización es un proceso muy importante que afecta principalmente los fragmentos líticos volcánicos, también se presenta metasomatismo de micas y anfíboles por clorita pero con una importancia menor.

Posteriormente se generaron los cementos zeolíticos de poros, los cuales son muy importantes, especialmente en los niveles más superficiales del pozo estratigráfico; luego, se formaron los cementos ferruginosos de poros, basal y pelicular, en donde los dos primeros son importantes mientras que el último es menos abundante; aunque no es posible determinar cuál se formó primero se asocian a los procesos mesogénicos; seguidamente se forma cemento ferruginoso de pigmento de forma importante, así como el metasomatismo de micas y fragmentos líticos por óxidos de hierro, los cuales también se evidencian en algunas muestras y se relacionan con la diagenesis de enterramiento en donde se produce la oxidación de minerales de hierro como biotitas y detritos de lutitas.

Después de la formación de cementos se generan de forma importante los procesos de corrosión que afectan granos de silicatos y fragmentos líticos por óxidos de hierro, esta posiblemente asociada con el inicio de la mesogénesis aunque también se puede presentar en la telogénesis en donde las rocas son levantadas y expuestas a la superficie.

Finalmente se presenta el proceso de disolución de forma importante, relacionado con la telogénesis en donde los fluidos meteóricos interactúan con los diferentes componentes (clastos, matriz y cemento) llevando a la formación de porosidad secundaria.

Al igual que en los segmentos anteriores, para esta parte del pozo existen procesos de importancia menor que con la información obtenida no es posible ubicarlos en el

tiempo, como por ejemplo la caolinitización de feldespatos que pudo haberse desarrollado tanto en la diagenesis temprana o en la diagenesis tardía cuando las rocas son expuestas a superficie, de igual forma no se puede ubicar el metasomatismo de plagioclasas por sericita, por este motivo se ubican como interrogantes, (Tabla 6).

Paragénesis diagenética

Procesos diagenéticos	Diagénesis temprana	Diagénesis tardía
Deformación mecánica de micas	██████████	
Contactos cóncavo-convexos	██████████	
Trituración de granos	-----	
Estilolitos	-----	
Cemento zeolítico de poros	██████████	
Cemento ferruginoso de poros		=====
Cemento ferruginoso basal		=====
Cemento ferruginoso pelicular		-----
Cemento ferruginoso de pigmento		██████████
Metasomatismo de líticos por óxidos de hierro		=====
Metasomatismo de micas por óxidos de hierro		=====
Metasomatismo de feldespato por caolín		???????
Metasomatismo de líticos volcánicos por clorita	██████████	
Metasomatismo de micas por clorita	=====	
Metasomatismo de anfíboles por clorita	=====	
Metasomatismo de plagioclasa por sericita		???????
Corrosión de líticos por óxidos de hierro		=====
Corrosión de silicatos por óxidos de hierro		=====
Porosidad de disolución		=====

Muy Importante
 Importante
 Poco Importante

Tabla 6. Secuencia paragenética establecida para el segmento superior del pozo estratigráfico.

Adicionalmente se establece la secuencia paragenética para la muestra 412.2 ubicada casi en el tope del segmento superior del pozo estratigráfico; debido a que la sección presenta procesos diagenéticos diferentes a las demás muestras del segmento se establece una paragénesis diagenética independiente (Tabla 7), en donde los criterios seguidos en esta muestra son los mismos que se proponen para la muestra 173.48.

Al igual que en las anteriores secuencias paragenéticas, probablemente el primer proceso que se presentó fue la compactación, el cual se plantea teniendo en cuenta la gran existencia de contactos cóncavo-convexos entre los clastos y la deformación mecánica de granos flexibles como micas y fragmentos líticos (Figura 43); Estos procesos de compactación mecánica al igual que en los demás segmentos son procesos eogénicos e indican un rápido enterramiento de los sedimentos, en donde disminuye el volumen intergranular y se reduce la porosidad primaria. También se presenta metasomatismo de fragmentos líticos volcánicos por clorita, el cual es un proceso muy importante y también está asociado con la diagenesis temprana.

Posteriormente y de gran importancia se formaron los cementos carbonatados basales y de poros, que como se dijo anteriormente no es posible saber cual se formó primero, aunque es claro que se formaron en una etapa diagenética temprana ya que están

relacionados con la porosidad primaria, (Figura 43). Seguidamente se presenta corrosión de cuarzo, feldespatos y liticos por carbonatos de forma importante.

Después de la cementación se presenta metasomatismo de fragmentos liticos, cuarzo y feldespatos por carbonatos, los cuales son procesos muy importantes y están relacionados con la diagenesis de enterramiento, también se presenta metasomatismo de chert por carbonatos de forma abundante y metasomatismo de micas por carbonato pero de forma menos importante. Al igual que en las muestras 71.43 y 173.48 los clastos presentan reemplazamientos por carbonatos de forma parcial hasta avanzada.

Otros cementos también se presentan en la sección 412.2, que son los cementos ferruginosos de poros y de pigmento (hematita), los cuales posiblemente se formaron después de los cementos carbonatados en la etapa de telogénesis debido a la disolución de los carbonatos y posterior cementación de óxidos en los poros disueltos, este proceso se produce por el levantamiento y la exposición de las rocas a la superficie, (Figura 43). También se presenta metasomatismo de micas por óxidos de hierro de forma importante, este proceso posiblemente es posterior a la cementación de óxidos.

Finalmente, en la diagenesis tardía o telogénesis se presenta neomorfismo agradante del cemento carbonatado, el cual es un proceso muy importante y es evidenciado por la existencia de cristales de esparita dentro del cemento carbonatado basal y de poros.

En esta muestra también se presentan procesos de importancia menor que no es posible ubicarlos en el tiempo, los cuales son la caolinitización de feldespatos y la seritización de plagioclasas, los cuales pudieron haberse desarrollado tanto en la diagenesis temprana como en la diagenesis tardía por este motivo se ubican como interrogantes, (Tabla 7).

