

RECONSTRUCCION DE LA HISTORIA DIAGENETICA DE LAS ARENISCAS DE
LA FORMACION LISAMA EN LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL
MAGDALENA

PAOLA DUARTE GONZALEZ
LUZ ADRIANA ORTIZ ORDUZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA

2011

RECONSTRUCCION DE LA HISTORIA DIAGENETICA DE LAS ARENISCAS DE
LA FORMACION LISAMA EN LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL
MAGDALENA

Proyecto de Grado para optar al título de
Geóloga

PAOLA DUARTE GONZALEZ
LUZ ADRIANA ORTIZ ORDUZ

DIRECTOR
MARIO GARCIA GONZALEZ, Ph. D.
Profesor Titular Escuela de Geología

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUACARAMANGA

2011

DEDICATORIA

*A Dios por ser mi guía y compañero espiritual.
A mis padres Pedro y Martha por su amor, paciencia, dedicación, y por hacer de
mi la mujer que soy.
A mi hermana Diana, por su cariño y confianza.
A Ronald, por estar a mi lado apoyándome en los buenos y malos momentos
A mis amigos*

Paola Duarte González

DEDICATORIA

*A mi madre por su amor, enseñanzas y sacrificios, los cuales me ayudaron a
alcanzar esta meta en mi vida.*

*A mi padre, por acompañarme y estar conmigo a lo largo de estos años.
A mis tíos Luis Fernando Orduz y María Clemencia Mantilla por su cariño y
apoyo incondicional.*

Luz Adriana Ortiz Orduz.

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Mario García González, director de este proyecto, por sus enseñanzas paciencia y apoyo.

Al grupo de Investigación de Geología de Hidrocarburos y Carbones GIHS de la universidad industrial de Santander por brindarnos información y apoyo económico para llevar a cabo este proyecto.

Al Geólogo Jorge Arley Meza, por sus enseñanzas y apoyo incondicional, en el desarrollo de este proyecto.

A nuestros nuestros amigos y familiares

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	21
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
2. OBJETIVOS	25
2.1 OBJETIVO GENERAL	25
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	25
3. LOCALIZACION	26
4. MARCO GEOLOGICO	27
4.1 MARCO ESTRUCTURAL	27
4.1.1. Estructuras	27
4.1.1.1. Sinclinal de Nuevo Mundo	28
4.1.1.2. Falla de La Salina	28
4.2 ESTRATIGRAFIA	29
4.2.1. Formación Girón	29
4.2.2. Formación Arcabuco-Los Santos	29
4.2.3. Formación Rosablanca.	29
4.2.4. Formación Paja	29
4.2.5. Formación Tablazo.	30
4.2.6. Formación Simití.	30
4.2.7. Formación La Luna	30
4.2.8. Formación Umir	30
4.2.9. Formación Lisama	30
4.2.10. Formación La Paz	30
4.2.11 Formación Esmeralda	31
4.2.12. Formación Mugrosa	31
4.2.13. Formación Colorado.	31
4.3 FORMACIÓN LISAMA	33
5. MARCO TEORICO	34
5.1 PETROGRAFIA	34

5.1.1 Clasificación textural	34
5.1.2 Clasificación composicional	35
5.2 DIAGENESIS	35
5.2.1. Estados diagenéticos.	35
5.2.1.1 Diagénesis temprana o eogénesis.	35
5.2.1.2 Mesogénesis y/o Anadiagenesis.	36
5.2.1.3 Telogénesis y/o Epiadiagenesis.	36
5.2.2.1 Compactación	37
5.2.2.2 Cementación	37
5.2.2.3 Disolución	37
5.2.2.4 Reemplazamiento	38
5.2.2.5 Recristalización	38
5.3 POROSIDAD	38
5.3.1 Tipos de porosidades	38
5.3.1.1 Porosidad primaria	38
5.3.1.2 Porosidad secundaria	38
6. REACCIONES REDOX Y AUMENTO DE LA POROSIDAD	41
7. METODOLOGIA	43
7.1 TOMA DE MUESTRAS	43
7.2 LEVANTAMIENTO POLIGONAL	43
7.3 COLUMNA ESTRATIGRAFICA	43
7.4 PPREPARACION DE MUESTRAS PARA SECCION DELGADA	43
7.5 DESCRIPCION PETROGRAFICA	43
7.6 CLASIFICACION DE MUESTRAS	44
7.7 REALIZACION DEL MODELO GEOQUIMICO 1D	44
8. RESULTADOS	45
8.1 POLIGONAL	45
8.2 COLUMNA ESTRATIGRAFICA	48
8.3 TABLA DE MUESTRAS	50
8.4 ANALISIS PETROGRAFICO	50

8.4.1 Grupo A: Sublitoarenitas	50
8.4.1.1. Textura	50
8.4.1.2. Composición	53
8.4.2. Grupo B: Litoarenitas	56
8.4.2.1 Textura	56
8.4.2.2. Composicion	59
9. REACCIONES REDOX	64
10. SECUENCIA DE EVENTOS DIAGENETICOS	68
11.MODELAMIENTO GEOQUIMICO	76
12. DISCUSIÓN	84
13. CONCLUSIONES	85
14. REFERENCIAS CITADAS	87
ANEXOS	90

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización de área de estudio, (Recuadro amarillo) Tomado y modificado de Caballero, 2010.	26
Figura 2. Esquema estructural de la zona de estudio. Tomado de Suescún 1996, Geología cuadrángulo H11 Barrancabermeja, Servicio Geológico Nacional e Inventario Minero Nacional; escala 1:200000	28
Figura 3. Columna Estratigráfica generalizada de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Tomado de Barrero 2007	33
Figura 4. Triangulo de Clasificación textural para rocas sedimentarias (Izq.) Triangulo de clasificación composicional para rocas sedimentarias (Der) según Folk 1974. Tomado y modificado de Cruz, et al., 2004.	34
Figura 5. Estados diagenéticos. Tomado de	36
Figura 6. Esquema de los procesos de compactación en las areniscas, (a) estructura con alta porosidad en la sedimentación, (b) estructura después de la compactación mecánica, (c) estructura después de la compactación mecánica y química. Tomado y modificado de (Burley y Worden, 2003).	39
Figura 7. Procesos Diagenéticos (A) Microfotografía de cemento silíceo. Sobrecrecimientos de cuarzo. Qz= Cuarzo. (B) Disolución en cristal de (F) feldespato potásico, con grados de alteración variables. Porosidad intragranular secundaria. Tomado y modificado de (Spalletti y Poiré, 2007)	40
Figura 8. Esquema de porosidad secundaria. (a) Porosidad por macrofractura; (b) porosidad por microfractura. Qz= Cuarzo; Ma= Matriz de arenisca. Tomado y modificado de Burley y Worden, 2003.	40
Figura 9. Localización de área de estudio y toma de muestras (cuadro en rojo).	45
Figura 10. Poligonal Realizada en Campo en el sector La Fortuna. Vía Bucaramanga-Barrancabermeja.	46
Figura 11. Poligonal Realizada en campo, vía Bucaramanga-Barrancabermeja, sector "La Fortuna".	47
Figura 12. Columna estratigráfica realizada en campo, ubicada sobre la vía que comunica Bucaramanga-Barrancabermeja, sector "La Fortuna" (Anexo 6).	48

Figura 13. División de segmentos, afloramiento sector La Fortuna. Vía que comunica Bucaramanga-Barrancabermeja.	49
Figura 14. División de segmentos, afloramiento sector La Fortuna. Vía que comunica Bucaramanga-Barrancabermeja. Segmento 3 (SG3), Segmento 4 (SG4), Segmento 5 G5.	49
Figura 15. Cuarzos monocristalinos (Qz), líticos ígneos (LI), líticos metamórficos (LM) y rutilos anhedrales (Rt) como mineral accesorio	51
Figura 16. cuarzos fracturados (Qz), líticos sedimentaria, como el chert (Ch), porosidad secundaria producida por el fracturamiento de algunos granos de cuarzo y disolución de la matriz (Ps), cemento ferruginoso (Cf) y matriz arcillosa (Mt).	52
Figura 17. Lítico ígneo sufriendo disolución (LI), muscovita (Ms), cementación por minerales de hierro (Cf) y minerales pesados como el rutilo (Rt). Qz: Cuarzo	52
Figura 18. Cuarzos monocristalinos y fracturados (Qz), porosidad secundaria producida por la disolución de la matriz y algunos feldespatos (Ps), y grano de circón subhedral (Zr).	53
Figura 19. Clasificación textural según Folk, 1974.	53
Figura 20. Clasificación composicional según Folk, 1974.	55
Figura 21 Selección para muestras clasificadas composicionalmente como sublitoarenitas	56
Figura 22 Se observa porosidad secundaria (Ps), producto de la disolución de feldespatos. La hematita (Hm) como material cementante, minerales Leucoxeno (Lx) y pirita (Py) hacen parte de minerales accesorios.	57
Figura 23. Se observan principalmente cristales de cuarzo (Qz), los cuales se encuentran dispersos en toda la muestra, ayudando a la deformación de la muscovita (Ms), en la parte superior izquierda se observa cuarzo policristalino (Qz) de origen ígneo.	58
Figura 24 Porosidad secundaria producida por el fracturamiento de algunos granos de cuarzo y disolución de la matriz (Ps), se observan minerales como circón (Zr), Rutilo (Rt).	58
Figura 25 Se observa porosidad secundaria (Ps) producto de la disolución de feldespatos (F), la muscovita se deforma producto de la presión de los cristales de cuarzo	59

Figura 26. Clasificación textural según Folk, 1974.	59
Figura 27. Clasificación composicional según Folk, 1974.	61
Figura 28. Selección para muestras clasificadas como litoarenitas según su composición	62
Figura 29. Zona invadida de hidrocarburo, la cual se caracteriza por el tono rojizo En la roca.	65 65
Figura 30. Se observan las dos tonalidades indicadoras. Zona grisácea bajo contenido de hidrocarburo, zona Rojiza alto contenido de cemento ferruginoso.	65
Figura 31. Areniscas con mayor blanqueamiento (recuadro amarillo), indicando que el hidrocarburo ya abandono la roca.	66
Figura 32. Inicio del ciclo Redox, entre el petróleo y la arenisca.	66
Figura 33. Diagrama esquemático del ciclo redox entre el crudo y las Arenas de la Formación Lisama.	67
Figura 34. Sobrecrecimientos de Cuarzo (recuadro amarillo), cementando las partículas.	68
Figura 35. Disolución de Feldespatos (recuadro naranja), produciendo porosidad secundaria.	69
Figura 36. Muscovita (Ms) ductilizada, por presión ejercida de granos de cuarzo (Qz)	70
Figura 37. Superficies estilolíticas (recuadro amarillo), de presión-Solución.	70
Figura 38. Espacio poroso ocluido por Caolinita vermicular (recuadro amarillo).	71
Figura 39. En el recuadro amarillo se evidencia la precipitación de Carbonatos	72
Figura 40. En el recuadro rojo se evidencia la precipitación de siderita	72
Figura 41. El recuadro rojo muestra la precipitación de siderita, la cual se está oxidando produciendo hematita (recuadro verde). Ps: Porosidad secundaria	73
Figura 42. En el recuadro verde se evidencia materia orgánica dejada por el paso del hidrocarburo.	74

Figura 43. Profundidad (m) vs Temperatura de Fondo (°C-Celsius). La temperatura en la zona está indicada por la línea roja	76
Figura 44. Profundidad (m) vs Reflectancia de Vitrinita (%Ro). El Ro está indicado por la línea azul.	77
Figura 45. Diagrama de enterramiento con respecto a la profundidad (m) y la edad (m.a), para el intervalo de tiempo entre Cretácico medio al Neógeno.	78
Figura 46. Diagrama de enterramiento. Variación de la temperatura (°C) con respecto a la profundidad (m).	79
Figura 47. Diagrama de enterramiento. Variación de la Porosidad (%) con respecto a la profundidad (m).	81
Figura 48. Diagrama de enterramiento. Variación de la Reflectancia de la Vitrinita (%Ro) con respecto a la profundidad (m) y la edad (m.a).	82

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos tomados en campo para la realización de la poligonal	47
Tabla 2. Toma de muestras recolectadas en campo	50
Tabla 3. Historia diagenética de la Formación Lisama para el afloramiento en el sector “La Fortuna” vía Bucaramanga-Barrancabermeja.	75

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. DESCRIPCION PETROGRAFICA	91
ANEXO 2. DESCRIPCIÓN PETROGRAFICA SECCION DELGADA	148
ANEXO 3. RECALCULO AL 100% DE ARENA, LIMOS ARCILLAS	149
ANEXO 4. RECALCULO AL 100% DE CUARZO, LITICOS Y FELDESPATOS	150
ANEXO 5. CLASIFICACION TAMAÑO DE GRANO	151
ANEXO 6. COLUMNA ESTRATIGRAFICA	154
ANEXO 7. TABLA SELECCIÓN DE PARTICULAS	155

RESUMEN

TITULO: RECONSTRUCCION DE LA HISTORIA DIAGENETICA DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACION LISAMA EN LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA*

AUTORES: Duarte, P. Ortiz, L. **

PALABRAS CLAVE:

Formación Lisama, Diagénesis, Reacciones Redox, Valle Medio del Magdalena.

DESCRIPCION:

La Cuenca del Valle Medio del Magdalena es una de las más productoras en Colombia, lo cual la hace de mayor interés. Las areniscas de la Formación Lisama presentan altos porcentajes de porosidad, predominando las porosidades secundarias (intergranular y microfractura), las cuales se relacionan con la generación de ácidos, los cuales se producen a partir del kerógeno, ocurriendo durante los diferentes procesos diagenéticos. Estos ácidos por presentar baja viscosidad atraviesan la roca invadiendo los poros y haciendo que se generen reacciones de óxido-reducción con los diferentes tipos de cemento presentes en la roca. Partiendo de esto, se estudia la Formación Lisama en el sector conocido como La Fortuna, Municipio de Barrancabermeja y sus respectivos eventos diagenéticos, esto se realiza en base a la descripción petrográfica, en la que se describe cada muestra textural y composicionalmente, teniendo en cuenta los procesos por los que pudiese haber pasado cada mineral allí presente, como es el caso de cuarzo, feldespatos, carbonatos y demás.

Los resultados de porosidad obtenidos según en el modelamiento geoquímico arrojan valores menores (5-7%) que aquellos calculados según los análisis petrográficos (3.33-22.96%), esto se explica por las reacciones químicas de óxido-reducción que sufren estas areniscas.

*Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología. Director: Ph.D. Mario García González.

ABSTRACT

TITLE: DIAGENETIC RECONSTRUCTION OF THE SANDSTONES IN THE LISAMA FORMATION, IN THE MIDDLE MAGDALENA VALLEY BASIN. *

AUTHORS: Duarte, P. Ortiz, L.**

KEYWORDS:

Lisama Formation, Diagenesis, Redox Reactions, Middle Magdalena Valley.

DESCRIPTION:

The Middle Magdalena Valley Basin is one of the most productive basin in Colombia, which makes it more interesting. Sandstones of Formation Lisama have high percentages of porosity, mainly secondary porosity (intergranular and microfracture), which is related to the preproduction of acids derived from kerogen, which occur during different diagenetic processes. These acids have low viscosity and get through the rock, invading pores, so redox reactions take place with the different types of cement present in the rock. According to this, the Lisama Formation was studied in the area known as La Fortuna, Barrancabermeja town, and its diagenetic events, this is done on based on petrographic analysis, describing eighteen samples texturally and compositionally, taking into account the processes by which each mineral could have been present there, such as quartz, feldspar, carbonate and others.

The porosity results obtained using the geochemical modeling are lower (5-7%) than those calculated from the petrographic analysis (3.33-22.96%); this is due redox chemical reactions that this sandstones have undergone.

*Degree Project, Research Modality.

** Faculty of Physicochemical Engineering, Geology School. Director: Ph. Mario García González

INTRODUCCION

La cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM), se encuentra hacia el norte del país en la parte central, entre las Cordilleras Central y Oriental de los Andes Colombianos. La cuenca VMM es una de las cuencas petroleras más prolíficas en Colombia. La mayoría de los campos de petróleo descubiertos corresponden a acumulaciones de hidrocarburos en trampas estructurales en reservorios siliciclásticos del terciario.

El propósito de esta investigación es realizar el análisis petrográfico de la Formación Lisama en el sector La Fortuna, Municipio de Barrancabermeja, en la cuenca del Valle Medio del Magdalena con el fin de entender la historia diagenética de las areniscas de la Formación Lisama a partir de las muestras de afloramiento.

Actualmente en el VMM se están desarrollando proyectos de recuperación de crudos en el Campo Lisama en donde es importante conocer las características petrográficas de los reservorios con el fin de construir modelos predictivos que permiten localizar nuevos pozos para la exploración eficiente de Campo Lisama.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con esta investigación se espera documentar cual fue el papel de la diagénesis de los reservorios de petróleo en el control de la carga o invasión de hidrocarburos generados en rocas subyacentes de edad Cretácica. De esta manera se espera explicar cuáles fueron los procesos de diagénesis en cuanto a la preservación de la porosidad y/o generación de porosidad secundaria que permitió la invasión de hidrocarburos en el espacio poroso. Este proceso debe tener un sincronismo entre el tiempo de generación y migración de hidrocarburos y el tiempo de generación de porosidades secundarias en los reservorios de areniscas del VMM.

Los procesos de generación de porosidades secundarias se dan por generación de ácidos orgánicos a partir del Kerógeno durante la diagénesis orgánica de rocas fuente de petróleo y gas. Los ácidos orgánicos al ser solubles en agua migran grandes distancias invadiendo rocas porosas en donde los ácidos orgánicos reaccionan con el cemento calcáreo y también con los granos de feldespatos disolviéndolos para así crear porosidades secundarias (Surdam, 1993; Al-Shaieb et al 1981).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudio de los procesos diagenéticos de las areniscas de la Formación Lisama.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Muestreo en afloramientos
- Descripción petrográfica de muestras en sección delgada.
- Clasificación petrográfica de las areniscas de la Formación Lisama
- Mención de eventos diagenéticos presentes en el área de estudio.

3. LOCALIZACION

La zona de estudio se encuentra localizada en la cuenca del Valle Medio del Magdalena al noreste del municipio de Barrancabermeja en el departamento de Santander, entre las coordenadas, $X=1.059.524$ y $Y=1.281.080$ (Figura 1).

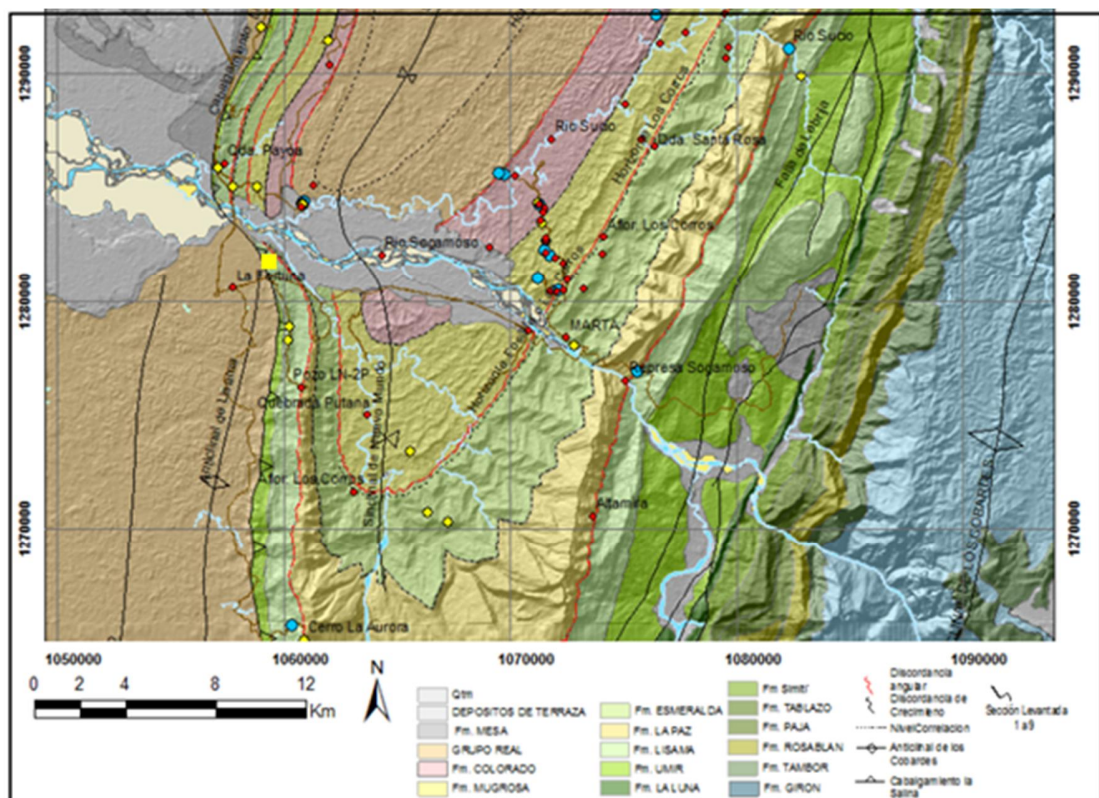


Figura1. Localización de área de estudio, (Recuadro amarillo) Tomado y modificado de Caballero, 2010.

4. MARCO GEOLOGICO

4.1 MARCO ESTRUCTURAL

La cuenca del Valle Medio del Magdalena durante el Eoceno sufre un evento compresivo el cual genera una importante deformación de los sedimentos Cretácicos, dando como resultado un plegamiento en sistemas estructurales formados por fallas inversas de convergencia oriental, los cuales quedan preservados por debajo de sedimentos del Eoceno Superior y Oligoceno (Aguilera, 2009).

Estas dos etapas principales de deformación de la cuenca, están asociadas a la formación de la Cordillera Central y la Cordillera Oriental, las cuales marcan el desarrollo de las principales estructuras observadas en el subsuelo. Las estructuras formadas en el margen occidental están preservadas en el actual margen “pasivo” de la cuenca bajo una secuencia sedimentaria que se adelgaza hacia el occidente, lo que implica que las estructuras se han preservado casi como se formaron desde el Eoceno, con un continuo enterramiento, lo que genera riesgos exploratorios asociados a procesos diagenéticos relacionados con el enterramiento, tales como compactación y cementación, que pueden haber reducido la porosidad secundaria en las calizas, generada por la deformación estructural y exposición sub-aérea (dolomitización) durante la primera fase de deformación (Aguilera, 2009).

4.1.1. Estructuras

Las principales estructuras en el área de estudio son:

4.2 ESTRATIGRAFIA

Las siguientes Formaciones hacen parte de la columna estratigráfica de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (Figura 3).

4.2.1. Formación Girón. Edad, Jurásico superior (Hettner, 1892, en Etayo et al., 1983), asigno el término de Formación Girón compuesta principalmente por areniscas cuarzosas, y arcosas rojas, con presencia de intercalaciones de lodolita, y algunos niveles conglomeraticos (Hettner, 1892, en Etayo et al., 1983).

4.2.2. Formación Arcabuco-Los Santos. Edad, Jurásico Superior- Cretáceo Inferior?, (Olsson A. A, según Taborda, 1952; en Etayo et al., 1983), compuesta principalmente por areniscas cuarzosas y conglomerados localmente, con algunas capas de lodolitas (Ulloa y Rodríguez, 1979, en Julivert, 1968).

4.2.3. Formación Rosablanca. Edad, Hauteriviano-Barremiano, (Wheeler, O.C, 1929, según Morales, et al., 1958, en Etayo, et al., 1983), compuesta principalmente por calizas grises, dolomitas, lodolitas calcáreas, shale con intercalaciones de caliza, y areniscas en su nivel superior (Julivert, 1958a, 1958b, en Julivert, 1983).

4.2.4. Formación Paja. Edad, Hauteriviano-Barremiano-Aptiano, (Wheeler, O.C, 1929, según Morales, et al., 1958, en Etayo et al., 1983), compuesta principalmente por shale ligeramente calcáreo, presenta venas de calcita y yeso (Jimeno & Yepes, 1963, en Julivert, 1983).

4.2.5. Formación Tablazo. Edad, Albiano (Wheeler O.C, según Morales, y otros, 1958, en Etayo, et al., 1983), compuesta principalmente por calizas fosilíferas y lodolitas calcáreas (Morales, *et al.*, 1958, en Julivert, 1983).

4.2.6. Formación Simití. Edad, Albiano, (Wheeler, O.C Según Morales y otros 1958, en Etayo, et al., 1983), compuesta por shale localmente calcáreo, hacia el techo se encuentran capas delgadas de conglomerado y pequeños nódulos fosilíferos (Wheeler, O.C Según Morales y otros 1958, en Julivert, 1983).

4.2.7. Formación La Luna. Edad, Cretáceo Superior- Turoniano (Coniaciano Santoniano?) (Van Der Hammen, 1958, en Julivert, 1983). Nombre asignado por Garner, 1926, en Julivert, 1983. Compuesta principalmente por shale calcárea, negra, fosilífera con concreciones de calizas negras (Garner, 1926, en Julivert, 1983).

4.2.8. Formación Umir. Edad, Campaniano-Maastrichtiano (Huntley, L.G. 1917, en Julivert, 1983). Compuesta principalmente por lutitas con delgadas laminas carbonáceas y micáceas, su parte superior consta de lutitas blandas con numerosas láminas de carbón (Huntley, 1917, en Julivert, 1983)

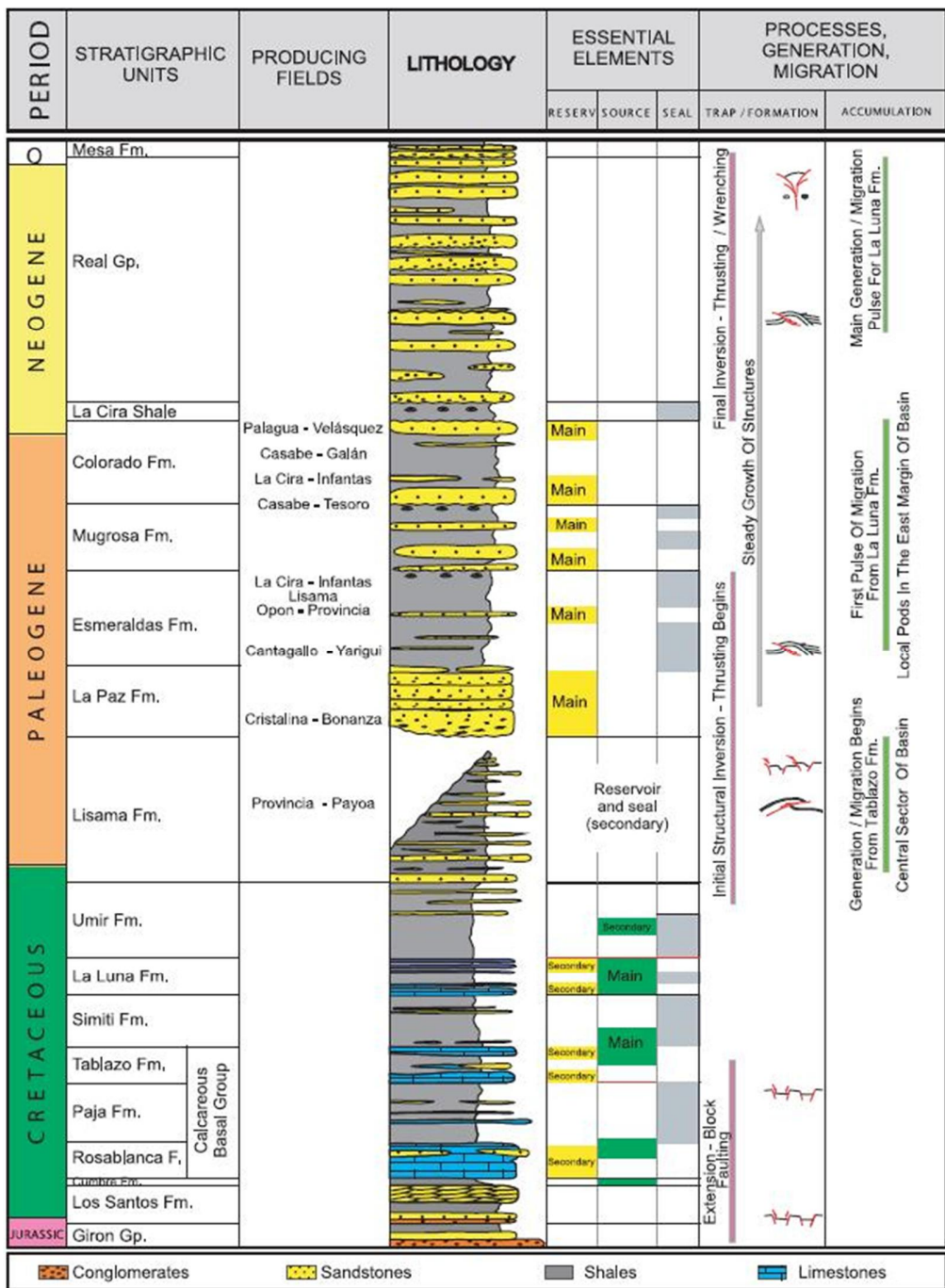
4.2.9. Formación Lisama. Edad, Paleoceno (Link 1925 en Taborda 1965, en De Porta, 1974). Compuesta principalmente por lutitas abigarradas, areniscas de grano fino a medio de color pardo bien calibradas, estratificación cruzada, plana y cemento ferruginoso (Huntley, 1917, en De Porta, 1974).

4.2.10. Formación La Paz. Edad, Eoceno Medio (Wheeler, 1935, en De Porta, 1974), compuesta principalmente por areniscas, limolitas y presenta un alto contenido de lutitas grises (Morales, et al., 1958, en De Porta, 1974).

4.2.11 Formación Esmeralda. Edad, Eoceno Medio-Superior (Wheeler, 1935, en De Porta, 1974) definida por (Morales, et al., 1958, en De Porta, 1974) compuesta principalmente por areniscas grises y limolitas dispuestas en capas delgadas (Wheeler, O.C. 1935, en De Porta, 1974).

4.2.12. Formación Mugrosa. Edad, Oligoceno (Morales, et al., 1928. En De Porta, 1974. Corresponde a la parte inferior del Grupo Chuspas, compuesta principalmente por areniscas grises verdosas, de grano fino a medio, presenta intercalaciones de lodolitas, y areniscas conglomeráticas. (Morales, et al., 1958, en De Porta, 1974)

4.2.13. Formación Colorado. Edad, Mioceno Inferior a Medio definida por (Morales, *et al.* 1958. en De Porta, 1974). La parte superior se compone de arcillolitas grises de oscuras a negras, carbonosas, fosilíferas, con intercalaciones de areniscas, en capas delgadas (Morales, *et al.*, 1958, en De Porta 1974).



Conglomerates

Sandstones

Shales

Limestones

Figura 3. Columna Estratigráfica generalizada de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Tomado de Barrero 2007

4.3 FORMACIÓN LISAMA

La Formación Lisama, consta de lutitas abigarradas, con areniscas de grano fino a medio, de color pardo, con cemento ferruginoso y en algunos sectores presenta mantos de carbón (Gómez R, Morales J, 2008), la parte media superior consta de arcillolitas limosas de tonos claros, pardo rojizas, pardo amarillo, violácea y gris claro con intercalaciones de areniscas arcillosas, gris y marrón fina, micáceas y compactas (Saavedra, et al, 2006). La Formación Lisama presenta esporádicamente estratificación cruzada y lentejones de carbón.

El espesor varía en sentido Este-Oeste notándose un incremento gradual hacia el Sinclinal de Nuevo Mundo, donde parece haber tenido su máximo desarrollo con un espesor de 3.500 pies aproximadamente (Valderrama R Y Pérez V, 1977, en Saavedra, et al, 2006).

El contacto inferior es transicional con la Formación Umir depositada en un ambiente marino. El contacto superior con la Formación La Paz, es discordante (Saavedra, et al, 2006). Este límite se coloca donde aparecen las primeras areniscas bien desarrolladas (De Porta, 1974).

5. MARCO TEORICO

5.1 PETROGRAFIA

5.1.1 Clasificación textural. La clasificación de rocas sedimentarias de acuerdo a la metodología de Folk, 1974, fue realizada teniendo en cuenta el tamaño, la forma de los granos, el calibrado y el empaquetamiento de la roca. El tamaño de los materiales sedimentarios es importante porque refleja: (1) los tipos de material parental, (2) la resistencia de las partículas a la erosión y la abrasión y (3) los procesos de transporte y el ambiente de depositación que actuaron sobre la partícula (Cruz, et al., 2004). Los tamaños de grano se clasifican en tamaño arena, limo y arcilla, y dependiendo de su porcentaje se clasifican en areniscas, limolitas y arcillolitas (Figura 4).

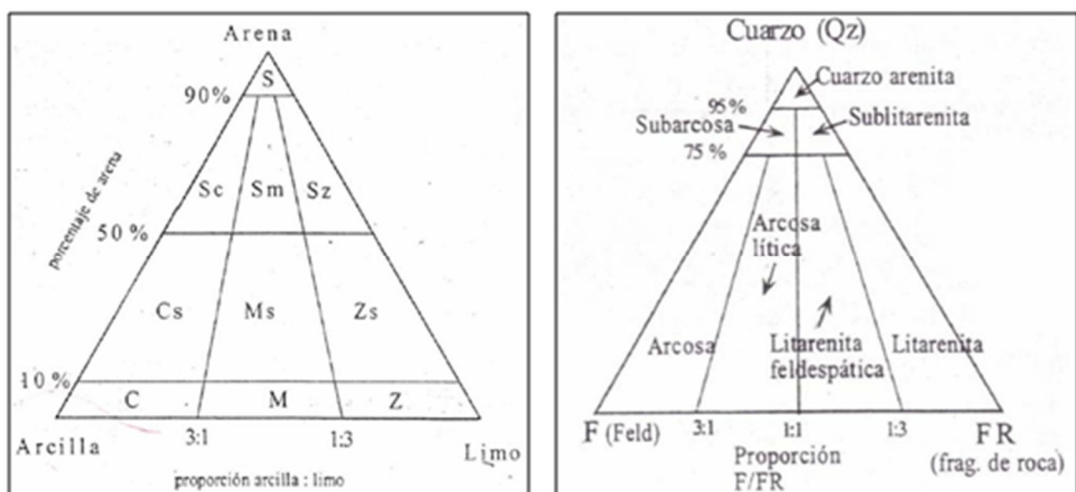


Figura 4. Triangulo de Clasificación textural para rocas sedimentarias (Izq.) Triangulo de clasificación composicional para rocas sedimentarias (Der) según Folk 1974. Tomado y modificado de Cruz et al., 2004.

5.1.2 Clasificación composicional. Esta clasificación se efectuó siguiendo la metodología de Folk, 1974, la cual se basa principalmente en la presencia de dos minerales: cuarzo, feldespatos y de fragmentos de roca o líticos, los cuales son los más abundantes en estas rocas (Figura 4). El cuarzo es uno de los materiales más abundante y el principal constituyente de las rocas sedimentarias, el feldespato y los fragmentos de roca son abundantes en rocas sedimentarias y con un gran significado fisiográfico, tectónico y climático. En esta clasificación no se incluyen los materiales aloquímicos ni ortoquímicos (Cruz, et al., 2004) (Figura 4).

5.2 DIAGENESIS

La diagénesis, representa los cambios en el sedimento durante y después del soterramiento (Sandoval, 2000). Se produce desde condiciones superficiales (interface sedimentaria, sustrato sedimentario de los ambientes de acumulación), hasta profundidades de soterramiento en las que la temperatura alcanza unos 250 grados centígrados y la presión llega hasta 1.5 Kb (Spalletti y Poiré, 2007).

5.2.1. Estados diagenéticos.

Suelen reconocerse tres grandes estados de la diagénesis (Fairbridge, 1967 en Spalletti y Poiré, 2007) (Figura 5).

5.2.1.1 Diagénesis temprana o eogénesis.

Corresponde al ambiente de depositación y al período de soterramiento menos profundo. Con exposición a la atmósfera va desde condiciones secas y oxidantes a húmedas oxidantes y húmedas reductoras. La diagénesis temprana puede alcanzar los 2 km de profundidad y temperaturas inferiores a 70° C (Spalletti y Poiré, 2007).

5.2.1.2 Mesogénesis y/o Anadiagenesis.

Corresponde al ambiente de soterramiento de los sedimentos, superior a 2 km de profundidad. Durante este estadio las aguas porales son modificadas mediante reacciones con los argilominerales, por la disolución de granos inestables, la precipitación de minerales autigénicos y la posible mezcla con aguas de otros orígenes (Spalletti y Poiré, 2007).

5.2.1.3 Telogénesis y/o Epiadiagenesis.

Corresponde a ambientes diagenéticos, generado durante la fase de ascenso tectónico y progresivo retorno de las masas sedimentarias a las condiciones superficiales. Decrecen la presión y la temperatura, y se produce infiltración de aguas meteóricas ácidas, oxidantes y aguas cargadas de CO₂ (Spalletti y Poiré, 2007).

