

**PROCEDENCIA Y DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA FORMACIÓN
PICACHO EN EL BLOQUE YACENTE DE LA FALLA SOAPAGA**

**WILLIAM DAVID AVELLANEDA CÁCERES
ANDRÉS CAMILO GARZÓN GUZMÁN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2014

**PROCEDENCIA Y DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA FORMACIÓN
PICACHO EN EL BLOQUE YACENTE DE LA FALLA SOAPAGA**

**WILLIAM DAVID AVELLANEDA CÁCERES
ANDRÉS CAMILO GARZÓN GUZMÁN**

Tesis de grado para optar el título de Geólogo.

**Director:
LAURA MILENA PEÑARANDA
Geóloga**

**Codirector:
VICTOR MANUEL CABALLERO ORTIZ
M .Sc., Geología**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2014

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	20
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.2 OBJETIVO PRINCIPAL	21
1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS	21
2. MARCO DE REFERENCIA	22
2.1 DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE GRANO.	22
2.2 MEDICION DE PALEOCORRIENTES.	27
2.3 POROSIDAD DE ARENISCAS.	27
2.4 PETROGRAFIA DE ROCAS TERRIGENAS	29
2.5 TIPOS DE PROCEDENCIA.	31
2.6 PROCEDENCIA DE ORÓGENOS RECICLADOS.	35
3. ANTECEDENTES	37
3.1 LOCALIZACIÓN	37
3.2 MARCO GEOLOGICO GENERAL	38
3.3 GEOLOGIA LOCAL	42
4. METODOLOGIA.	46
4.1 RECOLECCION DE MUESTRAS DE CAMPO.	46
4.2 MEDICION DE PALEOCORRIENTES.	50
4.3 TAMIZADO DE MUESTRAS CUARZO-ARENITAS.	52
4.4 PETROGRAFIA DE CUARZO-ARENITAS.	54
5. PRESENTACION DE RESULTADOS.	56
5.1 DISTRIBUCIÓN DE PALEOCORRIENTES.	56
5.2 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA GRAVAS DE LA FORMACIÓN PICACHO.	58

5.3 PETROGRAFÍA DE ARENITAS DE LA FORMACIÓN PICACHO.	71
5.4 AMBIENTE TECTÓNICO DE ÁREA FUENTE.	77
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	80
7. CONCLUSIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXOS.	89

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Distribución de tamaño de grano normal mostrando la frecuencia de porcentaje de distintas clases de tamaño. (Tomado de Cruz y Caballero, 2005)	23
Figura 2. Distribución de tamaño de grano acumulada en papel aritmético, mostrando la frecuencia de porcentaje acumulada de distintas clases de tamaño y la curva de extrapolada entre los extremo grueso y fino de cada clase de tamaño. (Cruz y Caballero, 2005)	24
Figura 3. Curva de frecuencia acumulada de arenas de playa, dibujada en papel de probabilidades, consiste de segmentos de recta que se relacionan con cada una de las poblaciones. (Tomado de Visher 1969)	25
Figura 4. Diagrama triangular para la clasificación composicional de las areniscas, (Modificado de Folk, 1974)	29
Figura 5. Triangulo QFL para clasificación de proveniencia. Q= Cuarzo monocristalino y policristalino. F= cantidad total de feldespatos (monocristalinos) y L= Total de fragmentos Líticos (Policristalinos). (Tomado de Dickinson, 1979)	30
Figura 6. Contenido modal de las areniscas procedentes de diferentes ambientes tectónicos a partir de los diagramas QFL de Dickinson (1986). Q=cuarzo total; F=feldespatos monocristalinos totales; L=fragmentos líticos totales inestables (L=Lv+Ls), donde Lv=fragmentos líticos volcanogénicos y Ls=fragmentos líticos sedimentarios y metasedimentarios excepto pedernal y metapedernal (Ficher y Poché, 1993). Las flechas discontinuas indican incremento de madurez.	32
Figura 7. Diagramas de Dickinson (1986) que muestran las diferentes procedencias de sedimentos y el ambiente tectónico al que se asocian. Qt=cuarzo total; Qm=cuarzo monocristalino; Qp=cuarzo policristalino; F=feldespatos monocristalinos totales; P=plagioclasa; K=feldespato potásico; L=Fragmentos	

líticos totales+cuarzo policristalino; Lt=fragmentos líticos policristalinos totales; Lv=fragmentos líticos volcánicos; Ls=fragmentos líticos sedimentarios.	33
Figura 8: Diagramas triangulares de Dickinson (1979) que muestran las diferentes procedencias de sedimentos y el ambiente tectónico al que se asocian. Qt=cuarzo total; Qm=cuarzo monocristalino; Qp=cuarzo policristalino; F=feldespatos monocristalinos totales; P=plagioclasa; K=feldespato potásico; L=Fragmentos líticos totales+cuarzo policristalino; Lt=fragmentos líticos policristalinos totales; Lv=fragmentos líticos volcánicos; Ls=fragmentos líticos sedimentarios.	34
Figura 9. Diagrama mostrando los tipos de proveniencia de orógenos reciclados y los tipos de cuencas asociados a ellos. En la imagen central se observa una colisión tipo continente-continente, en la imagen inferior se observa un complejo de subducción y en la imagen superior se muestra la dispersión de sedimentos reciclados por cinturones plegados de cuencas de antepaís. (Dickinson, 1979)	36
Figura 10. Localización del área de estudio. Modificado del Mapa geológico del departamento de Boyacá (Ulloa 1999) y Barrero et al, (2007).	37
Figura 11. Mapa geológico de la Cordillera Oriental mostrando la cuenca de Floresta y las principales estructuras de pliegue (Tomado de Saylor et al., 2012).	39
Figura 12. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca de la Cordillera Oriental. (Tomado de Barrero et al. 2007).	41
Figura 13. Mapa de estaciones de la Formación Picacho. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)	49
Figura 18. Diagrama de rosetas dirección general del flujo de paleocorrientes de la Formación Picacho.	56
Figura 19. Distribución de paleocorrientes de la Formación Picacho en el Bloque Yacente de la Falla Soapaga, Boyacá. . (Tomado de Ulloa, et., al, 1978)	57
Figura 20. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz $\frac{3}{4}$. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)	59
Figura 21. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz $\frac{1}{2}$. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)	60

Figura 22. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz 3/8. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)	61
Figura 23. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz ¼. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)	62
Figura 24. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz 4. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)	63
Figura 25. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz 10. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)	64
Figura 26. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz 40. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)	65
Figura 27. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz 100. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)	66
Figura 28. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz 200. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)	67
Figura 29. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz +200. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)	68
Figura 30. Distribución Granulométrica para determinar el tipo de arena. A) resultados obtenidos a partir de las muestras estudiadas. B) Diagrama de Boggs para clasificar arenas de playa y arenas de ríos.	69
Figura 31. Distribución de tamaño de grano para dos muestra, Diámetro de tamiz vs porcentaje retenido. (Arriba) Muestra con mayor tamaño de grano. (Abajo) Muestra con menor tamaño de grano.	70
Figura 32. Diagrama triangular de Folk, clasificación composicional para las muestras analizadas bajo microscopia óptica.	72
Figura 33. Diagramas triangulares de Dickinson para las muestras analizadas bajo microscopia óptica de la Formación Picacho.	78
Figura 34. Distribución espacial de los tamaños de grano de acuerdo a los tamices A)3/4, B)1/2, C)3/4, D)1/4, E)4, F)10, G)40, H)100, I)200, J) +200 por peso acumulado.	82