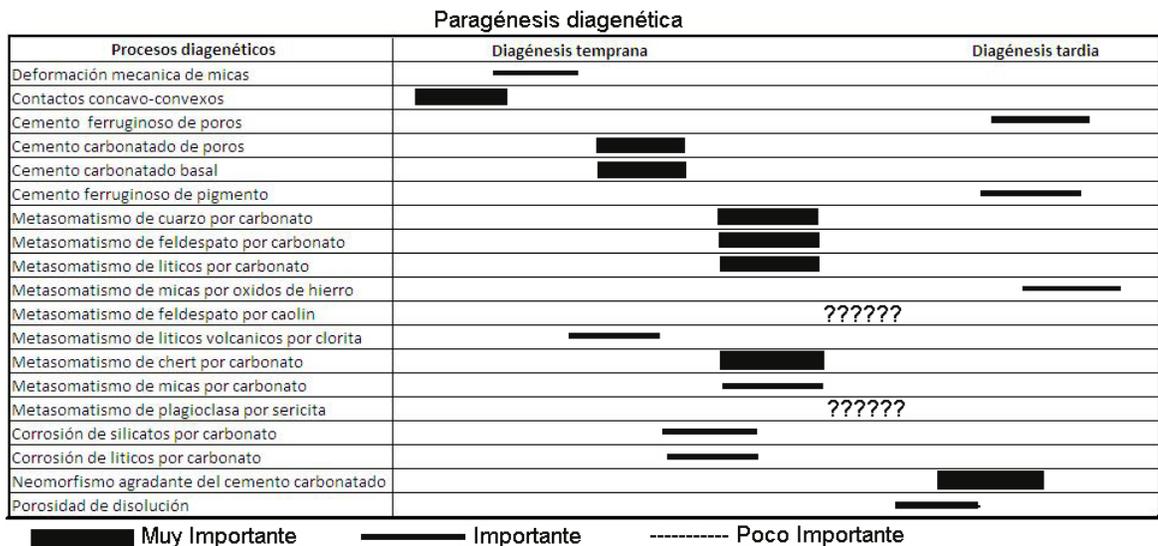


Tabla 7. Secuencia paragenética establecida para la muestra 412.2 del segmento superior del pozo estratigráfico.

10. CALIDAD DE LAS ROCAS COMO POTENCIALES RESERVORIOS

A partir del análisis petrográfico y diagenético hecho para las diferentes muestras del pozo estratigráfico Chocó 1 ST-S se determina la calidad de las rocas como potenciales reservorios de hidrocarburos en cada uno de los segmentos del pozo; sin embargo, hay que tener en cuenta que este análisis se hace a partir de observaciones al microscopio y que no contemplan en ningún caso los análisis de petrofísica, geoquímica ni bioestratigrafía que podrían generar resultados más precisos y confiables.

Para el segmento inferior fueron analizadas 13 secciones delgadas, algunas de ellas presentan un potencial como reservorio muy bajo pues corresponden a lutitas; la mayoría de las muestras son litoarenitas, litoarenitas feldespáticas y arcosas líticas que indican que las rocas son inmaduras composicionalmente, también se presentan niveles de conglomerados de clastos sedimentarios bien cementados y algunos friables (Figura 11); el tamaño de grano varía de grueso a medio y la mayoría de las muestras presentan mala selección y baja a media esfericidad; los clastos son predominantemente angulares a subangulares y en menor proporción redondeados a subredondeados; el contenido de matriz arcillosa varía entre 30% y 64% en algunas muestras y en otras está ausente. Las rocas presentan alta compactación y el contenido de cementos varía de alto a moderado, llegando en una de las muestras hasta un 31% de cemento carbonatado; el cemento ferruginoso también se presenta en alta proporción destruyendo la porosidad primaria y secundaria. La porosidad varía entre 2% y 15%, lo que significa que es una porosidad intermedia a baja y corresponde principalmente a porosidad secundaria y en menor medida a porosidad primaria, (Figura 27); según lo anterior la cantidad y distribución de la porosidad en las rocas controla las rutas de migración de fluidos en el subsuelo, por lo tanto siendo para este segmento una porosidad relativamente baja debido a la alta compactación y cementación, además de la inmadurez composicional se establece que el segmento inferior del pozo estratigráfico presenta bajo potencial como reservorio de hidrocarburos.

Para el segmento medio fueron analizadas 8 secciones delgadas, corresponden a litoarenitas, litoarenitas feldespáticas y arcosas submaduras, también se presentan niveles de ortoconglomerados de clastos sedimentarios, paraconglomerados y conglomerados friables (Figura 11); en general las rocas presentan inmadurez composicional, las arenitas varían de submaduras a inmaduras texturalmente, el tamaño de grano varía de fino a grueso, o sea presentan mala selección y la esfericidad es media a baja, los clastos son angulares a subredondeados, el contenido de matriz arcillosa varía de 2% a 15% y en algunas muestras está ausente; las rocas presentan alta a moderada compactación y la cementación también es moderada alcanzando hasta 25% en la muestra más inferior de este segmento; los cementos corresponden a cementos ferruginosos y carbonatados que destruyen la porosidad primaria y secundaria. La porosidad varía desde 1% hasta 9% y en algunas muestras no se puede determinar (Figura 27), los cuales son valores de porosidad baja; corresponde principalmente a

porosidad secundaria y en menor medida porosidad primaria. Al igual que el segmento inferior la porosidad es muy baja debido a los procesos diagenéticos de compactación y cementación que disminuyen el espacio intersticial y reducen los espacios porosos, generando la migración de fluidos a unidades más porosas; a partir del análisis anterior se establece que el segmento medio del pozo estratigráfico presenta bajo a muy bajo potencial como reservorio de hidrocarburos.