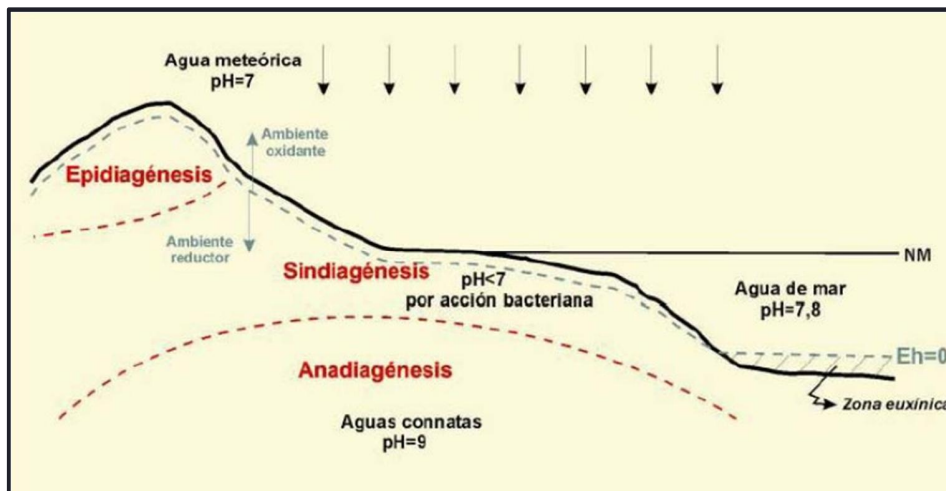


Figura 5. Estados diagenéticos. Tomado de Spalletti y Poiré, 2007.

5.2.2 Procesos diagenéticos.

Como resultado de la gran cantidad de factores (tanto intrínsecos del material como del ambiente diagenético), que influyen en la diagénesis, puede ocurrir una

gran variedad de cambios diagenéticos. Según Sandoval, 2000 las posibles modificaciones que pueden ocurrirle a una partícula recién depositada, son las siguientes:

5.2.2.1 Compactación. Se conoce como los cambios físicos que tienen lugar en un sedimento desde el mismo instante en que estos son depositados, se producen esencialmente por efecto de la compactación mecánica producto del aumento de la presión o carga sedimentaria, al incrementarse la profundidad de soterramiento (Sandoval M, 2000). La Compactación en las areniscas se produce en respuesta a cuatro procesos: reordenamiento de los granos, deformación plástica de los componentes dúctiles, disolución y fractura frágil (Burley y Worden, 2003) (Figura 6).

5.2.2.2 Cementación. Proceso diagenético en el cual los minerales autigénicos son precipitados en los espacios porosos de los sedimentos los cuales de este modo se litifican (Burley y Worden, 2003). Esta precipitación ocurre debido a una sobresaturación respecto al mineral cementante del fluido de poro en ciertas sustancias, dando lugar a la formación de minerales de diversa composición química. También pueden actuar como cementos otras sustancias, tales como sulfatos (yeso, anhidrita, baritina) y óxidos de hierro (hematita, goethita) (Figura 7A).

5.2.2.3 Disolución. Se conoce como el proceso diagenético por el cual un componente sólido en el sedimento es disuelto por una solución de poro acuosa dejando un espacio o cavidad dentro de los sedimentos (Burley y Worden, 2003). Suele actuar entre 2 y 3 km de profundidad y puede remover tanto a los cementos como a los clastos, en especial componentes metaestables como feldespatos y algunos maficos (Spalletti y Poiré, 2007). Es un proceso de gran importancia por la creación de porosidades secundarias (Figura 7B).

5.2.2.4 Reemplazamiento. Son reacciones en las cuales un cristal crece a expensas de y en lugar de otro, ocurriendo así la disolución total de la fase sólida. Un mineral autigénico ocupa el lugar de un mineral antiguo (detritos, o autigénicos) a través de un proceso de disolución-precipitación (Sandoval, 2000).

5.2.2.5 Re cristalización. Es un proceso mediante el cual ocurre un cambio en la estructura cristalina de un mineral a otra de mucho más estable (Sandoval, 2000).

5.3 POROSIDAD

Se define como el porcentaje del espacio vacío, o espacio no mineral, que se encuentra entre los granos, matriz y cemento. Es una medida de la capacidad de una roca de almacenar petróleo, gas y agua (Sandoval, 2000).

5.3.1 Tipos de porosidades

5.3.1.1 Porosidad primaria. Es la porosidad que se produce entre los granos de arena primarios y que está presente en el momento de la depositación de los sedimentos (Burley y Worden, 2003). Los principales factores que afectan este tipo de porosidad son: empaquetamiento, selección, cemento, angularidad/redondez y compactación.

5.3.1.2 Porosidad secundaria. Formada por procesos posteriores a la depositación, este tipo de porosidad puede afectar o modificar la porosidad primaria (Sandoval, 2000). La Porosidad secundaria es creada por la disolución de los granos detríticos, matriz, o incluso del cemento formado antes, lo que se añade a la suma total de porosidad (Schmidt y MacDonald, 1979 en Burley y Worden, 2003). La generación de porosidad secundaria puede dar lugar aparentemente a una estructura de baja compactación, poros de gran tamaño, granos vacíos, y cambios sistemáticos en la mineralogía y composición de la roca detrítica. La

porosidad también se puede desarrollar en las rocas sometidas a deformación frágil y se denomina porosidad de fractura (Figura 8) (Burley y Worden, 2003).

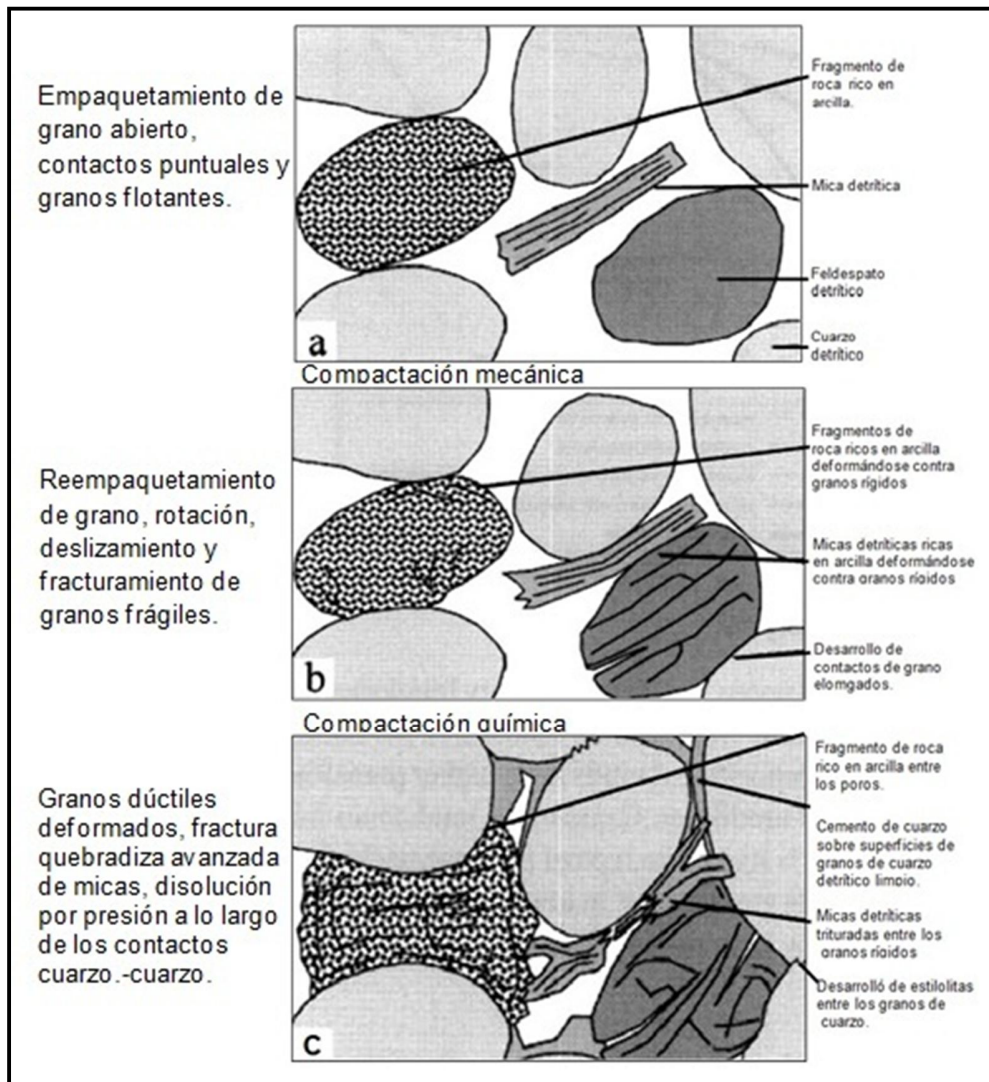


Figura 6. Esquema de los procesos de compactación en las areniscas, (a) estructura con alta porosidad en la sedimentación, (b) estructura después de la compactación mecánica, (c) estructura después de la compactación mecánica y química. Tomado y modificado de (Burley y Worden, 2003).

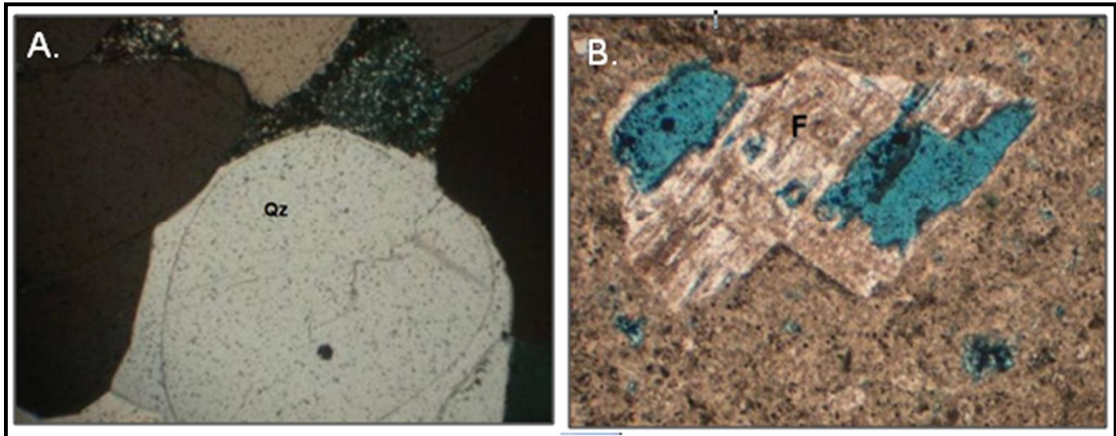


Figura 7. Procesos Diagenéticos(A) Microfotografía de cemento silíceo. Sobrecrecimientos de cuarzo. Qz= Cuarzo. (B)Disolución en cristal de (F) feldespato potásico, con grados de alteración variables. Porosidad intragranular secundaria. Tomado y modificado de (Spalletti y Poiré, 2007)

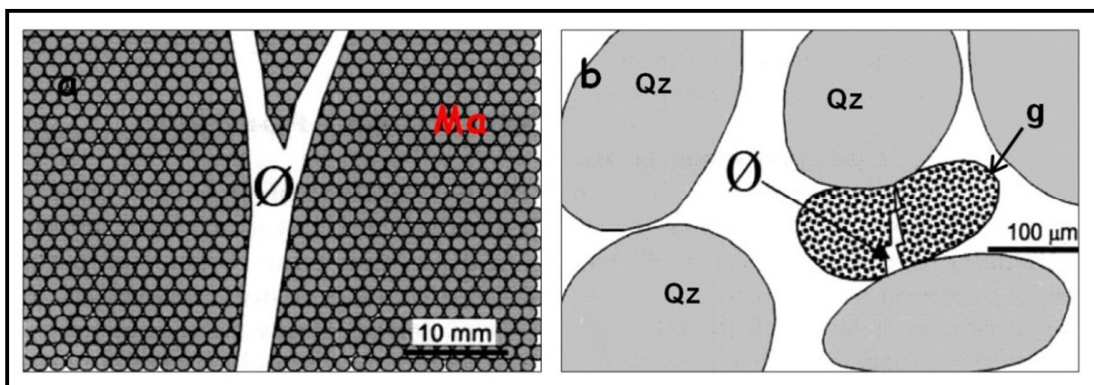


Figura 8. Esquema de porosidad secundaria. (a)Porosidad por macrofractura; (b) porosidad por microfractura. Qz= Cuarzo; Ma= Matriz de arenisca. Tomado y modificado de Burley y Worden, 2003.

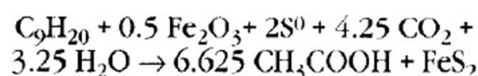
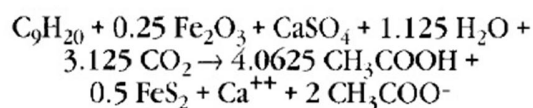
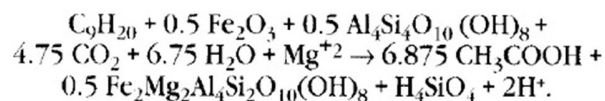
6. REACCIONES REDOX Y AUMENTO DE LA POROSIDAD

La invasión de hidrocarburo dentro de areniscas que contienen minerales oxidantes y cemento intergranular de carbonato o sulfato, pueden dar como resultado reacciones redox y un aumento significativo de la porosidad (Surdam et al., 1993).

Las reacciones responsables de la distribución del color rojo (oxidado) y blanco (reducción) en las areniscas involucran reacciones de óxidos de hierro (sulfatos) e hidrocarburos. Las zonas con blanqueamiento (químicamente reducidas) son altamente porosas y normalmente en la mayoría de los casos, son muy friables, mientras que las zonas con pigmento rojo son más duras (Surdam et al., 1993).

Cuando el hidrocarburo invade las arenas, estas reaccionan, sufriendo un blanqueamiento, es decir ocurre una reducción de hierro. Los óxidos de hierro presentes en las arenas, oxidan los hidrocarburos a compuesto orgánicos oxigenados; el Fe₂O₃ (oxidante) es reducido por el hidrocarburo a pirita. Los ácidos orgánicos producidos tienen la capacidad de disolver el cemento de Carbonato, lo que daría lugar a un aumento de la porosidad (Surdam et al., 1993).

Las reacciones redox son de tres tipos:



Mediante cálculos volumétricos se ha demostrado que si una arenisca con contenido de hematita de aproximadamente 1.5% es invadida por una mezcla de agua e hidrocarburo, se darán reacciones redox, dando como resultado suficiente ácido orgánico y la consecuente disolución del carbonato, lo que provocaría un aumento de porosidad del 8.14% (Surdam et al., 1993).

7. METODOLOGIA

Para el desarrollo de los objetivos planteados se realizaron las siguientes etapas:

7.1 TOMA DE MUESTRAS

Se realizó el análisis de un total de 18 muestra, las cuales fueron tomadas vía Barrancabermeja en el sector conocido como “La Fortuna”.

7.2 LEVANTAMIENTO POLIGONAL

Para la realización de la poligonal se siguieron los pasos mencionados en Cruz, 1991.

7.3 COLUMNA ESTRATIGRAFICA

Se realizó en el afloramiento ya mencionado según coordenadas $X=1059524$ y $Y=1281080$, se dividió el afloramiento en 5 segmentos y finalmente se realizó la toma de muestras.

7.4 PREPARACION DE MUESTRAS PARA SECCION DELGADA

Cada muestra fue impregnada con resina epóxica para facilitar la determinación y el conteo de la porosidad, presente en la muestra.

7.5 DESCRIPCION PETROGRAFICA

Se realizó la descripción petrográfica para cada muestra usando microscopios de luz reflejada. A partir de los resultados obtenidos en las muestras se espera mencionar los eventos diagenéticos que afectaron esta zona.

7.6 CLASIFICACION DE MUESTRAS

Para la clasificación de las muestras se realizó un conteo detallado de puntos, teniendo en cuenta los porcentajes de cuarzo, líticos, feldespatos, minerales dúctiles, cemento, matriz y porosidad. Estos datos se graficaron en el software Grapher 5 para obtener su respectivo triangulo de clasificación textural, composicional y selección.

7.7 REALIZACION DEL MODELO GEOQUIMICO 1D

Se utiliza el Método Cinético de Tissot y Welte, 1984 empleando el software Petromod, para obtener a partir de este datos de porosidad (%), Temperatura (°C) y Reflectancia de Vitrinita (Ro).

8. RESULTADOS

La toma de muestras se realizó en el flanco oeste del Sinclinal Nuevo Mundo sobre la vía que comunica Bucaramanga- Barrancabermeja (Figura 9).

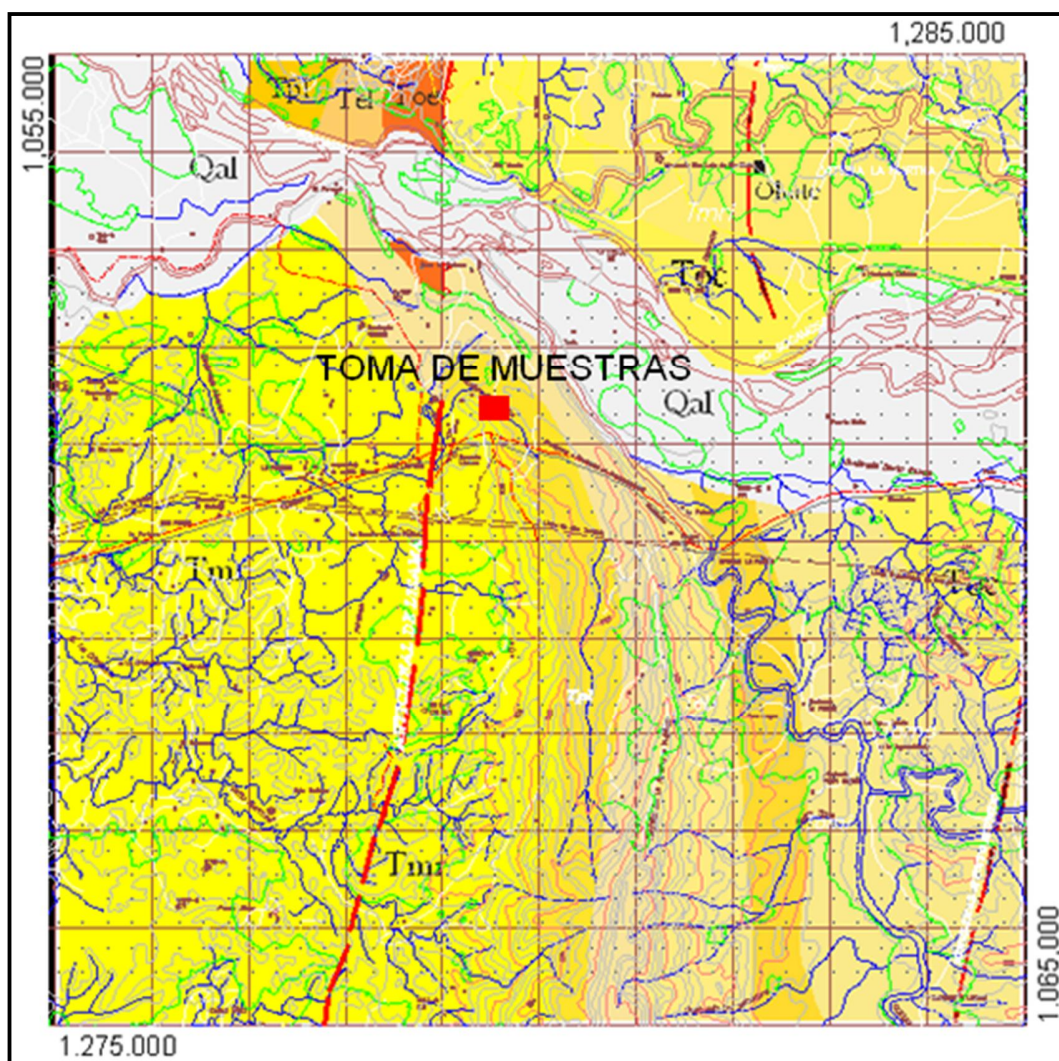


Figura 9. Localización de área de estudio y toma de muestras (cuadro en rojo).

8.1 POLIGONAL

Para la realización de la poligonal se contó con 5 deltas los cuales se relacionan a continuación (Tabla 1); (Figura 10).

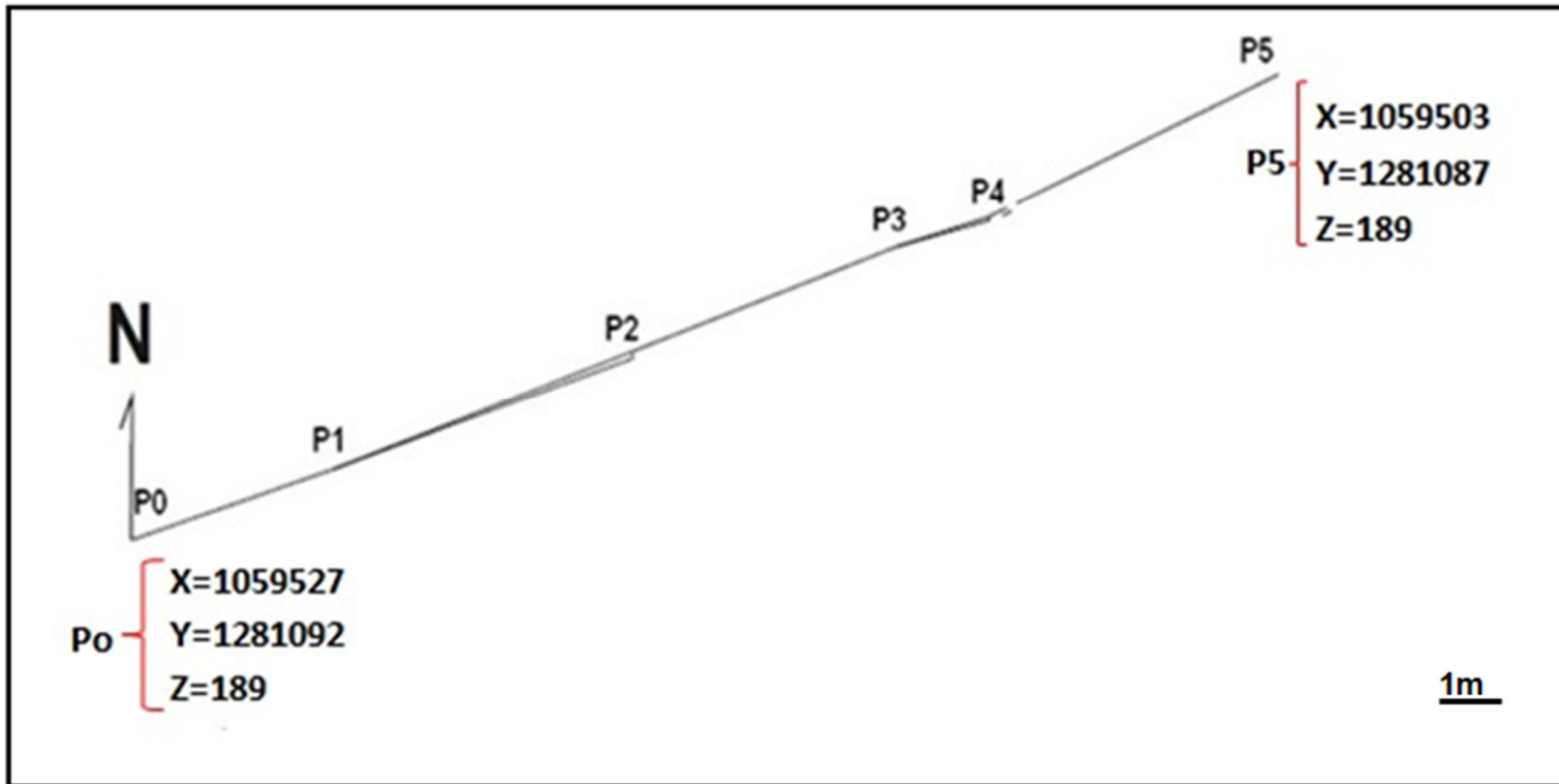


Figura 10. Poligonal Realizada en Campo en el sector La Fortuna. Vía Bucaramanga-Barrancabermeja.

PTO POLIGONAL	COORDENADAS		DISTANCIA (M)	ANGULO DE INCLINACION	AZIMUTH
	X	Y			
P0-P1	1059527	1281087	3.84	0	74
P1-P2	1059524	1281089	5.78	1(-)	72 Cubierto
P2-P3	1059518	1281089	5.12	0	72
P3-P4	1059514	1281090	1.74	2(-)	75
P4-P5	1059509	1281087	5.75	0	68
P5-P6	1059503	1281092			

Tabla 1. Datos tomados en campo para la realización de la poligonal



Figura 11. Poligonal Realizada en campo, vía Bucaramanga-Barrancabermeja, sector "La Fortuna".

8.2 COLUMNA ESTRATIGRAFICA

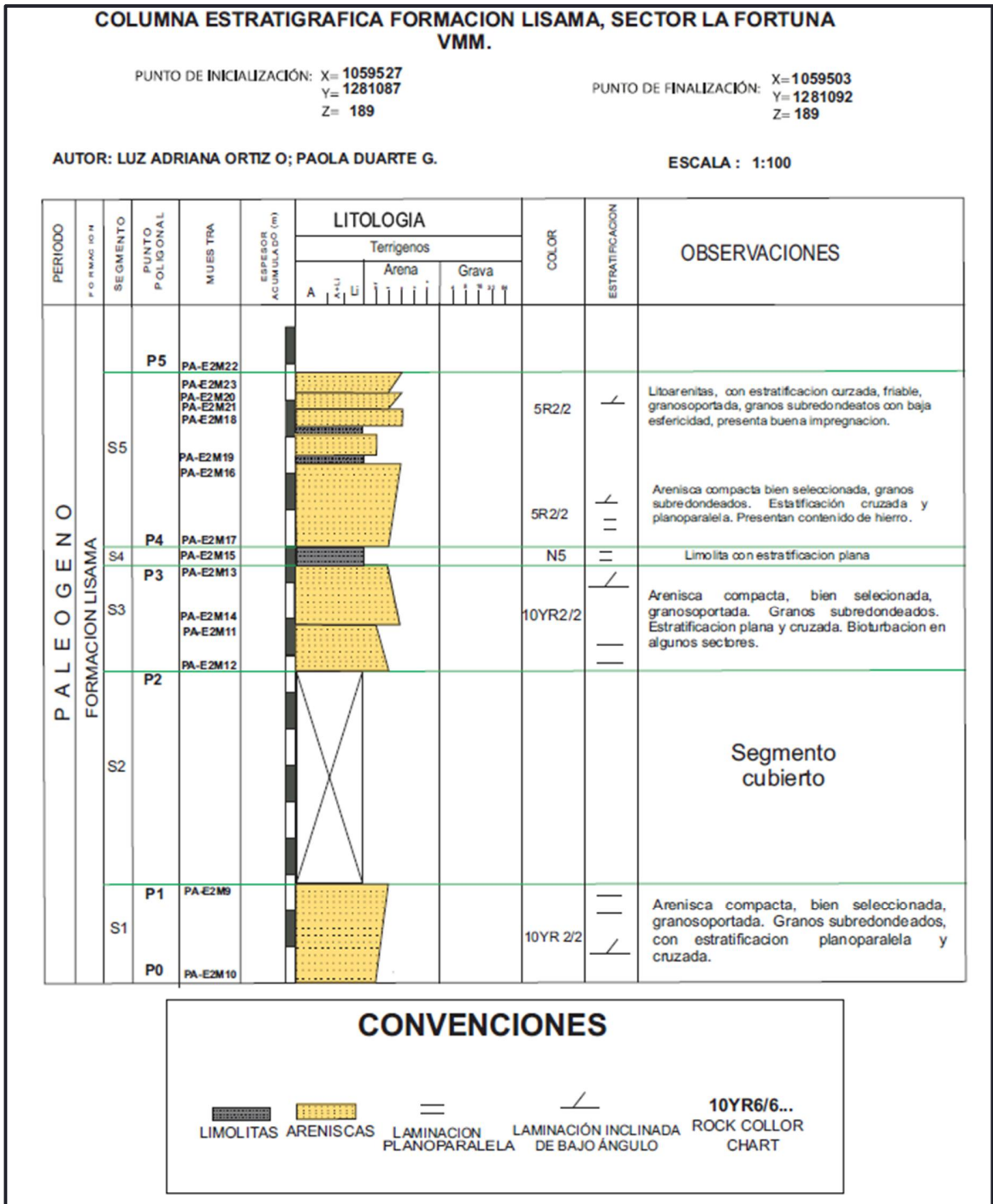


Figura 12. Columna estratigráfica realizada en campo, ubicada sobre la vía que comunica Bucaramanga-Barrancabermeja, sector "La Fortuna" (Anexo 6).

Para la realización de la columna se dividieron y tomaron los siguientes segmentos:

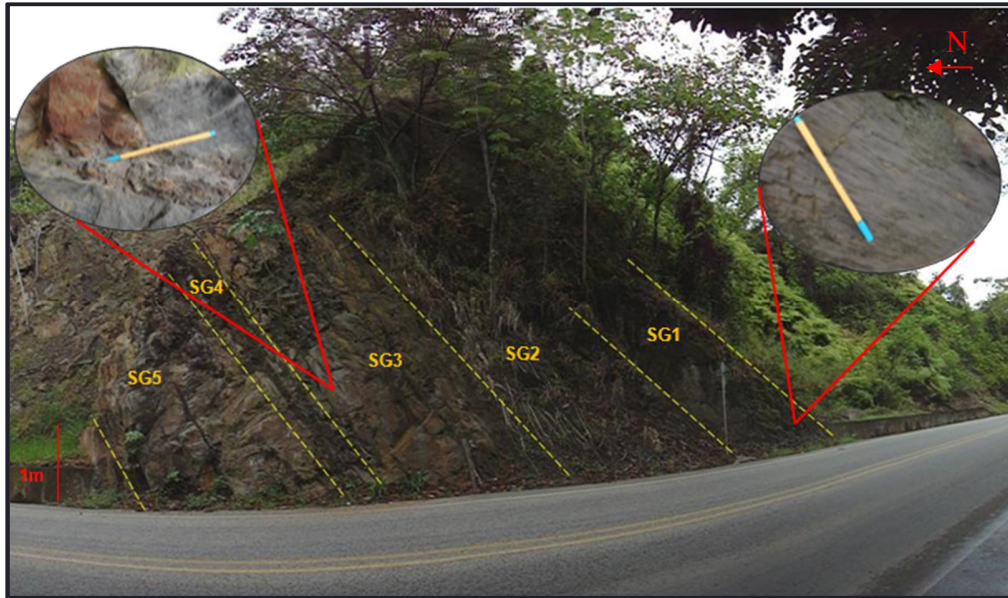


Figura 13. División de segmentos, afloramiento sector La Fortuna. Vía que comunica Bucaramanga-Barrancabermeja.

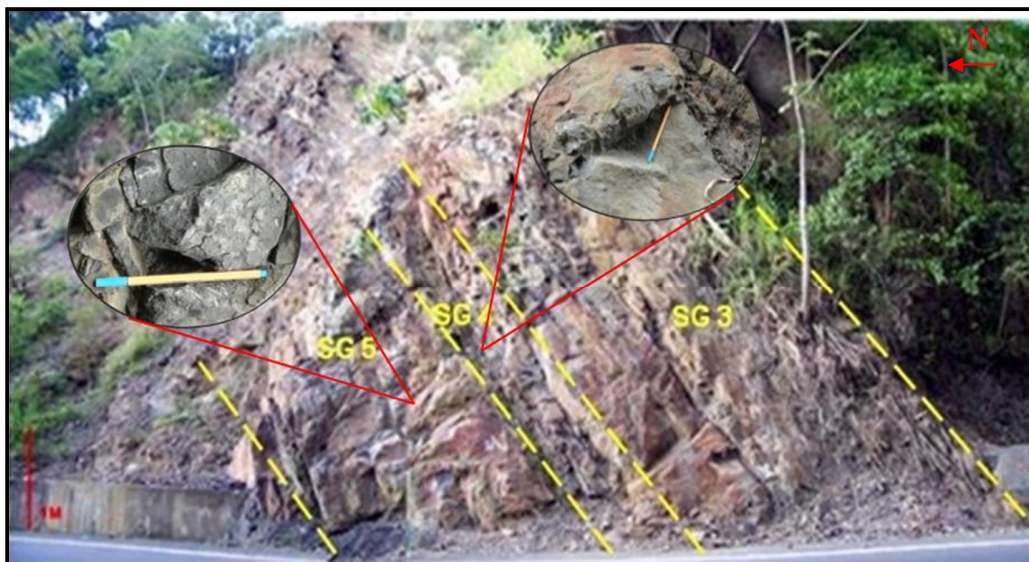


Figura 14. División de segmentos, afloramiento sector La Fortuna. Vía que comunica Bucaramanga-Barrancabermeja. Segmento 3 (SG3), Segmento 4 (SG4), Segmento 5 (SG5).

8.3 TABLA DE MUESTRAS

Para la selección de las muestras, fueron tomadas a partir del levantamiento de la columna tomando base, techo teniendo en cuenta los sectores que se consideraron más importantes para esta zona, como se mencionó anteriormente se seleccionaron 18 Muestras. Las cuales se nombran de la siguiente forma (Tabla 2).

PA-E2-M6	PA-E2-M7	PA-E2-M8	PA-E2-M12	PA-E2-M14
PA-E2-M16	PA-E2-M17	PA-E2-M20	PA-E2-M21	PA-E2-M24
PA-E2-M28	PA-E2-M29	PA-E2-M31	PA-E2-M32	PA-E2-M33
PA-E2-M34	PA-E2-M35	PA-E2-M36		

Tabla 2. Toma de muestras recolectadas en campo

8.4 ANALISIS PETROGRAFICO

Se realizó el análisis petrográfico sobre 18 secciones delgadas, de la Formación Lisama, las cuales fueron realizadas a partir de muestras de afloramiento. El análisis petrográfico de las arenas se efectuó mediante el conteo de 150 a 250 puntos, para estos análisis se usaron los diferentes criterios mencionados por (Folk, 1974) donde clasifican las rocas sedimentarias detríticas según sus características composicionales y texturales (Anexo1,2).

Las muestras fueron clasificadas según su composición.

8.4.1 Grupo A: Sublitoarenitas

8.4.1.1. Textura

Areniscas compuestas principalmente por granos, los cuales oscilan de 47.49% a 73.79% aproximadamente del volumen total de la roca, considerándose como granos portadas (Folk, 1974), el resto del porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. El tamaño de grano de estas areniscas oscila de muy fino a

fino, siendo pobremente sorteada, el contacto entre sus partículas es flotante, puntual y tangencial. (Figura 19).

Armazón. Compuesto por cuarzo, feldespatos, líticos, y minerales accesorios, se encuentra presente en una cantidad de 52,2% a 84.84% (Figura 15).

Matriz. Se encuentra presente con una cantidad de 2.82% a 27.04% aproximadamente del volumen total de la roca, se encuentra dispersa, compuesta principalmente por minerales arcillosos, en algunos sectores se encuentra sufriendo disolución, produciendo porosidad secundaria (Figura 16).

Cemento. Presente en la roca con una variación de 1.44% a 10.28% aproximadamente, presentan cementación por material ferruginoso, de sílice y minerales opacos, siendo el ferruginoso el más abundante (Figura 17).

Porosidad. La porosidad primaria se encuentra variando de 0.72% a 7.89% y su porosidad secundaria oscila entre 4.67% y 18.52% predominando la porosidad por disolución, la cual presenta valores aproximadamente de 2.8% a 10.4% del volumen total de la roca, originándose como producto de la disolución de granos inestables, como feldespatos.

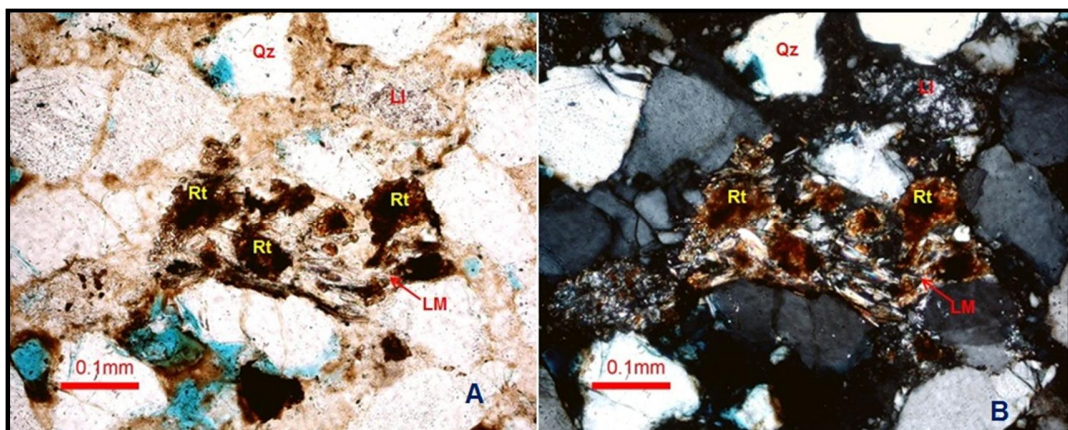


Figura 15. Cuarzos monocristalinos (Qz), líticos ígneos (LI), líticos metamórficos (LM) y rutilos anhedrales (Rt) como mineral accesorio.

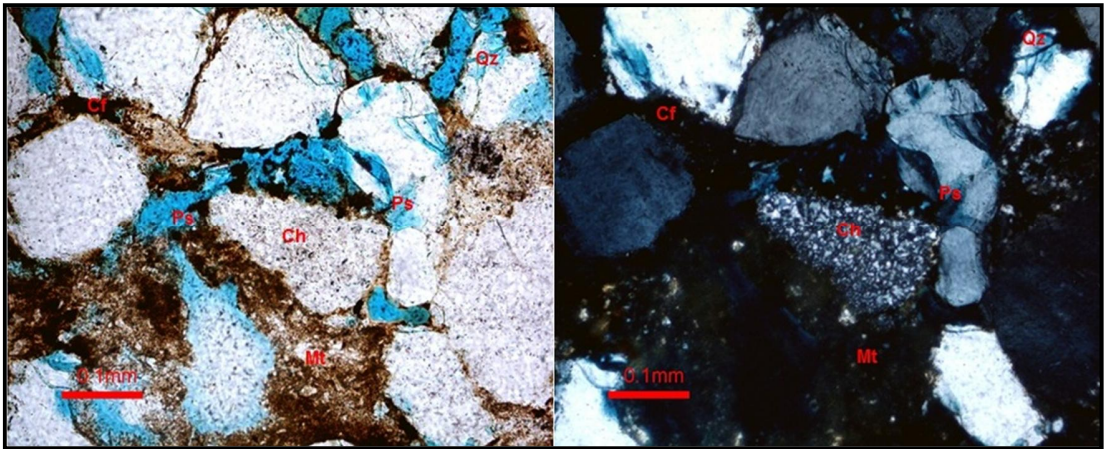


Figura 16. cuarzos fracturados (Qz), lítica sedimentaria, como el chert (Ch), porosidad secundaria producida por el fracturamiento de algunos granos de cuarzo y disolución de la matriz (Ps), cemento ferruginoso (Cf) y matriz arcillosa (Mt).