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Contactos Formación Concentración (Izquierda), Formación Picacho (centro), Formación Socha superior (derecha).	43
Fotografía 2. Nivel de gravas pertenecientes a la formación Picacho y localizadas al SW de la zona de estudio, en el municipio de Pesca. Quebrada Honda Grande	44
Fotografía 3. Roca impregnada de Hidrocarburos, perteneciente a la Formación Picacho. Actualmente ubicada en la cabecera del municipio de paz de rio (parte alta). Cerro el Uvo	44
Fotografía 4. Formación Picacho en el municipio de Pesca; se observa el contacto de una capa de arenisca de grano medio a grueso con otra de gravas que alcanzan tamaños por encima me 20 mm. La presencia de las gravas obedece a la localización del afloramiento dentro de la zona de facies proximal de la cuenca.	45
Fotografía 5. Panorámica afloramiento Municipio de Pesca con niveles de gravas muy potentes, intercalados con niveles de areniscas medias.	47
Fotografía 6. Capas tabulares de la Formación Picacho, donde se observa laminación cruzada dentro de capas potentes de arenisca. Los ángulos de inclinación de la estratificación varían entre 35° y 45°. Este afloramiento se presenta sobre la vía que conduce de Corrales a Paz de Rio a la altura del sitio conocido como “peña blanca”.	48
Fotografía 7. (Izquierda) Detalle de la presencia de clastos imbricados junto con laminación cruzada, indicadores de paleocorrientes. Imagen tomada a las afueras del municipio de Sogamoso cerca al batallón Tarqui. (Derecha) Detalle de laminación cruzada en artesa.	52

Fotografía 8. Muestras de sección delgada donde se observan las características texturales y composicionales de la Formación Picacho en el área de estudio.

Muestra MEU-02-SD

55

57

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Determinación de la procedencia y ambiente tectónico a partir de la composición QFL de las areniscas. (Dickinson, 1985).	31
Tabla 2. Análisis composicional de las muestras en sección delgada. Ver anexos.	75
Tabla 3. Análisis textural de las muestras en sección delgada. Ver anexos.	76

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Secciones delgadas para el análisis de las diferentes petrofacies presentes en la Formación Picacho.	89
ANEXO B. Análisis Composicional y textural de muestras en sección delgada (Medio magnético)	
ANEXO C. Análisis estadístico de muestras tamizadas (Medio magnético)	

RESUMEN

TÍTULO: PROCEDENCIA Y DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA FORMACIÓN PICACHO EN EL BLOQUE YACENTE DE LA FALLA SOAPAGA*

AUTORES: WILLIAM DAVID AVELLANEDA CÁCERES**
ANDRÉS CAMILO GARZÓN GUZMÁN

PALABRAS CLAVES: ANÁLISIS DE PROCEDENCIA, FORMACIÓN PICACHO, BLOQUE YACENTE, FALLA SOAPAGA, DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA.

DESCRIPCIÓN

La formación picacho que aflora en el bloque yacente de la Falla Soapaga se caracteriza por tener una naturaleza composicional muy homogénea a lo largo y ancho de la cuenca de Floresta que la contiene.

Con el propósito de determinar la fuente de sedimentos que dieron origen a la Formación Picacho y conocer si existe una distribución granulométrica en la misma, se llevaron a cabo mediciones de paleocorrientes, petrografía de arenitas y recolección de sedimentos para estudios estadísticos en los afloramientos donde era accesible la formación Picacho.

Se logró reconocer por medio del estudio estadístico y petrográfico, una distribución de facies proximal al SW así como otra distal al NE del área de estudio con una procedencia que evidencia la depositación de sedimentos provenientes de una fuente Ígnea-metamórfica alojada al suroeste del área de estudio, sobre lo que hoy día es la cordillera Central. De igual forma mediante el análisis de paleocorrientes se estableció una dirección de flujo principal en sentido NE que consigue definir un área fuente de sedimentos en sentido SW de la zona de trabajo, posiblemente asociada al grupo Cajamarca, al Batolito de Santa Bárbara o al Batolito de Ibagué en la Cordillera Central. Todo lo anterior, basado en los datos de afloramiento nos permite conocer más a fondo el carácter sedimentológico de la Formación Picacho en esta zona de la cordillera oriental.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Directora: Laura Milena Peñaranda, Geóloga. Codirector: Víctor Manuel Caballero Ortiz, M .Sc., Geología

ABSTRACT

TITLE: PROVENANCE AND GRANULOMETRIC DISTRIBUTION OF THE PICACHO FORMATION IN THE FOOT WALL OF THE SOAPAGA FAULT.

AUTHORS: WILLIAM DAVID AVELLANEDA CÁCERES**
ANDRÉS CAMILO GARZÓN GUZMÁN

KEYWORDS: PROVENANCE, PICACHO FORMATION, FOOT WALL, SOAPAGA FAULT, GRANULOMETRIC DISTRIBUTION.

DESCRIPTION

The Picacho Formation which outcrops in the foot wall of the Soapaga Fault is characterized by a very homogeneous compositional nature throughout the Floresta basin. In order to determine the source of sediments that gave rise to the Picacho formation and to know if there is a particle size distribution, several measurements were conducted. They include the study of paleocurrent, petrography of sandstones and sediment collection for statistical studies. All these studies were carried out in outcrops of the Picacho Formation. Therefore, it was possible to recognize by statistical and petrographic study, a proximal facies distribution of the SW and the other distal to the NE of the study area with a provenance evidence of sediment deposition from an igneous-metamorphic source housed southwest of the study area, on what is today the Central Cordillera. Similarly, by analyzing the Paleocurrents, a direction of the main flow was set to the NE in order to define an area of source-sediments in the SW direction of the work area, possibly associated Cajamarca group, Santa Barbara Batholith or Ibage Batholith in the Central Cordillera. All of the above, based on outcrop data, allows us to know more about the sedimentological character of the Picacho Formation in the area of the Eastern Cordillera.

* Bachelor Thesis

** Physicochemical Faculty of Engineering. School of Geology. Director: Laura Milena Peñaranda, Geologist. Co-Director: Victor Ortiz Manuel Caballero, M Sc, Geology.

INTRODUCCIÓN

La zona norte de Suramérica a comienzos del Eoceno estaba dominada por una paleogeografía típica de márgenes compresivos nacientes (Forero-Esguerra, 1974), que fue generada a partir de la inversión tectónica y reactivación de fallas normales en fallas inversas de una preexistente extensión Mesozoica (Cooper et al., 1995; Kammer and Sanchez, 2006). Para el caso del territorio Colombiano, diversos estudios paleogeográficos indican que la región se encontraba sujeta a zonas de acumulación de sedimento derivado principalmente de lo que hoy en día es la cordillera central y el escudo de Guyana (Villamil, 1999; Bayona et al., 2008).

La Cordillera Oriental situada al este de Colombia es un cinturón orogénico que hace parte de la Cordillera de los Andes y que fue levantado en el Mioceno medio (Van der Hammen, 1958; Cooper et al., 1995). Con el levantamiento de la Cordillera Oriental, quedaron restringidas las fuentes de sedimento de las actuales cuencas intramontanas y de antepaís como es el caso de la Cuenca de Floresta (Saylor et al., 2012).

La Formación Picacho aflorante en el bloque yacente de la Falla de Soapaga y contenida dentro de la Cuenca de Floresta (Saylor et al., 2012), es una unidad sedimentaria de edad Eoceno (DePorta, 1974) que consta de capas de arenisca conglomerática a arenisca de grano medio muy ricas en cuarzo y pobres en feldespatos (Alvarado & Sarmiento, 1944).