Finalmente, para el segmento superior del pozo fueron analizadas 12 secciones delgadas, corresponden principalmente a litoarenitas feldespáticas, arcosas líticas y litoarenitas que indican inmadurez composicional; también se presentan ortoconglomerados de clastos sedimentarios y clastos ígneos que presentan moderado potencial mientras que algunas muestras presentan muy bajo potencial como reservorio ya que corresponden a lutitas (Figura 11). El tamaño de grano varía de medio a grueso, la mayoría de las muestras presentan mala selección aunque algunas presentan buena selección, la esfericidad es baja a media, los clastos son predominantemente angulares a subangulares y en menor medida subredondeados, el contenido de matriz arcillosa varía desde 3% hasta 32% y en algunas muestras está ausente; las rocas presentan alta compactación y alta cementación, los cementos corresponden principalmente a cementos ferruginosos, zeolíticos y carbonatados que destruyen la porosidad primaria y secundaria; la porosidad es baja a media con valores que oscilan entre el 1% y 20% (Figura 27); corresponde principalmente a porosidad secundaria y en menor medida porosidad primaria. Según lo anterior la cantidad y distribución de la porosidad en las rocas de igual forma que el segmento inferior controla las rutas de migración de fluidos en el subsuelo, por lo tanto siendo para este segmento una porosidad baja a intermedia debido a la alta compactación y moderada cementación, además de la inmadurez composicional, se establece que el segmento superior del pozo estratigráfico presenta bajo a moderado potencial como reservorio de hidrocarburos, (Figura 48).

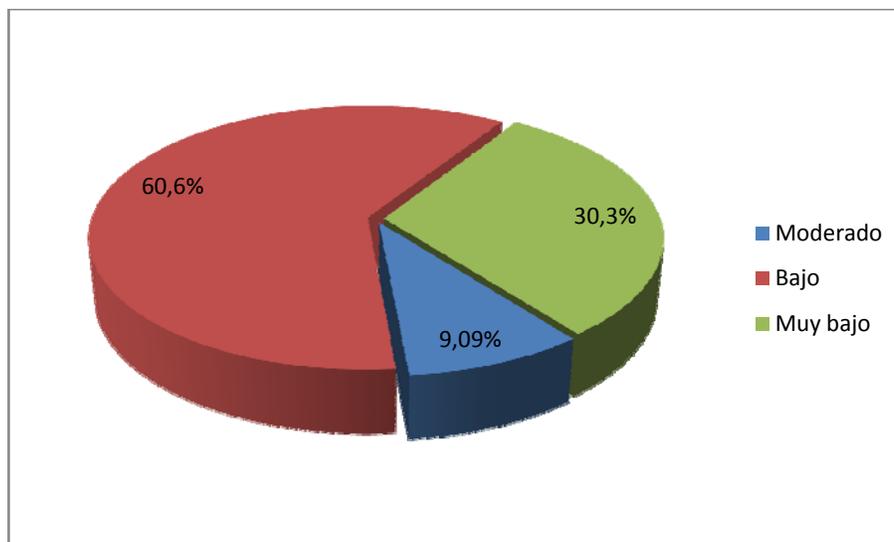


Figura 48. Distribución porcentual de las rocas en cuanto a la calidad del potencial como reservorio de hidrocarburos.

11. CONCLUSIONES

La realización del presente trabajo llevó a las siguientes conclusiones.

- La litología encontrada a través del todo el pozo estratigrafico se puede correlacionar con la litología descrita para la Formación Condoto, la cual consta principalmente de litoarenitas, conglomerados y en menor proporción lutitas, aunque no se encontraron evidencias de calizas como lo describen algunos autores tal vez debido a la profundidad del pozo, si se encontraron niveles volcaniclasticos los cuales no han sido reportados por ningun autor, por lo tanto en este trabajo se propone redefinir la litologia de la Formación Condoto con base en la evidencia volcanica encontrada.
- Según la clasificación de Folk (1974), las arenitas en orden de abundancia se ubican en los campos de Litoarenita, Litoarenita feldespática, Arcosa litica y Arcosa; las ruditas según Boggs (1992) se clasifican predominantemente como Conglomerados de clastos sedimentarios, tambien se presenta un Conglomerado de clastos igneos y un Conglomerado polimictico; las rocas mixtas según Vatan (1967) se ubican principalmente en los campos de Lutita arenosa, y algunas muestras corresponden a Lutita calcárea arenosa y Arenita lodosa.
- Las rocas volcaniclasticas son clasificadas con la propuesta no genética de Fisher (1961) debido a que no es posible determinar si los niveles volcaniclasticos depositados son rocas piroclásticas de origen primario, depósitos piroclásticos retrabajados o epiclásticos. Estas rocas corresponden en orden de abundancia a Lutitas arenosas volcánicas, Arcosas líticas volcánicas, Arcosas volcánicas y Litoarenitas feldespáticas volcánicas.
- Partiendo de la propuesta de Dickinson (1985) las muestras se ubican en orden de abundancia en los campos de Arco transicional, Arco no disectado, Basamento levantado, arco disectado, , continental transicional y orógeno reciclado según el diagrama ternario QtFL. Se nota un dominio de los ambientes de Arco magmatico sobre los demás ambientes tectofaciales. Al utilizar el diagrama ternario QmFLt se puede establecer que probablemente algunas de las muestras provienen realmente de Orógeno reciclado lítico, debido al contenido relativamente alto de Lt. En general los principales ambientes tectofaciales corresponden en orden de abundancia a Arco magmático, Basamento levantado y Orógeno reciclado lítico.
- Asociado con arco magmático se tiene una litología fuente de rocas volcánicas andesíticas y basálticas, tal litología fuente puede ser correlacionada con las unidades Cretácicas de la Cordillera Occidental como la Formación Barroso del Grupo Cañasgordas y el Complejo Santa Cecilia- La Equis, lo cual se puede establecer por el alto contenido de fragmentos liticos volcánicos básicos y el

predominio de cuarzo monocristalino sobre los feldespatos. El segmento inferior y sobre todo el segmento superior del pozo muestran una fuerte influencia de arco magmático transicional que indican que la cuenca estuvo influenciada por el vulcanismo y que posiblemente fue contemporáneo con la sedimentación.