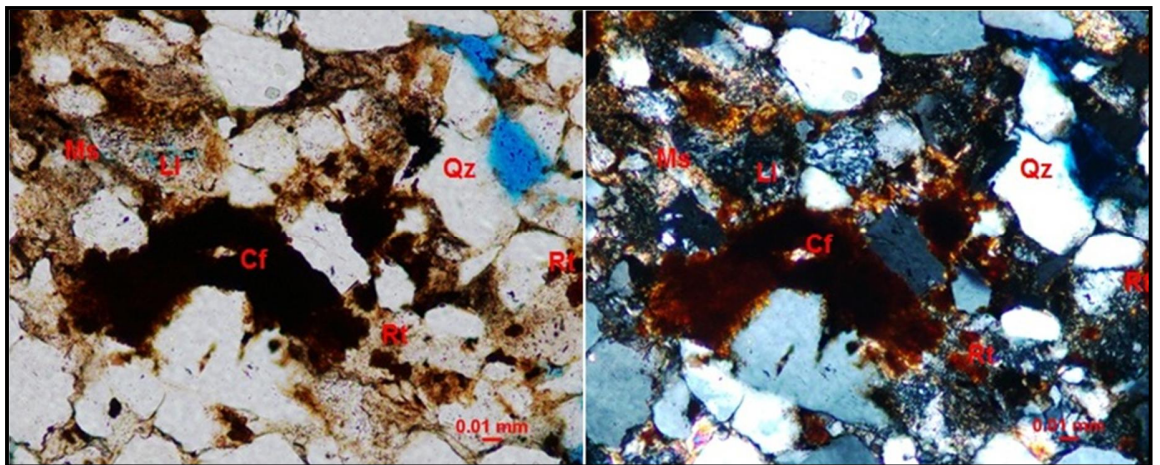


Figura 17. Lítico ígneo sufriendo disolución (LI), muscovita (Ms), cementación por minerales de hierro (Cf) y minerales pesados como el rutilo (Rt). Qz: Cuarzo

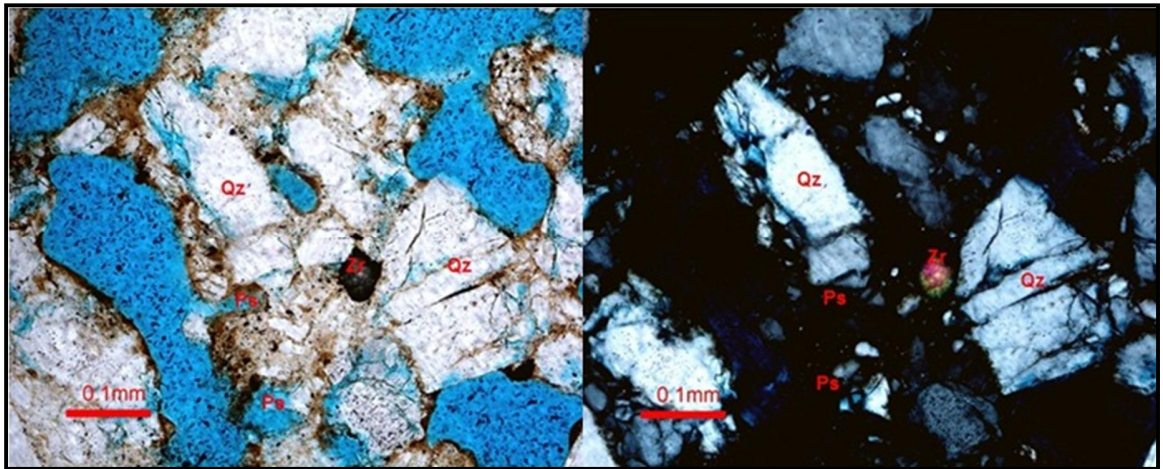


Figura 18. Cuarzos monocristalinos y fracturados (Qz), porosidad secundaria producida por la disolución de la matriz y algunos feldespatos (Ps), y grano de circón subhedral (Zr).

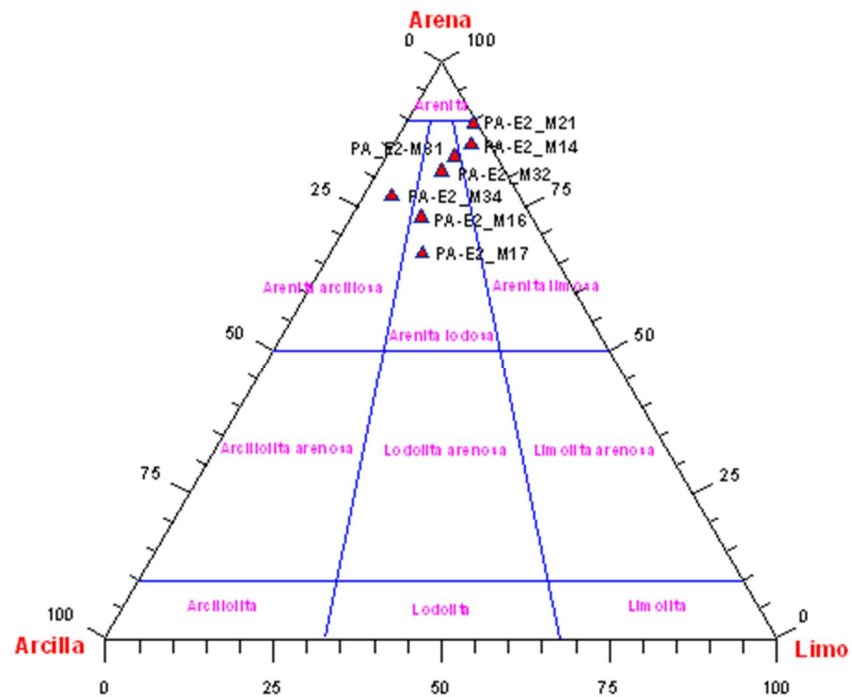


Figura 19. Clasificación textural según Folk, 1974.

8.4.1.2. Composición

El amazón se encuentra constituido principalmente por cuarzo, feldespatos, líticos, y minerales accesorios (Figura 16).

Cuarzo. Presenta contenidos que varían entre 34.59% y 56.98% del volumen total. Se observan variaciones de cuarzo monocristalinos y policristalinos, predominando los primeros con un valores de 23.9% a 47.36% En cuanto al cuarzo monocristalino predominan aquellos que presentan extinción recta sobre los de extinción ondulosa, sus valores van de 17.61% a 38.52% y 5.06% a 14.05% respectivamente, en algunos casos se observan inclusiones de minerales como circón. El contenido de cuarzo policristalino oscila de 4.39% a 10.69% predominando aquellos de origen ígneo, este presenta subcristales (Figura 16).

Feldespatos. El valor total de estos oscila entre 0.83% y 2.26% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico el más abundante. Con porcentajes de 0,85 a 1.86%, sobre la plagioclasa la cual oscila entre 1.26% y 1.44%.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 5.18% a 30.65% Pertenecen a fragmentos de rocas ígneos, sedimentarios como el chert y metamórficos. Los fragmentos metamórficos son los más abundantes en la roca, estos oscilan entre 3.7% y 15.22% siendo esquistosos en su mayoría, en cuanto a líticos sedimentarios se observan valores de 0.93% a 3.42% e ígneos de 2.34% a 6.69% respectivamente.

Minerales Dúctiles: Entre estos materiales se pueden diferenciar las micas, como la muscovita, la cual se encuentra sufriendo deformación dúctil, esta oscila entre 0.63% y 6.52% mientras que el contenido de biotita es de 0.72%.

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como circón, rutilo, turmalina, leucóxeno, los cuales se muestran con morfologías anhedrales; encontrándose también minerales opacos, que en algunos casos actúan como material cementante en algunos sectores de la roca. Su valores oscilan entre 0.42% y 4.38%; 1.71% y 5,02%; 1.44% y 0.63% a 0.88% respectivamente.

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita, caolinita vermicular y micas.

Clasificación. Sublitoarenita de grano fino. Folk, 1974.

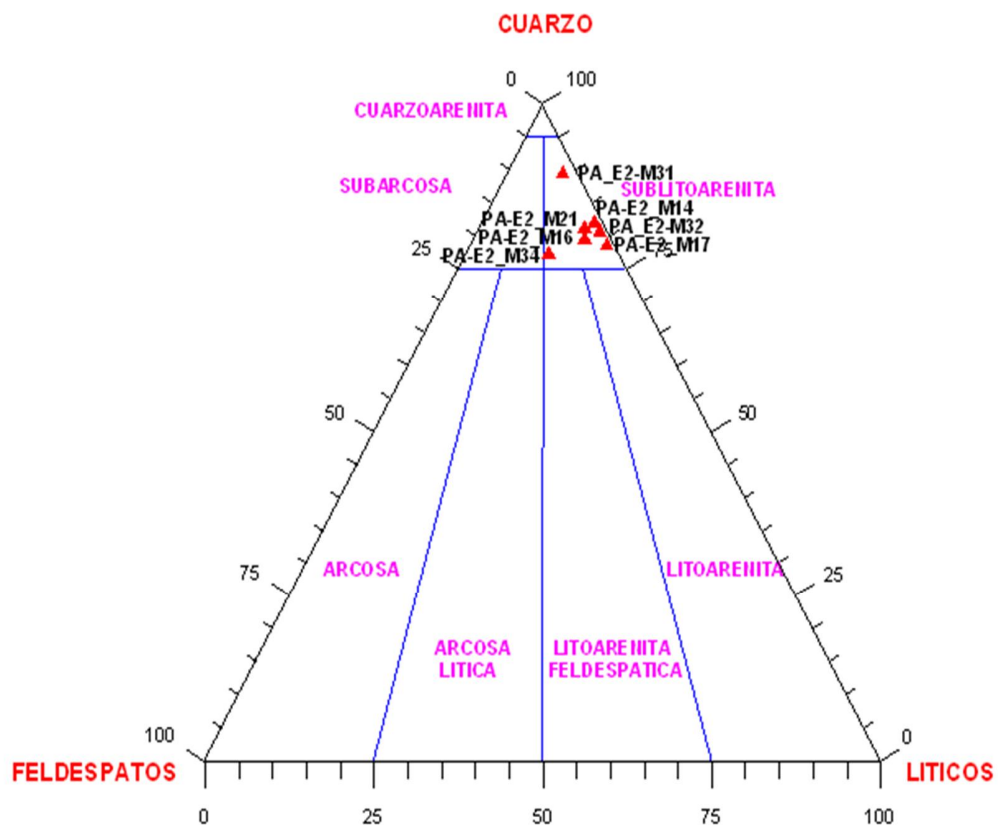


Figura 20. Clasificación composicional según Folk, 1974.

SELECCION

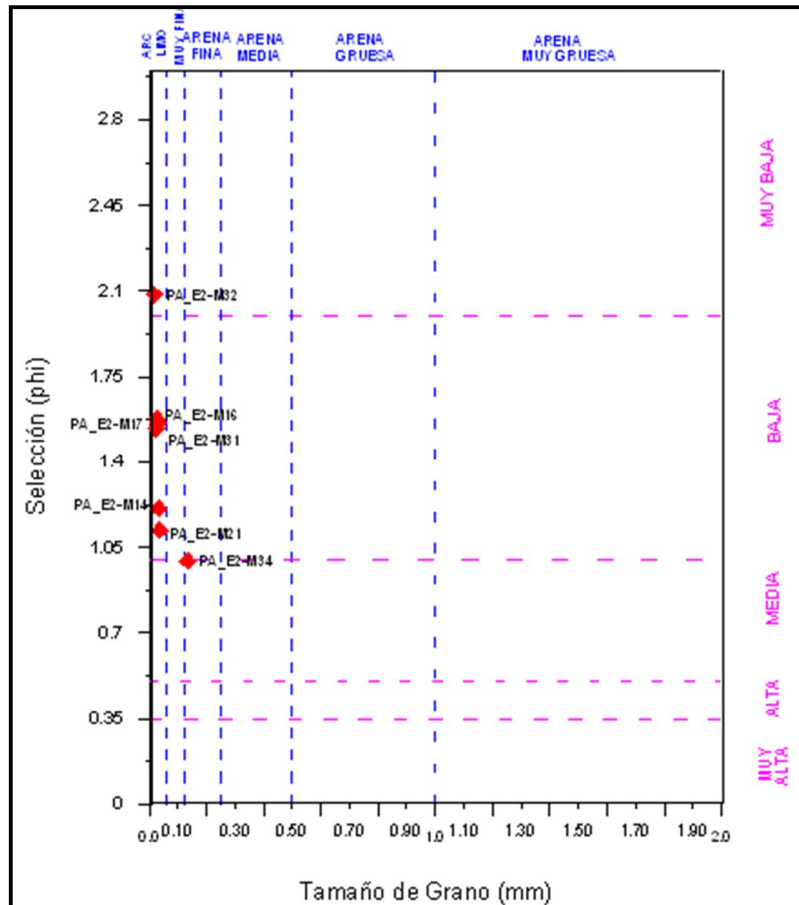


Figura 21 Selección para muestras clasificadas composicionalmente como Sublitoarenitas.

Según los estudios petrográficos, las partículas de las muestras reflejan una mala selección, las cuales presentan tamaños de grano variando de arena muy fina a media (Figura 21).

8.4.2. Grupo B: Litoarenitas

8.4.2.1 Textura

Areniscas compuestas principalmente por granos, los cuales oscilan de 59.72% a 75.3% aproximadamente del volumen total de la roca, considerándose como

granosoportadas, su tamaño oscila de fino a medio (Folk, 1974), el resto del porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros, siendo pobremente sorteada, el contacto entre sus partículas es tangencial, flotante y puntual.

Armazón. Compuesto por cuarzo, feldespatos, líticos, y minerales accesorios, su valor promedio oscila entre 69.8% y 85.73%.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 0.67% a 7.8% aproximadamente del volumen total de la roca, compuesta principalmente por minerales arcillosos, se observa dispersa en toda la placa.

Cemento. Presente en la roca con valores que oscilan de 3,06% a 10,78% Presenta cementación por material ferruginoso y minerales opacos (Figura 22).

Porosidad. Se presenta con valores que oscilan entre 3.33% y 14.77%, entre los cuales predomina la porosidad secundaria quedando como resultado de la disolución de algunos minerales, por lo cual se obtienen valores de 1.12% Y 10.2% (Figura 24)

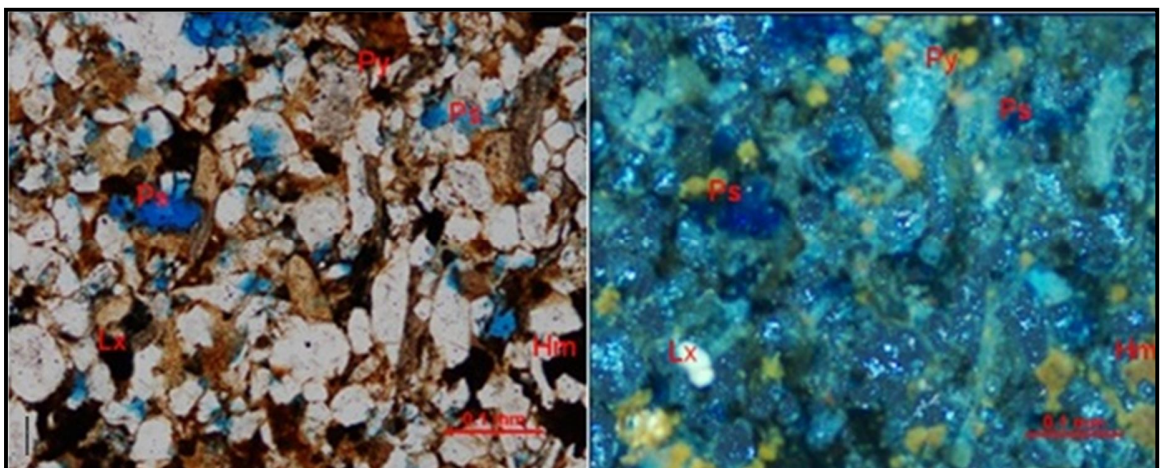


Figura 22 Se observa porosidad secundaria (Ps), producto de la disolución de feldespatos. La hematita (Hm) como material cementante, minerales Leucoxeno (Lx) y pirita (Py) hacen parte de minerales accesorios.

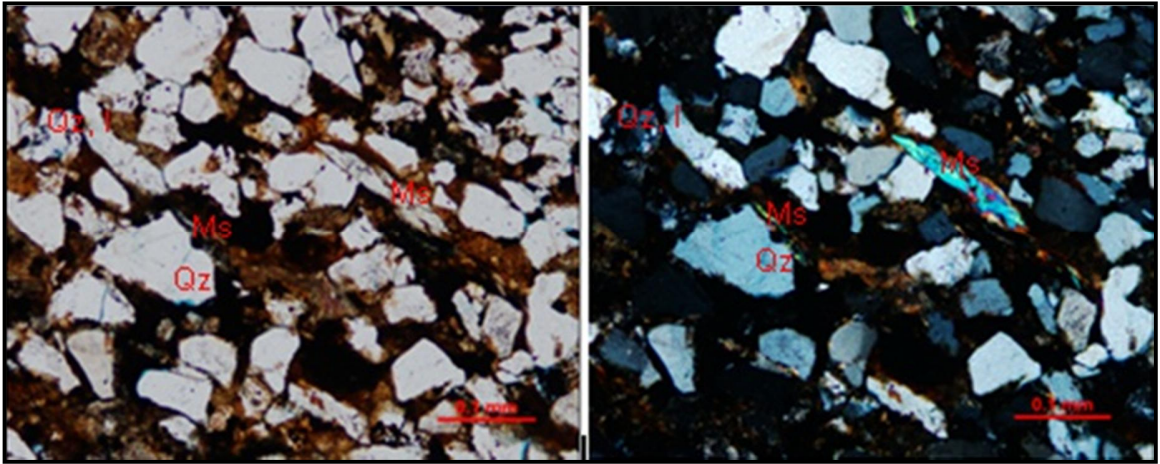


Figura 23. Se observan principalmente cristales de cuarzo (Qz), los cuales se encuentran dispersos en toda la muestra, ayudando a la deformación de la muscovita(Ms), en la parte superior izquierda se observa cuarzo policristalino (Qz) de origen ígneo.

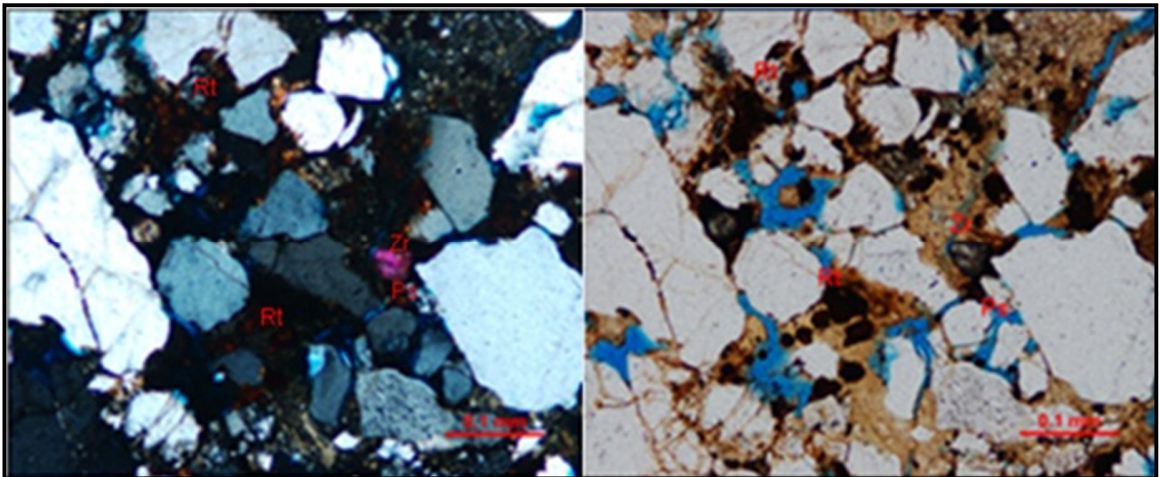


Figura 24 Porosidad secundaria producida por el fracturamiento de algunos granos de cuarzo y disolución de la matriz (Ps), se observan minerales como circón (Zr), Rutilo (Rt).

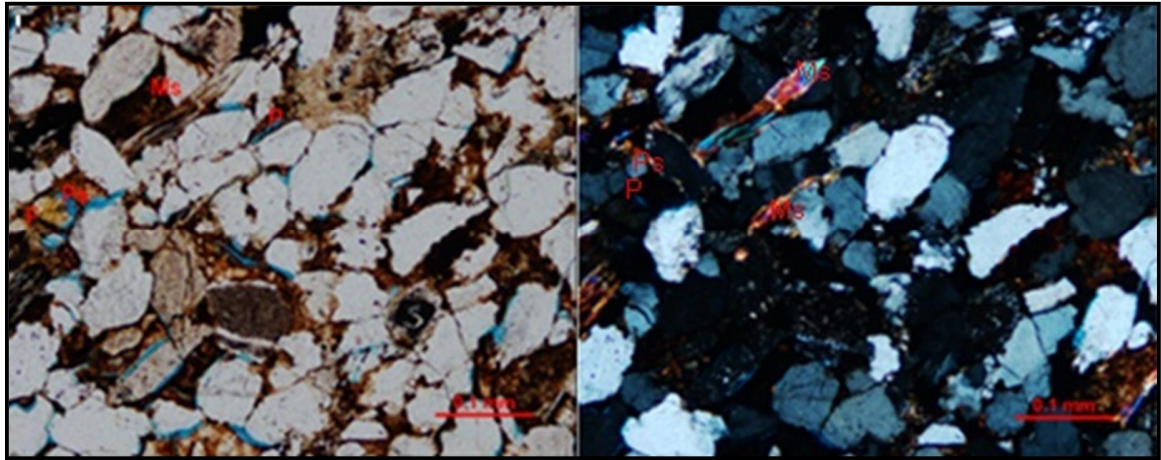


Figura 25 Se observa porosidad secundaria (Ps) producto de la disolución de feldspatos (F), la muscovita se deforma producto de la presión de los cristales de cuarzo

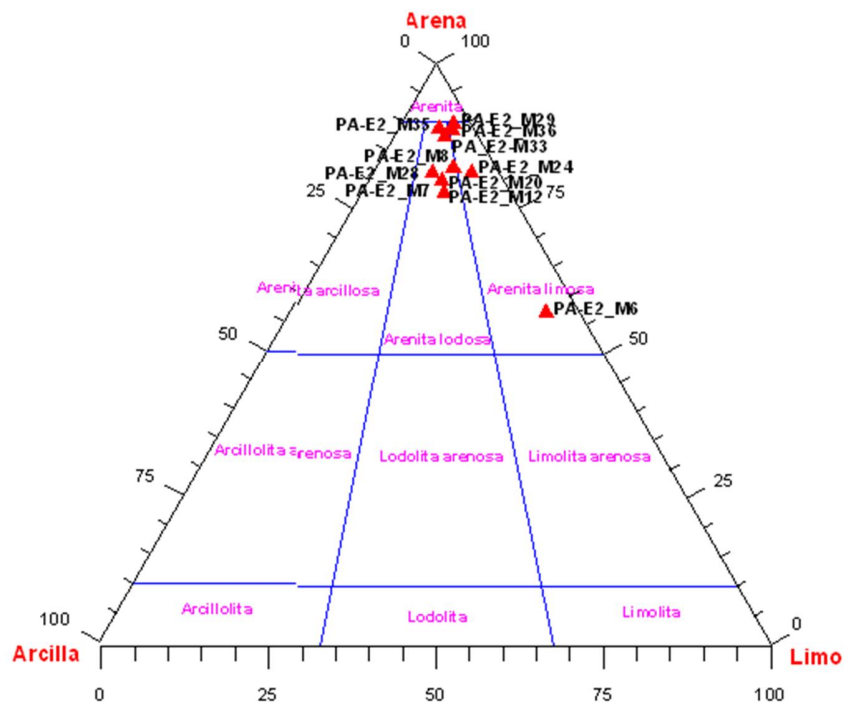


Figura 26. Clasificación textural según Folk, 1974.

8.4.2.2. Composición

El armazón se encuentra constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca

Cuarzo. Presenta los contenidos mayores en la roca variando de 30.62% a 57.26% del volumen total, Se observan variaciones de cuarzos monocristalinos y policristalinos, predominado los primeros con un porcentaje de 22.5% a 44.29%. En cuanto al cuarzo monocristalino predominan aquellos que presentan extinción recta y en menor cantidad aquellos que presentan extinción ondulosa, sus valores van de 10.28% a 18.87% y 5.06% a 10.37% respectivamente. El cuarzo policristalino se encuentra presente con valores de 7.38% a 16.67% (Figura 23) predominando aquellos de origen ígneo.

Feldespatos. El valor total de estos oscila entre 0.72% y 5.61% del volumen total de la roca, el feldespato potásico es aquel que presenta contenidos más altos, 0.6% a 3.16%.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 5.59% a 30.65% Pertenecen a fragmentos de rocas ígneos, sedimentarios y metamórficos. Los fragmentos metamórficos son los más abundantes en la roca, estos oscilan entre 2.01% y 15.38% siendo esquistosos en su mayoría, en cuanto a líticos sedimentarios se observan valores de 0.67% a 12.7% e ígneos de 1.72% a 8.38% respectivamente.

Minerales Dúctiles. Entre estos minerales se puede observar la muscovita, la cual presenta valores de 0.63% a 3.75%. La muscovita se encuentra ductilizada por algunos granos de cuarzo. En cuanto al contenido de biotita se encuentra presente con bajos porcentajes (Figura 25).

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como circón, también minerales opacos, que en algunos casos actúan como material cementante en algunos sectores de la roca (Figura 24).

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita, caolinita vermicular y micas.

Clasificación. Litoarenita de grano fino, Folk ,1974 (Figura 27).

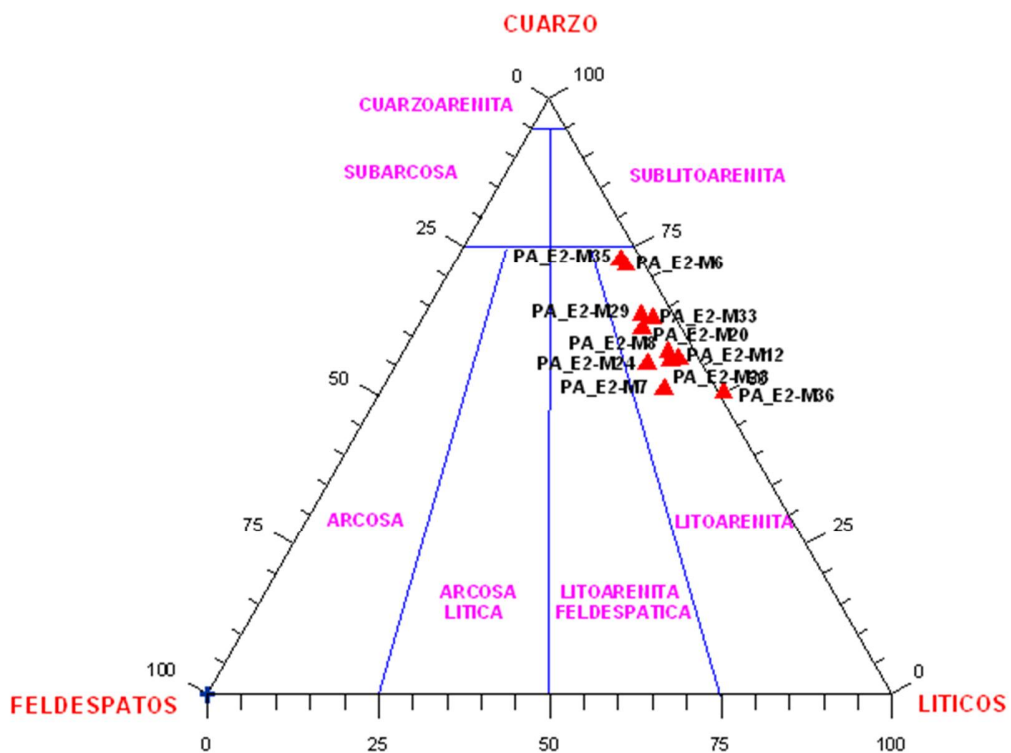


Figura 27. Clasificación composicional según Folk, 1974.

SELECCIÓN

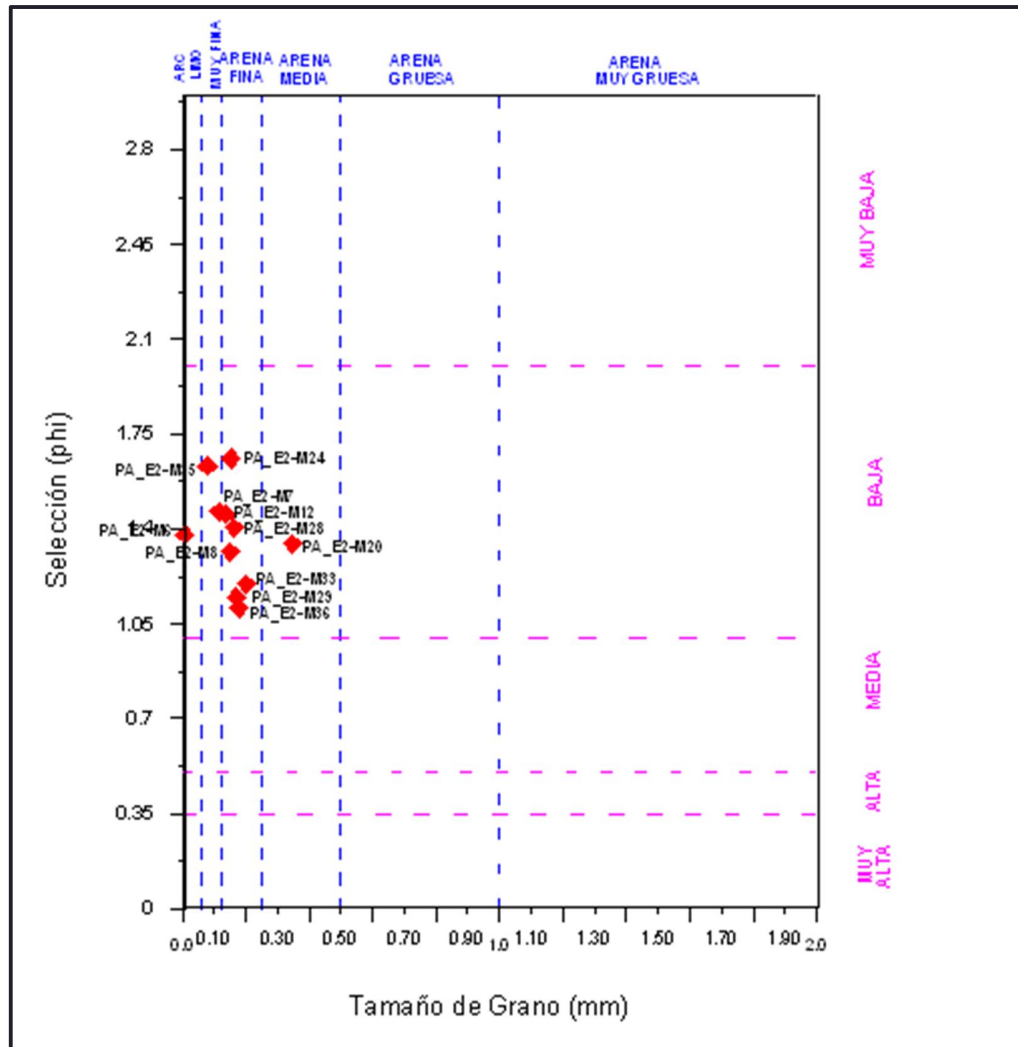


Figura 28. Selección para muestras clasificadas como litoarenitas según su composición

Según los estudios petrográficos, las partículas de las muestras reflejan una mala selección, las cuales presentan tamaños de grano variando de arena muy fina a gruesa (Figura 28).

Con base en la descripción petrográfica de las muestras mencionadas anteriormente y teniendo en cuenta la ubicación de las mismas hacia el flanco

oeste del Sinclinal de Nuevo Mundo podemos observar en cuanto a su tamaño de grano, una variación de muy fina a fina (Folk 1974), en la cual la selección disminuye por presencia de materiales arcillosos.

En cuanto a su composición los valores de cuarzo oscilan entre 30.62% y 56.98% el cuarzo monocristalino con extinción recta predomina sobre aquel que presenta ondulosa, la plagioclasa presenta valores muy bajos; en cuanto a su composición estas rocas se clasifican como sublitoarenitas y litoarenitas (Folk 1974). El contenido de líticos es alto, presentado fragmentos ígneos, sedimentarios entre los cuales predomina el "chert". En cuanto a los líticos metamórficos se observa un alto contenido de material esquistoso.

Su cementación se ve marcada por material ferruginoso, en algunas zonas se observan altos contenidos de hematita (Figura 20). Para esta zona se observa una baja presencia de porosidad primaria con relación a la porosidad secundaria, la cual presenta valores altos, siendo estos productos de la disolución de algunos feldespatos. (Anexo 2)

9. REACCIONES REDOX

En la zona trabajada en campo se pueden apreciar evidencias indicadoras de las reacciones redox entre el crudo y las areniscas de la Formación Lisama. En estas areniscas se aprecian diferentes tonalidades, tales como rojo, grisáceo oscuro y zonas más claras, las cuales se conocen como zonas de bleaching (Surdam, 1993) (figura 30).

Las areniscas con un alto contenido de cemento ferruginoso, presentan un tono rojizo (Figura 29), las cuales cuando son invadidas por el crudo, sufren reacciones de óxido-reducción generando ácidos orgánicos en la cual el aceite se oxida y genera ácidos conocidos como ácidos acéticos; este ácido es soluble en agua, la cual presenta una baja viscosidad, lo que hace más fácil su infiltración por los pequeños poros de la roca, convirtiéndose al final en agua ácida (Figura 32), la cual por estas características empieza a disolver carbonatos y feldespatos trayendo consigo un aumento en la porosidad secundaria.

Después de que el crudo reacciona con el cemento ferruginoso de la roca, y posterior a las reacciones redox, donde el petróleo, por medio de diferentes procesos se quema, da como resultado una nueva coloración a las areniscas (Figura 31), lo que indica que el crudo ya pasó, y ha abandonado la roca.

En la figura 33 se puede apreciar un diagrama esquemático que representa el ciclo que sufren las arenas de la Formación Lisama cuando son invadidas por el hidrocarburo.



Figura 29. Zona invadida de hidrocarburo, la cual se caracteriza por el tono rojizo En la roca.



Figura 30. Se observan las dos tonalidades indicadoras. Zona grisácea bajo contenido de hidrocarburo, zona Rojiza alto contenido de cemento ferruginoso.

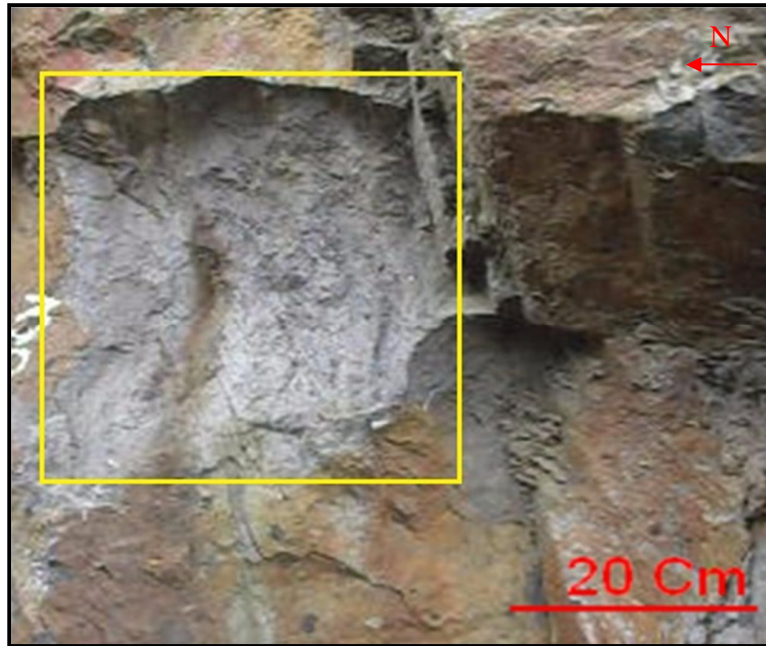


Figura 31. Areniscas con mayor blanqueamiento (recuadro amarillo), indicando que el hidrocarburo ya abandono la roca.