En el presente trabajo se tomaron datos estructurales de laminaciones y recolectaron 88 muestras de arena para tamizar y 22 muestras para secciones delgadas a lo largo de 30 estaciones de medición; lo anterior permitió establecer la distribución espacial de las facies distales y proximales, determinar una

dirección principal de paleocorriente y fijar un área fuente de sedimento de la Formación Picacho.

Todo esto nos lleva a plantear como área fuente de sedimento de la Formación Picacho a la Cordillera Central y proponer dentro de la distribución espacial de facies que la zona más proximal se encuentra al SW de la cuenca, mientras que la más distal está alojada al NE. Este estudio permite definir con más claridad posibles áreas en las que la Formación Picacho presenta las mejores condiciones como roca reservorio de hidrocarburos.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Entender la dinámica de los procesos que intervienen en la formación de los sedimentos y en su transporte, así como conocer la procedencia de los mismos es fundamental, pues de esta manera, es posible llevar a cabo la reconstrucción de los ambientes de depósito y sus probables correlaciones, lo que aporta evidencias clave para el conocimiento de la evolución geológica de una región específica y su evolución paleogeográfica en un contexto global.

Diversos trabajos de investigación como los de (DeCelles, et al., 1991), (Graham, et al., 1986) y (James Schmitt, 1990); soportan la importancia de estos procesos y en particular el análisis de procedencia, como principal técnica para determinar procesos evolutivos de una cuenca en particular.

El desarrollo alcanzado en los estudios de procedencia de sedimentos en la última década, junto con el análisis de cuencas sedimentarias, han contribuido a entender la evolución tectónica de terrenos tectonoestratigráficos, además de establecer las relaciones entre masas continentales (áreas fuente) y zonas de depósito (cuenas) separadas actualmente por varios miles de kilómetros.

De esta forma, se plantea la necesidad de un estudio sedimentológico detallado de la Formación Picacho en el bloque yacente de la Falla Soapaga, que indique el área fuente de sedimentos y la distribución granulométrica para identificar las facies proximales y distales a lo largo de la zona de estudio.

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL

Determinar la Proveniencia de Sedimento de la Formación Picacho en el bloque yacente de la Falla Soapaga.

1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer el patrón de distribución granulométrica de las gravas y arenas de Formación Picacho en el área de Sogamoso y sus alrededores.
- Identificar las direcciones de paleocorrientes de los sedimentos de la Formación Picacho en el área de estudio.
- Determinar la distribución composicional de la Formación Picacho en el área de Sogamoso y sus alrededores

2. MARCO DE REFERENCIA

Para el análisis de la distribución espacial de las arenas y gravas se lleva a cabo un estudio de granulometría estadística. Los sedimentos y las rocas sedimentarias contienen una gran variedad de partículas y de diversos tamaños. Estos tamaños ocurren como una población con una distribución que es función del tamaño original de las partículas y de los procesos que operaron durante el transporte y la depositación.

En el caso de partículas esféricas el tamaño de grano es el diámetro de la partícula, pero raramente encontramos partículas esféricas, si se trata de una partícula no esférica, se toma a menudo como diámetro equivalente, el diámetro de la esfera del mismo volumen que la partícula. En el caso de las gravas la determinación de su tamaño se realiza mediante la utilización de calibres mientras que en las arenas se recurre al análisis por tamizado ya que existe una dificultad mayor debido a su tamaño (Salager, 2007).

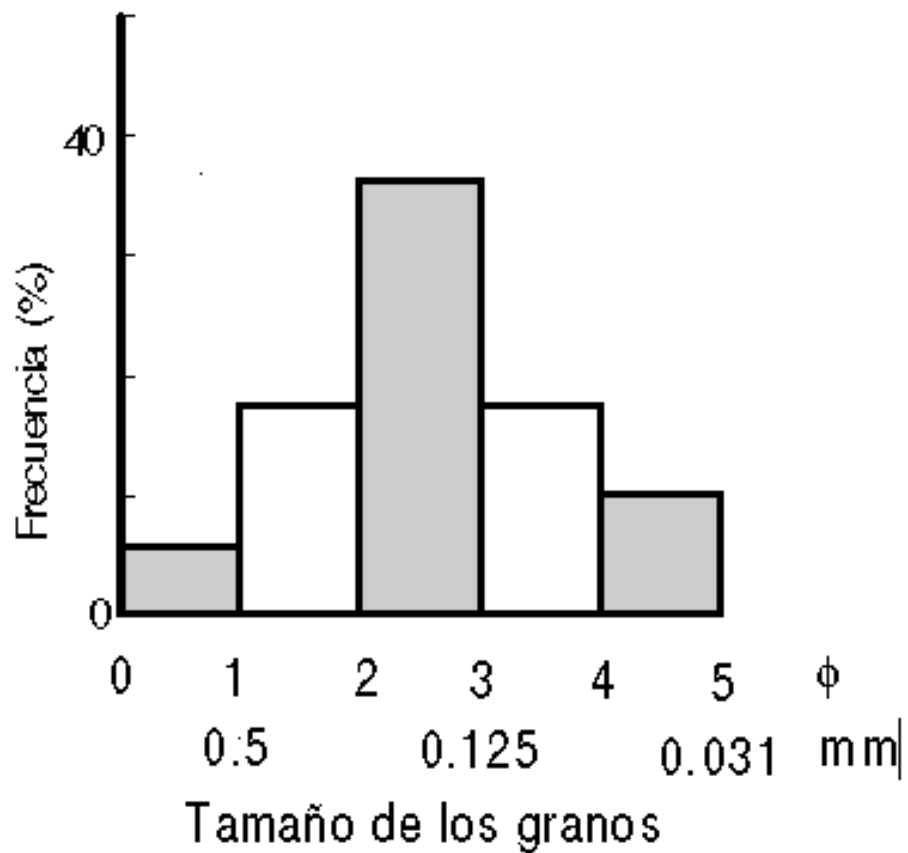
En orden a interpretar las condiciones de transporte y sedimentación es necesario determinar la distribución de tamaño de grano del sedimento. (Caballero, 2005)

2.1 DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE GRANO.

Con los resultados obtenidos del proceso de tamizaje, se pueden construir los siguientes tipos de gráficas: (Folk, 1974).

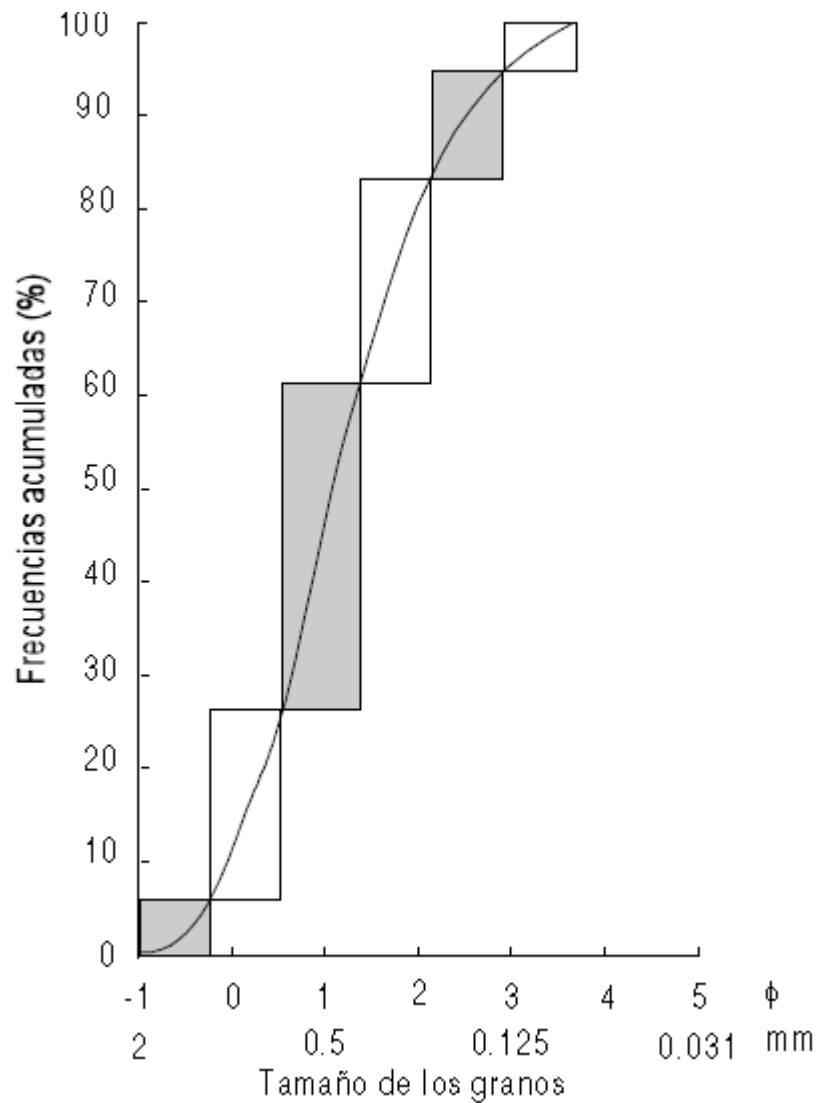
1. Distribuciones de tamaño de grano de frecuencia simple