- El ambiente de orógeno reciclado lítico se relaciona con un levantamiento de la cuenca evidenciado por el alto contenido de líticos sedimentarios pertenecientes a unidades infrayacentes Paleocenas como la Formación Iró (limolitas, chert y lutitas silíceas) y la Formación Istmina (lutitas y arcillolitas), esto sugiere que cuando se estaban depositando los niveles de arenitas y conglomerados de la parte media del pozo, las rocas infrayacentes de la cuenca estaban siendo retrabajadas.
- Asociado con bloques del basamento levantado se tienen como unidades fuente rocas dioríticas de la Cordillera Occidental y del batolito de Mandé, que aportan fragmentos líticos como dioritas y granitos. Por otro lado, los fragmentos líticos metamórficos como esquistos y esquistos micáceos son difíciles de correlacionar con alguna unidad metamórfica específica debido a que regionalmente no se presentan, sin embargo se propone la posibilidad de que las rocas del Complejo Arquía, el Complejo Quebradagrande e incluso el Complejo Cajamarca sirvan como suministro de líticos metamórficos a la Formación Condoto.
- La evaluación general de la proveniencia puede interpretarse como una variación en el tiempo principalmente controlada por la tectónica, en donde la transición de basamento levantado pasando por ambientes de arco magmático hasta orógeno reciclado puede estar influenciada por las características estructurales de la cuenca en que ocurrió la depositación, lo que conlleva a una variedad de procedencias tectónicas ligada probablemente a movimientos a lo largo de fallas.
- La Formación Condoto está asociada a un ambiente de depósito correspondiente a un *fan* delta con mínimas incursiones marinas debido a su alto contenido de material terrígeno detrítico en donde es claro que la depositación deltaica estuvo afectada por la actividad de un arco volcánico cercano evidenciado por depósitos de arenitas y lutitas volcánicas con alto contenido de cristales, y conglomerados con fragmentos líticos volcánicos.
- La paragénesis diagenética establecida para el segmento inferior del pozo estratigráfico indica que probablemente el primer proceso que se presentó fue la compactación, la cual se evidencia por contactos cóncavo-convexos, deformación mecánica y trituración de granos. Estos procesos físicos se asocian con la diagenesis temprana o eogénesis, que indican el rápido enterramiento que sufren los sedimentos, disminuyendo su volumen intergranular y reduciendo la porosidad primaria debido a la sobrecarga.

El metasomatismo por clorita también es un proceso temprano relacionado con la eogénesis; afecta principalmente fragmentos líticos volcánicos y en menor

medida se presenta cloritización de micas. También se presenta metasomatismo de micas por óxidos de hierro y está relacionado con la diagenesis de enterramiento en donde se produce la oxidación de minerales de hierro como biotitas.

La cementación es un proceso que se da en una etapa diagenética relativamente temprana pero posterior a la compactación, lo cual se puede deducir por el bajo volumen intergranular, el alto empaquetamiento y la gran cantidad de contactos cóncavo-convexos entre los clastos, esto sugiere que la compactación impidió una cementación significativa. La generación de cementos corresponde probablemente a la de los cementos peliculares de clorita y cementos de poros y basal de óxidos de hierro (hematita); aisladamente también se pudo haber formado cemento silíceo de poros. Seguidamente se tienen los cementos carbonatados de poros y basal.

Posteriormente se dan procesos de corrosión que afectan granos de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos. Esta corrosión inicia el proceso de metasomatismo por carbonato que afecta a los granos ya mencionados. A continuación se suceden los procesos neomórficos, que afectan parcialmente cementos carbonatados y reemplazamientos carbonatados de granos de silicatos. Posterior a los cementos se presenta algo de disolución llevando a la formación de porosidad secundaria.

La caolinitización de feldespatos pudo haberse desarrollado tanto en la diagenesis temprana como en la diagenesis tardía cuando las rocas son expuestas a superficie, de igual forma se presenta metasomatismo de plagioclasas por sericita.

- La paragénesis diagenética establecida para el segmento medio del pozo estratigráfico es similar a la establecida para el segmento inferior, aunque presenta algunas variaciones. Inicialmente, se presenta la compactación, seguidamente se presenta metasomatismo por clorita, afecta principalmente los fragmentos líticos volcánicos y en menor medida las micas, el metasomatismo de micas por óxidos de hierro también se evidencia.

En la diagenesis temprana también se forman cementos, principalmente cemento silíceo de poros, los cuales se forman posterior a la compactación, también se originan cementos ferruginosos en varias generaciones, posiblemente relacionados con la eogénesis pero también se pueden desarrollar en la mesogénesis o hasta en la telogénesis, como el cemento ferruginoso pelicular el cual es poco abundante, mientras que el cemento ferruginoso de pigmento es más abundante y posiblemente se desarrolla en la diagenesis tardía. Seguidamente y de gran importancia se forman los cementos carbonatados basales y de poros.

Posterior a la formación de cementos se dan los procesos de corrosión, se presenta principalmente como corrosión de cuarzo, feldespatos y liticos sedimentarios por carbonatos y óxidos de hierro. A continuación de la corrosión se presenta el proceso de metasomatismo de fragmentos liticos, cuarzo, feldespatos y chert por carbonatos, después del metasomatismo se presenta disolución, el cual está relacionado con la diagenesis tardía o telogénesis en donde los fluidos meteóricos interactúan con los diferentes componentes (clastos, matriz y cemento) llevando a la formación de porosidad secundaria.

Al igual que en segmento inferior existen procesos que con la información obtenida no es posible ubicarlos en el tiempo, como por ejemplo la caolinitización de feldespatos, la cual pudo haberse desarrollado tanto en la diagenesis temprana como en la diagenesis tardía, de igual forma no se puede ubicar el metasomatismo de plagioclasas por sericita.