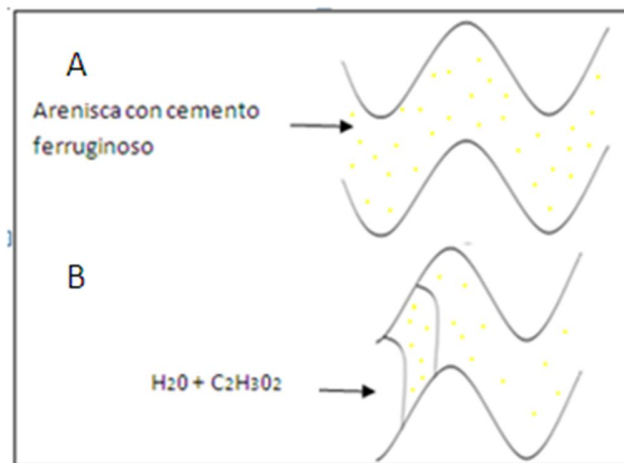


Figura 32. Inicio del ciclo Redox, entre el petróleo y la arenisca.

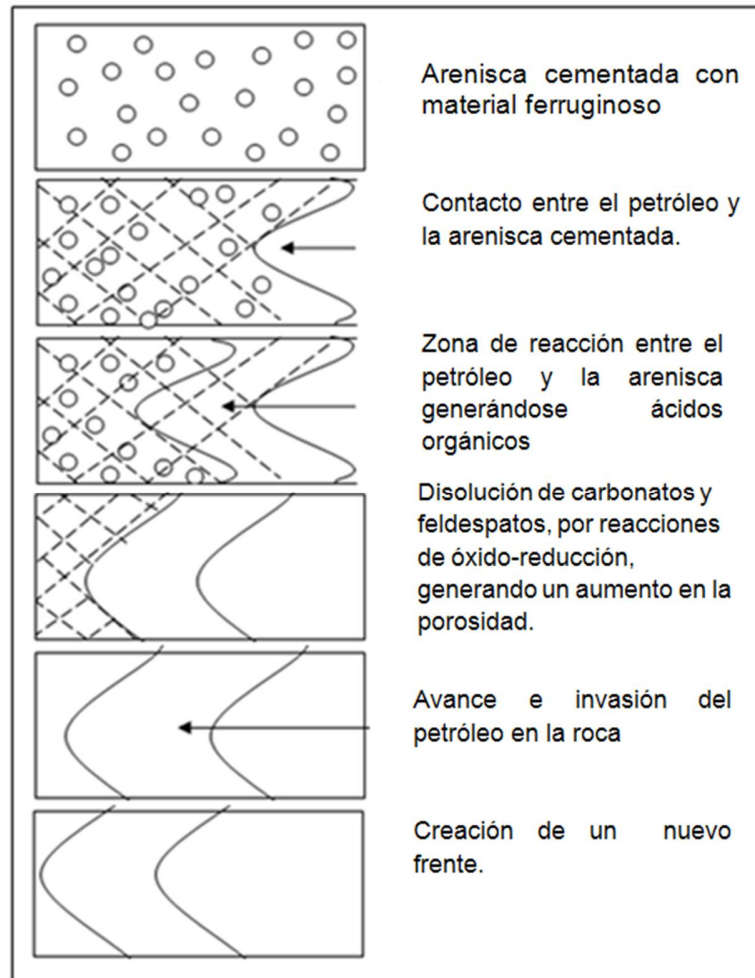


Figura 33. Diagrama esquemático del ciclo redox entre el crudo y las Arenas de la Formación Lisama.

10. SECUENCIA DE EVENTOS DIAGENETICOS

La petrografía convencional permitió identificar una serie de eventos diagenéticos, que controlan estrechamente las propiedades petrofísicas de las areniscas de la Formación Lisama (Tabla 4).

Dentro de estos eventos, los más importantes son la precipitación de cementos tales como: ferruginoso, siderita y cuarzo (figura 34); y la disolución de minerales inestables tales como carbonatos y feldespatos (figura 35), que generan porosidad adicional por disolución.

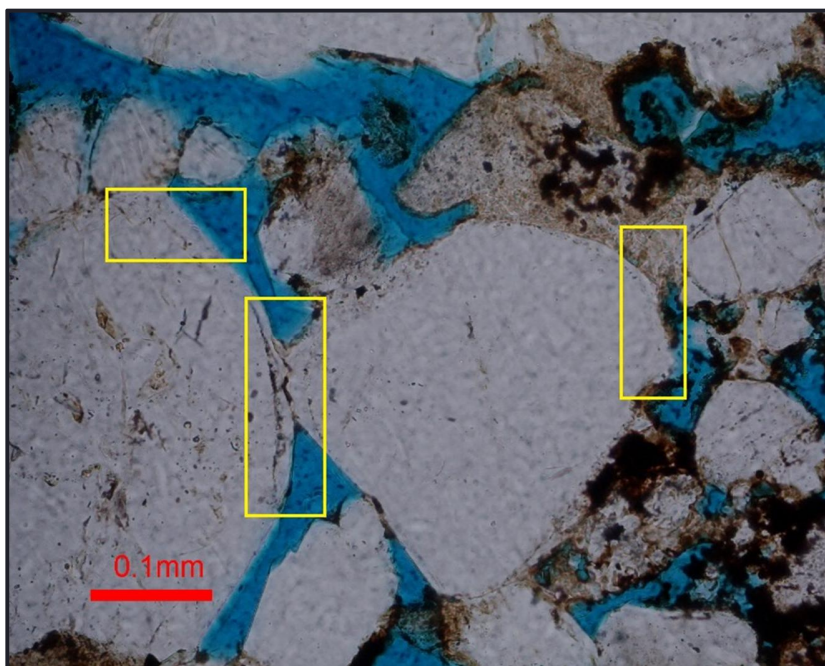


Figura 34. Sobrecrecimientos de Cuarzo (recuadro amarillo), cementando las partículas.

En la sección delegada PA_E2-M6 Se observó efectos de compactación por presión litostática, la cual reduce el tamaño de los poros generando a su vez deformación de los fragmentos de rocas metamórficas y sedimentarias arcillosas,

dado que son más susceptibles a la deformación dúctil. Los minerales micáceos tales como las muscovita también son afectados (figura 36).

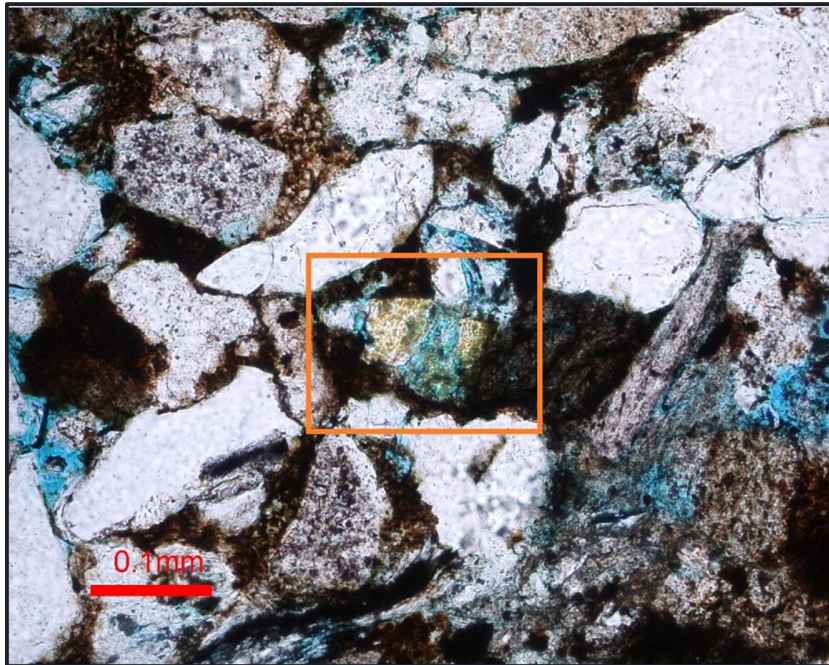


Figura 35. Disolución de Feldespatos (recuadro naranja), produciendo porosidad secundaria.

Los procesos de deformación traen consigo efectos de disolución, entre los cuales, se puede resaltar la generación de superficies estilolíticas de presión-solución (figura 37), generadas por la disposición final de los residuos de materiales insolubles tales como la materia orgánica amorfa y minerales arcillosos prediagenéticos, como se puede observar en la muestra PA_E2-M23.

El espacio poroso remanente es ocluido posteriormente por minerales arcillosos como la caolinita, como lo se observa en la muestra PA_E2-M20 (figura 38), illita, y cloritas precipitadas durante las etapas tempranas de la diagénesis.

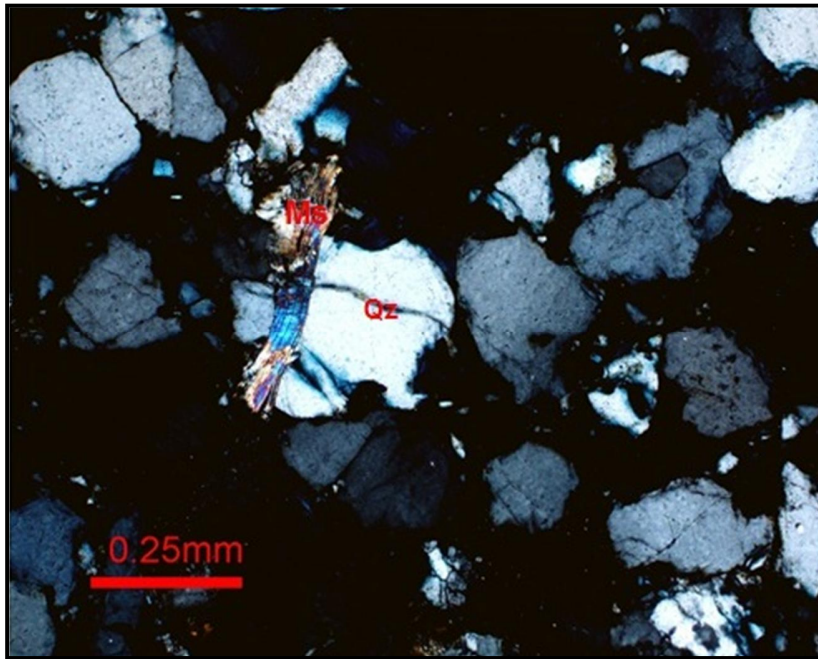


Figura 36. Muscovita (Ms) ductilizada, por presión ejercida de granos de cuarzo (Qz)

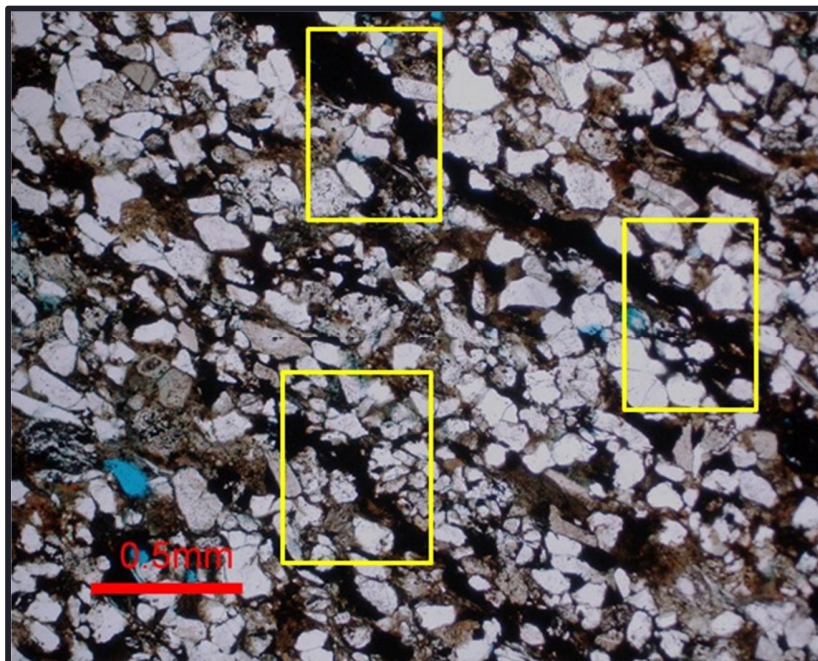


Figura 37. Superficies estilolíticas (recuadro amarillo), de presión-Solución.

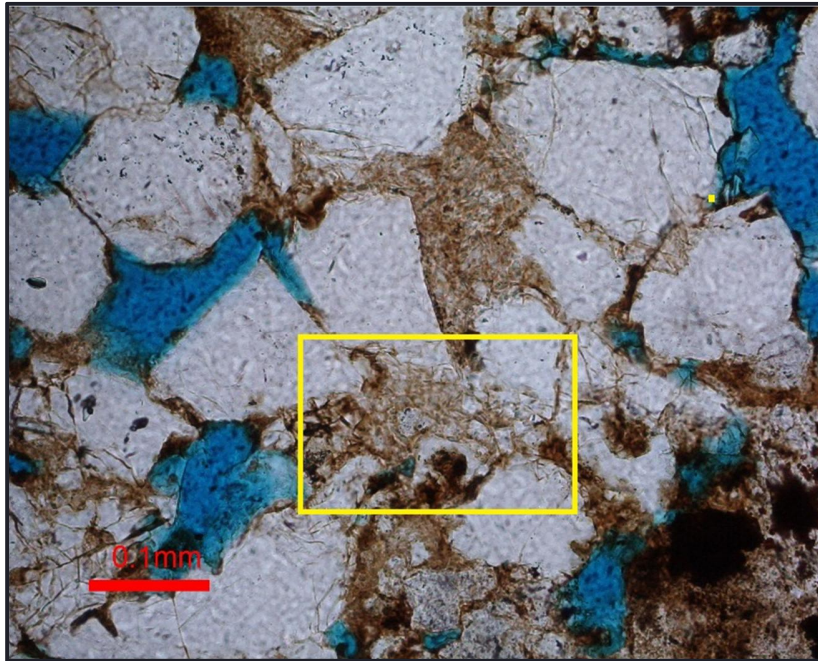


Figura 38. Espacio poroso ocluido por Caolinita vermicular (recuadro amarillo).

En la sección delgada PA_E2-M8 Se observa la precipitación de carbonatos (figura 39), entre estos, calcita ferrosa? y siderita (figura 40) ocluyendo la porosidad remanente, que es posterior al proceso de infiltración de arcillas debido a los lineamientos observados lo cual podría indicar el reemplazamiento de algunos granos.

Como minerales de alteración se forman leucoxeno y pirita a partir de la oxidación de minerales opacos y de la reducción termoquímica de la materia orgánica respectivamente. En la muestra PA_E2-M32 se pueden apreciar procesos de oxidación actuando sobre la siderita haciendo que esta se oxide convirtiéndose en hematita (figura 41), a la vez que actuando como material cementante disminuyendo la porosidad.

Los anteriores episodios diagenéticos van en detrimento de la calidad de la roca como almacenadora de hidrocarburos.

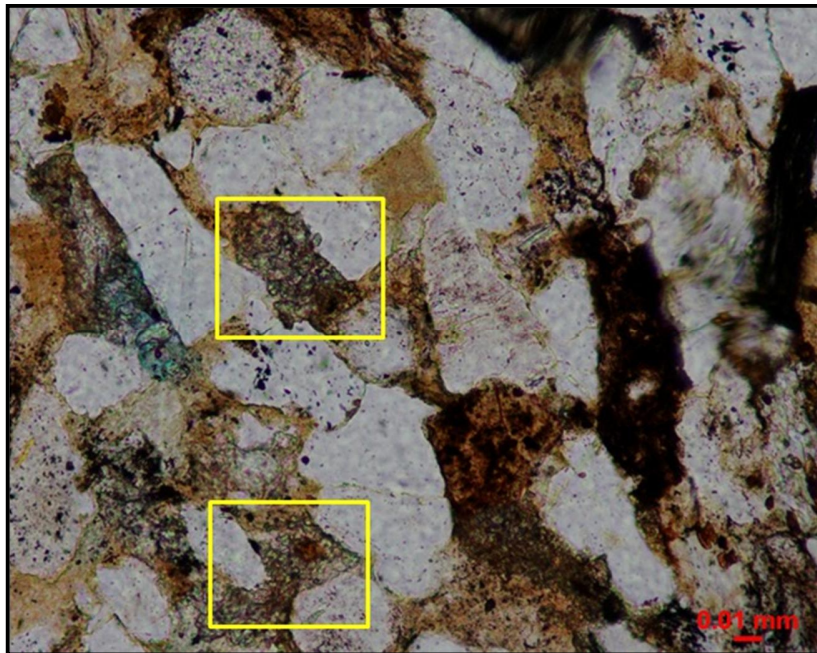


Figura 39. En el recuadro amarillo se evidencia la precipitación de Carbonatos.

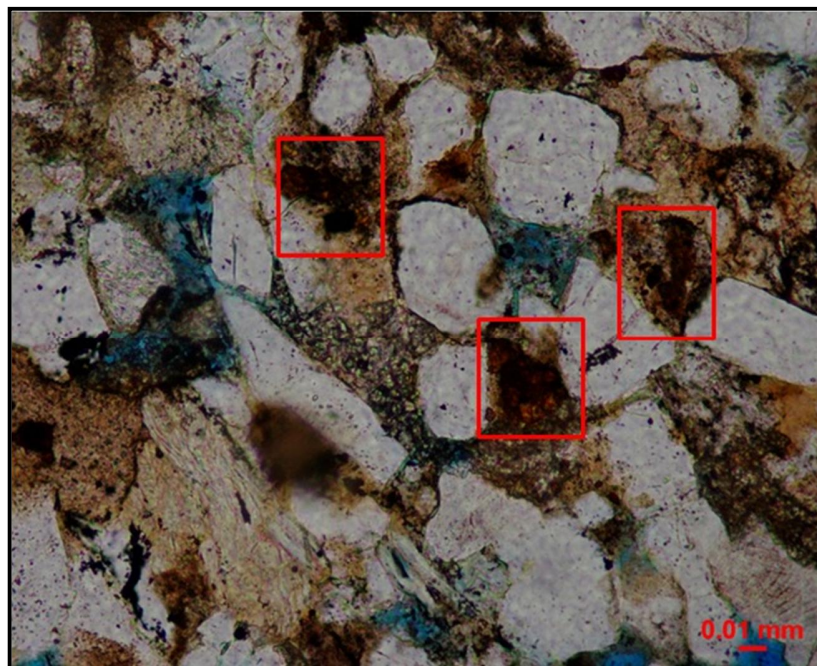


Figura 40. En el recuadro rojo se evidencia la precipitación de siderita.

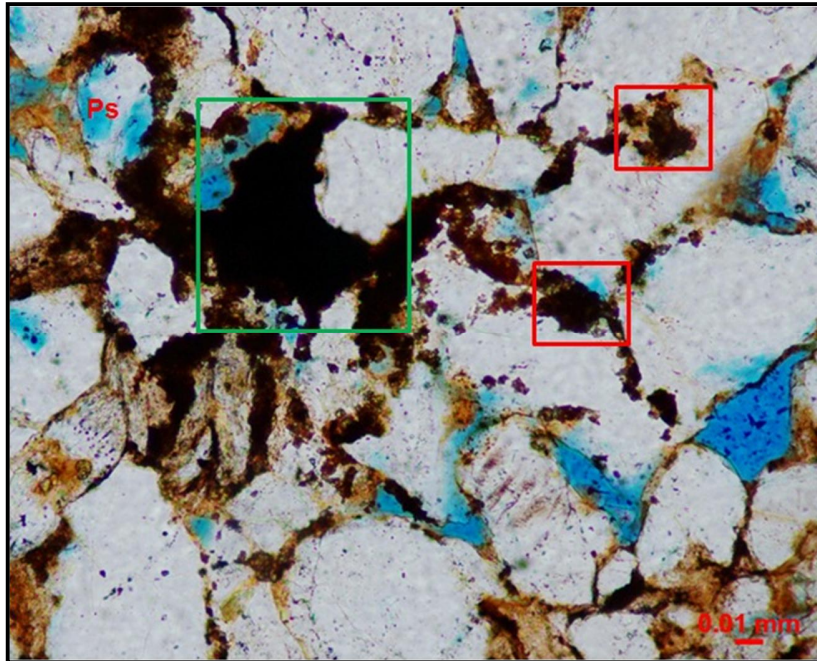


Figura 41. El recuadro rojo muestra la precipitación de siderita, la cual se está oxidando produciendo hematita (recuadro verde). Ps: Porosidad secundaria

Los fragmentos de rocas y feldespatos inestables a ciertas condiciones ambientales son afectados por procesos de disolución y corrosión en sus bordes, trayendo consigo un leve aumento de la porosidad. Así mismo procesos de lixiviación por aguas meteóricas se encargan de disolver sectores de la matriz generando porosidad secundaria adicional.

A pesar de la baja porosidad primaria, los planos de microfracturas incrementan ligeramente la porosidad efectiva de la roca, mejorando la permeabilidad y propiciando la migración de fluidos a través de éstas.

Finalmente, en la muestra PA_E2-M8 se observa un alto contenido de materia orgánica y bitumen el cual probablemente fue dejado por el paso de hidrocarburos a través de la roca (figura 42).

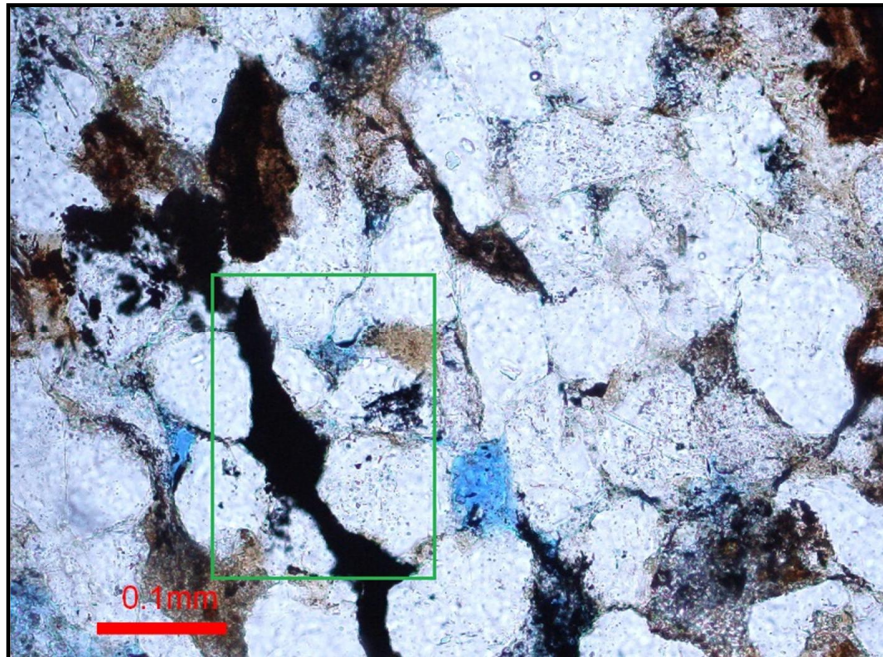


Figura 42. En el recuadro verde se evidencia materia orgánica dejada por el paso del hidrocarburo.

La Tabla 3 ilustra el modelo propuesto en el presente trabajo de la sucesión de eventos diagenéticos y su posición relativa en el tiempo, basándonos únicamente en los datos petrográficos, por lo tanto su ubicación en la línea de tiempo es relativa y no representa valores absolutos.

EVENTO DIAGENETICO	DURACION EN EL TIEMPO				POROSIDAD
	EOGENESIS	MESOGENESIS		EPIGENESIS	
		TEMPRANA	TARDIA		
Compactación	—————				Disminuye
Aparición de Superficies Sutúrales (estilolitos)	—————	- - - - -			Disminuye
Minerales arcillas	—————	- - - - -			Disminuye
Relleno de Poros con Caolinita Vermicular		—————			Disminuye
Precipitación de Carbonatos		—————	- - -		Disminuye
Sobrecrecimiento de sílice		—————			Disminuye
Impregnación del Espacio Poral remanente pulsos de migración por disolución			—————		Aumenta
Fracturamiento por Levantamiento				- - - - -	Aumenta
Minerales de Alteración			- - -	—————	Aumenta

Tabla 3. Historia diagenética de la Formación Lisama para el afloramiento en el sector “La Fortuna” vía Bucaramanga-Barrancabermeja.

11.MODELAMIENTO GEOQUIMICO

Para el modelamiento geoquímico se utilizó el software Petromod 1D, para corroborar los resultados petrográficos. Se generó un modelo 1D, donde Se tomaron valores elaborados por García et al, 2009, de la Evaluación del potencial Hidrocarburifero de las Cuencas Colombianas, como los valores de Ro (Reflectancia vitrinita) y flujo de calor (HeatFlow) utilizado, el cual tiene un valor de 40mW/m², teniendo también en cuenta las edades en las cuales las formaciones fueron depositadas.

Se realizaron graficas de profundidad vs temperatura de fondo (figura 43), profundidad vs reflectancia de vitrinita (figura 44), historia de enterramiento de la cuenca, temperatura vs profundidad, porcentaje de porosidad vs profundidad y reflectancia de Vitrinita.

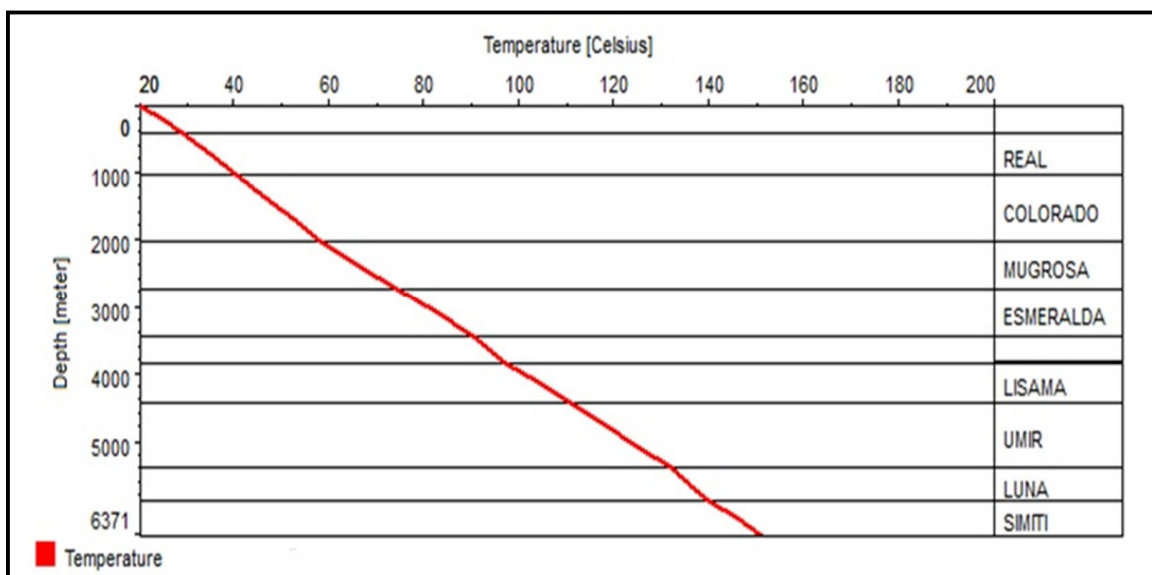


Figura 43. Profundidad (m) vs Temperatura de Fondo (°C-Celsius). La temperatura en la zona está indicada por la línea roja

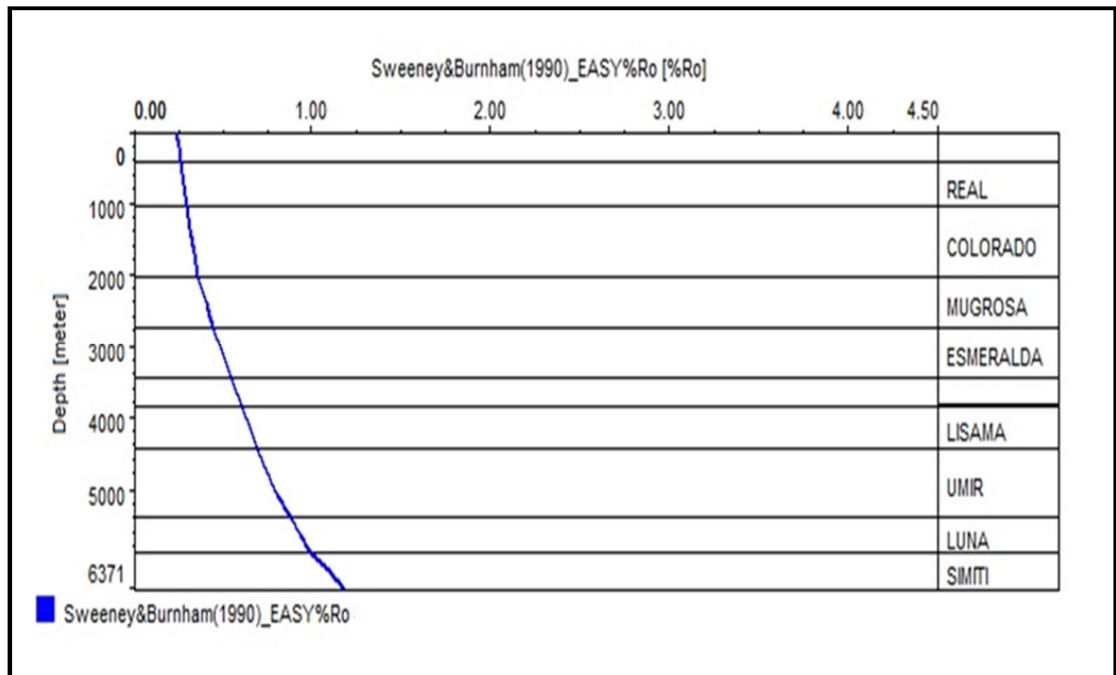


Figura 44. Profundidad (m) vs Reflectancia de Vitrinita (%Ro). El Ro está indicado por la línea azul.

La figura 45 muestra las formaciones con sus respectivas edades de depositación, y profundidades, donde se pueden apreciar los periodos de no depositación, los cuales se encuentran en los intervalos de tiempo entre 55-47.7 m.a, 40-38 m.a, 24-18 m.a y 5.3-2.9 m.a, y donde la secuencia alcanza una profundidad máxima de enterramiento de 6371 (m). En este diagrama se puede apreciar que la formación Lisama inicio su depositación hace 66 m.a y se ha ido profundizando con el tiempo.

En los diferentes diagramas de enterramiento, se pueden apreciar las diferentes variables como: Temperatura (figura 46), porosidad (figura 47) y reflectancia de vitrinita (figura 48).

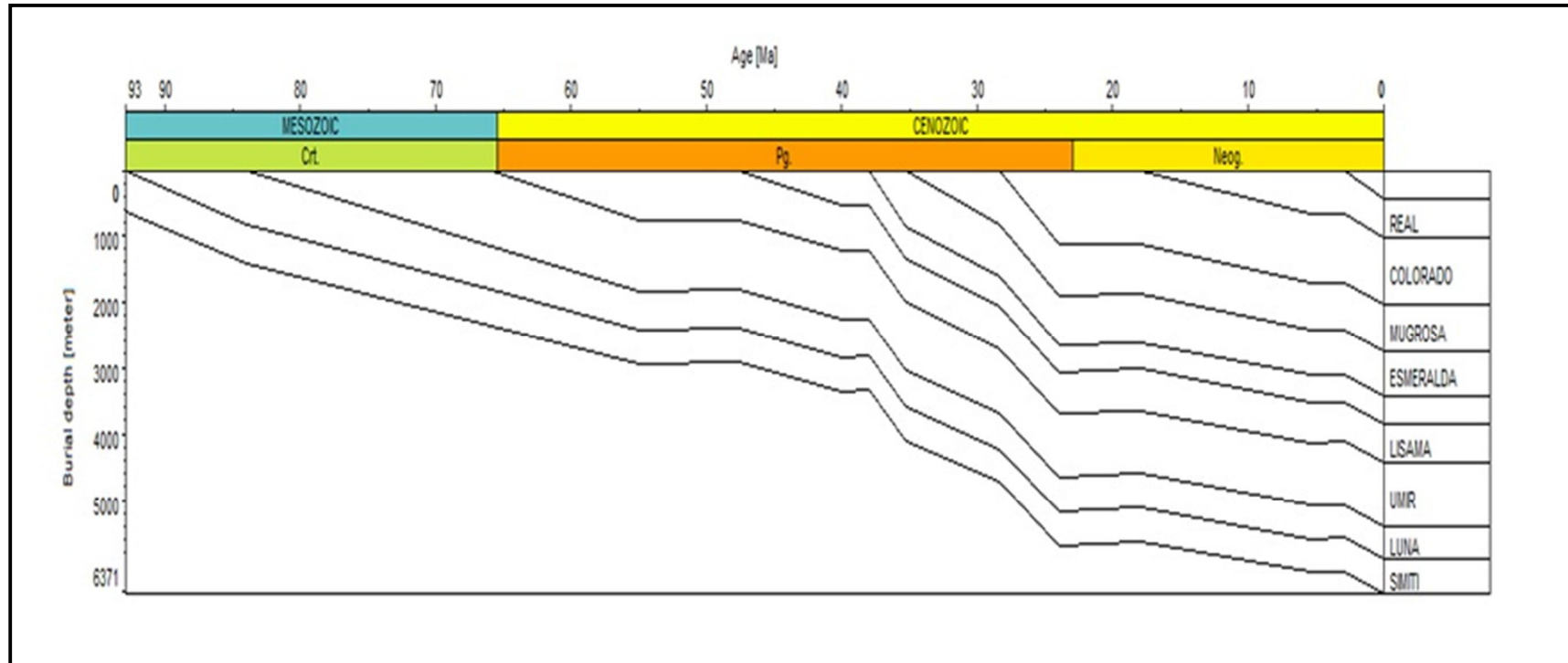


Figura 45. Diagrama de enterramiento con respecto a la profundidad (m) y la edad (m.a), para el intervalo de tiempo entre Cretácico medio al Neógeno.

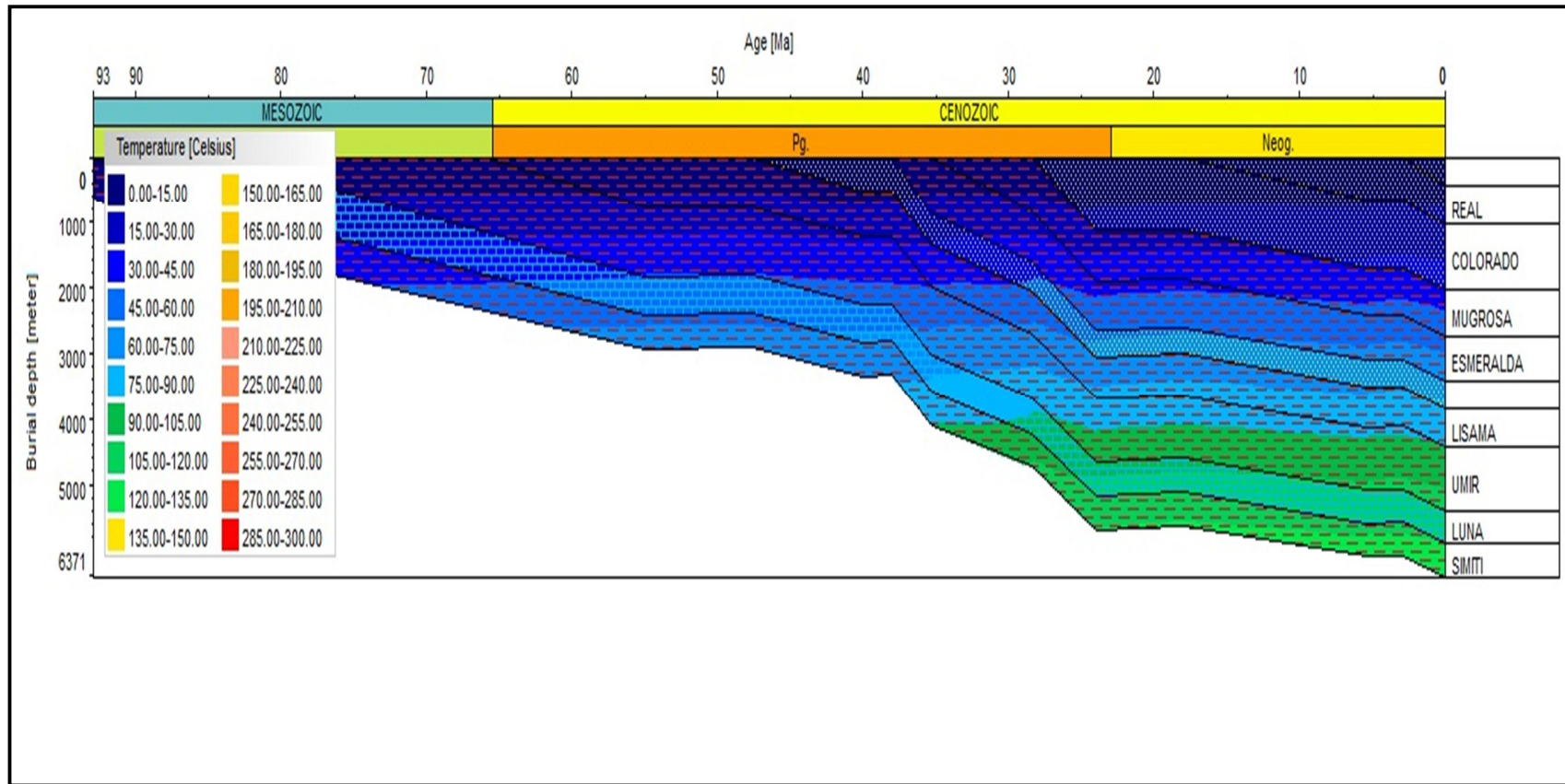


Figura 46. Diagrama de enterramiento. Variación de la temperatura (°C) con respecto a la profundidad (m).