Figura 1. Distribución de tamaño de grano normal mostrando la frecuencia de porcentaje de distintas clases de tamaño. (Tomado de Cruz y Caballero, 2005)



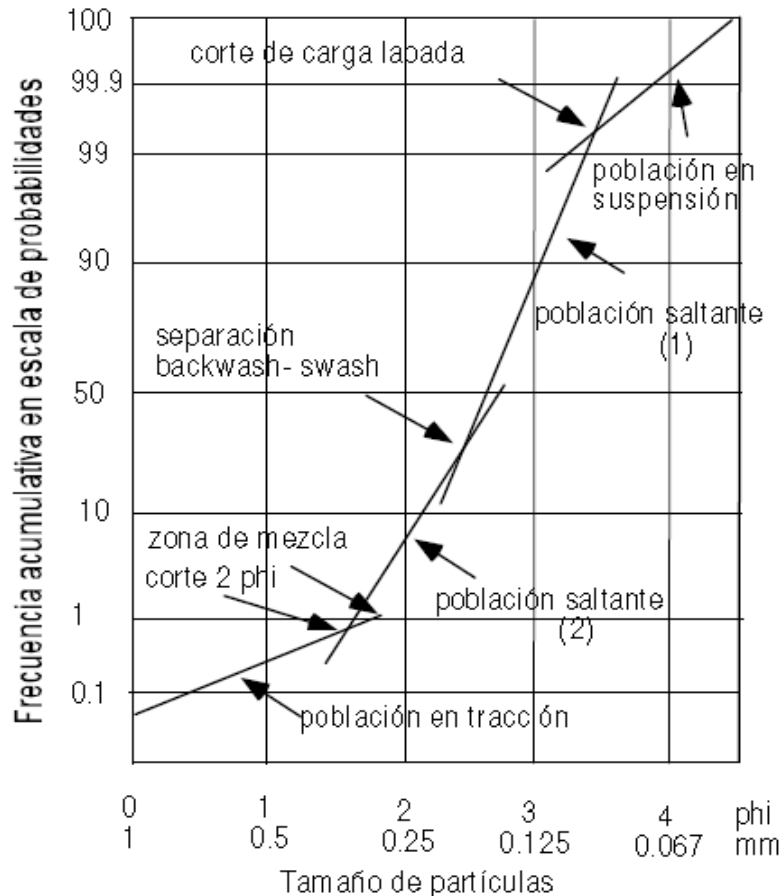
2. Distribuciones de tamaño de grano de frecuencia acumulada en escala aritmética

Figura 2. Distribución de tamaño de grano acumulada en papel aritmético, mostrando la frecuencia de porcentaje acumulada de distintas clases de tamaño y la curva de extrapolada entre los extremo grueso y fino de cada clase de tamaño. (Cruz y Caballero, 2005)



3. Distribuciones de tamaño de grano de frecuencia acumulada papel de probabilidades

Figura 3. Curva de frecuencia acumulada de arenas de playa, dibujada en papel de probabilidades, consiste de segmentos de recta que se relacionan con cada una de las poblaciones. (Tomado de Visher 1969)



El estudio de la composición química y mineralógica de sedimentos terrígenos y sus rasgos texturales, así como el análisis estadístico de sus diversos componentes se puede llevar a cabo a través de técnicas petrográficas y geoquímicas, convirtiéndose estas en las herramientas más importantes en el análisis de procedencia de sedimentos. Los análisis petrográficos cualitativos y cuantitativos son fundamentales para la determinación de la procedencia. El

análisis cualitativo consiste en una observación cuidadosa y detallada de la textura y de la determinación de la composición de sus fragmentos tanto monominerales como poliminerales y, si se conocen los límites de la cuenca, la comparación petrográfica directa de las muestras de las rocas circundantes y los fragmentos líticos colectados en el área de depósito permite definir con precisión la procedencia de los sedimentos. (Sánchez, 2010).

Las arenas y gravas, al originarse como partículas sólidas, conservan la composición y textura de la roca de la cual se derivan reflejando el carácter original de la fuente (Sánchez, 2010). Las arenas anteriormente eran usadas para establecer características paleotectónicas en sedimentos antiguos; hoy en día pocos trabajos las usan para obtener características tectónicas recientes; estos estudios funcionan principalmente en ambientes tropicales donde los efectos químicos del clima tienden a tapar los efectos de la tectónica impresos en la composición mineralógica (Basu, A, 1985).

La importancia de estos métodos (Decker, 1985) radica en que permite reconstruir la naturaleza geológica y el ambiente tectónico de la región origen de los fragmentos de roca. Por otra parte las características texturales y la composición mineralógica y química de los sedimentos aportan información sobre el ciclo sedimentario, clima, tipo de ambiente de depósito y las características tectónicas de la cuenca donde ocurre el proceso. De igual manera son útiles para establecer modelos de evolución tectónica y paleogeográfica de cuencas cratónicas y terrenos tectonoestratigráficos y a su vez permite proponer límites a los modelos propuestos con base a otras evidencias.

Los estudios (Basu, 1976) para los análisis de procedencia se basan en el análisis de materiales detríticos específicos, como el cuarzo, feldespatos y líticos en arenitas, es decir la composición de las arenitas en donde la presencia o ausencia y tipos de feldespatos, cuarzo y líticos es un indicador de la posible área fuente,

esto complementado con las mediciones de paleocorriente permiten proponer posibles áreas fuentes del sedimento.

2.2 MEDICION DE PALEOCORRIENTES.

La medición de paleocorriente se lleva a cabo a partir de la toma de datos de diferentes estructuras sedimentarias (Dorrik, 2010) entre las que se destacan:

- Estructuras de erosión.
- Laminación cruzada/estratificación cruzada.
- Estructuras de Flama y laminación convoluta.
- Pliegue intraformacional (Slump folds) del deslizamiento de sedimentos blandos.
- Estrías glaciares.
- Fabrica de los sedimentos.

Para efectos prácticos se utilizara principalmente la toma de datos de estratificación cruzada y de estratificación cruzada en artesa.