- Finalmente, la paragénesis diagenética establecida para el segmento superior del pozo se inicia con los procesos de compactación, los cuales al igual que en los anteriores análisis paragenéticos se asocian con la diagenesis temprana o eogénesis, que indican el rápido enterramiento que sufren los sedimentos produciendo la disminución del volumen intergranular entre los granos y la reducción de la porosidad primaria debido a la sobrecarga.

El metasomatismo por clorita también es un proceso temprano relacionado con la eogénesis asociado a condiciones anoxicas aunque tambien se puede desarrollar en condiciones telogeneticas; de la misma forma que en los otros segmentos la cloritización es un proceso muy importante que afecta principalmente los fragmentos liticos volcánicos, también se presenta metasomatismo de micas y anfíboles por clorita pero con una importancia menor.

Posteriormente se generaron los cementos zeoliticos de poros y los cementos carbonatados de poros y basal, luego se formaron los cementos ferruginosos de poros, basal y pelicular, seguidamente se forma cemento ferruginoso de pigmento, así como el metasomatismo de micas y fragmentos liticos por óxidos de hierro, se relacionan con la diagenesis de enterramiento en donde se produce la oxidación de minerales de hierro como biotitas y detritos de lutitas.

Después de la formación de cementos se generan los procesos de corrosión que afectan granos de silicatos y fragmentos liticos. La corrosión se presenta de varias formas, una es la corrosión de silicatos y fragmentos liticos por carbonatos, la otra afecta los granos de cuarzo, feldespatos y fragmentos liticos por óxidos de hierro. Después de la cementación se presenta metasomatismo de fragmentos liticos, cuarzo y feldespatos por carbonatos, están relacionados con la diagenesis de enterramiento, también se presenta metasomatismo de chert y micas por carbonatos pero de forma menos importante. Los clastos presentan

reemplazamientos por carbonatos de forma parcial hasta avanzada, también se presenta caolinitización de feldespatos, sericitización de plagioclasas.

En la diagenesis tardía o telogénesis se presenta neomorfismo agradante del cemento carbonatado, el cual es un proceso muy importante y es evidenciado por la existencia de cristales de esparita dentro del cemento carbonatado basal y de poros.

Finalmente se presenta el proceso de disolución de forma importante; está relacionado con la telogénesis en donde los fluidos meteóricos interactúan con los diferentes componentes (clastos, matriz y cemento) llevando a la formación de porosidad secundaria.

- En general, el movimiento hacia abajo de las aguas meteóricas a través de diferentes litologías también pudo haber suministrado cantidades importantes de Ca, Mg y Fe. Probablemente las aguas tuvieron un carácter alcalino lo que favoreció la precipitación de cementos carbonatados que destruyen la porosidad primaria y en menor medida la secundaria previamente formada durante la mesogénesis. Como consecuencia de una sobresaturación en carbonatos de las aguas infiltradas con respecto a los minerales que son reemplazados se produce la corrosión y posterior metasomatismo de granos de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos por los diferentes tipos de cemento.
- A partir del análisis petrográfico y diagenético hecho para las diferentes muestras del pozo estratigráfico Chocó 1 ST-S se determinó que la calidad de las rocas como potenciales reservorios de hidrocarburos es en mayor medida bajo a muy bajo y en menor medida moderado; debido a que las rocas en general son composicionalmente inmaduras, presentan mala selección, los clastos son predominantemente angulares a subangulares, las rocas presentan alta compactación, el contenido de cementos varía de alto a moderado y la porosidad es muy baja a intermedia, es por eso que a partir del anterior análisis se establece que las rocas de la Formación Condoto presentan predominantemente bajo potencial como reservorios de hidrocarburos.
- La interpretación hecha en el presente trabajo debe considerarse como preliminar. Las conclusiones obtenidas han de ser analizadas y complementadas empleando técnicas más precisas tales como estudios petrofísicos, bioestratigráficos y geoquímicos así como análisis isotópicos, observaciones con microscopio electrónico y el uso de catodoluminiscencia.

12. ANEXOS

Componente	32.61	33.07	63.70	71.43	72.24	77.82	89.61	101.30	108.26	109.25	135.03	137.46	153.47
Qm	9,7	13,2	1,8	4,39	10,3	14,7	12,9	12,7	3,8	13,74	5,43	17,6	12,8
Qp	1,8	0	0,44	1,7	1,38	0,44	0,22	0	2,54	1,18	0	5,7	0,47
Fk	11,8	26,5	23,6	5,3	3,68	9,37	14,2	11,32	1,27	14,69	7,32	6,74	16,7
Fp	0,9	0,94	0	0	2,3	1,56	0	0	0	7,58	0	0	1,2
Lp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0
Lv	24,9	0	0	11,2	12,9	14,3	0	0	0	0,23	0	16,1	0,23
Lm	0	0	0	1,2	1,15	0,22	0,22	0	0	0,47	0	4,09	0,33
Ls	38,9	9,22	1,32	24,6	32,7	39,2	0,44	0,94	3,38	21,32	0	27,7	5,25
L	0	0	0	2,68	4,37	1,34	0	0	0	4,26	0	1,54	0,95
Opacos	2,57	3,78	4,6	1,97	2,07	1,78	6,87	8,7	1,27	3,08	4,72	4,1	3,1
Chert	1,91	0	0,92	8,78	7,6	4,24	0,44	0	0,23	1,66	0	7,2	0,23
Micas	2,7	5,4	0	1,21	4,14	3,56	4,65	1,88	0	8,76	0,47	3,1	7,38
Otros min.	1,81	20,8	10,1	2,18	7,53	3,03	13,5	5,25	12,22	11,11	11,11	4,33	6,9
Matriz	0	0	30,2	0	0	0	38,6	49,5	63,55	0	63,8	0	30,1
Cemento	0	5,9	15,3	31,9	4,15	0	2,66	1,41	2,75	6,63	2,83	0	6,68
Porosidad	2,86	14,2	11,8	2,68	5,53	6,69	5,32	8,1	8,89	5,21	4,25	1,54	7,63
Total	99,9	99,9	100	99,8	99,8	100	100	99,8	99,9	99,92	99,93	99,98	99,95

Tabla 8: datos de porcentaje para los componentes de las muestras del segmento inferior del pozo estratigráfico.