En la figura 46 se puede apreciar la variación de la temperatura (T) con respecto a la profundidad (m) para cada formación, donde se puede ver que la formación Lisama alcanza una temperatura máxima de 90°C, y la Formación la Luna, la cual es la formación generadora de hidrocarburo en la cuenca alcanzo una temperatura máxima de 120°C.

La figura 47 muestra que las arenas de la Formación Lisama, tienen un rango de porosidad de 5-7%, el cual, respecto a los resultados petrográficos, son valores menores. Petrográficamente las arenas de la Formación Lisama presentan valores de porosidad que oscilan entre 3.33-22.96%, del volumen total de la roca, siendo la mayoría porosidad secundaria. La porosidad secundaria en estas arenas se debe principalmente a la disolución de fragmentos líticos arcillosos e ígneos y en algunos sectores de la roca, la matriz también sufre disolución, ya que está compuesta principalmente por arcillas. Otro factor que afecta la porosidad en la roca, es debido a las reacciones redox que se dan dentro de esta.

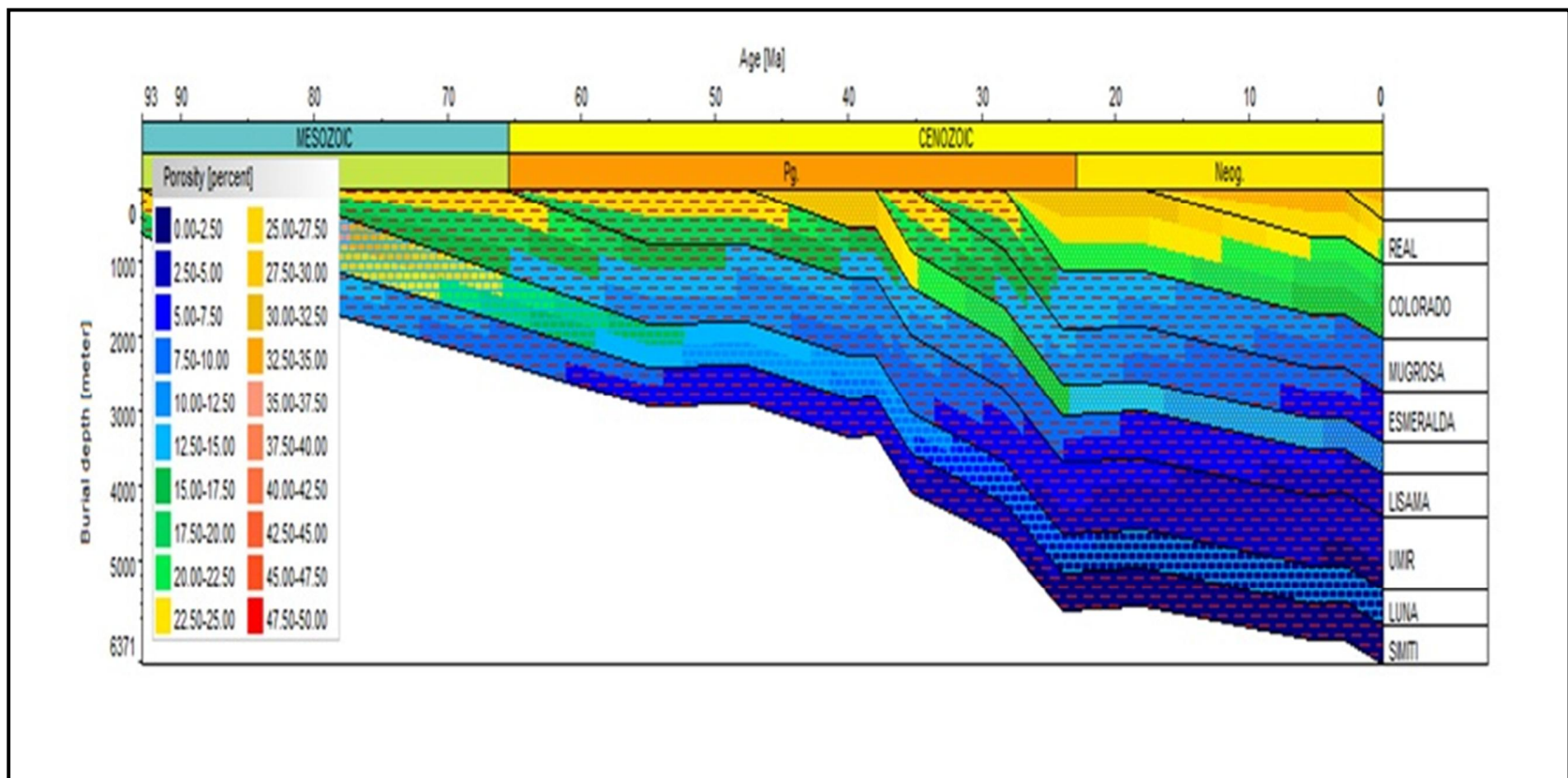


Figura 47. Diagrama de enterramiento. Variación de la Porosidad (%) con respecto a la profundidad (m).

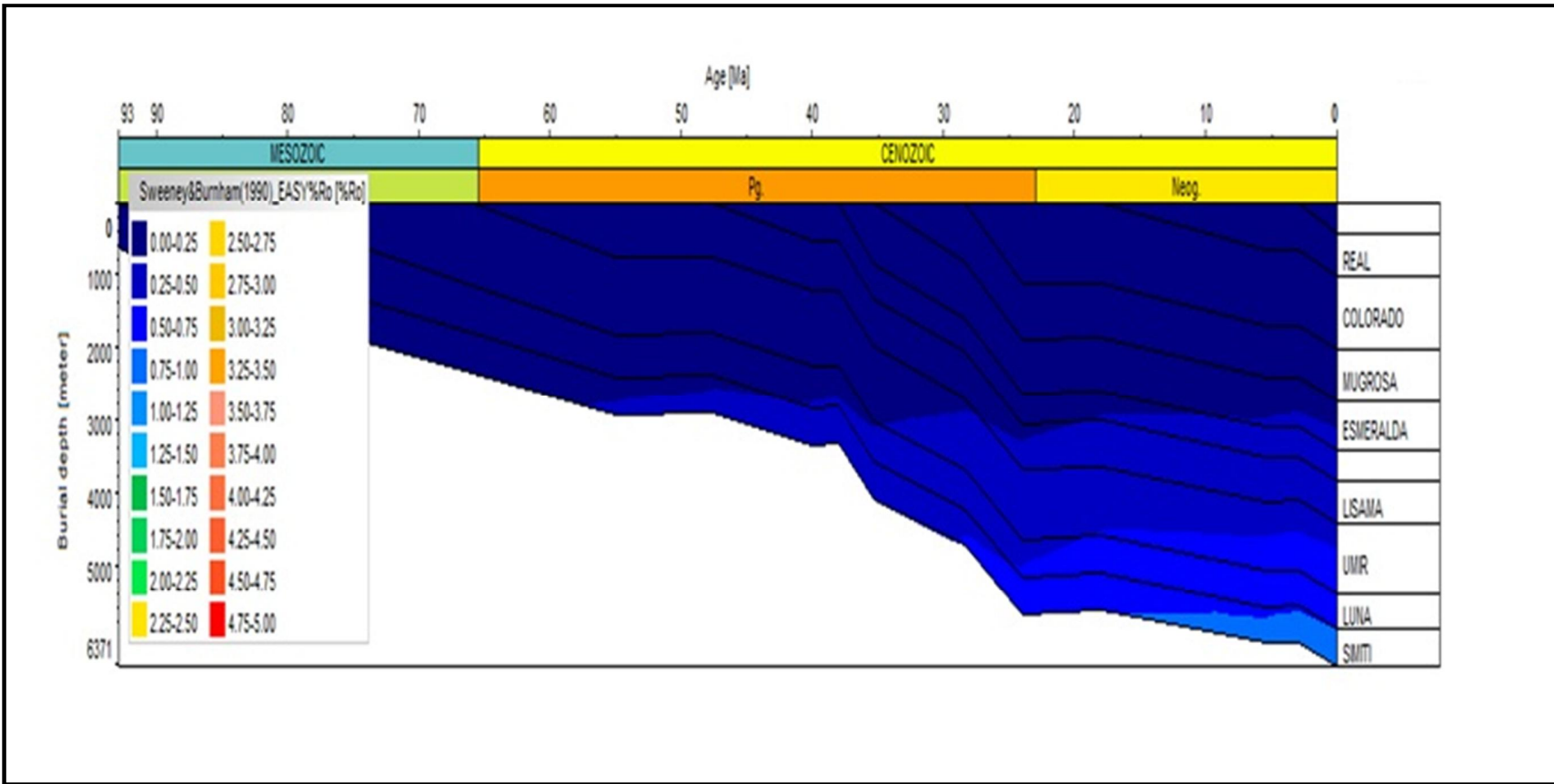


Figura 48. Diagrama de enterramiento. Variación de la Reflectancia de la Vitrinita (%Ro) con respecto a la profundidad (m) y la edad (m.a).

En la figura 48 se puede apreciar que la Formación La Luna entra en la ventana de generación de petróleo con un rango de temperatura de 120-130 °C entre un rango de 0.50-0.75%Ro, empezando a generar hace 35 m.a aproximadamente. Estos datos coinciden con los reportados por la tesis de Carvajal, 2004.

12.DISCUSIÓN

En la Figura 47 se observa el Diagrama de enterramiento, donde la porosidad (%) varía con respecto a la profundidad (m). En este Diagrama se puede apreciar que los valores de porosidad para la Formación Lisama, oscilan dentro de un rango de 5-7%, los cuales son valores menores a los obtenidos a través de los análisis petrográficos, los cuales oscilan entre un rango 3.33-22.96% (anexo 2) siendo mayor la porosidad secundaria en la mayoría de las muestras, como se puede apreciar en la muestra PA_E2-M31 con un valor de 18.52% del volumen total de la roca. Este aumento significativo puede ser producto de las reacciones Redox que sufren estas areniscas, las cuales se pueden evidenciar en la zona de estudio por las diferentes tonalidades que presenta la roca, las cuales son características de estas reacciones (figura 30).

Estas reacciones tienen lugar, cuando el hidrocarburo invade las areniscas de color rojizo, las cuales en su mayoría tienen minerales oxidantes y cemento intergranular de carbonato o de hierro (Surdam et al., 1993), como hematita (figura 17), como se puede ver en la muestra PA_E2-M34. En este estado de la Roca se producen ácidos orgánicos que junto con el agua, se filtran por los poros de la roca, donde lentamente comienzan a disolver carbonatos de calcio, feldespatos y fragmentos de roca, los cuales en algunos casos, presentan una leve corrosión en sus bordes, produciendo un aumento significativo de la porosidad secundaria. El resultado final de esta reacción es el blanqueamiento total o parcial de la roca (figura 31), indicando una disolución de los cementos de hierro y de carbonato, donde el cemento de hierro es reducido a pirita (figura 32) y clorita generalmente (Surdam et al., 1993).

13. CONCLUSIONES

Los resultados de porosidad obtenidos por el modelo geoquímico 1D muestran valores menores (5-7%) que los obtenidos mediante la petrografía convencional (%). Este aumento de porosidad se da como resultado de las reacciones químicas de oxidación-reducción, que posteriormente disuelven detritos inestables como feldespatos y carbonatos, provocando un aumento en la porosidad.

Eventos diagenéticos tales como la *Compactación*, y la precipitación de *Cementos* en el espacio poroso (minerales de arcillas, carbonatos y sobrecrecimientos de sílice) ocluyen la porosidad remanente disminuyendo la permeabilidad de la roca.

La impregnación del espacio poroso con hidrocarburos inhibe el crecimiento de cementos, permitiendo la conservación de la porosidad efectiva. Asimismo, eventos de tectonismo sufridos durante el levantamiento (Telogénesis) generan planos de fracturas que comunican la porosidad remanente incrementando la permeabilidad de la roca.

La interacción química (reacciones Redox) entre el hidrocarburo y los minerales cementantes tales como las arcillas y el carbonato, es el principal mecanismo generador de porosidad secundaria. En campo, éstas reacciones se pueden identificar como zonas de diferente tonalidad, las cuales petrográficamente se observan como sectores en los que la matriz arcillosa ha sido disuelta y/o por los variados estadios de disolución de feldespatos y fragmentos de roca.

Las areniscas de la Formación Lisama en el sector de la Sección La Fortuna, son clasificadas composicionalmente como Sublitoarenitas y Litoarenitas (Folk,1974). Texturalmente estas areniscas presentan una media granulométrica que varía entre arena fina a arena media, con una baja selección (Folk,1974) y granos

subangulares a subredondeados en contacto flotante a tangencial, soportados por una matriz arcillosa parcialmente disuelta.

Los fragmentos líticos que componen las areniscas derivan de rocas metamórficas (Filitas y Esquistos) principalmente y en menor proporción de rocas sedimentarias (Chert), sugiriendo una área de aporte desde el macizo de Santander y reabajamiento de Sedimentos Cretácicos. La baja madurez textural de estas rocas indican una zona de aporte de los sedimentos muy cercana a la cuenca de depositación.

14. REFERENCIAS CITADAS

Aguilera, R. 2009. Play Calcáreo de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena ¿Un Gigante Dormido?.Informe Ejecutivo

Al-Shaieb, Z., Shelton, J.W., 1981.Migration of Hydrocarbons and Secondary Porosity in Sandstones.

Barrero D., Pardo A., Vargas C., Martínez J. 2007. Colombia Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New proposal. Agencia Nacional de Hidrocarburos. Bogotá, Colombia.

Burley, S.D. and Worden, R.H., 2003.Sandstone Diagenesis: Recent and Ancient.

Caballero, V.M. 2010. Evolución Tectono-Sedimentaria del Sinclinal de Nuevo Mundo, Cuenca Sedimentaria del Valle Medio del Magdalena, Colombia, Durante el Oligoceno-Mioceno. Trabajo de Grado, Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander.

Carvajal, H. 2004. Nuevas Consideraciones Acerca del Estado de Madurez Termal de la Formación la Luna en el Valle Medio del Magdalena, Colombia. Trabajo de Grado. Facultad de Ciencias Fisicoquímicas. Universidad Industrial de Santander.

Cruz, L., Álvarez, M., Caballero, V., 2004. Petrología Sedimentaria, Guías de Laboratorios. Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

De Porta J., 1974. Lexique Stratigraphique Internationale Amerique Latine- Colombie. Volume V-Fascicule 4B. París-Francia, UNION INTERNATIONALE DES SCIENCES GÉOLOGIQUES.

Etayo, F. *et al*, 1983, Mapa de Terrenos de Colombia, Publicaciones Geológicas Especiales del INGEOMINAS, No. 14.

Folk R. 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill publishing Company. Austin, Texas.

García M., Mier R., Cruz L., Vásquez M. 2009. Evaluación del Potencial Hidrocarburífero de las Cuencas Colombianas. Informe Ejecutivo. ANH página www.anh.gov.co.

Gelvez, J., Naranjo, J. F., Duque, N. E. and Gallo, F. H., 2010. Procedencia de sedimentos del Intervalo Paleoceno-Mioceno en el Sinclinal Del Nuevo Mundo, Valle Medio del Magdalena. Implicaciones en la evolución e historia de deformación de la cuenca. Informe Interno Ecopetrol-ICP.

Gomez, R, Morales J, 2008. Modelo Geoestadístico basado en objetos de Las Formaciones Mugrosa y Colorado, Campo Lisama (VMM), Trabajo de grado. Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander.

Julivert, M., 1968. Lexique Stratigraphique Internationale Amerique Latine- Colombie. Volumen V-Fascicule 4A. París-Francia, UNION INTERNATIONALE DES SCIENCES GÉOLOGIQUES.

Otero, M., 2001. Modelamiento y Evolución Estructural del Cierre Sur del Sinclinal de Nuevo Mundo y su Utilidad en el Procesamiento Sísmico. Trabajo de

Grado Escuela de Geología, Facultad de Ciencias Fisicoquímicas. Universidad Industrial de Santander.

Saavedra, N et al, (2006). Modelamiento Para Optimizar el Factor de Recobro en Campos Maduros de las Cuencas del Valle Medio del Magdalena y Catatumbo, informe interno ECOPETOL-ICP.

Surdam, R.C., Jiao, Z.S., and Macgowan, D.B., 1993. Redox Reactions Involving Hydrocarbons and Mineral Oxidants: A Mechanism for Significant Porosity Enhancement in Sandstones. AAPG Bull vol77, pag 1509 -1518

Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984. Petroleum Formation and Occurrence.

RECURSOS ELECTRONICOS

Spalletti, L y Poiré, D. Diagénesis de las Rocas Clásticas. Cátedra de Sedimentología. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata, 2007.

(Recursos Electrónicos en Línea)

<http://cig.museo.unip.edu.ar/docencia/sed/composicion.pdf>.

Sandoval, M. Diagénesis de Areniscas. 2000.

(Recursos Electronicos en Línea)

http://books.google.com.co/books?id=6Zu9hlzp9kcC&printsec=frontcover&dq=diag+esis+de+areniscas&hl=es&ei=GrVUTYLJGIWCIAfRiK3YBw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCQQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false.

ANEXOS

ANEXO 1. DESCRIPCION PETROGRAFICA

PA-E2_M6

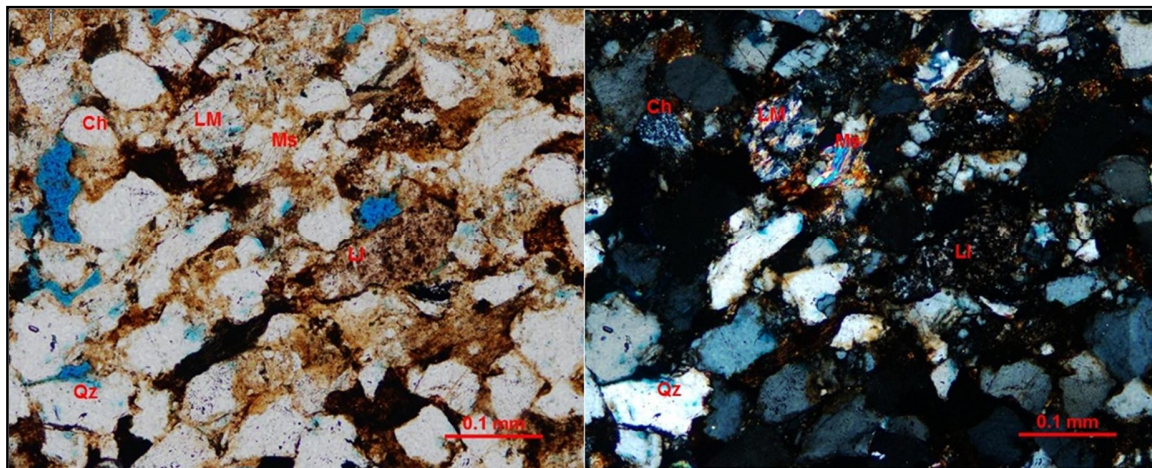


Figura 1. Líticos sedimentarios como chert (Ch), lítico metamórfico esquistoso (LM), lítico ígneo (LI) y muscovita con bajo grado de deformación (Ms).

TEXTURA

Arenisca compuesta principalmente por granos, en una cantidad aproximada de 47.79% del volumen total de la roca, siendo por lo tanto una roca granosoportada, Folk, 1974, el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. El tamaño de grano en estas areniscas oscila entre muy fino (0.10mm) a fino (0.25mm), predominando el tamaño fino (Folk, 1974); siendo pobremente sorteada. La redondez de los granos es subangular, con baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es tangencial y flotante.

Armazón. Se encuentra presente en una cantidad de 52.2%. Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 27.04% del volumen total de la roca, compuesta principalmente por minerales arcillosos.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 9.43%. Presenta cementación por material ferruginoso y minerales opacos, siendo el ferruginoso el más abundante.

Porosidad. Se encuentra en la muestra en un promedio de 11.32%, siendo del 4.4% la porosidad primaria y 6.52% de porosidad secundaria, producto de la disolución de granos inestables, como algunos feldespatos.

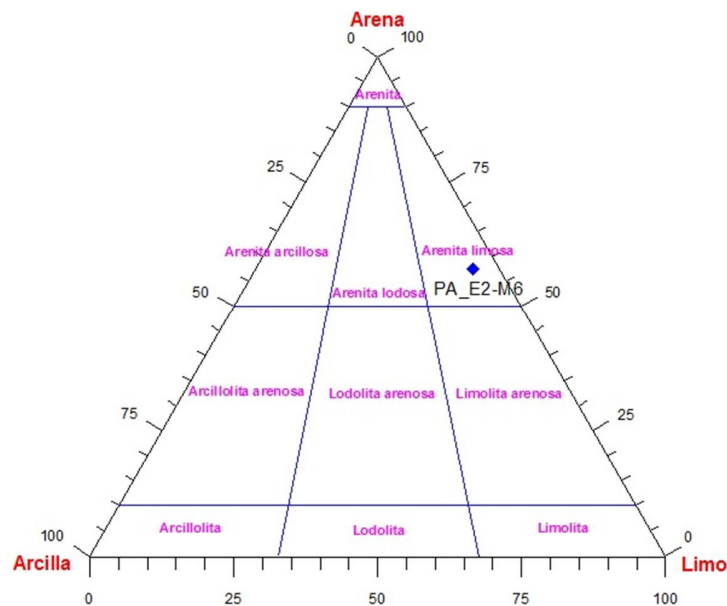


Figura 2. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M6 según Folk, 1974)

COMPOSICION

El armazón se encuentra constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Cuarzo. Presente con valores de 72.36% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, presentando extinción paralela y ondulosa.

Feldespatos. Presentes con un porcentaje del 2.63% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico el más abundante.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 25%. Pertenecen a fragmentos de rocas ígneas, sedimentarios como el chert y metamórficos (Figura 1). Los fragmentos metamórficos son los más abundantes en la roca, siendo esquistosos en su mayoría.

Minerales Dúctiles. Entre estos minerales se pueden diferenciar las micas, como la muscovita, la cual se encuentra sufriendo una deformación dúctil (figura 1).

Minerales pesados. Minerales pesados como circón, rutilo, los cuales se muestran con morfologías anhedrales (figura 1); encontrándose también minerales opacos, que en algunos casos actúan como material cementante en algunos sectores de la roca.

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita y micas.

Clasificación. Litoarenita de grano fino, pobremente sorteada (figura 3) Folk, 1974.

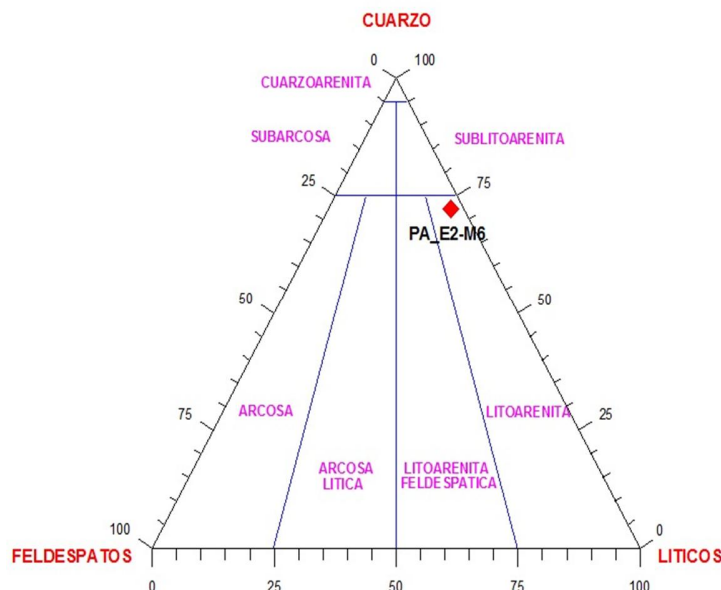


Figura 3. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M6 según Folk (1974.)

PA-E2_M7

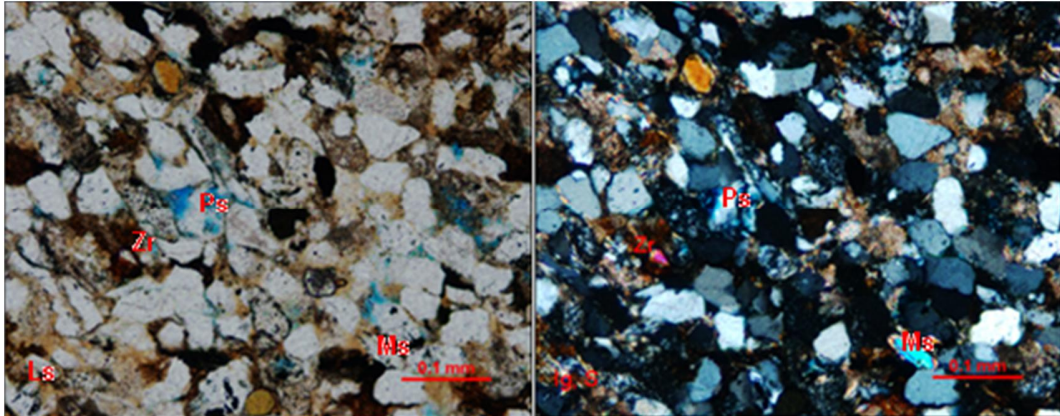


Figura 4. Contenido de minerales como circón (Zr), muscovita (Ms), Líticos sedimentarios (Ls), y presencia de porosidad secundaria (Ps).

TEXTURA

Arenisca Compuesta principalmente por granos con un porcentaje total de 75.02%, haciendo parte del contenido total de la roca. La roca se considera granosoportada (Folk, 1974), el porcentaje restante lo completan matriz, cemento y poros. El tamaño predominante de grano en estas areniscas es arena fina a media (Folk, 1974), la roca se encuentra pobremente sorteada. La redondez de los granos es subangular y el contacto entre sus partículas es tangencial (Figura 4).

Armazón. Constituido principalmente por una cantidad de 85.73%, teniendo en cuenta minerales como cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados (Figura 4).

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 6.1% del volumen total de la roca, se encuentra dispersa y compuesta principalmente por minerales arcillosos.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 3.06%. Constituido por material ferruginoso y minerales opacos.

Porosidad. Se encuentra en la muestra con un valor máximo de 5.1% del volumen total de la roca, su porosidad primaria, es de 1.02%, del volumen total de la roca, encontrándose la porosidad secundaria con un valor máximo de 4.08% siendo esta, producto de la disolución de algunos minerales como feldespatos

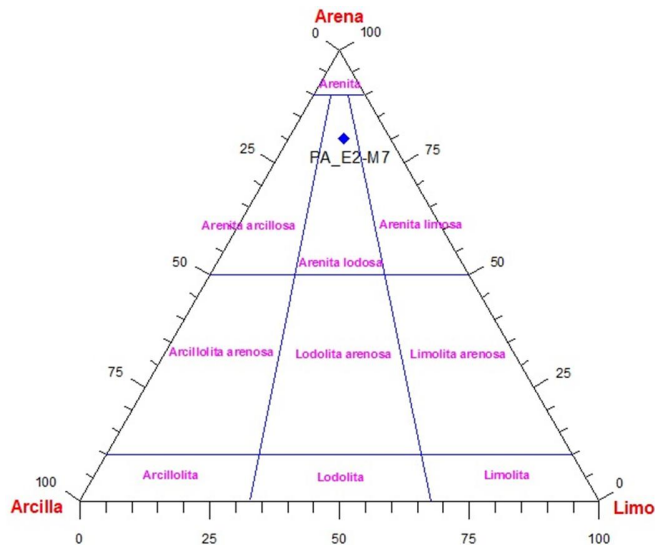


Figura 5. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M7, según Folk, 1974.

COMPOSICION

El armazón se encuentra constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca (Figura 4).

Cuarzo. Presente con 38.76% del volumen total de la roca. En la muestra se observan diferentes tipos de cuarzo, entre los cuales el cuarzo monocristalino presenta valores mayores sobre aquellos con extinción ondulosa.

Feldespatos. Presentes con un valor de 5.61% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico quien se presente en menor abundancia en comparación con las plagioclasas. En algunos sectores el feldespato sufre disolución parcial, produciendo porosidad secundaria.

Fragmentos líticos. Presentes en una cantidad total de 30.65%. Pertenecen a fragmentos de rocas ígneas y metamórficas, predominando aquellos de tipo sedimentario, en los cuales se observan en gran cantidad fragmentos de chert.

Minerales dúctiles. Entre estos materiales se pueden diferenciar micas, como muscovita, las cuales se observan ductilizadas, arrojando valores de 6.63% del volumen total.

Minerales pesados. Entre estos se encuentran minerales como circón, rutilo, los cuales presentan morfologías subhedrales y anhedrales, con valores de 1.53% y 2.55% respectivamente.

Minerales arcilla. Entre los principales minerales se observa caolinita y caolinita vermicular con 6.1% del volumen total.

Clasificación. Litoarenita de grano fino, pobremente sorteada (figura 6)

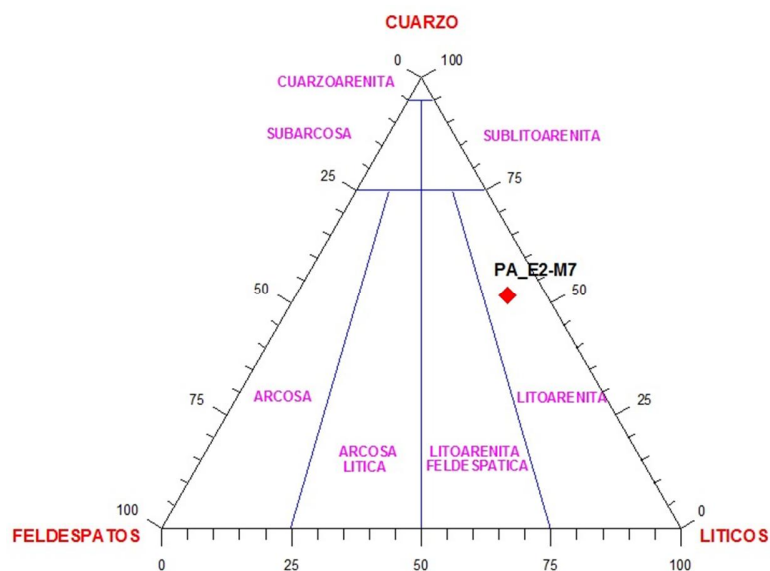


Figura 6. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M7 según Folk, 1974.

PA-E2_M8

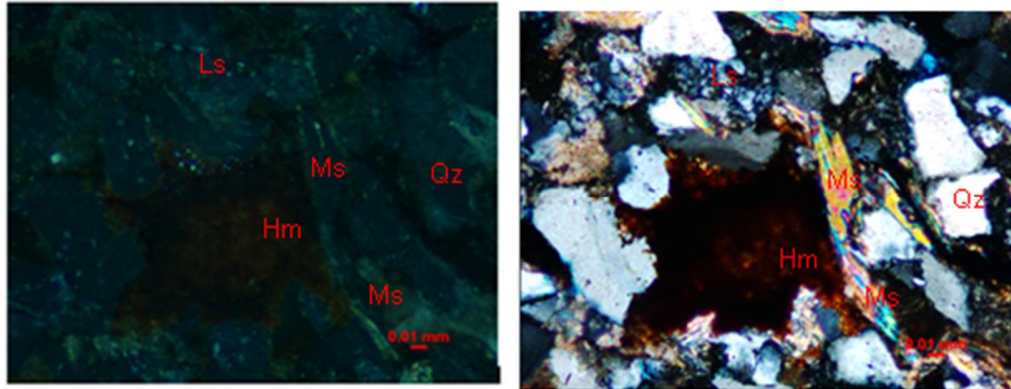


Figura 7. Se observa material cementante, compuesto principalmente por hematita, la muscovita (Ms), se presenta deformada en algunos sectores. En cuanto al contenido de líticos se observan algunos líticos sedimentarios (Ls).

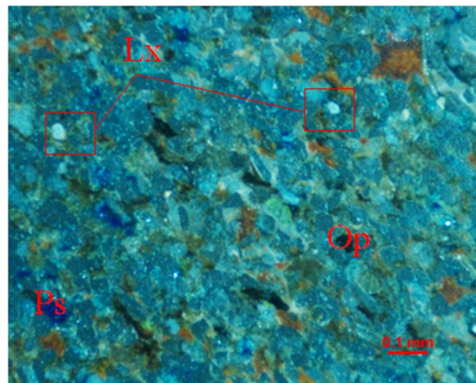


Figura 8. Contenido de minerales opacos como leucoxeno (Lx), (Op), se observa porosidad, la cual se encuentra como resultado de procesos de disoluci3n.

TEXTURA

Compuesta principalmente por granos con un contenido aproximado de 67.7% del volumen total de la roca, considerándose como granosoportada (Folk, 1974), su contenido de cuarzo es 38.76% del volumen total de la roca, el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento, poros y opacos. El tamaño de grano en esta arenisca oscila entre muy fino a fino (Folk, 1974), siendo la roca

pobremente sorteada. La redondez de los granos es subangular, con baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es tangencial.

Armazón Constituido principalmente por minerales como cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca y minerales pesados, con 85.73% del volumen total (Figura 7).

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 6.46% del volumen total de la roca, se encuentra dispersa y compuesta principalmente por minerales arcillosos, como caolinita.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 8.18%. Presenta cementación por material ferruginoso, en algunos sectores se observa cemento compuesto por sílice y hematita (Figura 7).

Porosidad. Se encuentra en la muestra arrojando valores de 6.46%, correspondiente al 0.43% a la porosidad primaria y el 6.03% restante hace parte de la porosidad secundaria, producto de la disolución de granos inestables.

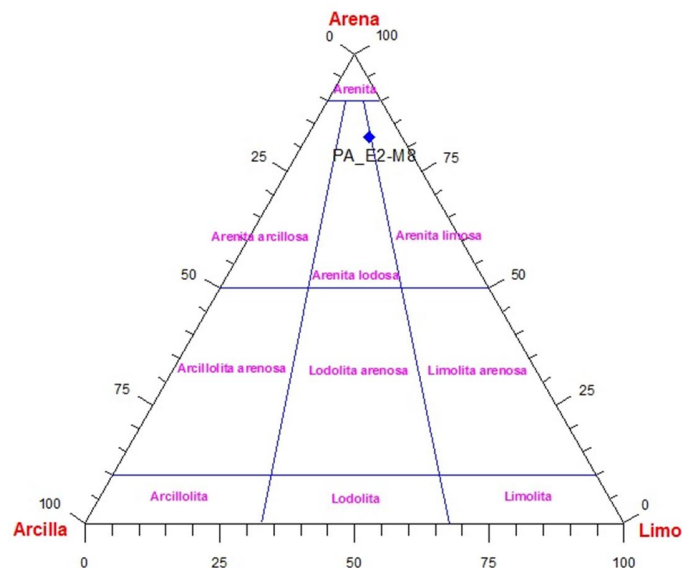


Figura 9. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M8 según Folk, 1974.

COMPOSICION

El almacón se encuentra Constituido principalmente por minerales como cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca y minerales pesados, pertenecientes al volumen total (Figura 7).

Cuarzo. Presente con 39.27% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, siendo el primero el más abundante.

Feldespatos. Presenta contenido de 2.58% del volumen total de la roca, siendo la plagioclasa quien presente un menor valor. En algunos sectores el feldespato potásico se encuentra sufriendo disolución parcial, produciendo porosidad secundaria.

Fragmentos Líticos. Pertenecen a fragmentos de rocas ígneos, metamórficos y sedimentarios, con un porcentaje de 25.85%. Los fragmentos metamórficos son esquistosos en su mayoría y los fragmentos ígneos se encuentran compuestos principalmente por feldespatos y cuarzo, donde los feldespatos en algunos casos sufren disolución o alteración.

Minerales Dúctiles. Entre estos minerales se pueden diferenciar las micas, como la muscovita, esta presenta valores de 3.87% la cual se encuentra sufriendo deformación dúctil, causada por la compactación ejercida por cristales de cuarzo.

Minerales arcilla. Entre estos encontramos minerales como caolinita.

Clasificación. Litoarenita de grano fino, pobremente sorteada (figura 15)

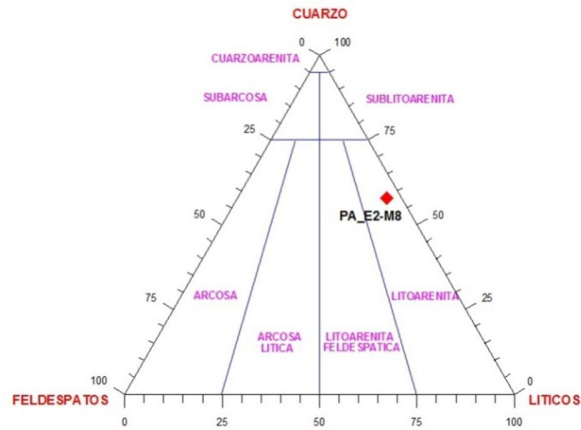


Figura 10. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M8 según Folk, 1974.

PA-E2_M12

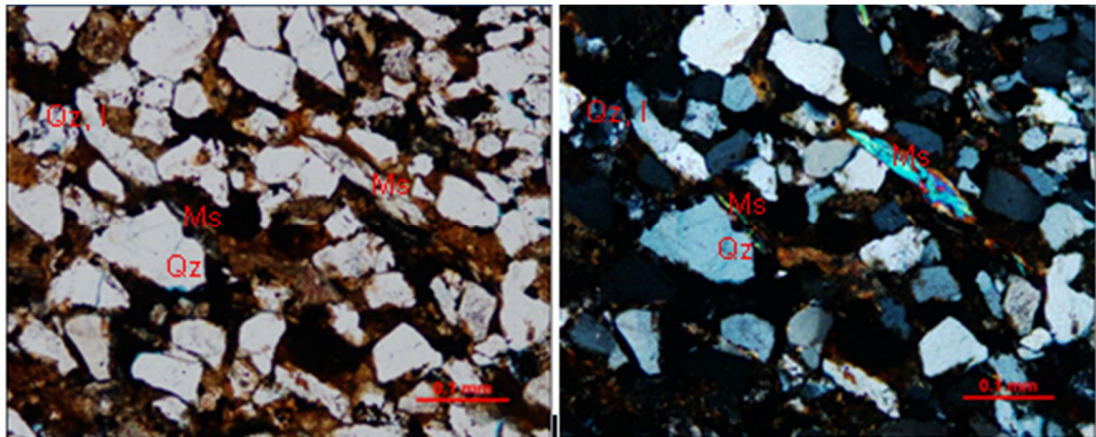


Figura 11. Se observan principalmente cristales de cuarzo(Qz), los cuales se encuentran dispersos en toda la muestra, ayudando a la deformación de la muscovita(Ms), en la parte superior izquierda se observa cuarzo policristalino (Qz,l) de origen ígneo.