La toma de datos para laminación cruzada se basa en buscar el punto donde se observe la figura en 3D midiendo el ángulo de mayor grado (Dorrik A.V. Stow, 2010) y la toma de datos para estratificación cruzada en artesa se basa en la medida de la orientación y buzamiento de los flancos derecho e izquierdo de una artesa en donde la superficie del afloramiento la ha cortado en un ángulo oblicuo (Decelles Y Langford, 1983).

2.3 POROSIDAD DE ARENISCAS.

La capacidad productora de los yacimientos de areniscas que contienen hidrocarburos depende directamente de la textura del agregado de los granos y no

de la composición. La porosidad inicial de los depósitos de areniscas se controla por la naturaleza de los procesos sedimentarios que ocurrían durante la dispersión y durante la sedimentación. En base a esto el modo y la distancia de transporte y la influencia del ambiente deposicional local inician la porosidad mucho más que la naturaleza de la proveniencia o la configuración tectónica de la cuenca sedimentaria.

Por consiguiente, armazones detríticos de composiciones ampliamente variadas, pueden ser depositados como agregados teniendo formas similares a granos, grados de clasificación y porosidades iniciales. Sin embargo, armazones de composiciones contrastantes se comportan de forma diferente y muestran varios rangos de disminución de la porosidad con la profundidad de enterramiento. Siendo químicamente más reactivo que el cuarzo, granos de feldespato y fragmentos detríticos no cuarzosos se someten fácilmente a alteraciones mineralógicas y experimentan solución interstratigráfica mejorada a profundidades comparativamente superficiales. Estos efectos tienden a promover la cementación o crecimiento de matriz antigénica que inhibe la retención de la porosidad durante el enterramiento progresivo. Además, los fragmentos líticos tienden más fácilmente a ser deformados o aplastados por el aumento de la sobrecarga. Este efecto acelera la reducción de la porosidad de una roca arenisca por compactación simple a medida que aumenta la profundidad de enterramiento.

El comportamiento diagenético de una arenisca especial durante el enterramiento progresivo es una respuesta específica a un complejo conjunto de condiciones de contorno. Por ejemplo, la naturaleza de los estratos intercalados, el gradiente geotermal local, la tasa de inhumación, la química de los fluidos de los poros, y la configuración hidrodinámica del horizonte stratigráfico ejercen influencia en los procesos diagenéticos. (Dickinson and Suczek, 1979)

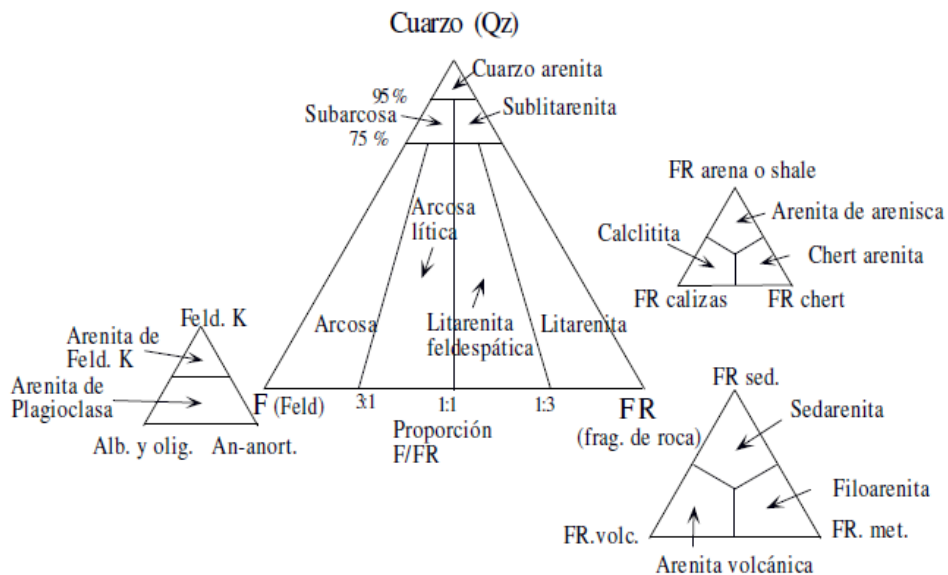
2.4 PETROGRAFIA DE ROCAS TERRIGENAS

El reconocimiento de minerales por medio de sus propiedades ópticas es el método más simple y más ampliamente usado.

Para el análisis textural y composicional de rocas terrígenas se lleva a cabo principalmente bajo la observación de un microscopio de luz refractada.

La muestra es analizada por el método del conteo, en el cual se hace un barrido por toda la sección delgada y se va llevando un estricto conteo de todos los minerales, líticos y poros presentes en la muestra y se procede a su clasificación según el diagrama de Folk.

Figura 4. Diagrama triangular para la clasificación composicional de las areniscas, (Modificado de Folk, 1974)

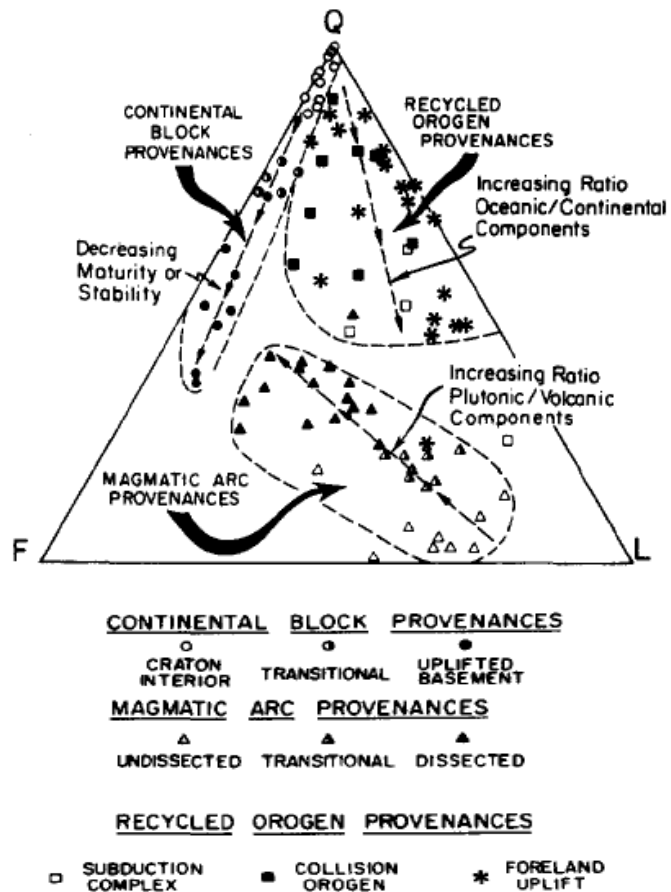


Para la clasificación de tipos de granos en el microscopio se siguen generalmente tres categorías: fragmentos monominerales, policristalinos y líticos. La clasificación de los diferentes tipos de fragmentos más utilizada es: cuarzo (Q), diferenciando

entre cuarzo monocristalino (Qm) y policristalino (Qp) o calcedonia (C); feldespato (F), diferenciando plagioclasas (Pg) y feldespato potásico (FK), y fragmentos líticos (L), que comprenden líticos de rocas ígneas (Li), sedimentarias (Ls) y metamórficas (Lm). (Figura 4 y 5).

De estas especies minerales el cuarzo ha sobresalido debido a su estabilidad mecánica y química siendo el constituyente fundamental de los depósitos arenosos. (Tortosa, 1988).

Figura 5. Triangulo QFL para clasificación de proveniencia. Q= Cuarzo monocristalino y policristalino. F= cantidad total de feldespatos (monocristalinos) y L= Total de fragmentos Líticos (Policristalinos). (Tomado de Dickinson, 1979)



2.5 TIPOS DE PROCEDENCIA.

Los detritos en la mayoría de las areniscas pueden atribuirse a fuentes dentro de un catálogo restringido de tipos de procedencias (Figura 5, 6, 7 y 8). En cada ejemplo, varios tipos de cuencas comúnmente pueden recibir los sedimentos de un tipo particular de procedencia.