Componente	173.48	212.86	214.34	215.0	217.15	221.67	226.3	257.33
Qm	5,3	14,5	8,1	13,1	41,3	13,7	11,4	3,8
Qp	0,72	8,03	3,9	2,74	2,65	0,73	5,44	0,4
Fk	1,93	5,58	6,2	1,83	17,4	13	8,6	3,2
Fp	0	0	0	0	14,5	1,47	0	1,2
Lp	0,72	0	0	8,23	0,96	0	0	0
Lv	16,9	17,2	20,9	30,2	2,89	3,19	15,1	27,8
Lm	3,14	2,67	0,2	0	0,72	0	0,74	0
Ls	23,4	19,4	25,3	27	3,14	11,1	23,8	33,9
L	3,03	10,7	21,2	6,4	0,48	4,66	4,95	0
Opacos	0,72	0,22	0,46	0	2,41	1,96	0	0,4
Chert	6,18	6,02	5,2	5,9	1,69	4,42	2,47	9,2
Micas	3,13	5,8	3	2,05	2,41	0,98	0,74	3,4
Otros min.	2,34	1,78	5,5	2,51	1,2	15,7	0,48	1,4
Matriz	6,2	1,8	0	0	0	0	15,1	12,04
Cemento	25,4	0	0	0	8,21	21,7	2,22	1,2
Porosidad	0,96	6,25	0	0	0	7,37	8,9	2
Total	100	100	100	99,9	100	100	99,9	99,94

Tabla 9: datos de porcentaje para los componentes de las muestras del segmento medio del pozo estratigráfico.

Componente	315.63	316.88	318.7	324.0	354.7	371.85	388.2	412.2	438.85	441.15	456.4	459.0
Qm	6,97	4,47	5,77	0,47	15,3	17,1	10,1	5,62	20,3	5,34	2,65	2,1
Qp	0	1,24	0	0	0,48	0	0,9	0,93	0	2,55	0,66	2,76
Fk	38,9	22,4	18,4	6,9	21,8	31,2	12,9	6,08	13,39	5,48	7,52	4,25
Fp	3,84	3,23	0,88	0,23	0,24	5,84	6,74	2,34	1,24	0	0,66	0
Lp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,93	0	0,21
Lv	7,2	7,56	0	0	0,44	0	16,5	8,43	5,21	18,37	12,83	24,25
Lm	1,68	0,99	0	0	0,58	0	0,46	1,87	0,74	2	0	0,85
Ls	18	28,6	0,88	0,47	9,7	1,08	20,7	14,75	32,75	22,46	15,92	16,59
L	0	3,73	1,55	0	0,72	0	3,72	2,57	3,72	7,9	8,92	2,97
Opacos	4,8	4,47	6,66	9,5	4,8	3,46	1,63	1,17	3,22	1,86	0,44	1,48
Chert	1,4	1,99	0	0,71	1,51	0	1,39	6,08	0,24	5,21	3,09	6,38
Micas	1,92	3,9	5,03	0,23	0,97	10,6	6,51	5,84	2,97	2,79	0,62	0,85
Otros min.	5,86	16,4	15,3	28	10,2	10,3	5,8	5,84	5,44	6,2	8,18	2,55
Matriz	0	0	22,7	45	11,3	5,19	0	0	0	0	14,82	0
Cemento	0	0	10,7	0	4,85	0	2,79	31,85	0	5,6	8,84	15,31
Porosidad	9,37	0,99	12	8,33	17	15,4	9,73	7,02	10,81	13,2	14,6	19,36
Total	100	99,9	99,8	99,9	99,9	100	99,9	100,4	100	99,89	99,75	99,91

Tabla 10: datos de porcentaje para los componentes de las muestras del segmento superior del pozo estratigráfico.

Muestra	Feldespato	Cuarzo	Líticos
441.15	9,63	10,56	70,18
438.85	18,9	26,28	54,79
388.2	26,23	14,1	59,66
354.7	43,90	31,4	24,6
316.88	34,20	7,64	58,13
315.63	54,77	8,92	36,29
221.67	27,70	27,70	44,61
217.15	38	52,27	9,71
214.34	6,88	13,26	79,80
212.86	6,63	26,79	66,57
153.47	47,16	35,22	17,61
137.46	7,77	26,94	65,26
109.25	35,31	23,4	41,25
77.82	31,29	18,83	49,86
72.24	8,69	17,04	74,23
33.07	54,97	26,54	18,48

Tabla 11: datos de porcentajes para la clasificación de arenitas según Folk (1974).

Muestra	Ígneo	Metamórfico	Sedimentario
459.0	50,66	1,76	47,57
456.4	40,27	0	59,720
412.2	21,29	4,7	73,90
257.33	39,09	0	60,90
226.3	35,88	1,7	62,34
215.0	49,41	8,23	42,34
173.48	34,27	6,1	59,61
108.26	0	0	100
71.43	24,45	2,65	72,87
32.61	31,63	11,39	56,95

Tabla 12: datos de porcentajes para la clasificación de ruditas según Boggs (1992).

Muestra	Arena	Carbonato	Lodo
324.0	44,24	0	55,75
318.7	45,25	0	54,7
135.03	54	0	83,9
108.26	12,59	14,76	72,6
101.3	33,54	0	66,45
89.61	36,49	8,31	55,19
63.70	52,34	0	47,65

Tabla 13: datos de porcentajes para la clasificación de rocas sedimentarias mixtas según Vatan (1967).