TEXTURA:

Arenisca compuesta principalmente por granos con un contenido total de 63.45%, del volumen total de la roca, siendo por lo tanto una roca granosoportada (Folk, 1974), el porcentaje faltante es completado por matriz, cemento, y poros. El tamaño de grano en estas areniscas oscila entre muy fino a fino predominando el tamaño de arena fino (Folk, 1974), considerándose como pobremente sorteada.

En cuanto a la redondez de los granos son subredondeados, con una baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es Flotante.

Armazón. Constituido principalmente por granos de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados. Presenta valores de 70.64%(Figura 11).

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 7.8% del volumen total de la roca, esta dispersa, la matriz está compuesta principalmente por minerales arcillosos entre los q se encuentra la caolinita.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 10.78%. Presenta cementación por material ferruginoso y en algunas partes se encuentra la hematita actuando como material cementante.

Porosidad. Se encuentra en la muestra en un en un contenido total de 10.77% dividiéndose en porosidad primaria y secundaria en la cual predomina la porosidad secundaria con un contenido total de 7.17% y en menor contenido, la porosidad primaria con 0.6%

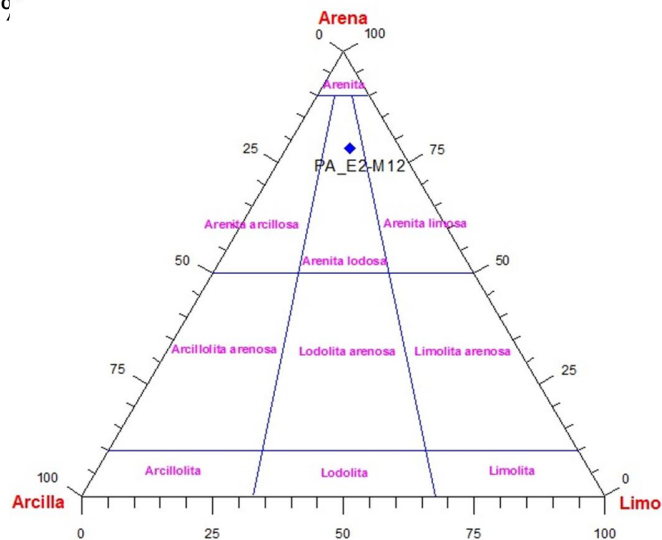


Figura 12. Clasificación textural para la muestra PA E2-M12 según Folk. 1974

COMPOSICION

El armazón se encuentra Constituido principalmente por granos de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Cuarzo. Presente con un porcentaje del 35.92% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, encontrándose en mayor cantidad el cuarzo monocristalino de extinción recta, Algunos cuarzos presentan corrosión en sus bordes, produciendo porosidad secundaria. Los cuarzos policristalinos presentan orientaciones, indicando un origen metamórfico. En algunos sectores el cuarzo se encuentra fracturado.

Feldespatos. Presentes con un porcentaje de 1.79% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico el más abundante. En algunos sectores el feldespato potásico se encuentra sufriendo disolución parcial, produciendo porosidad secundaria, y en otros sectores se encuentra alterando, produciendo material arcilloso, como caolinita.

Fragmentos Líticos. Presentes en la roca con una cantidad total de 23.42%. Pertenecen a fragmentos de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias. Los líticos metamórficos son esquistos en su mayoría, los fragmentos ígneos se encuentran compuestos principalmente por feldespatos y cuarzo.

Minerales Dúctiles. Entre estos materiales se pueden diferenciar las micas, como la muscovita y la biotita, siendo la primera la más abundante, y la cual se encuentra sufriendo deformación dúctil, causada por la compactación ejercida por cristales de cuarzo.

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como rutilo, el cual se observa con formas subhedrales, se observan también minerales opacos, como

hematita, la cual actúa como material cementante en la mayoría de los casos en la roca.

Minerales arcilla. Se observa caolinita vermicular.

Clasificación. Litoarenita de grano fino, pobremente sorteada (figura 13)

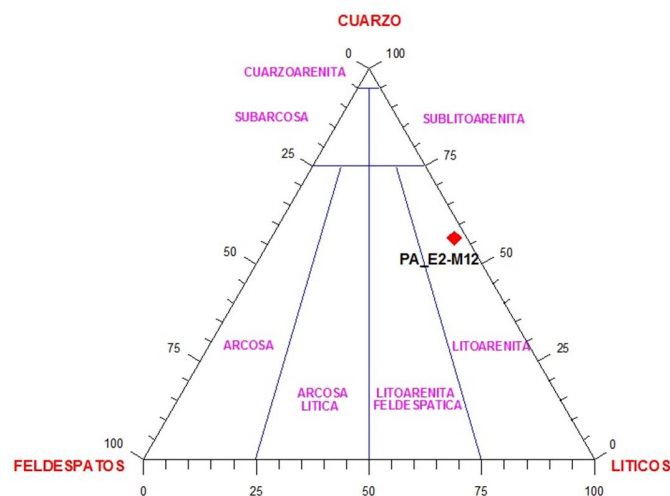


Figura 13. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M12 según Folk, 1974

PA-E2M14

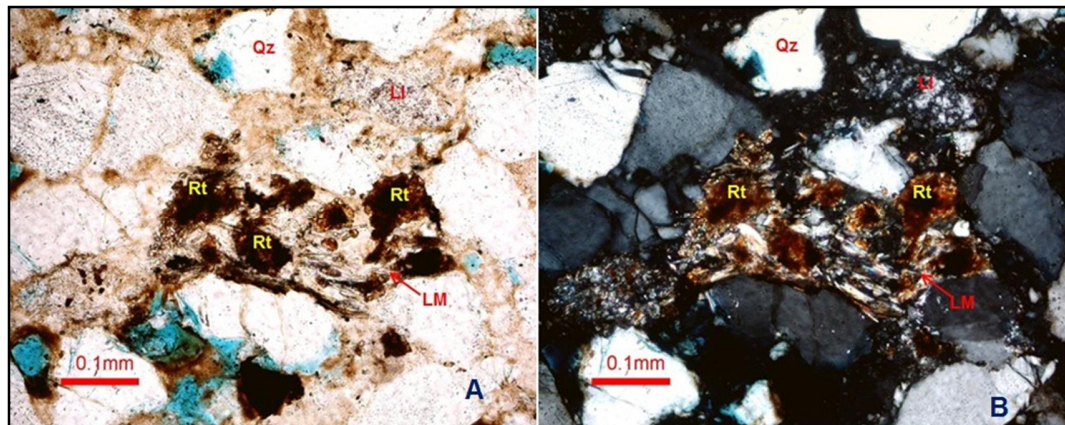


Figura 14. Cuarzos monocristalinos (Qz), líticos ígneos (LI), líticos metamórficos (LM) y rutilos anhedrales (Rt) como mineral accesorio.

TEXTURA

Arenisca compuesta principalmente por granos, en una cantidad aproximada de 70,94% del volumen total de la roca, siendo por lo tanto una roca granosoportada

(Folk, 1974), el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. El tamaño de grano en esta areniscas oscila entre muy fino (0.10) a fino (0.25), predominando el tamaño fino (Folk, 1974); siendo pobremente sorteada. La redondez de los granos va desde subangulares a subredondeados, con una baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es tangencial.

Armazón. Se encuentra presente en una cantidad de 75.21%. Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 8.55% del volumen total de la roca, dispersa, compuesta principalmente por minerales arcillosos, como caolinita, en algunos sectores se evidencia caolinita vermicular.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 4.27%. Presenta cementación por material ferruginoso y minerales opacos.

Porosidad. Se encuentra en la muestra con en un promedio de 11.96%, siendo el 4.27% el contenido de la porosidad primaria, el 7.69% pertenece a la porosidad secundaria la cual es producto de la disolución de granos inestables, como feldespatos y fragme

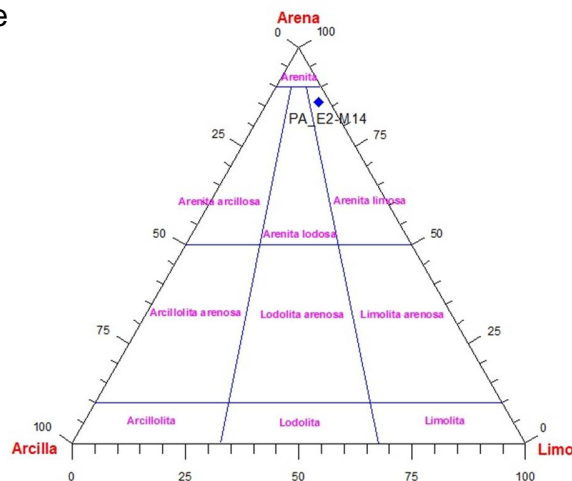


Figura 15. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M14 según FOLK (1974.)

COMPOSICION

El almacón se encuentra constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Cuarzo. Presente con un contenido de 80.72% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, siendo el primero el más abundante, presentando extinción ondulosa y recta. Algunos cuarzos presentan inclusiones de micas y corrosión en sus bordes, produciendo porosidad secundaria. Algunos cuarzos policristalinos presentan sus granos con orientación, indicando un origen metamórfico. En algunos sectores el cuarzo se encuentra fracturado.

Feldespatos. Presentes con un contenido de 1.2% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico el más abundante. En algunos sectores el feldespato potásico se encuentra sufriendo disolución parcial, produciendo porosidad secundaria, y en otros sectores se encuentra alterando, produciendo material arcilloso, como caolinita.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 18.07%. Pertenecen a fragmentos de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias (Figura 14). Los líticos metamórficos son esquistos en su mayoría, en los fragmentos sedimentarios se observan chert. Los fragmentos ígneos se encuentran compuestos principalmente por feldespatos y cuarzo, en algunos casos los feldespatos se encuentran sufriendo disolución,

Minerales Dúctiles. Entre estos minerales se pueden diferenciar las micas, como la muscovita y la biotita, siendo la primera la más abundante, y la cual se encuentra sufriendo deformación dúctil, causada por la compactación ejercida por cristales de cuarzo.

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como circón, rutilo (Figura 14) y turmalina, los cuales se muestran con morfologías subhedrales, encontrándose también minerales opacos, como hematita la cual actúa como material cementante en la mayoría de los casos en la roca, también se encuentra pirita y leucoxeno.

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita, caolinita vermicular y micas como la muscovita.

Clasificación. Sublitoarenita (Figura 16)

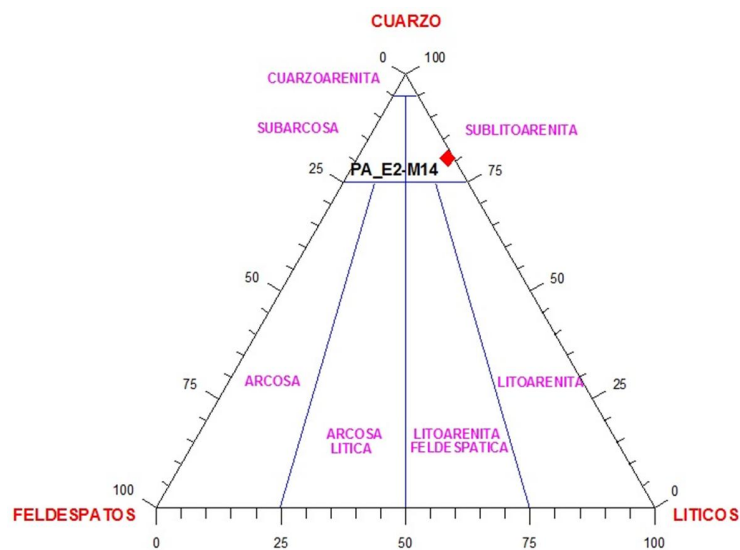


Figura 16. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M14 según Folk, 1974.

PA-E2M16

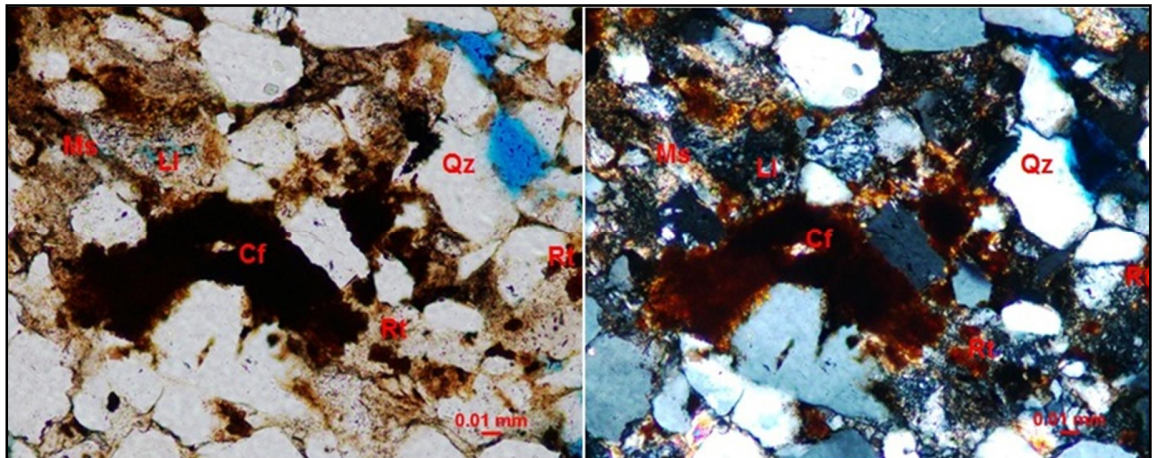


Figura 17. Lítico ígneo sufriendo disolución (LI), muscovita (Ms), cementación por minerales de hierro (Cf), minerales pesados como el rutilo (Rt). Qz: Cuarzo

TEXTURA

Arenisca compuesta principalmente por granos, en una cantidad aproximada de 64.74% del volumen total de la roca, siendo por lo tanto una roca granosoportada (Folk, 1974), el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. El tamaño de grano en esta areniscas oscila entre muy fino (0.10) a fino (0.25), predominando el tamaño fino (Folk, 1974); siendo pobremente sorteada. La redondez de los granos es subangular, con baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es tangencial.

Armazón. Se encuentra presente en una cantidad de 70.5%. Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 6.47% del volumen total de la roca, dispersa, compuesta principalmente por minerales arcillosos, como caolinita. Esta también se encuentra sufriendo disolución en algunos sectores, produciendo porosidad secundaria.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 8.63%. Presenta cementación por material ferruginoso y minerales opacos.

Porosidad. Se encuentra en la muestra en un promedio de 14.39%, siendo del 4.32% la porosidad primaria y el 10.07% la porosidad secundaria, producto de la disolución de granos inestables, como feldespatos y fragmentos líticos (figura 17), por corrosión en los bordes, y fracturamiento de algunos cristales de cuarzo.

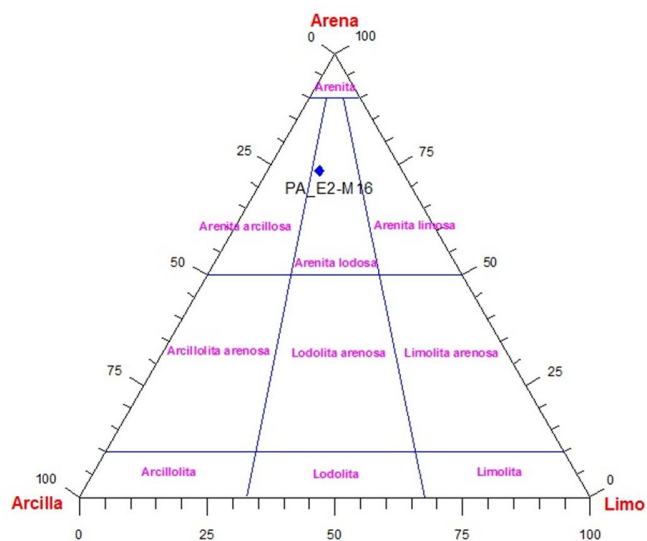


Figura 18. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M16 según Folk, 1974.

COMPOSICION

El armazón se encuentra Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Cuarzo. Presente con un porcentaje del 81.11% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, siendo el primero el más abundante, presentando extinción ondulosa y paralela. Algunos cuarzos presentan inclusiones diminutas de micas y corrosión en sus bordes, produciendo

porosidad secundaria. Algunos cuarzos policristalinos presentan sus granos con y sin orientación, indicando un origen ígneo y metamórfico. En algunos sectores el cuarzo se encuentra fracturado.

Feldespatos. Presentes con un porcentaje del 3.33% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico el más abundante. En algunos sectores el feldespato potásico se encuentra sufriendo disolución parcial, produciendo porosidad secundaria.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 15,56%. Pertenecen a fragmentos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, siendo los líticos metamórficos esquistosos en su mayoría y los más abundantes. Los fragmentos sedimentarios son granos de chert, compuestos por microcristales de cuarzo. Algunos fragmentos ígneos se encuentran sufriendo disolución, produciendo porosidad secundaria.

Minerales Dúctiles. Entre estos materiales se pueden distinguir las micas, como la muscovita, la cual se encuentra sufriendo una deformación dúctil, causada por la compactación ejercida por cristales de cuarzo.

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como circón, rutilo (figura 17) los cuales se muestran con morfologías subhedrales y anhedrales, encontrándose también minerales opacos, los cuales actúan como material cementante en algunos casos.

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita, caolinita vermicular y micas.

Clasificación. Sublitoarenita (figura 19) Folk (1974).

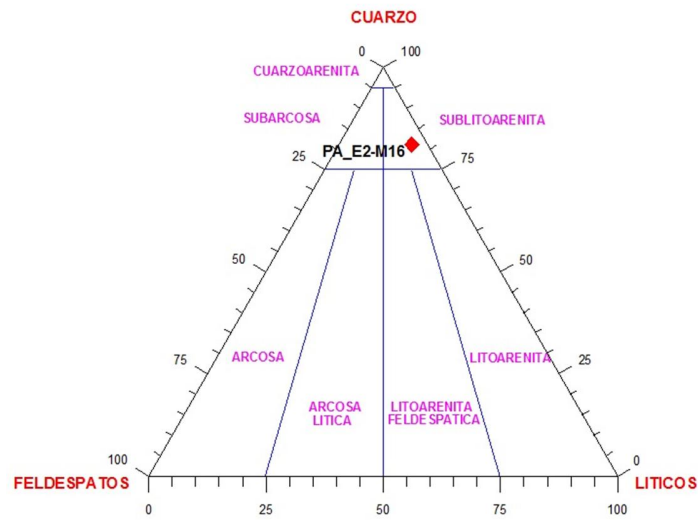


Figura 19. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M16 según Folk 1974.

PA-E2M17

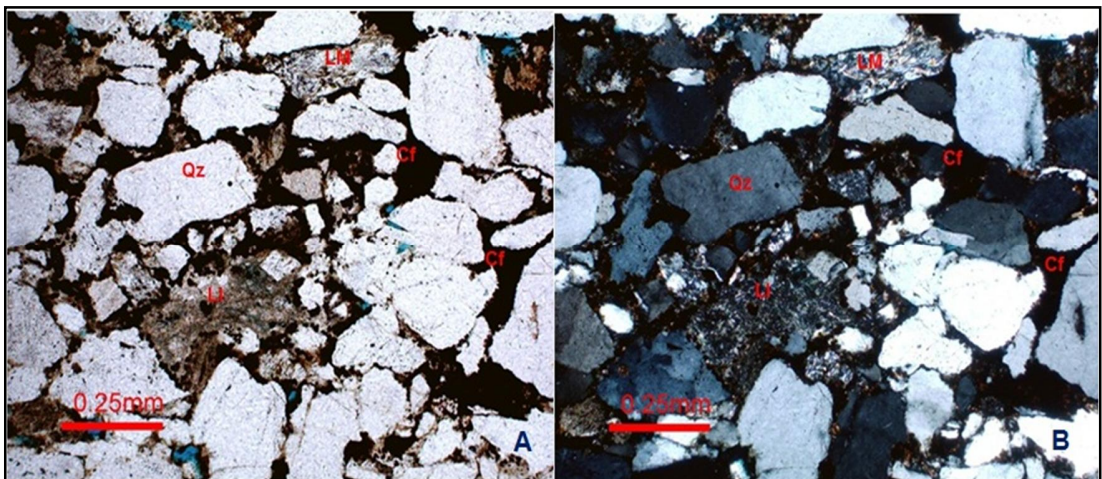


Figura 20. Se observan cuarzos (Qz), líticos ígneos (LI), líticos metamórficos (LM) y cemento ferruginoso (Cf).

TEXTURA

Arenisca compuesta principalmente por granos, en una cantidad aproximada de 66.49% del volumen total de la roca, siendo por lo tanto una roca granosoportada (Folk, 1974), el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. El tamaño de grano en estas areniscas oscila entre muy fino (0.10mm) a fino (0.25mm), predominando el tamaño muy fino (Figura 20) (Folk, 1974); siendo

pobremente sorteada. La redondez de los granos va desde subangulares a subredondeados, con una baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es puntual.

Armazón. Se encuentra en presente en una cantidad de 73.18%. Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales opacos.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 9.62% del volumen total de la roca, dispersa, compuesta principalmente por minerales arcillosos, como caolinita.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 6.27%. De tipo ferruginoso (Figura 20).

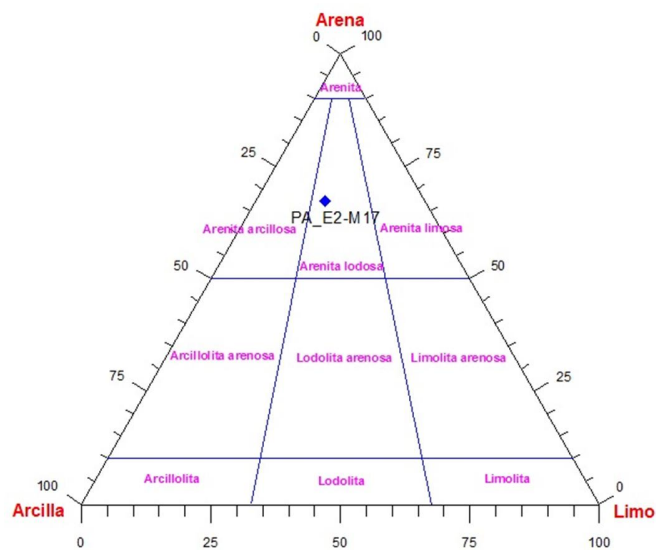


Figura 21. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M17 según Folk (1974.)

Porosidad. Se encuentra en la muestra en un promedio de 10.92%, siendo del 4.65% la porosidad primaria; del 6.27% la porosidad secundaria, producto de la disolución de granos inestables, como feldespatos y fragmentos líticos.

COMPOSICION

El almacón se encuentra Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Cuarzo. Presente con un contenido del 78.61% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, siendo el primero el más abundante, presentando extinción ondulosa y paralela. Algunos cuarzos presentan corrosión en sus bordes, produciendo porosidad secundaria. Algunos cuarzos policristalinos presentan sus granos con y sin orientación, lo que indica su origen ígneo y metamórfico.

Feldespatos. Presentes con un contenido de 0.83% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico el más abundante.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 20,12%. Pertenecen a fragmentos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Los líticos metamórficos son esquistosos en su mayoría, y son los más abundantes en la muestra. Los fragmentos ígneos están compuestos en su mayoría por microlitos de plagioclasa y microcristales de cuarzo, siendo probablemente de tipo granítico (figura 52). Los fragmentos sedimentarios son en su mayoría granos de chert, compuestos por microcristales de cuarzo.

Minerales Dúctiles. Entre estos materiales se pueden diferenciar las micas, como la muscovita, la cual está sufriendo una deformación, causada por la compactación ejercida por cristales de cuarzo.

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como circón y rutilo, los cuales se muestran con morfologías subhedrales, encontrándose también minerales opacos.

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita y micas.

Clasificación. Sublitoarenita (Figura 22.) Folk, 1974.

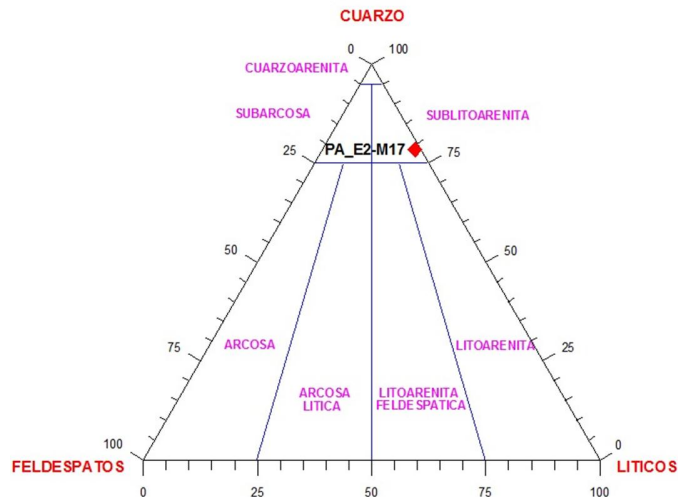


Figura 22. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M17 según Folk (1974.)

PA-E2_M20

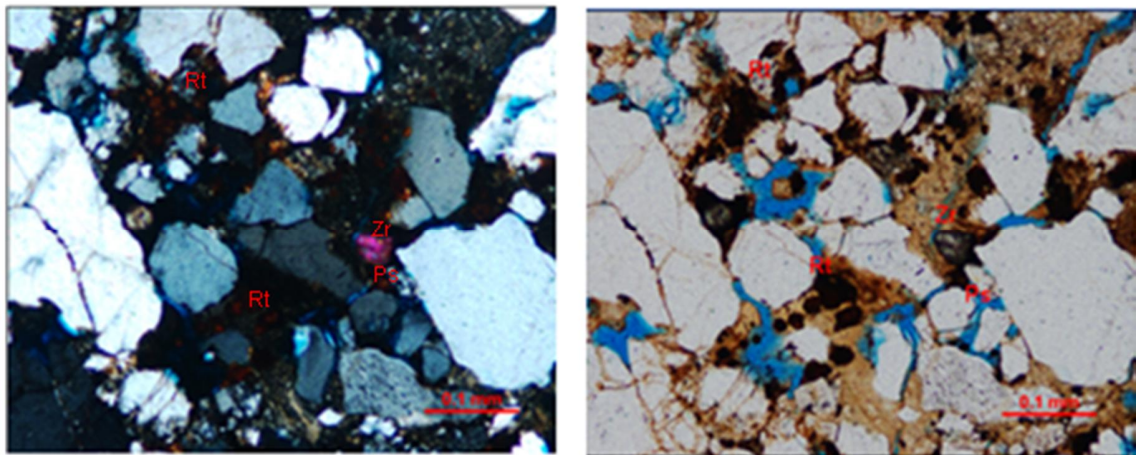


Figura 23. Porosidad secundaria (Ps) producida por el fracturamiento de algunos granos de cuarzo y disolución de la matriz, se observan minerales como circon (Zr) y Rutilo (Rt).

TEXTURA

Arenisca compuesta principalmente por granos, en una cantidad aproximada 74.15% siendo por lo tanto una roca granosoportada (Folk, 1974), el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. Se presentan partículas

tamaño arena media. La redondez de los granos es subangular a subredondeada, con baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es flotante.

Armazón: Constituido principalmente por minerales como cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca (Figura 23).

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 5.0 % del volumen total de la roca, dispersa y compuesta principalmente por minerales arcillosos.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 2.49%. Presenta cementación por material ferruginoso y en algunas secciones se observa cemento silíceo.

Porosidad. Se encuentra en la muestra en un promedio de 3.33%, siendo la porosidad secundaria, producto de la disolución de granos inestables, como feldespatos.

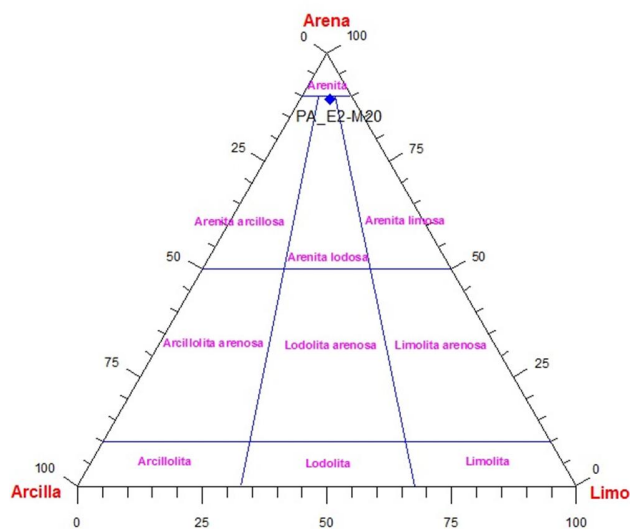


Figura 24. Clasificación Textural para la muestra PA_E2-M20 según Folk, 1974.

COMPOSICION

El armazón se encuentra constituido principalmente por minerales como cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca.

Cuarzo. Presente con un porcentaje de 45.83% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, siendo el primero el más abundante, Algunos cuarzos presentan corrosión en sus bordes, produciendo porosidad secundaria.

Feldespatos. Presentes con contenidos de 4.16% del volumen total de la roca, en algunos sectores el feldespato se encuentra alterado produciendo caolín, también sufre disolución parcial, produciendo porosidad secundaria.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 24,16%. Pertenecen a fragmentos de rocas ígneas y metamórficas.

Minerales Dúctiles. Entre estos materiales se pueden diferenciar las micas, como la moscovita, la cual se encuentra sufriendo deformación dúctil.

Clasificación. Litoarenita. Folk, 1974. (Figura 25).

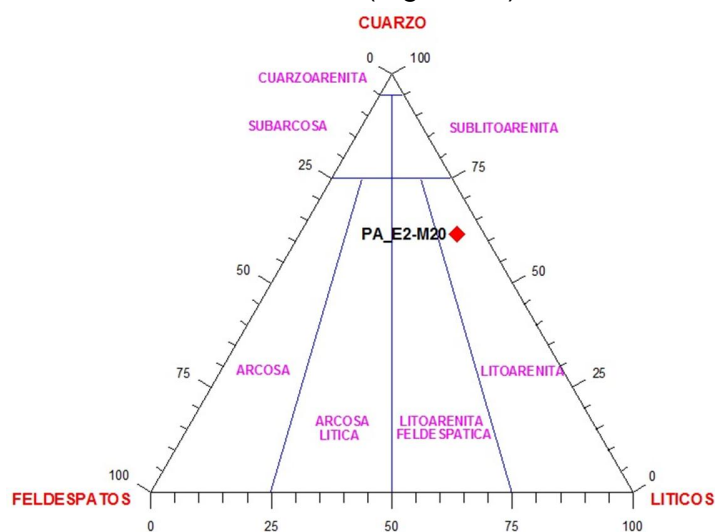


Figura 25. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M20 según FOLK (1974.)

PA-E2_M21

TEXTURA

Arenisca compuesta principalmente por granos, en una cantidad aproximada de 63,15% del volumen total de la roca, siendo por lo tanto una roca granosoportada (Folk, 1974), el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. El tamaño de grano en estas areniscas oscila entre muy fino (0.10mm) a medio (0.45mm), predominando el tamaño fino (Folk, 1974); siendo mal calibrada. La redondez de los granos es subangular, con baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es tangencial.

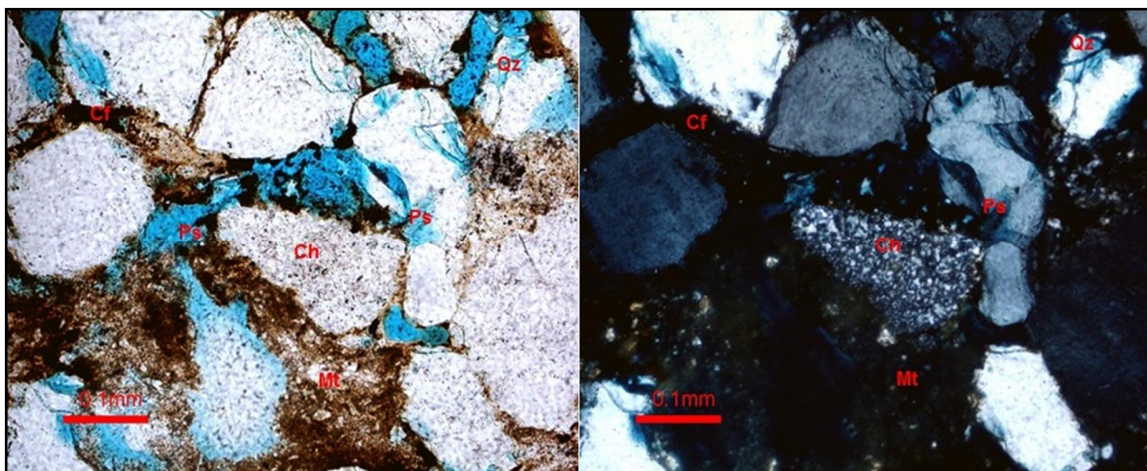


Figura 26. Cuarzos fracturados (Qz), lítica sedimentaria, como el chert (Ch), porosidad secundaria producida por el fracturamiento de algunos granos de cuarzo y disolución de la matriz (Ps), cemento ferruginoso (Cf) y matriz arcillosa (Mt).

Armazón. Se encuentra presente en una cantidad de 68.41%. Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, lítica y minerales pesados.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 6.14% del volumen total de la roca, dispersa, compuesta principalmente por minerales arcillosos.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 4.39%. Presenta cementación por material ferruginoso y minerales opacos (Figura 26).

Porosidad. Se encuentra en la muestra en un promedio de 21,05%, siendo del 7,89% la porosidad primaria, y 13,16% de porosidad secundaria, producto de la disolución de granos inestables, como feldespatos y fragmentos líticos, por corrosión en los bordes y fracturamiento de algunos cristales de cuarzo (figura 26).

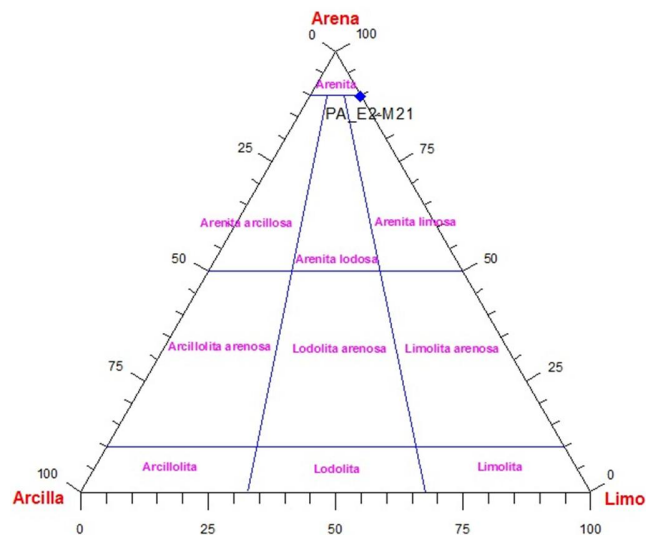


Figura 27. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M21 según Folk, 1974.

COMPOSICION

El armazón se encuentra Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Cuarzo. Presente con un porcentaje del 81,94% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, siendo el primero el más abundante, presentando extinción ondulosa y recta. Algunos cuarzos presentan inclusiones de circones subhedrales; y corrosión en sus

bordes, produciendo porosidad secundaria. Los cuarzos policristalinos son en su mayoría de origen ígneo.

Feldespatos. Presentes con contenidos de 0.88% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico el más abundante. En algunos sectores el feldespato se encuentra alterando produciendo caolín, también sufre disolución parcial, produciendo porosidad secundaria.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 16,67%. Pertenecen a fragmentos de rocas metamórficas, ígneos y sedimentarios, Los fragmentos sedimentarios son principalmente de chert (figura 26) y algunas limolitas.

Minerales Dúctiles. Entre estos materiales se pueden distinguir las micas, como la muscovita, la cual se encuentra sufriendo una deformación dúctil (figura 28), causada por la compactación ejercida por cristales de cuarzo, y la biotita, la cual está siendo alterada a clorita.

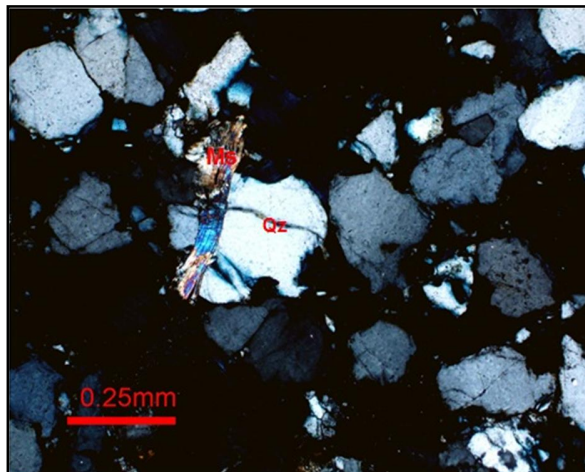


Figura 28. Muscovita sufriendo deformación en bajo grado (Ms). Qz: Cuarzo

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como circón, rutilo, los cuales se muestran con morfologías subhedrales y anhedrales, encontrándose también minerales opacos, como leucoxeno; los cuales en algunos casos actúan como material cementante en algunos sectores de la roca.