En (Dickinson y Suczek, 1979) clasifican todas las procedencias y derivado de areniscas en tres grupos generales: (1) bloque continental, por lo que las fuentes de sedimentos son en los escudos y las plataformas o en bloques de basamento fallado; (2) arco magmático, para el que las fuentes se encuentran dentro de arcos de orógenos activos de arcos de islas o márgenes continentales activos; y (3) orógeno reciclado para los que son fuente secuencias estratigráficas levantadas en zonas de subducción a lo largo de orógenos colisionales o en cinturones plegados-levantados.

Por otro lado autores como Dickinson encontraron una relación entre la composición de las areniscas y el ambiente tectónico al que se asocian las grandes cuencas sedimentarias. Se encuentra resumido en la siguiente Tabla:

Tabla 1. Determinación de la procedencia y ambiente tectónico a partir de la composición QFL de las areniscas. (Dickinson, 1985).

Tipo de procedencia	Ambiente tectónico	Composición de areniscas
Cratón estable	Plataforma estable o en el interior del continente	Areniscas cuarzosas (ricas en Qt) con altas relaciones Qm/Qp y K/P
Basamento levantado (basament uplift)	Borde de rift o ruptura transforme	Areniscas cuarzofeldespáticas (ricas en Qm y F) con bajas concentraciones de Lt y relaciones similares de Qm/F y K/P similares a las de la fuente de aporte
Arco magmático	Arco de isla o arco continental	Areniscas volcanoclásticas y feldespatolíticas (ricas en F) con altas relaciones de P/K y Lv/Ls. Si están expuestas rocas plutónicas entonces las areniscas son cuarzofeldespáticas (ricas en Qm y F).
Orogéno reciclado	Complejos de subducción o cinturones de pliegues y cabalgaduras	Areniscas cuarzolíticas (ricas en Qt y Lt) con bajas concetraciones de F y Lv y relaciones variables de Qm/Qp y Qp/Ls

Figura 6. Contenido modal de las areniscas procedentes de diferentes ambientes tectónicos a partir de los diagramas QFL de Dickinson (1986). Q=cuarzo total; F=feldspatos monocristalinos totales; L=fragmentos líticos totales inestables ($L=L_v+L_s$), donde L_v =fragmentos líticos volcanogénicos y L_s =fragmentos líticos sedimentarios y metasedimentarios excepto pedernal y metapedernal (Ficher y Poché, 1993). Las flechas discontinuas indican incremento de madurez.

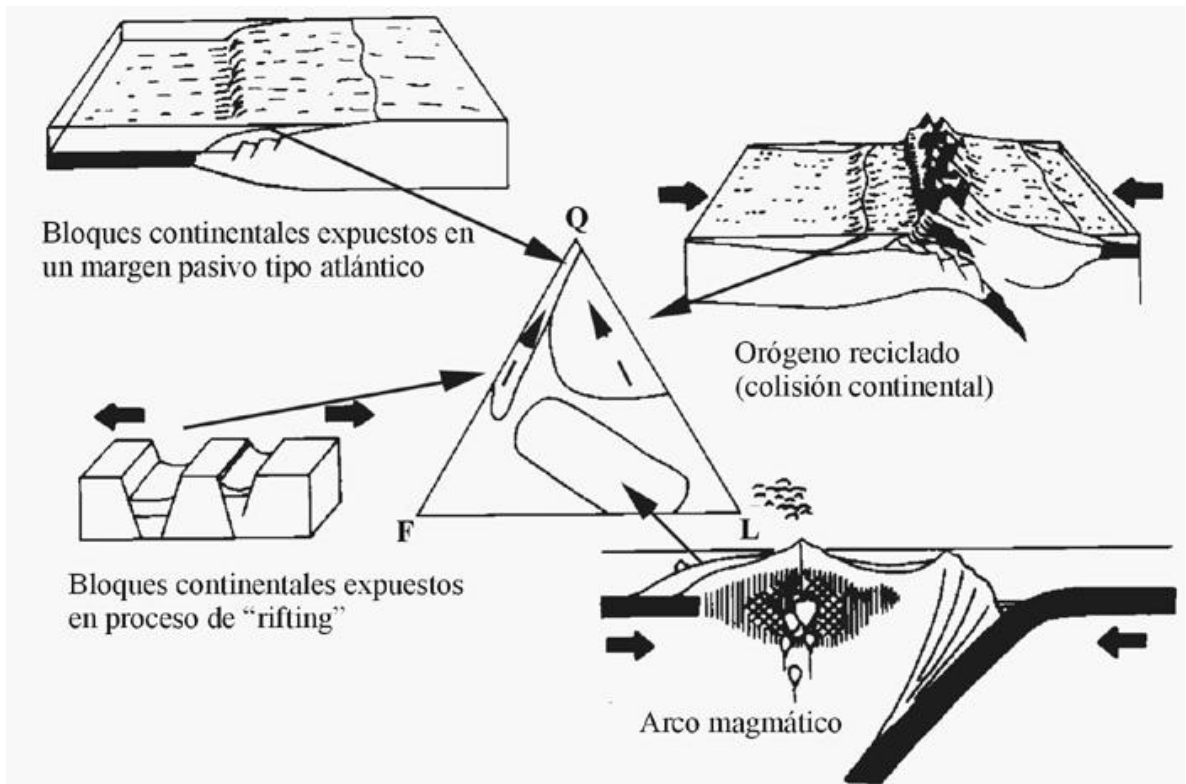


Figura 7. Diagramas de Dickinson (1986) que muestran las diferentes procedencias de sedimentos y el ambiente tectónico al que se asocian. Qt=cuarzo total; Qm=cuarzo monocristalino; Qp=cuarzo policristalino; F=feldespatos monocristalinos totales; P=plagioclasa; K=feldespato potásico; L=Fragmentos líticos totales+cuarzo policristalino; Lt=fragmentos líticos policristalinos totales; Lv=fragmentos líticos volcánicos; Ls=fragmentos líticos sedimentarios.