Muestra	F	Qt	L
459.0	7,04	18,66	74,29
456.4	15,74	12,34	71,91
441.15	9,5	19,93	70,55
438.85	18,84	26,51	54,63
412.2	17,3	25,96	56,73
388.2	26,23	16,06	57,7
371.85	63,05	30,98	1,96
354.7	43,96	33,81	22,22
324.0	81,08	13,51	5,4
318.7	70,16	20,96	8,87
316.88	34,56	10,4	55,03
315.63	54,76	10,77	34,46
257.33	5,55	16,91	77,52
226.3	11,94	26,62	61,43
221.67	27,69	36,15	36,15
217.15	37,25	53,22	9,5
215.0	1,92	22,78	75
214.34	6,88	18,87	74,23
212.86	6,63	33,95	59,41
173.48	2,95	18,82	78,22
153.47	46,87	35,62	17,5
137.46	7,75	35,18	57,06
135.03	57,4	42,59	0
109.25	34,18	25,45	40,36
108.26	11,32	58,49	30,18
101.30	45,28	50,9	3,77
89.61	50	47,65	2,39
77.82	19,52	22,48	64,85
72.24	7,83	25,3	66,86
71.43	8,94	24,79	66,26
63.70	69,86	26,02	4,1
33.07	54,97	26,24	18,48
32.61	12,31	11,82	75,86

Tabla 14: datos de porcentajes para la clasificación de la tectofacies según Dickinson (1985), diagrama ternario QtFL.

Muestra	F	Qm	Lt
459.0	7,04	3,46	89,43
456.4	15,74	5,1	78,29
441.15	9,5	7,05	83,43
438.85	18,84	26,19	54,95
412.2	17,3	11,53	71,15
388.2	26,23	12,78	60,98
371.85	63,05	30,98	1,96
354.7	43,96	30,43	25,6
324.0	81,08	5,4	13,51
318.7	70,16	20,96	8,87
316.88	34,56	6,04	59,39
315.63	54,76	8,92	36,3
257.33	5,55	4,79	89,64
226.3	11,94	15,69	72,35
221.67	27,69	26,29	46
217.15	37,25	48,18	14,56
215.0	1,92	13,67	84,41
214.34	6,88	8,92	84,18
212.86	6,63	17,24	76,12
173.48	2,95	8,11	88,93
153.47	46,87	33,75	19,37
137.46	7,75	20,22	72,02
135.03	57,4	42,59	0
109.25	34,18	21,09	46,18
108.26	11,32	33,96	54,71
101.30	45,28	50,9	3,77
89.61	50	47,65	2,39
77.82	19,52	17,05	70,28
72.24	7,83	13,55	78,6
71.43	8,94	7,31	83,73
63.70	69,86	23,97	6,16
33.07	54,97	26,24	18,48
32.61	12,31	7,88	79,88

Tabla 15: datos de porcentajes para la clasificación de la tectofacies según Dickinson (1985), diagrama ternario QmFLt.

Muestra	Tamaño Máximo (mm)	Tamaño promedio (mm)	Selección	Esfericidad	Angularidad (%)	Redondez (%)
459	7	0,4	mala	baja-media	76	24
456,4	5	0,3	mala	baja-media	60	40
441,15	1,5	0,1	mala	baja-media	54	46
438,85	0,5	0,1	buena	baja-media	76	24
412,2	6	0,3	mala	baja-media	38	62
388,2	0,4	0,1	buena	alta-media	70	30
371,85	0,5	0,1	buena	baja-media	78	22
354,7	0,6	0,1	mala	baja	80	20
324	0,5	0,1	moderada	baja	60	40
318,7	0,6	0,2	mala	baja-media	75	25
316,88	1	0,3	mala	baja-media	80	20
315,63	0,6	0,11	buena	baja-media	55	45
257,33	6	0,5	mala	baja-media	35	65
226,3	3,7	0,4	mala	baja-media	70	30
221,67	2	0,05	mala	baja	72	28
217,15	1	0,3	mala	baja-media	75	25
215	5	0,3	mala	baja-media	40	60
214,34	1,9	0,4	mala	baja-media	35	65
212,86	1,8	0,5	mala	baja-media	70	30
173,48	8	1	mala	baja-media	30	70
153,47	1,4	0,2	mala	baja-media	40	60
137,46	2,6	0,5	mala	baja-media	40	60
135,03	0,7	0,05	buena	baja	80	20
109,25	0,8	0,15	buena	baja-media	70	30
108,26	0,6	0,01	moderada	baja-media	65	35
101,3	0,4	0,06	mala	baja-media	75	25
89,61	0,4	0,1	mala	baja-media	80	20
77,82	1,5	0,5	buena	alta-media	45	55
72,24	1,5	0,5	buena	alta-media	60	30
71,43	6	1	mala	baja-media	30	70
63,7	0,6	0,1	mala	baja	60	40
33,07	0,45	0,1	moderada	baja-media	70	30
32,61	4	0,5	mala	baja-media	60	40

Tabla 16: datos de tamaño máximo y tamaño promedio, selección, esfericidad, angularidad y redondez de los clastos para cada una de las muestras del pozo estratigráfico.

Muestra	Ígneo	Metamórfico	Sedimentario	Total
459.0	58,33	2,03	39,63	99,99
456.4	44,62	0	55,37	99,99
441.15	44,1	4,57	51,32	99,99
438.85	13,46	1,9	84,62	99,98
412.2	33,65	7,46	58,88	99,99
388.2	43,82	1,2	54,95	99,97
371.85	100	0	0	100
354.7	4,1	5,4	90,48	99,98
324.0	0	0	100	100
318.7	0	0	100	100
316.88	20,34	2,66	76,98	99,98
315.63	26,76	6,24	66,98	99,98
257.33	45,05	0	54,94	99,99
226.3	38,11	1,87	60,01	99,99
221.67	22,4	0	77,59	99,99
217.15	49,9	9,3	40,72	99,92
215.0	58,73	0	41,26	99,99
214.34	45,04	0,43	54,52	99,99
212.86	43,76	6,8	49,43	99,99
173.48	39,9	7,11	52,97	99,98
153.47	3,95	5,67	90,36	99,98
137.46	33,94	8,5	57,55	99,99
135.03	0	0	0	0
109.25	1,04	2,13	96,82	99,99
108.26	0	0	100	100
101.30	0	0	100	100
89.61	0	33,33	66,66	99,99
77.82	26,6	0,41	72,98	99,99
72.24	27,59	2,46	69,9	99,95
71.43	30,26	3,24	66,49	99,99
63.70	0	0	100	100
33.07	0	0	100	100
32.61	39,02	0	60,97	99,99

Tabla 17: datos porcentuales de los fragmentos líticos para cada una las muestras del pozo estratigráfico.