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita, caolinita vermicular y micas.

Clasificación. Subitoarenita (Figura 29) Folk, 1974.

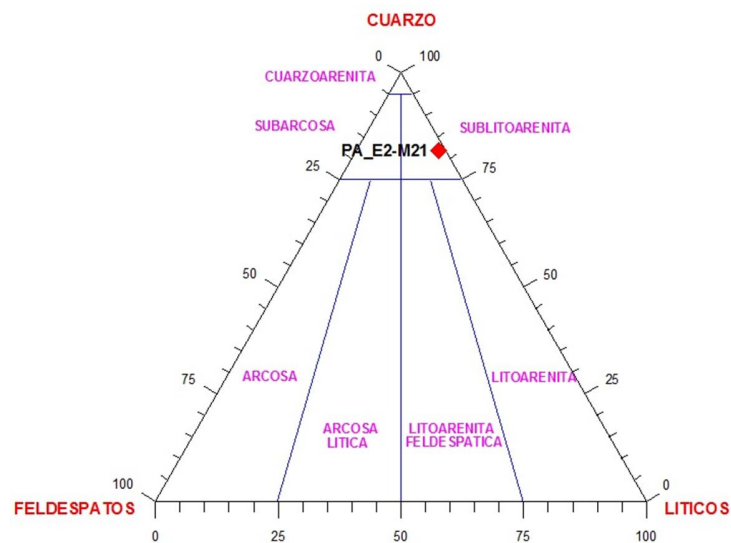


Figura 29. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M21 según Folk, 1974.

PA-E2_M24

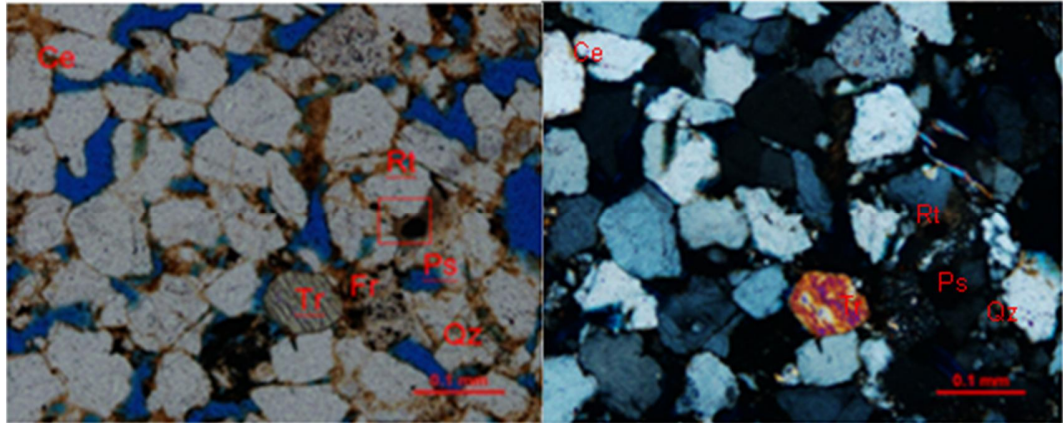


Figura 30. En la muestra se observa material cementante, con alto contenido de óxidos (Ce), la porosidad (Ps) está marcada por la disolución de algunos minerales. Como minerales accesorios se observan turmalina (Tr), y Rutilo (Rt).

TEXTURA

Arenisca compuesta principalmente por granos con un total de 64.56%, siendo por lo tanto una roca granosoportada (Folk 1974), el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. En el tamaño de grano en estas areniscas predomina aquel considerado como fino con un porcentaje de 50.11% en cuanto a su calibrado se observa moderadamente calibrada. La redondez de los granos va desde subangulares a subredondeados, con una baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es flotante.

Armazón. Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados. (Figura 30).

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 7.59% del volumen total de la roca, dispersa, compuesta principalmente por minerales arcillosos, como caolinita.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 5.05%. Presenta dos tipos de cemento, ferruginoso y silíceo, siendo el primero el más abundante con valores de 3.16% y 1.89% respectivamente.

Porosidad. Se encuentra en la muestra en un promedio de 13.3%, siendo del 1.9% la porosidad primaria, del 11.4% la porosidad secundaria, producto de la disolución de granos inestables, como feldespatos y fragmentos líticos.

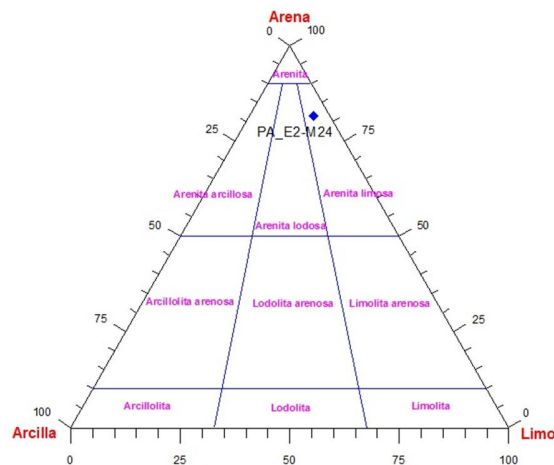


Figura 31. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M24 según Folk, 1974.

COMPOSICION

El armazón se encuentra constituido principalmente por minerales como cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca, presenta un contenido de 74.05%.

Cuarzo. Presente con un porcentaje del 36.08% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, siendo el primero el más abundante, algunos cuarzos se ven afectados por la porosidad secundaria.

Feldespatos. Presentes con un porcentaje de 5.06% del volumen total de la roca. En algunos sectores el feldespato potásico se encuentra sufriendo disolución parcial, produciendo porosidad secundaria.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 23.42%. Pertenecen a fragmentos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Los líticos metamórficos son esquistos en su mayoría, mientras que los fragmentos ígneos muestran altos contenidos de sericita. Los fragmentos sedimentarios son en su mayoría granos de chert, compuestos por microcristales de cuarzo.

Minerales Dúctiles. Entre estos materiales se pueden diferenciar las micas, como la muscovita, la cual se encuentra sufriendo una deformación, causada por la compactación ejercida por cristales de cuarzo.

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como circón, los cuales se muestran con morfologías subhedrales, encontrándose también minerales opacos. El tamaño de estos minerales pesados predomina en arena de grano muy fino.

Clasificación. Litoarenita. Folk, 1974 (Figura 32).

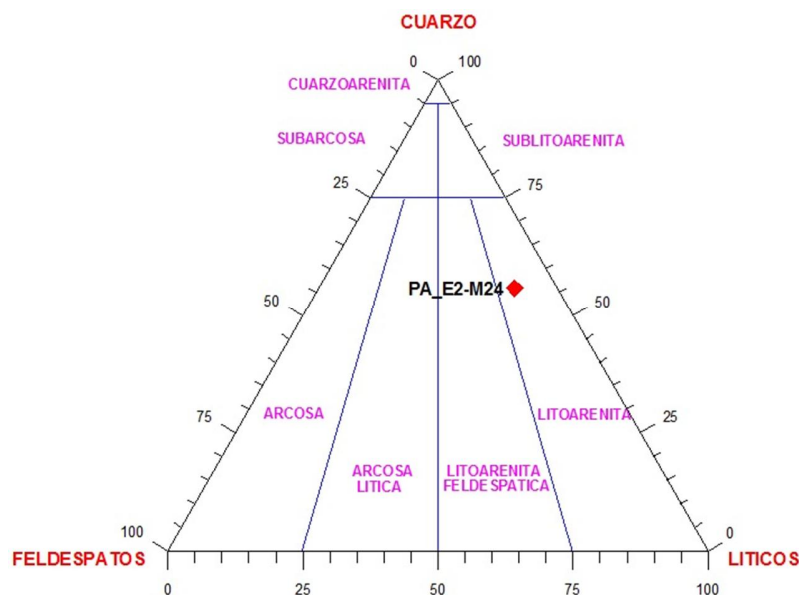


Figura 32. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M24 según Folk, 1974.

PA-E2_M28:

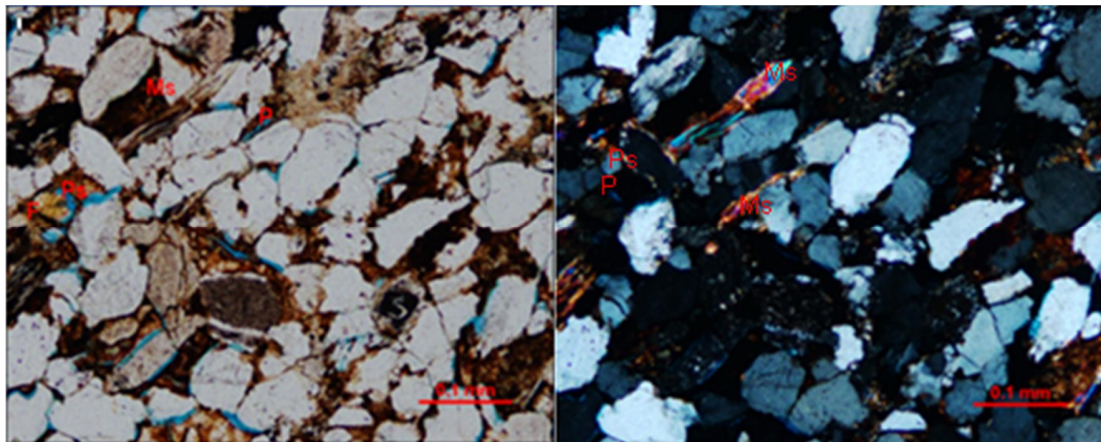


Figura 33. Se observa porosidad secundaria (Ps) producto de la disolución de feldespatos (P), la muscovita se deforma producto de la presión de los cristales de cuarzo

TEXTURA:

Arenisca compuesta principalmente por granos, en una cantidad aproximada de 67.76% del volumen total de la roca, siendo por lo tanto una roca granosoportada (Folk, 1974), el porcentaje faltante es completado por matriz, cemento y poros. El tamaño de grano en esta areniscas oscila entre muy fino a fino predominando el tamaño de arena fino con un porcentaje de 39.52% (Folk, 1974), considerándose como pobremente sorteada. En cuanto a la redondez de los granos estos van de subangulares a subredondeados, con una baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es Tangencial.

Armazón. Constituido principalmente por cuarzo, feldespatos, y fragmentos líticos. Su contenido total es de 79.92%.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 5.14% del volumen total de la roca está dispersa en toda la muestra, compuesta principalmente por minerales arcillosos, como caolinita.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 7.49%. Presenta cementación por material ferruginoso y minerales opacos entre los cuales se puede observar como la hematita cumple esta función.

Porosidad. Se encuentra en la muestra con un contenido de 7.47%, del volumen total de la roca dividiéndose en porosidad primaria y secundaria en la cual predomina la porosidad secundaria presente por disolución y en menor contenido porosidad secundaria intergranular (Figura 33).

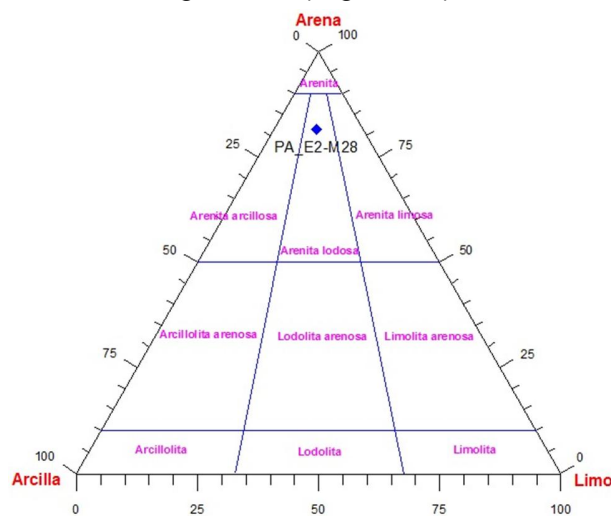


Figura 34. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M28 según Folk, 1974.

COMPOSICION

El armazón se encuentra constituido principalmente por granos de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca.

Cuarzo. Presente con un porcentaje del 38.33% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, siendo el primero el más abundante, presentando extinción recta.

Feldespatos. Presentes con un porcentaje del 2.8% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico el de menor abundancia.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 26.63%. Pertenecen a fragmentos de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias. Los líticos metamórficos son esquistos en su mayoría, mientras que los fragmentos ígneos se encuentran compuestos principalmente por feldespatos y cuarzo, donde los feldespatos están sufriendo disolución, la cual produce una porosidad secundaria

Minerales Dúctiles. Entre estos materiales se pueden distinguir las micas, como la muscovita y la biotita, con valores de 3.74% y siendo la primera la más abundante, y la cual se encuentra sufriendo una deformación dúctil.

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como rutilo, circón y turmalina, con valores de 6.54%, 0.47% y 0.47%, respectivamente, los cuales se muestran con formas subhedrales, presentándose también minerales opacos, como hematita la cual actúan como material cementante.

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita, caolinita vermicular y micas como la muscovita.

Clasificación: Litoarenita, Folk, 1974 (Figura 35).

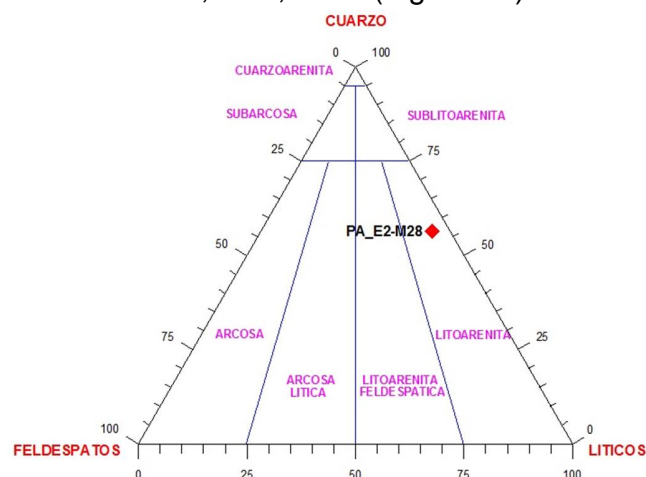


Figura 35. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M28 según Folk, 1974.

PA_E2_M29

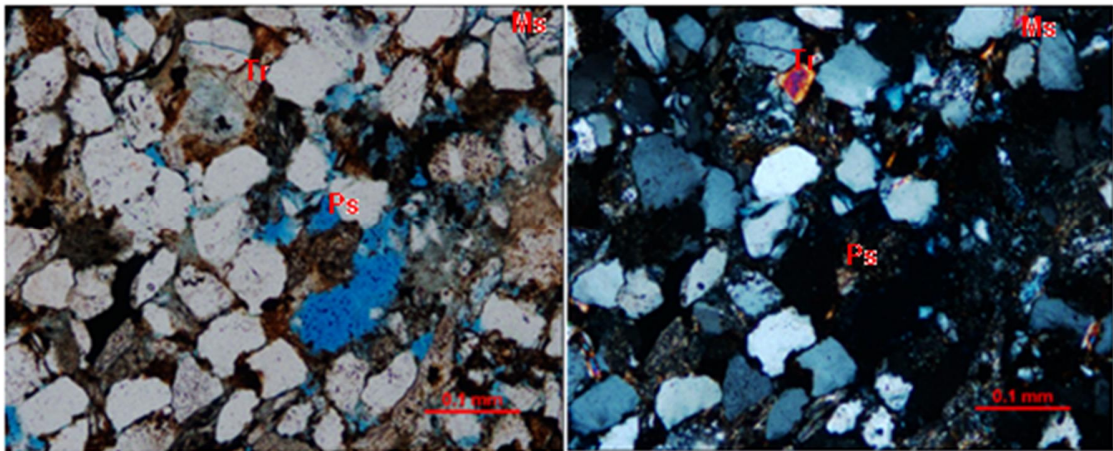


Figura 36. Se observa porosidad secundaria (Ps) y minerales como turmalina (Tr) y muscovita (Ms) la cual se observa con deformación.

TEXTURA:

Arenisca compuesta principalmente por granos con un total 63.7% del volumen total de la roca, considerándose como granosoportada (Folk, 1974), el porcentaje faltante está compuesto por matriz, cemento y poros. El tamaño de grano en estas areniscas oscila entre muy fino a fino predominando el tamaño de arena fino con un porcentaje de 42.10%, (Folk, 1974). En cuanto a la redondez de los granos subangulares a subredondeados, con una baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es tangencial.

Armazón. Constituido principalmente por granos de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 5.18% del volumen total de la roca está dispersa en toda la muestra

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 8.14% Presenta cementación por material ferruginoso y minerales opacos.

Porosidad. Se encuentra en la muestra en un promedio de 13.35% dividiéndose en porosidad primaria y secundaria la en la cual predomina la porosidad secundaria

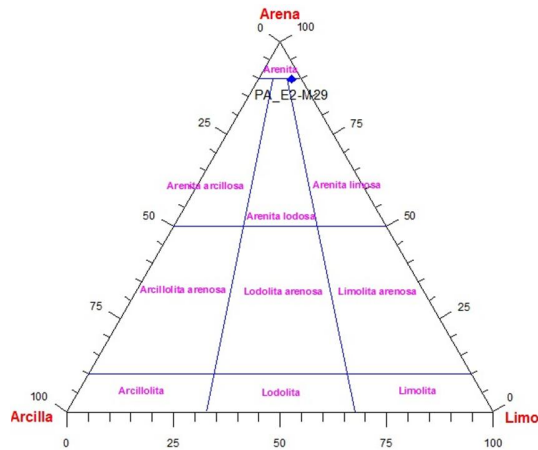


Figura 37. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M29 según Folk,1974.

COMPOSICION

El armazón se encuentra constituido principalmente por granos de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca.

Cuarzo. Presente con un porcentaje de 40.7% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, con mayor contenido los de tipo monocristalinos.

Feldespatos. Presentes con un porcentaje del 2.96% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico el de menor contenido con 0.74%.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 19.99%. Pertenecen a fragmentos de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias. Los líticos metamórficos son esquistos en su mayoría

Minerales Dúctiles. Son comunes minerales como muscovita y biotita, siendo la primera quien se encuentre en mayor contenido con 4.44% sobre 0.74% (Figura 36)

Minerales pesados: se encuentran minerales pesados como rutilo, pirita y turmalina, cuales se muestran con formas subhedrales

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita, caolinita y vermicular

Clasificación: Litoarenita, Folk, 1974.

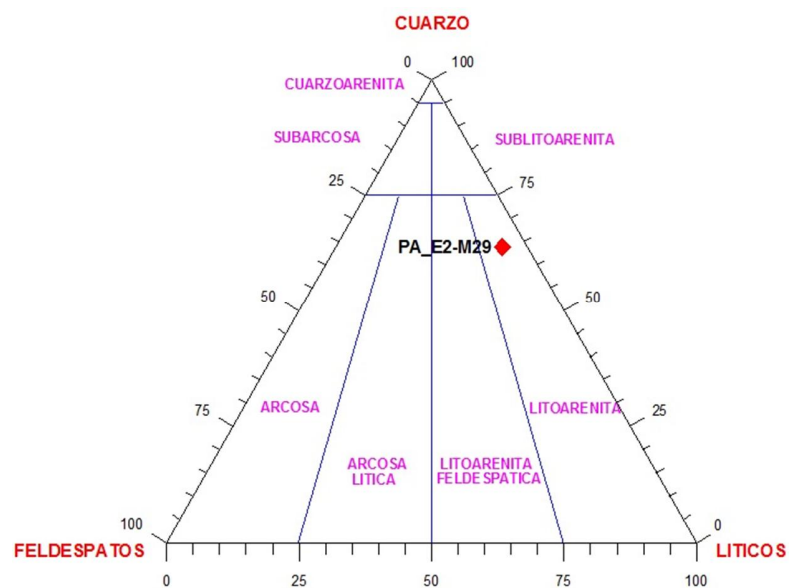


Figura 38. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M29 según Folk, 1974.

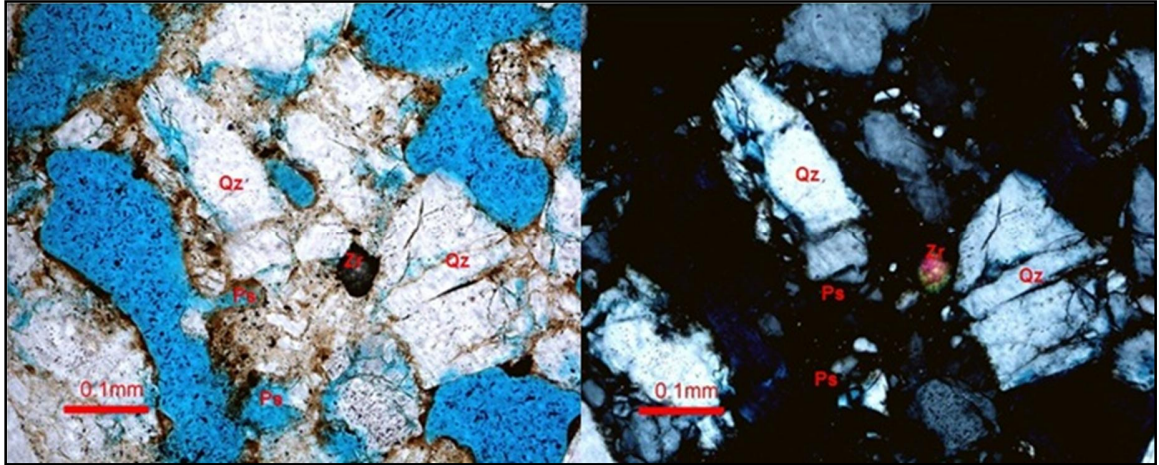


Figura 39. Cuarzos monocristalinos y fracturados (Qz), porosidad secundaria producida por la disolución de la matriz y algunos feldespatos (Ps), y grano circón subhedral (Zr).

TEXTURA

Arenisca compuesta principalmente por granos, en una cantidad aproximada de 63,7% del volumen total de la roca, siendo por lo tanto una roca granosoportada (Folk, 1974), el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. El tamaño de grano en estas areniscas oscila entre muy fino (0.10mm) a fino (0.25mm), predominando el tamaño fino (Folk, 1974); siendo pobremente calibrada. La redondez de los granos es subangular a subredondeada, con baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es flotante.

Armazón. Se encuentra presente en una cantidad de 63.7%. Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 7.4% del volumen total de la roca, dispersa, compuesta principalmente por minerales arcillosos. En algunos sectores se encuentra sufriendo disolución, produciendo porosidad secundaria.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 5.93%. Presenta cementación por material ferruginoso como hematita (figura 39) y minerales opacos.

Porosidad. Se encuentra en la muestra en un promedio de 22.96%, siendo del 4.44% la porosidad primaria, y 18,52% de porosidad secundaria, producto de la disolución de granos inestables, como feldespatos (Figura 39).

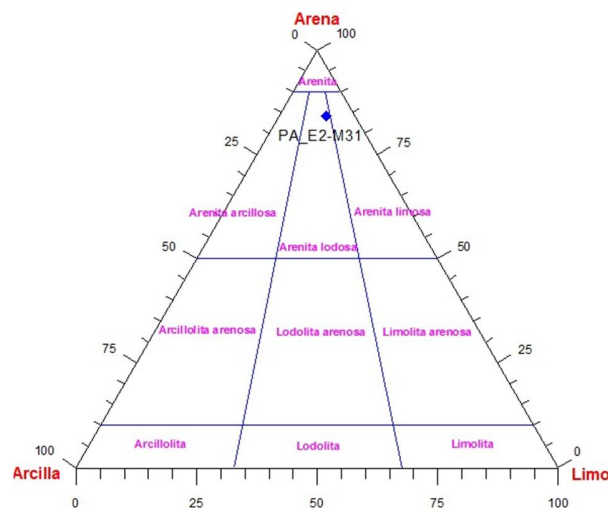


Figura 40. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M31 según Folk (1974.)

COMPOSICION

El armazón se encuentra Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Cuarzo. Presente con un porcentaje del 57.04% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, siendo el primero el más abundante, presentando extinción paralela y ondulosa. Algunos cuarzos presentan inclusiones diminutas de circón y otros se encuentran fracturados (figura 39).

Feldespatos. Presentes con un porcentaje del 2,32% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico el más abundante. En algunos sectores el

feldespato se encuentra alterando produciendo caolín, también sufre disolución parcial, produciendo porosidad secundaria.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 8,14%. Pertenecen a fragmentos de rocas sedimentarias como chert, y metamórficos, en su mayoría esquistosos.

Minerales Dúctiles. Entre estos materiales se pueden distinguir las micas, como la muscovita, la cual en algunos sectores se encuentra sufriendo una deformación dúctil.

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como circón (figura 39), rutilo, los cuales se muestran con morfologías subhedrales y anhedrales, encontrándose también minerales opacos, los cuales en algunos casos actúan como material cementante en algunos sectores de la roca.

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita, caolinita vermicular y micas.

Clasificación. Sublitoarenita de grano fino, pobremente calibrada (Figura 41) Folk, 1974.

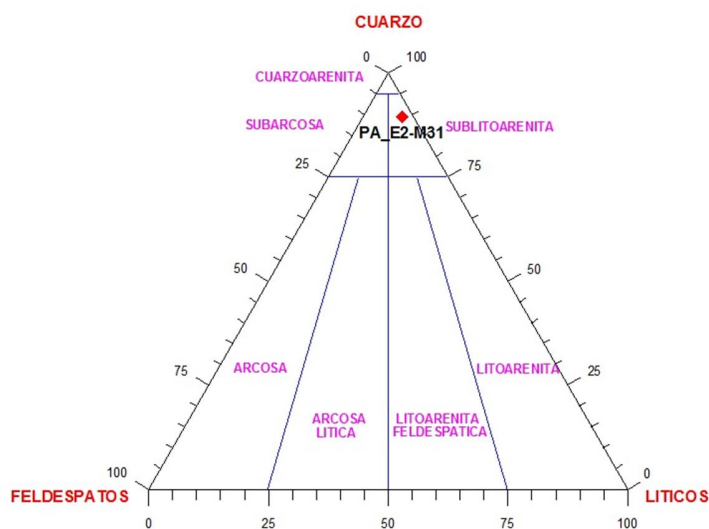


Figura 41. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M31 según Folk, 1974.

PA-E2M_32

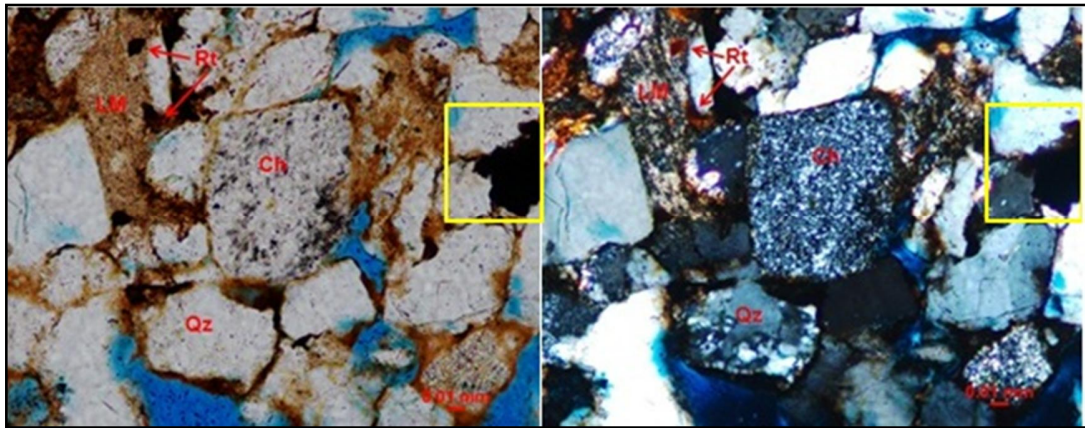


Figura 42. Cementación por minerales opacos (recuadro amarillo); Líticos metamórficos (LM), líticos sedimentarios, como el chert (Ch) y granos subhedrales de Rutilo (Rt). Qz: cuarzo

TEXTURA

Arenisca compuesta principalmente por granos, en una cantidad aproximada de 65,09% del volumen total de la roca, siendo por lo tanto una roca granosoportada (Folk, 1974), el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. El tamaño de grano en estas areniscas oscila entre muy fino (0.10mm) a fino (0.25mm), predominando el tamaño fino (Folk, 1974); siendo muy pobremente sorteada. La redondez de los granos es subangular, con baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es tangencial.

Armazón. Se encuentra presente en una cantidad de 70,47%. Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 6.04% del volumen total de la roca, dispersa, compuesta principalmente por minerales arcillosos. La matriz en algunos sectores se encuentra sufriendo disolución, produciendo porosidad secundaria.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 8.71%. Presenta cementación por material ferruginoso (hematita), de sílice y minerales opacos, el ferruginoso el más abundante.

Porosidad. Se encuentra en la muestra en un promedio de 14,77%, siendo del 4,03% la porosidad primaria, y 10,74% de porosidad secundaria, producto de la disolución de granos

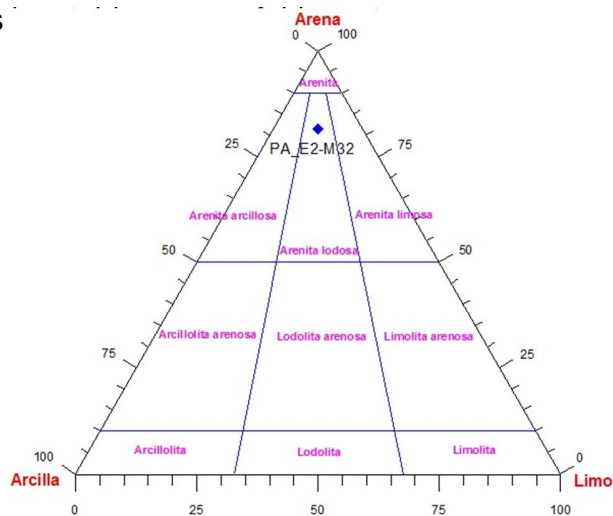


Figura 43. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M32 según Folk, 1974.

COMPOSICION

El armazón se encuentra constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca.

Cuarzo. Presente con un porcentaje del 79.38% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzoes monocristalinos y policristalinos (Figura 42), siendo el primero el más abundante, presentando extinción paralela y ondulosa.

Feldespatos. Presentes con un porcentaje del 4,12% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico el más abundante. En algunos sectores el feldespato se encuentra alterando produciendo caolín, también sufre disolución parcial, produciendo porosidad secundaria.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 16.49%. Pertenecen a fragmentos de rocas ígneas, sedimentarios, como el chert y metamórficos (Figura 42) Los fragmentos metamórficos son los más abundantes en la roca, seguido de los sedimentarios, los cuales son chert en su mayoría.

Minerales Dúctiles. Entre estos materiales se pueden distinguir las micas, como la muscovita y la biotita, la muscovita se encuentra sufriendo una deformación dúctil.

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como circón, rutilo (Figura 42), los cuales se muestran con morfologías subhedrales y anhedrales; turmalina con morfologías subhedrales; encontrándose también minerales opacos, como leucoxeno. En algunos casos los minerales opacos actúan como material cementante en algunos sectores de la roca.

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita, caolinita vermicular y micas.

Clasificación. Sublitoarenita (Figura 44) Folk, 1974.

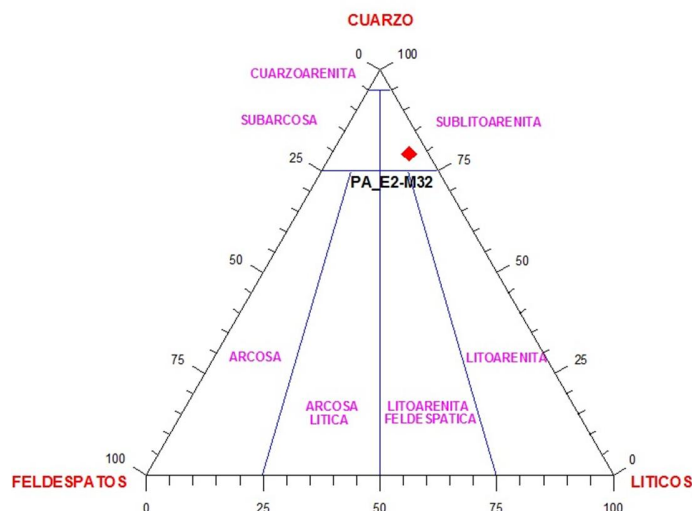


Figura 44. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M32 según Folk, 1974.

PA-E2_M33

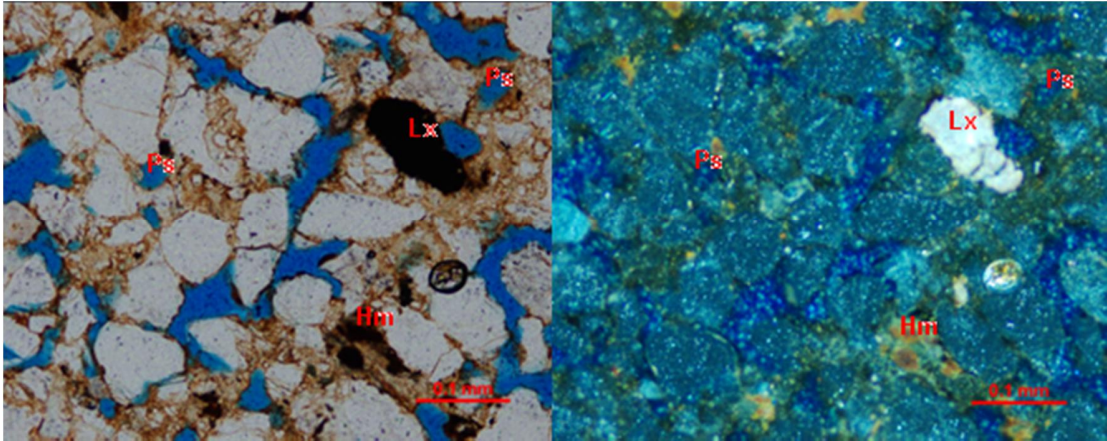


Figura 45. Minerales presentes: Leucoxeno (Lx), Hematita (Hm) y porosidad secundaria (Ps) por disolución de algunos granos de feldespatos.

TEXTURA

Arenisca compuesta principalmente por granos, en una cantidad aproximada de 68.89% del volumen total de la roca, siendo por lo tanto una roca granosoportada (Folk, 1974), el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. El tamaño de grano es fino (Folk, 1974); siendo pobremente sorteada. La redondez de los granos es subangular, con baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es flotante.

Armazón. Se encuentra presente en una cantidad del 84.84% total del volumen de la roca. Constituido principalmente por granos de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 5.18% del volumen total de la roca, dispersa, compuesta principalmente por minerales arcillosos. La matriz en algunos sectores se encuentra sufriendo disolución.

Cemento. Presente en la roca con valores de 1.44%. la roca muestra cementación por material ferruginoso, hematita 0.72% y sílice con 0,72%

Porosidad. Se encuentra en la muestra con 7.96%, siendo del 0.72% la porosidad primaria y 7.24% de porosidad secundaria, producto de la disolución de granos, como feldespatos (Figura 45).

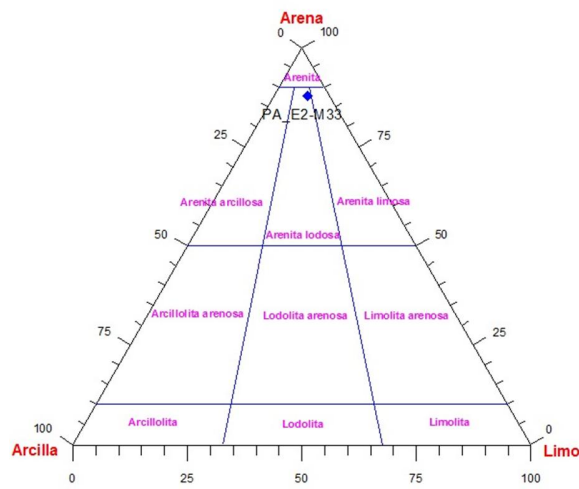


Figura 46. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M33 según Folk, 1974.

COMPOSICION

El armazón se encuentra Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados..

Cuarzo. Presente con un porcentaje de 44.1% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzoes monocristalinos y policristalinos, siendo el primero el más abundante, con predominio de extinción recta.

Feldespatos. Presentes con un porcentaje de 2.16% del volumen total de la roca, siendo la plagioclasa predominante sobre el feldespato. En algunos sectores el feldespato se encuentra alterado, sufriendo disolución parcial.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 22.63%. Pertenecen a fragmentos de rocas ígneos, sedimentarios y metamórficos. Los fragmentos metamórficos predominan en la roca.

Minerales Dúctiles. Se observan minerales como muscovita y la biotita. Su contenido total es de 7.24%, en el cual 6.52% pertenece a la muscovita.

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como, rutilo, circon y turmalina con porcentajes de 2.89%, 4.38% y 1.44% respectivamente (Figura 45), con contenidos menores se observan minerales opacos como leucoxeno que en algunos casos actúa como material cementante.