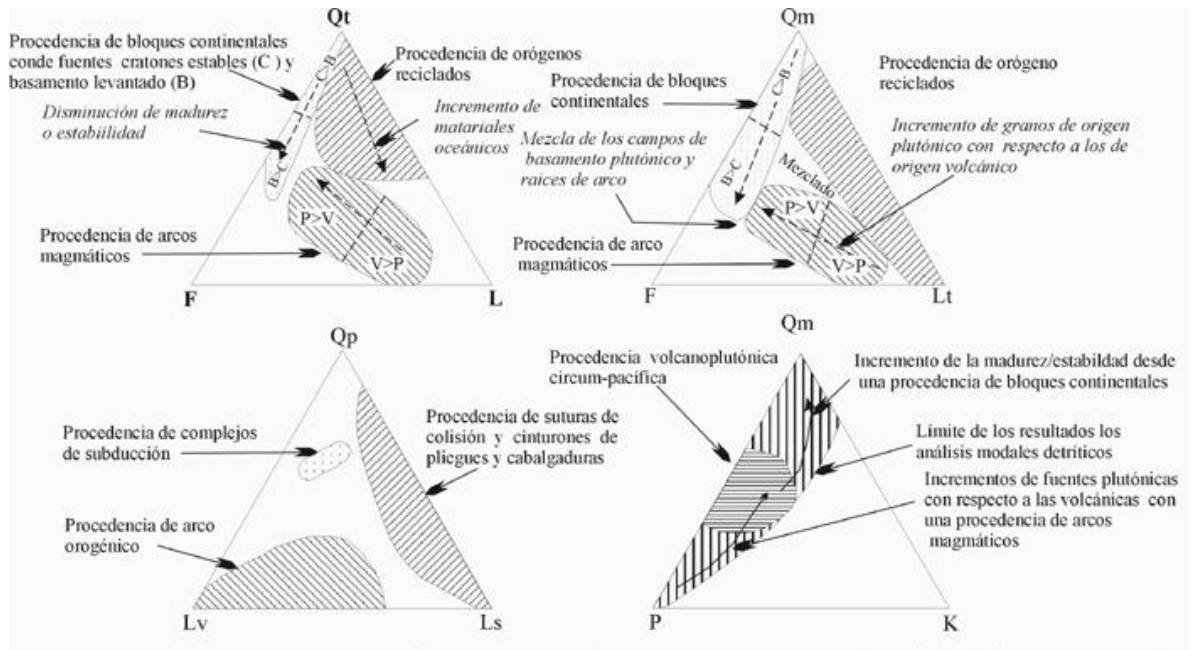
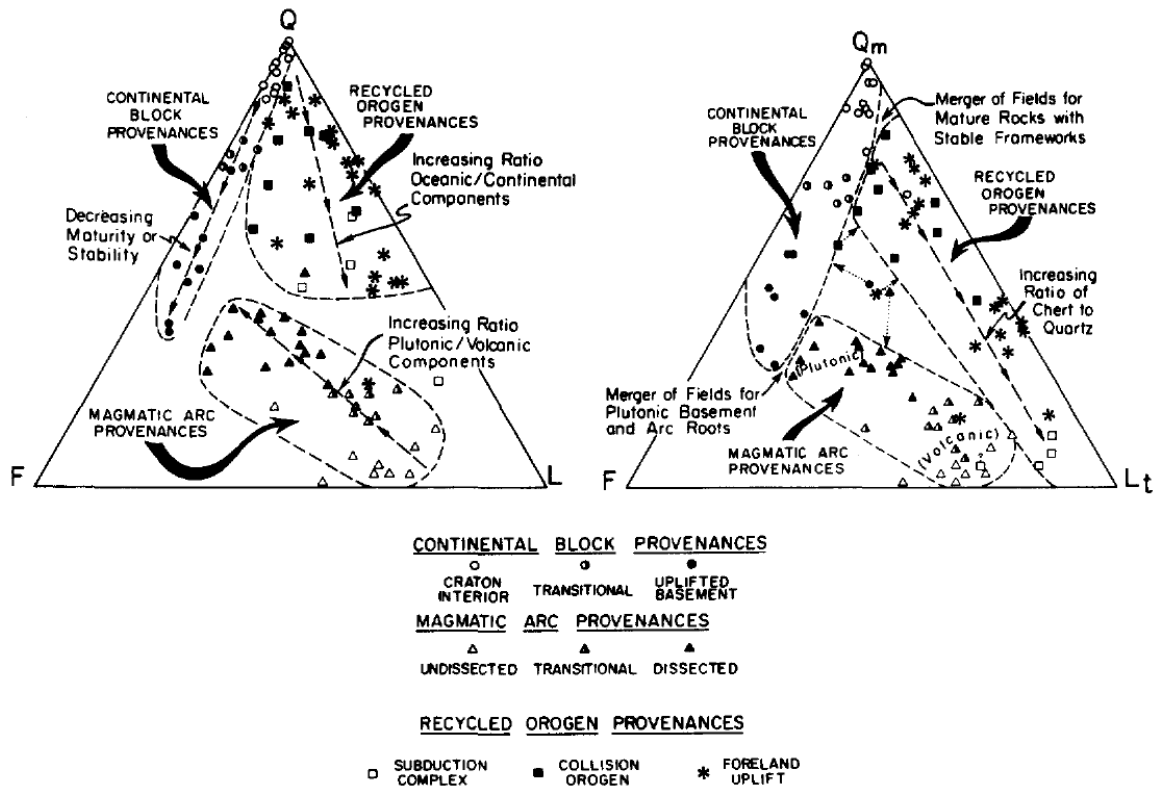
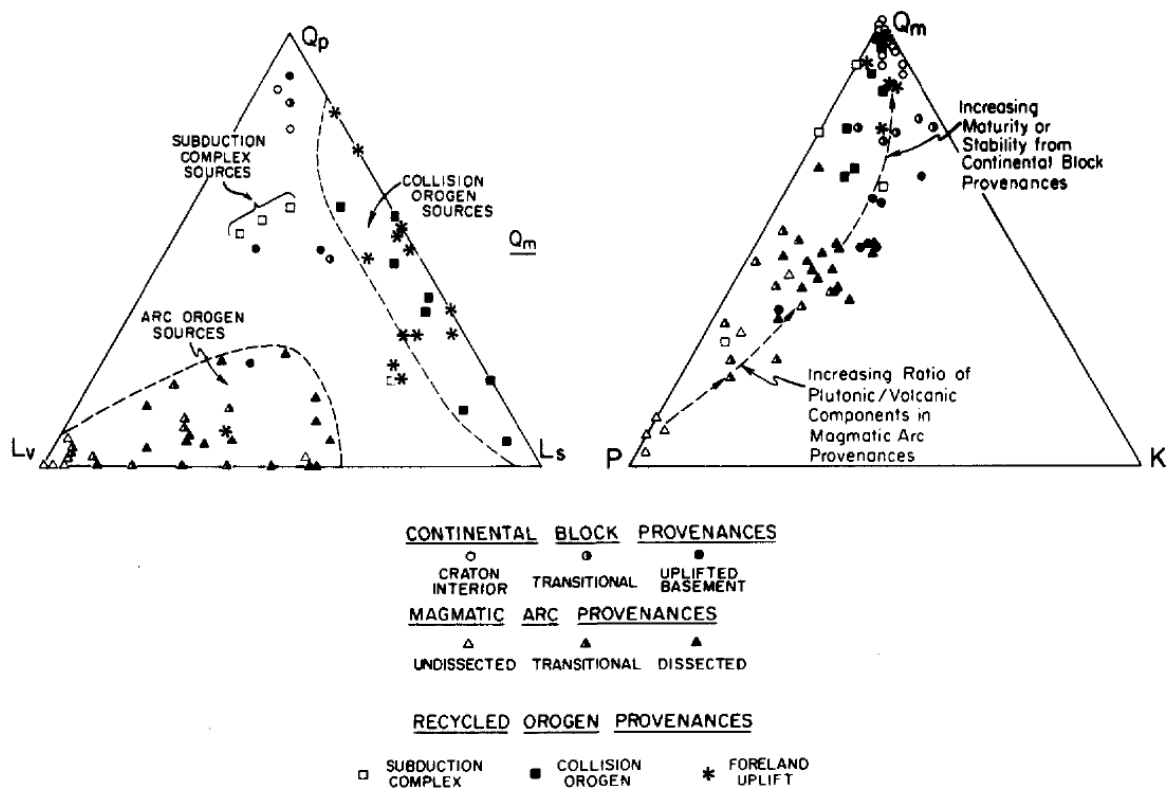


Figura 8: Diagramas triangulares de Dickinson (1979) que muestran las diferentes procedencias de sedimentos y el ambiente tectónico al que se asocian. Qt=cuarzo total; Qm=cuarzo monocristalino; Qp=cuarzo policristalino; F=feldespatos monocristalinos totales; P=plagioclasa; K=feldespato potásico; L=Fragmentos líticos totales+cuarzo policristalino; Lt=fragmentos líticos policristalinos totales; Lv=fragmentos líticos volcánicos; Ls=fragmentos líticos sedimentarios.