Muestra	Porosidad (%)
459.0	19,36
456.4	14,6
441.15	10,02
438.85	10,91
412.2	7,02
388.2	9,53
371.85	15,36
354.7	16,99
324.0	8,33
318.7	12
316.88	0,99
315.63	9,37
257.33	2
226.3	8,9
221.67	7,37
217.15	0
215.0	0
214.34	0
212.86	6,26
173.48	0,96
153.47	7,63
137.46	1,44
135.03	4,25
109.25	5,51
108.26	8,89
101.30	8,01
89.61	5,32
77.82	6,69
72.24	5,53
71.43	2,68
63.70	10,8
33.07	14,4
32.61	2,26

Tabla 18: datos de porosidad relativa para cada una de las muestras del pozo estratigráfico.

Muestra	Potencial como reservorio
459	Moderado
456,4	Bajo
441,15	Bajo
438,85	Bajo
412,2	Muy bajo
388,2	Muy bajo
371,85	Bajo
354,7	Moderado
324	Bajo
318,7	Bajo
316,88	Muy bajo
315,63	Bajo
257,33	Muy Bajo
226,3	Bajo
221,67	Bajo
217,15	Muy bajo
215	Bajo
214,34	Bajo
212,86	Bajo
173,48	Muy bajo
153,47	Bajo
137,46	Muy bajo
135,03	Bajo
109,25	Bajo
108,26	Moderado
101,3	Bajo
89,61	Bajo
77,82	Bajo
72,24	Bajo
71,43	Muy bajo
63,7	Bajo
33,07	Bajo
32,61	Muy bajo

Tabla 19: Calidad de las rocas en cuanto al potencial como reservorio de hidrocarburos para cada una de las muestras del pozo estratigráfico.

13. BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, A.E., MACKENZIE, W.S. & GUILDFORD, C. (1984). Atlas of sedimentary rocks under the microscope. Londres: Longman scientific & technical.
- ANH - Universidad EAFIT. 2007. Evaluación integral de la información geológica, geofísica y geoquímica de la cuenca Atrato y cuenca San Juan, 143pp.
- BOGGS, S. (1992). Petrology of sedimentology Rocks. McMillan Publish Comp, New York, 707p.
- BOGGS, S. (2003) Petrology of Sedimentary Rocks, University of Oregon.
- CEDIEL, F. et al (2003), Open Round Colombia, Agencia Nacional de Hidrocarburos.
- CEDIEL, F., R. P. SHAW, and C. CACERES, 2003, Tectonic assembly of the Northern Andean Block, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79*, p. 815– 848.
- COSSIO, U. (2002). Mapa geológico de la Plancha 203, Istmina, escala 1:100.000. INGEOMINAS, Medellín.
- DICKINSON, W.R. (1985). Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. En: Zuffa, G.G., (ed.). Provenace of arenites. Dreidel, p. 333-361.
- DUNIA CONSULTORES (2006) Cartografía geológica en el área de la Subcuenca Atrato - San Juan, departamento del Chocó.

- DUQUE_CARO, H. (1989). El Arco de Dabeiba: Nuevas aportaciones al conocimiento del noroccidente de la Cordillera Occidental. V Congreso Colombiano de geología, Memorias, Tomo 1, p. 108-126. Bucaramanga.
- FIGUEROA, Y. Y NÚÑEZ A. (1990). Cartografía geológica de un área en las cabeceras del Río San Juan (Chocó). Trabajo de grado en Geología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- FOLK, R. (1974). Petrology of Sedimentary Rocks. Austin, Texas: Hemphill. 182 p.
- GUZMÁN, C. (1993). Estudio diagenético preliminar de la Formación Amagá.
- HAFFER, J. (1967). On the geology of the Urabá and northern Chocó regions, northwestern Colombia. Informe 809. ISN 431 (EPIS).
- MEJÍA, M & SALAZAR, G. (1989), Geología de la plancha 114 (Dabeiba) y parte w de la 115 (Toledo), INGEOMINAS.
- RESTREPO, J. & TOUSSAINT, J. (1988). Terranes and continental accretion in the Colombian Andes.- Episodes, Vol. 11, No. 3, p. 189-193.
- RESTREPO, LINA CLEMENCIA. (2010). Estratigrafía del pozo Chocó-1-ST-S. Universidad de Caldas.
- TEXAS PETROLEUM COMPANY (1989). Informe Geológico: Área de asociación Istmina, Texaco. Informe 2352. ISN 12901 (EPIS).
- TOUSSAINT, J., (1993). Evolución geológica de Colombia, Precámbrico-Paleozoico. Publicaciones Universidad Nacional de Colombia. 229 p. Medellín.
- SELLEY, RC. (1982). An introduction to Sedimentology. 2nd Edit. Academic Press, London, 417 p.
- SERVIGECOL Ltda., (2008) Geología de superficie y geoquímica de rocas y crudos de la Subcuenca del San Juan (chocó).

- BEDOYA, G. et al, (2007) Inventario, compilación, interpretación y evaluación integral de la información geológica, geofísica y geoquímica de la Cuenca Atrato y Cuenca San Juan.
- WORDEN, R. & BURLEY, S. (2003) Sandstone diagenesis: the evolution of sand to stone
- YAGISHITA, K. Evolution of a provenance as revealed by petrographic analyses of Cretaceous formations in the Queen Charlotte Islands, British Columbia, Canada.