Minerales arcilla: se encuentra minerales como caolinita y caolinita vermicular

Clasificación. Litoarenita. Folk, 1974

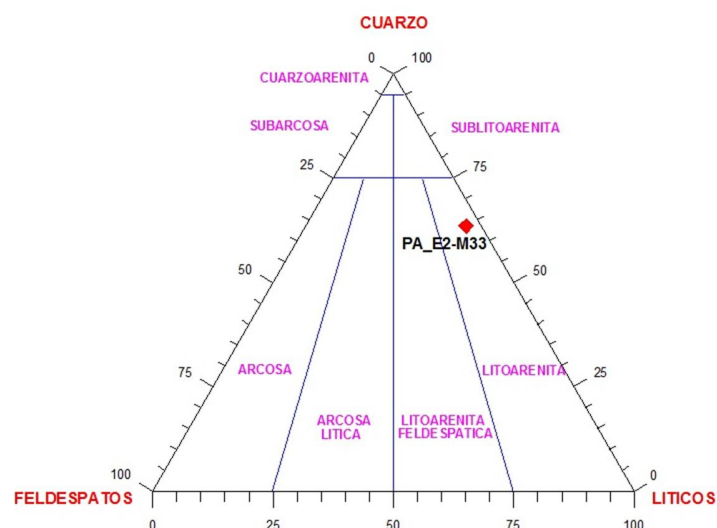


Figura 46. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M33 según Folk, 1974.

PA-E2_M34

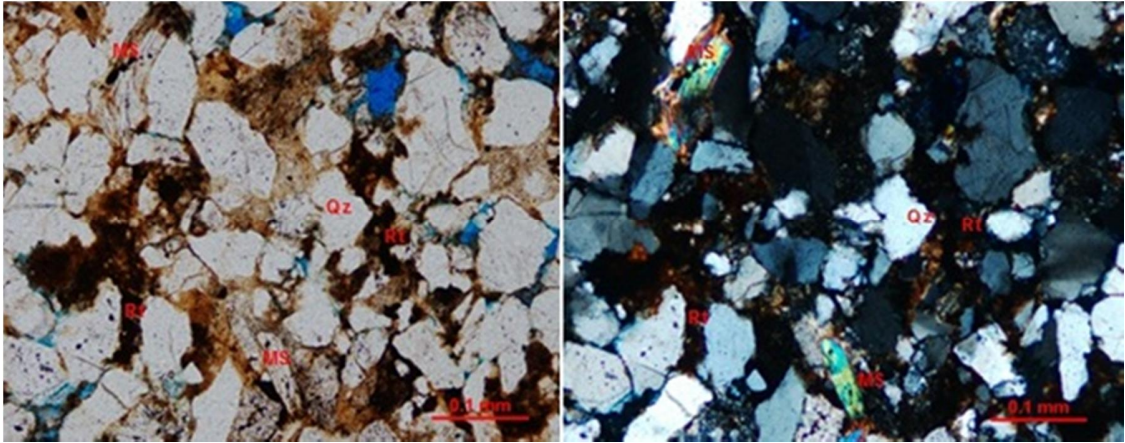


Figura 47. Cuarzos monocristalinos y fracturados (Qz), micas sufriendo deformación dúctil (Ms) y granos de rutilo (Rt).

TEXTURA

Arenisca compuesta principalmente por granos, en una cantidad aproximada de 73,79% del volumen total de la roca, siendo por lo tanto una roca granosoportada (Folk, 1974), el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. El tamaño de grano en estas areniscas oscila entre muy fino (0.10mm) a fino (0.25mm), predominando el tamaño fino (Folk, 1974); siendo moderadamente sorteada. La redondez de los granos es subangular, con baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es puntual.

Armazón. Se encuentra presente en una cantidad de 80,35%. Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 2,82% del volumen total de la roca, dispersa, compuesta principalmente por minerales arcillosos. La matriz en algunos sectores se encuentra sufriendo disolución, produciendo porosidad secundaria.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 10,28%. Presenta cementación por material ferruginoso, de sílice y minerales opacos, siendo el ferruginoso el más abundante, como la hematita.

Porosidad. Se encuentra en la muestra en un promedio de 6,54%, siendo del 1,87% la porosidad primaria, y 4,67% de porosidad secundaria, producto de la disolución de granos inestables, como feldespatos.

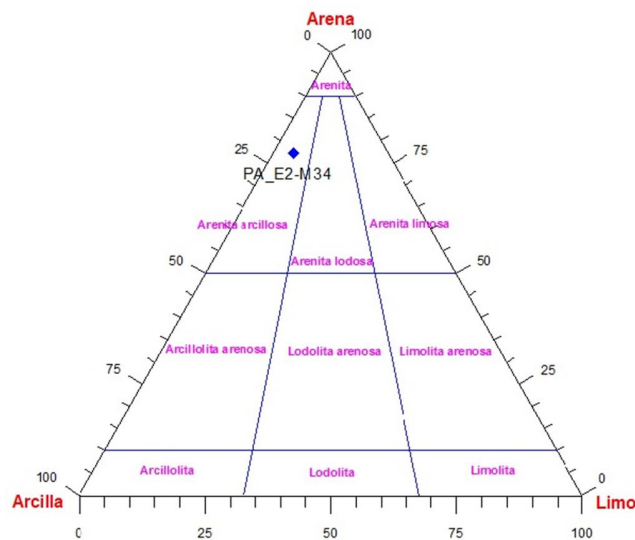


Figura 48. Clasificación Textural para la muestra PA E2-M34 según Folk, 1974.

COMPOSICION

El armazón se encuentra constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca.

Cuarzo. Presente con un porcentaje del 77,21% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, siendo el primero el más abundante, presentando extinción paralela y ondulosa.

Feldespatos. Presentes con un porcentaje del 2,53% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico el más abundante.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 20,25%. Pertenecen a fragmentos de rocas ígneas, sedimentarios como el chert y metamórficos. Los fragmentos metamórficos son los más abundantes en la roca, siendo esquistosos en su mayoría.

Minerales Dúctiles. Entre estos materiales se pueden distinguir las micas, como la muscovita, La cual se encuentra sufriendo una deformación dúctil (figura 47).

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como circón, rutilo (figura 70), los cuales se muestran con morfologías anhedrales; encontrándose también minerales opacos, que en algunos casos actúan como material cementante en algunos sectores de la roca.

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita, caolinita vermicular y micas.

Clasificación. Sublitoarenita de grano fino, moderadamente sorteada (figura 72).

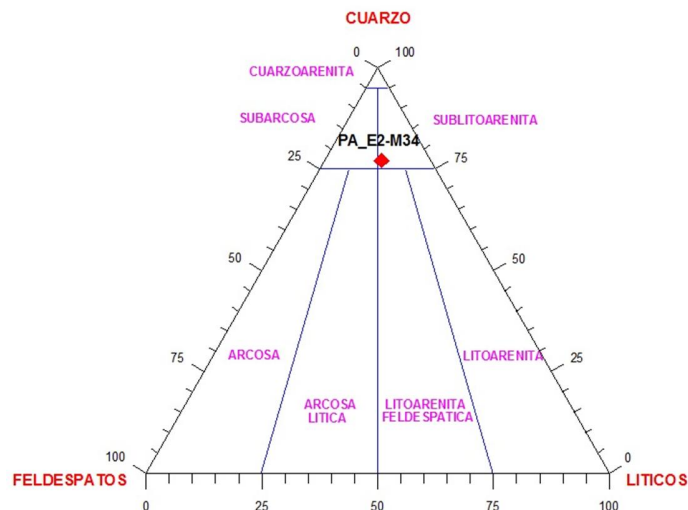


Figura 49. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M34 según Folk, 1974

PA-E2_M35

TEXTURA

Arenisca compuesta principalmente por granos, en una cantidad aproximada de 73,17% del volumen total de la roca, siendo por lo tanto una roca granosoportada (Folk, 1974), el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. El tamaño de grano en estas areniscas oscila entre muy fino (0.10mm) a fino (0.25mm), predominando el tamaño muy fino (Folk, 1974); siendo moderadamente calibrada. La redondez de los granos es subangular a subredondeada, con baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es puntual.

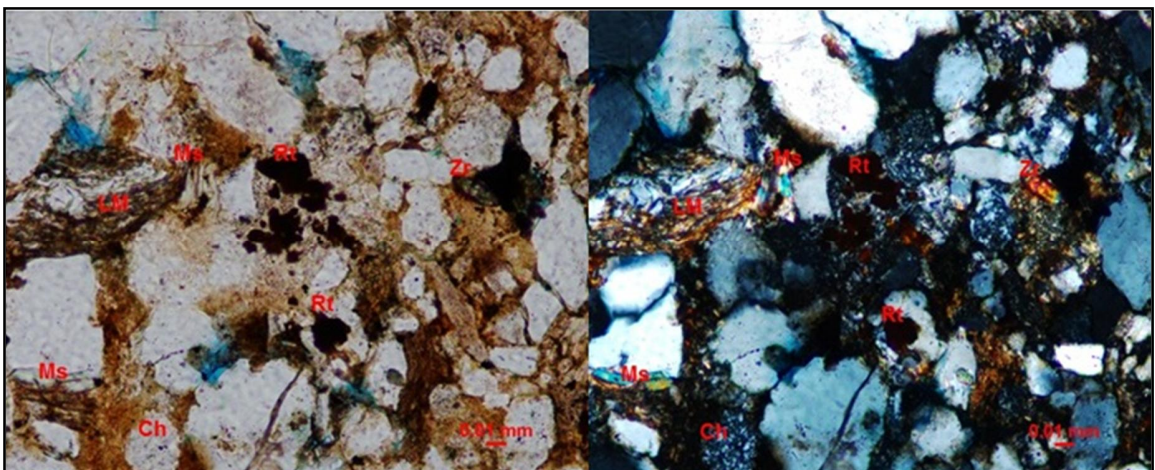


Figura 50. Grano de circón subhedral (Zr), lítico metamórfico esquistoso (LM), muscovitas con bajo grado de deformación (Ms), lítico sedimentario como el chert (Ch) y rutilos anhedrales.

Armazón. Se encuentra presente en una cantidad de 76,52%. Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 11,18% del volumen total de la roca, dispersa, compuesta principalmente por minerales arcillosos.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 7,82%. Presenta cementación por material ferruginoso y minerales opacos.

Porosidad. Se encuentra en la muestra en un promedio de 4,47%, siendo del 1,12% la porosidad primaria, y 3,35% de porosidad secundaria, producto de la disolución de granos inestables, como feldespatos y fragmentos líticos.

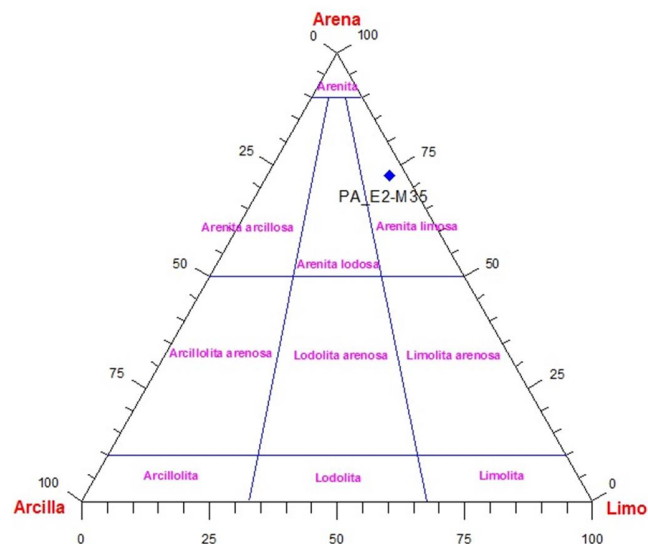


Figura 51. Clasificación textural para la muestra PA_E2-M35 según Folk, 1974.

COMPOSICION

El armazón se encuentra constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca.

Cuarzo. Presente con un porcentaje del 73,28% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, siendo el primero el más abundante, presentando extinción paralela y ondulosa. Algunos cuarzos presentan corrosión en sus bordes, produciendo porosidad secundaria. Los cuarzos policristalinos son en su mayoría de origen metamórfico.

Feldespatos. Presentes con un porcentaje del 3,05% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico el más abundante. En algunos sectores el feldespato sufre disolución parcial y total, produciendo porosidad secundaria.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 23,66%. Pertenecen a fragmentos de rocas ígneos, metamórficos y sedimentarios (Figura 50). Los fragmentos ígneos se encuentran en su mayoría compuestos por microcristales de cuarzo y plagioclasas, los metamórficos son en su mayoría esquistosos.

Minerales Dúctiles. Entre estos materiales se pueden distinguir las micas, como la muscovita, la cual se encuentra sufriendo una deformación dúctil (Figura 50), causada por la compactación ejercida por cristales de cuarzo, y la biotita, la cual está siendo alterada a clorita.

Minerales pesados: se encuentran minerales pesados como circón, rutilo, los cuales se muestran con morfologías subhedrales y anhedrales (Figura 50), encontrándose también minerales opacos, los cuales en algunos casos actúan como material cementante en algunos sectores de la roca.

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita, caolinita vermicular y micas.

Clasificación. Litoarenita de grano muy fino, pobremente sorteada. Folk, 1974.

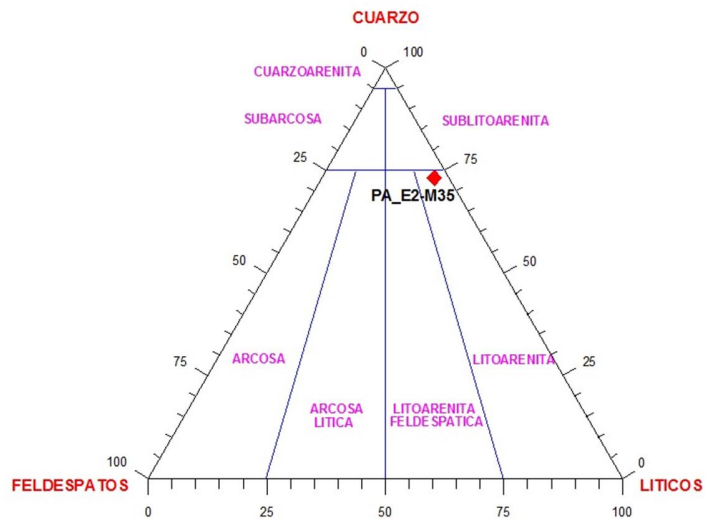


Figura 52. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M35 según FOLK (1974.)

PA-E2_M36:

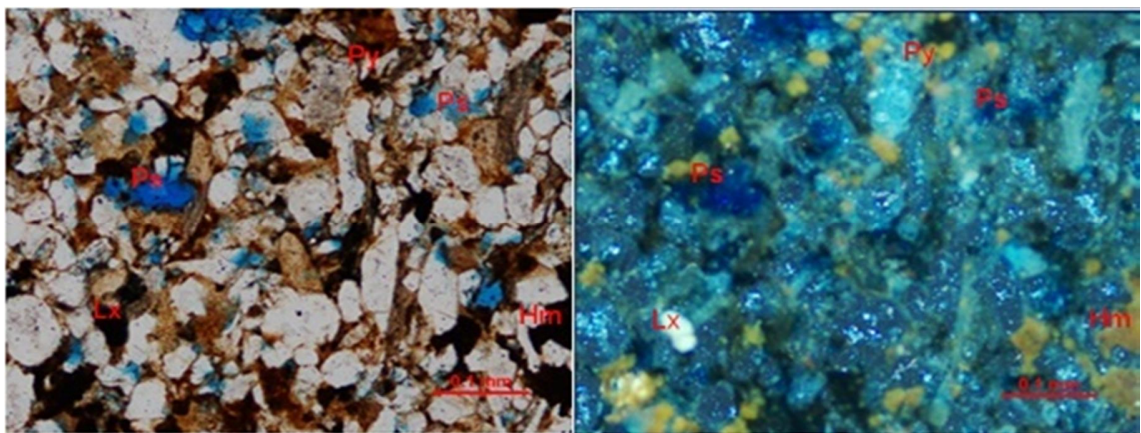


Figura 53. Porosidad secundaria (Ps), producto de la disolución de feldespatos. Se observa hematita (Hm) como material cementante, y minerales como Leucoxeno (Lx) y pirita (Py) en menor cantidad.

TEXTURA

Arenisca compuesta principalmente por granos, con un contenido de 61.85% del volumen total de la roca, siendo por lo tanto una roca granosoportada (Folk, 1974), el resto de porcentaje es ocupado por matriz, cemento y poros. Considerándose

pobremente calibrada. La redondez de los granos es subangular, con baja esfericidad. El contacto entre sus partículas es tangencial.

Armazón. Constituido principalmente por minerales de cuarzo, feldespatos, líticos y minerales pesados.

Matriz. Se encuentra en una cantidad de 5% del volumen total de la roca, dispersa, compuesta principalmente por minerales arcillosos.

Cemento. Presente en la roca con una cantidad promedio de 7.49%. Presenta cementación por material ferruginoso, en algunas partes se observa cemento de sílice con porcentajes de 0.62%.

Porosidad. Se encuentra en la muestra en un promedio de 9,99%, siendo del 0,62% la porosidad primaria, y de porosidad secundaria, 9,37% producto de la disolución de granos inestables, como feldespatos y fragmentos líticos, y por corrosión en los bordes, y fracturamiento de algunos cristales de cuarzo.

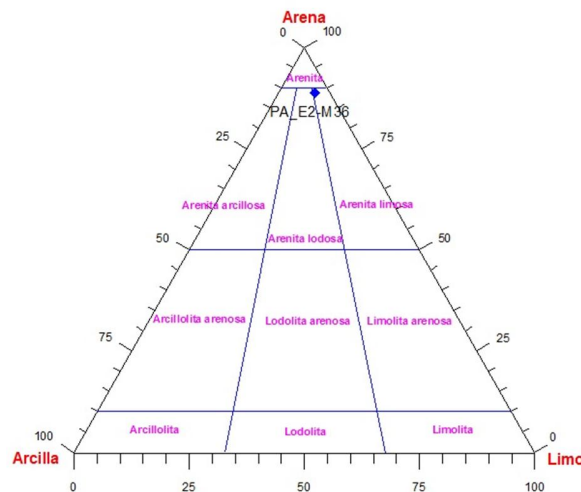


Figura 54 .Clasificación textural para la muestra PA_E2-M36 según Folk, 1974.

COMPOSICION

El almacón se encuentra constituido principalmente por minerales como cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca.

Cuarzo. Presente con un porcentaje del 30.62% del volumen total de la roca. Se encuentran presentes cuarzos monocristalinos y policristalinos, siendo el primero el más abundante. Algunos cuarzos policristalinos presentan sus granos con orientación, indicando un origen metamórfico.

Feldespatos. Presentes con un porcentaje del 3.74% del volumen total de la roca, siendo el feldespato potásico teniendo un bajo contenido. En algunos sectores el feldespato se encuentra alterando produciendo caolín, también sufre disolución parcial, produciendo porosidad secundaria.

Fragmentos Líticos. Presentes en una cantidad total de 27.49%. Pertenecen a fragmentos de rocas metamórficas y sedimentarios, entre los cuales se observa un alto contenido de chert.

Minerales Dúctiles. Entre estos materiales se pueden diferenciar las micas, como la muscovita la cual presenta valores de 3.75% y la biotita, la cual está siendo alterada a clorita con 0.62%.

Minerales pesados. Se encuentran minerales pesados como circón, rutilo, leucoxeno y pirita los cuales se muestran con morfologías subhedrales y anhedrales, encontrándose también minerales opacos, los cuales actúan como material cementante en algunos sectores de la roca.

Minerales arcilla. Se encuentra presente caolinita.

Clasificación. Litoarenita. Folk, 1974.

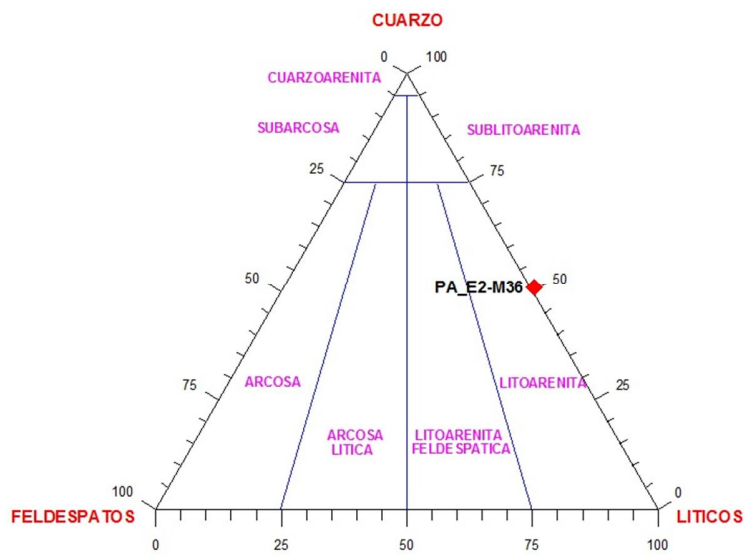


Figura 55. Clasificación composicional para la muestra PA_E2-M36 según Folk, 1974.

ANEXO 2. DESCRIPCIÓN PETROGRAFICA SECCION DELGADA

MUESTRA	CUARZO				FELDSPATOS LITICOS						ACCESORIOS			DUCTILES		MATRIZ CEMENTO			POROSIDAD					
	MONO		POLI		POTA	PLAG	SED	IGN	MET	RT	ZR	TUR	PY	LX	MS	BT		CAR	SI	FE	PRI		SEC	
	REC	OND	IGN	MET																		DIS	INT	MFR
PA-E2_M6	17,61	6,29	5,66	5,03		1,26	1,89	3,77	6,28	1,89	1,26			0,63	0,63		27,04			9,43	4,4	4,4	2,52	
PA-E2_M7	18,87	6,63	10,2	3,06	2,55	3,06	12,72	2,55	15,38	2,55	1,53				5,1	1,53	6,1	0,84		2,26	1,02	3,06	0,51	0,51
PA-E2_M8	19,4	6,03	11,64	2,2	1,72	0,86	11,63	1,72	12,5	5,6		0,86	0,86		3,44	0,43	6,46	1,2	0,86	6,15	0,43	3,88	0,43	1,72
PA-E2_M12	15,57	10,18	8,98	1,19	0,6	1,19	3,59	8,38	13,77	4,2					2,39	0,6	7,8			10,8	0,6	7,18	1,19	1,8
PA-E2_M14	27,35	15,38	12,82	1,72	0,85		3,42	5,13	4,27	1,71	2,56						8,55			4,27	4,27	5,13	2,56	
PA-E2_M16	32,37	11,51	5,76	2,87	2,16		0,71	4,32	5,04	2,88					2,88		6,47			8,63	4,32	5,75	2,88	1,44
PA-E2_M17	30,13	10,46	8,78	2,92	0,83		1,25	6,69	5,43	5,02	0,42				1,25		9,62			6,27	4,65	4,18	2,09	
PA-E2_M20	23,33	5,83	14,17	2,5	1,66	2,5	5,83	5	13,33	8,33	1,66				4,2	0,83	5		0,83	1,66		3,33		
PA-E2_M21	35,96	11,4	4,39		0,88		2,63	3,51	4,38		0,88			0,88	3,5		6,14			4,39	7,89	7,89	4,39	0,88
PA-E2_M24	18,99	5,06	7,6	4,43	3,16	1,9	5,06	5,7	12,66	7,59	1,27				0,63		7,59			5,05	1,9	10,1	1,27	
PA-E2_M28	10,28	7,01	9,34	11,7	0,47	2,33	6,07	7,01	13,55	6,54	0,47	0,47			3,74	0,94	5,14			7,49	0,46	4,67	1,87	0,47
PA-E2_M29	14,81	10,37	12,59	2,98	0,74	2,22	2,22	7,4	10,37	2,96		0,74	0,74		4,44	0,74	5,18			8,14	0,74	9,65	1,48	1,48
PA-E2_M31	38,52	7,41	7,41	3,7	1,48		1,48		3,7								7,4			5,93	4,44	10,4	6,67	1,48
PA-E2_M32	37,58	6,71	6,04	1,34	2,01	0,67	3,36	2,01	5,37	2,7		0,67			1,34	0,67	6,04		0,67	8,05	4,03	6,71	4,03	
PA-E2_M33	26	6,52	10,14	1,44	0,72	1,44	5,07	2,34	15,22	2,89	4,38	1,44			6,52	0,72	5,75	0,2	0,52	0,72	0,72	6,52	0,72	
PA-E2_M34	26,16	14,95	12,14	3,73	1,86		0,93	6,54	7,48	4,69					1,87		2,82			10,3	1,87	2,8	1,87	
PA-E2_M35	30,72	7,26	7,26	8,38	2,23			5,59	11,73	3,35							11,18			7,82	1,12	2,23	1,12	
PA-E2_M36	16,25	6,25	5,62	2,5	1,87	1,87	9,37	5	13,12	8,12	1,87	0,625		0,63	3,75	0,63	5		0,62	6,87	0,62	8,75	0,62	

ANEXO 3. RECALCULO AL 100% DE ARENA, LIMOS ARCILLAS.

MUESTRA	ARENA	LIMO	ARCILLA
PA-E2_M14	86,66	2,22	11,11
PA-E2_M16	74,22	16,49	9,28
PA-E2_M17	67,99	18,86	13,14
PA-E2_M21	90,41		9,58
PA_E2-M31	84,76	5,71	9,52
PA-E2_M32	82,17	8,91	8,91
PA-E2_M34	77,77	18,52	3,70
PA-E2_M6	58,26	4,34	37,39
PA-E2_M7	80,86	8,7	10,43
PA-E2_M8	82,95	5,92	11,12
PA-E2_M12	78,76	9,42	11,81
PA-E2_M20	82,95	5,92	11,12
PA-E2_M24	82,14	3,57	14,28
PA-E2_M28	82,25	8,87	8,87
PA-E2_M29	90,52	2,1	7,37
PA_E2-M33	88,39	4,46	7,14
PA-E2_M35	89,82	4,62	5,55
PA-E2_M36	89,51	2,85	7,63

ANEXO 4. RECALCULO AL 100% DE CUARZO, LITICOS Y FELDESPATOS

MUESTRA	CUARZO	LITICOS	FELDESPATOS
PA-E2_M14	80,72	18,07	1,2
PA-E2_M16	81,11	15,56	3,33
PA-E2_M17	78,61	20,12	1,26
PA-E2_M21	81,94	16,67	1,39
PA_E2-M31	89,53	8,14	2,32
PA-E2_M34	77,21	20,25	2,53
PA_E2-M32	79,38	16,49	4,12
PA_E2-M6	72,36	25	2,63
PA_E2-M7	51,7	40,81	7,48
PA_E2-M12	56,6	40,56	2,83
PA_E2-M24	55,88	36,27	7,84
PA_E2-M28	56,55	39,31	4,13
PA_E2-M29	63,95	31,39	4,65
PA_E2-M36	51,04	45,83	3,12
PA_E2-M20	61,79	32,58	5,62
PA_E2-M35	73,28	23,66	3,05
PA_E2-M8	57,96	38,21	3,82
PA_E2-M33	63,54	33,33	3,12

ANEXO 5. CLASIFICACION TAMAÑO DE GRANO

TAMANO DE GRANO	PUNTO MEDIO DEL INTERVALO	DATOS	ACUMULADO	DATOS	ACUMULADO	DATOS	ACUMULADO	DATOS	ACUMULADO
		PA_E2-M6		PA_E2-M14		PA_E2-M16		PA_E2-M17	
GUIJAS	-4								
GRANULO	-1,5								
ARENA MUY GRUESA	-0,5								
ARENA GRUESA	0,5				0,01		0,01		0,01
ARENA MEDIA	1,5		0,01	3,33	3,34	2,06	2,07	4,00	4,01
ARENA FINA	2,5	35,65	35,66	64,44	67,78	43,29	45,36	18,28	22,29
ARENA MUY FINA	3,5	22,61	58,27	18,89	86,67	28,87	74,23	45,71	68,00
LIMO	6	4,34	62,61	2,22	88,89	16,49	90,72	18,86	86,86
ARCILLA	11	37,39	99,99	11,11	99,99	9,28	99,99	13,14	99,99

TAMANO DE GRANO	PUNTO MEDIO DEL INTERVALO	DATOS	ACUMULADO	DATOS	ACUMULADO	DATOS	ACUMULADO	DATOS	ACUMULADO
		PA_E2-M21		PA_E2-M31		PA_E2-M32		PA_E2-M34	
GUIJAS	-4								
GRANULO	-1,5								
ARENA MUY GRUESA	-0,5								
ARENA GRUESA	0,5		0,01		0,01				
ARENA MEDIA	1,5	26,03	26,04	3,81	3,82		0,01		0,01
ARENA FINA	2,5	49,32	75,36	57,14	60,96	48,51	48,52	49,38	49,39
ARENA MUY FINA	3,5	15,06	90,42	23,81	84,77	33,66	82,18	28,39	77,78
LIMO	6		99,99	5,71	90,48	8,91	91,09	18,52	96,30
ARCILLA	11	9,58		9,52	99,99	8,91	99,99	3,7	99,99

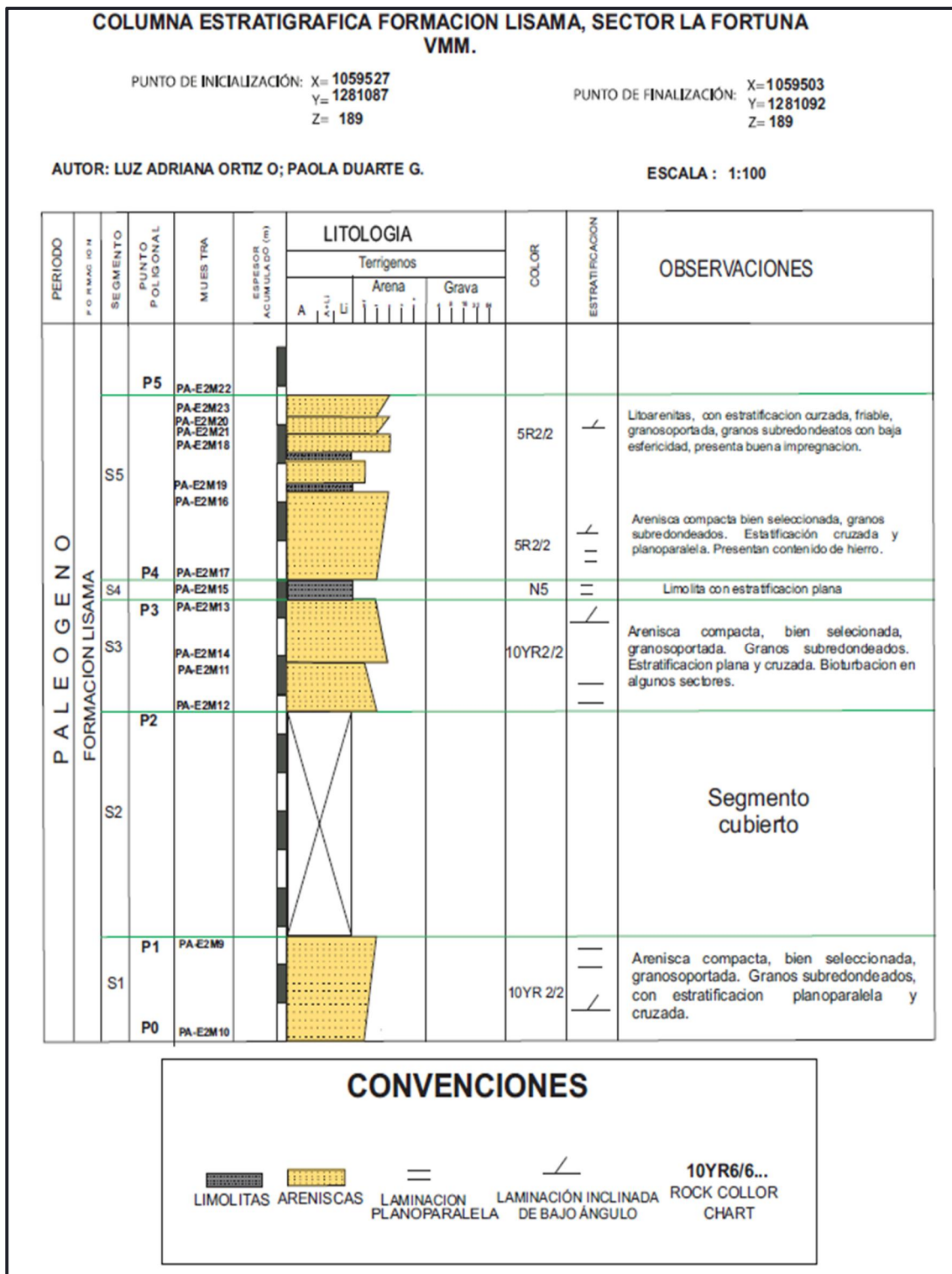
TAMANO DE GRANO	PUNTO MEDIO DEL INTERVALO	DATOS	ACUMULADO	DATOS	ACUMULADO	DATOS	ACUMULADO	DATOS	ACUMULADO
		PA-E2_M7		PA-E2_M8		PA-E2_12		PA-E2_20	
GUIJAS	-4								
GRANULO	-1,5								
ARENA MUY GRUESA	-0,5								0,01
ARENA GRUESA	0,5		0,01		0,01		0,01	16,66	16,67
ARENA MEDIA	1,5	9,56	9,57	7,40	7,41	5,45	5,46	25,92	42,59
ARENA FINA	2,5	36,52	46,09	40,74	48,15	34,50	39,96	41,66	84,25
ARENA MUY FINA	3,5	34,78	80,87	34,81	82,96	38,81	78,77	5,55	89,80
LIMO	6	8,69	89,56	5,92	88,88	9,42	88,19	4,62	94,42
ARCILLA	11	10,43	99,99	11,11	99,99	11,81	99,99	5,55	99,99

TAMANO DE GRANO	PUNTO MEDIO DEL INTERVALO	DATOS	ACUMULADO	DATOS	ACUMULADO	DATOS	ACUMULADO	DATOS	ACUMULADO
		PA-E2_24		PA-E2_28		PA-E2_29		PA-E2_M33	
GUIJAS	-4								
GRANULO	-1,5								
ARENA MUY GRUESA	-0,5								0,01
ARENA GRUESA	0,5		0,01		0,01		0,01	0,89	0,90
ARENA MEDIA	1,5	17,85	17,86	13,70	13,71	8,42	8,43	11,60	12,50
ARENA FINA	2,5	50,00	67,86	39,51	53,22	42,10	50,53	56,25	68,75
ARENA MUY FINA	3,5	14,28	82,14	29,03	82,25	40,00	90,53	19,64	88,39
LIMO	6	3,57	85,71	8,87	91,12	2,10	92,63	4,46	92,85
ARCILLA	11	14,28	99,99	8,87	99,99	7,36	99,99	7,14	99,99

TAMANO DE GRANO	PUNTO MEDIO DEL INTERVALO	DATOS	ACUMULADO
		PA-E2_36	
GUIJAS	-4		
GRANULO	-1,5		
ARENA MUY GRUESA	-0,5		
ARENA GRUESA	0,5		0,01
ARENA MEDIA	1,5	4,76	4,77
ARENA FINA	2,5	60,95	65,72
ARENA MUY FINA	3,5	23,80	89,52
LIMO	6	2,85	92,37
ARCILLA	11	7,61	99,99

TAMANO DE GRANO	PUNTO MEDIO DEL INTERVALO	DATOS	ACUMULADO
		PA_E2-M35	
GUIJAS	-4		
GRANULO	-1,5		
ARENA MUY GRUESA	-0,5		
ARENA GRUESA	0,5		0,01
ARENA MEDIA	1,5	0,66	0,67
ARENA FINA	2,5	23,33	24,00
ARENA MUY FINA	3,5	47,33	71,33
LIMO	6	15,33	86,66
ARCILLA	11	13,33	99,99

ANEXO 6. COLUMNA ESTRATIGRAFICA



ANEXO 7. TABLA SELECCIÓN DE PARTICULAS

PROFUNDIDAD (PIES)	PHI 95	PHI 84	PHI 50	PHI 16	PHI 5	MEDIA (Folk, 1974)		CLASIFICACIÓN	SELECCIÓN (Folk, 1974)		
PA_E2-M6	9,00	8,30	7,30	6,30	3,20	7,30	0,01	Limo	1,38	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M7	6,88	4,22	2,66	1,77	1,33	2,88	0,14	Arena fina	1,45	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M8	7,00	3,77	2,55	1,88	1,44	2,73	0,15	Arena fina	1,31	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M12	7,00	4,55	2,77	2,00	1,55	3,11	0,12	Arena muy fina	1,46	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M14	7,00	5,88	4,88	4,00	2,11	4,92	0,03	Limo	1,21	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M16	8,00	7,00	5,44	3,88	3,00	5,44	0,02	Limo	1,54	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M17	8,00	6,88	5,33	3,66	2,88	5,29	0,03	Limo	1,58	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M20	6,00	2,47	1,64	0,47	0,41	1,53	0,35	Arena media	1,35	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M21	6,78	5,67	5,22	3,55	2,88	4,81	0,04	Limo	1,12	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M24	7,22	4,44	2,22	1,44	1,22	2,70	0,15	Arena fina	1,66	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M28	6,77	3,88	2,44	1,55	1,33	2,62	0,16	Arena fina	1,41	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M29	6,55	3,33	2,55	1,77	1,55	2,55	0,17	Arena fina	1,15	Baja	Pobremente sorteada
PA_E2-M31	7,77	6,66	5,00	3,44	2,77	5,03	0,03	Limo	1,56	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M32	8,30	7,70	6,40	3,30	1,80	5,80	0,02	Limo	2,08	Muy Baja	Muy Pobremente Sorteada
PA_E2-M33	6,23	3,17	2,23	1,52	1,05	2,31	0,20	Arena fina	1,20	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M34	5,70	4,00	2,50	2,20	2,10	2,90	0,13	Arena fina	1,00	Media	Moderadamente Sorteada
PA_E2-M35	7,44	5,55	3,11	2,33	2,00	3,66	0,08	Arena muy fina	1,63	Baja	Pobremente Sorteada
PA_E2-M36	6,66	3,22	2,33	1,88	1,55	2,48	0,18	Arena fina	1,11	Baja	Pobremente Sorteada