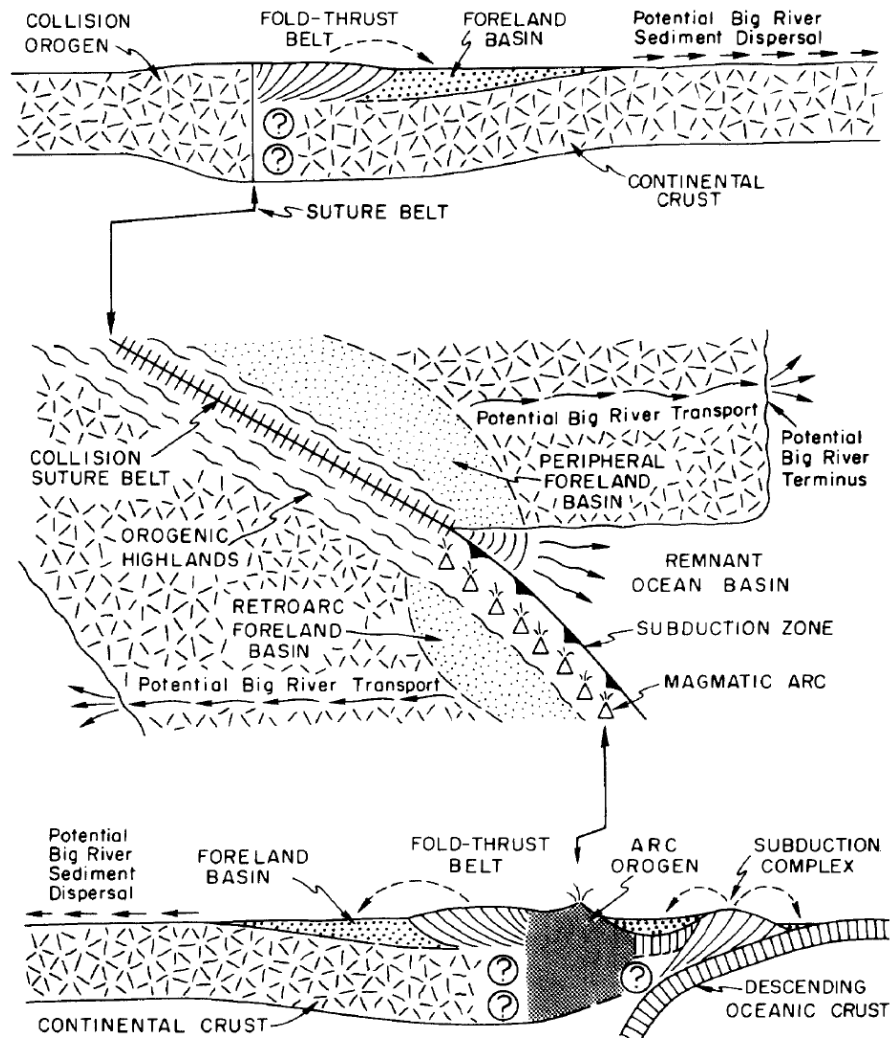


2.6 PROCEDENCIA DE ORÓGENOS RECICLADOS.

La clave de las rocas fuentes en varios tipos de proveniencia orogénica son terrenos levantados de estratos fallados y plegados de detritos reciclados de origen sedimentario o metasedimentario. Se dividen las proveniencias orogénicas en complejos de subducción de sedimentos y lavas oceánicas deformadas, orógenos de colisión formados a lo largo de las suturas de la corteza entre bloques continentales una vez separados y cuencas antepaís (Foreland) levantadas asociadas con cinturones de cabalgamiento. El último se desarrolló adyacente a cinturones de sutura o entre arcos magmáticos y cuencas de retroarco localizadas dentro de bloques continentales detrás de los arcos. Los cinturones orogénicos complejos pueden incluir todos los tres tipos de proveniencia en cinturones subparalelos lineales los cuales pueden contribuir

conjuntamente en la mezcla de detritos a diferentes cuencas. (Dickinson and Suczek, 1979)

Figura 9. Diagrama mostrando los tipos de proveniencia de orógenos reciclados y los tipos de cuencas asociados a ellos. En la imagen central se observa una colisión tipo continente-continente, en la imagen inferior se observa un complejo de subducción y en la imagen superior se muestra la dispersión de sedimentos reciclados por cinturones plegados de cuencas de antepaís. (Dickinson, 1979)

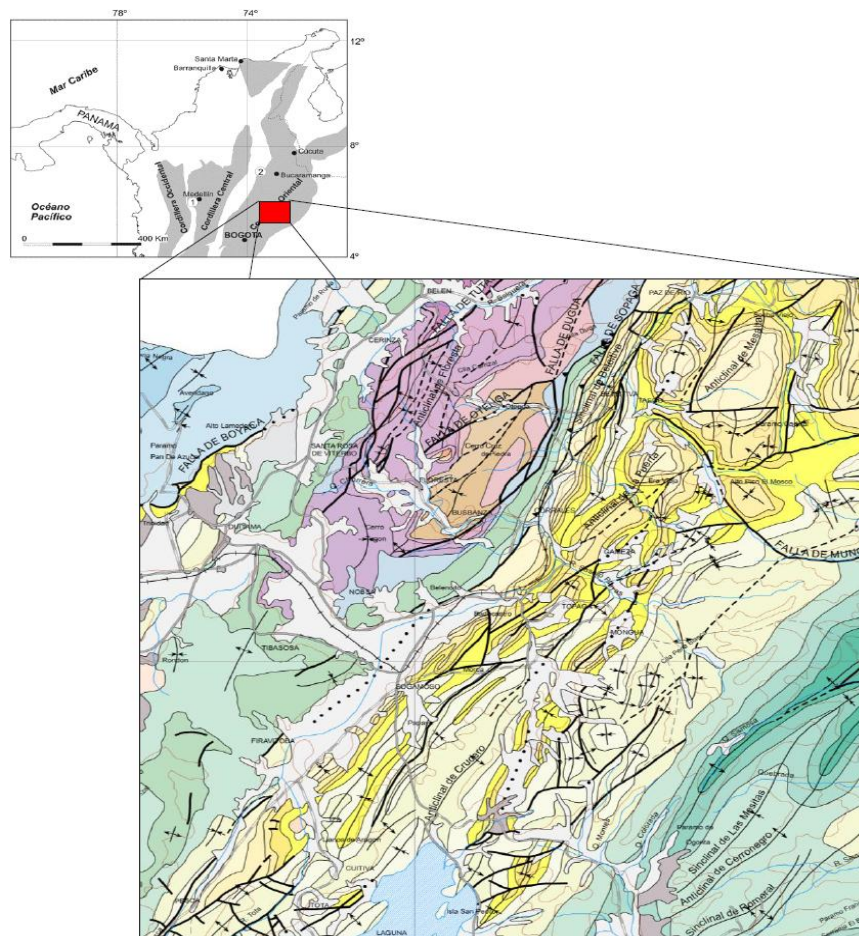


3. ANTECEDENTES

3.1 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se ubica entre el este de la Falla Soapaga (inferida) y el flanco oeste del anticlinal de Crucero, formando parte de la Cordillera Oriental a la altura de la población de Sogamoso (Boyacá) y parte nororiental de la cuenca cordillera Oriental (Figura 10). Entre las coordenadas (1 155 000; 1111 500) y (1 144 000; 1 109 000) con origen Bogotá.

Figura 10. Localización del área de estudio. Modificado del Mapa geológico del departamento de Boyacá (Ulloa 1999) y Barrero et al, (2007).



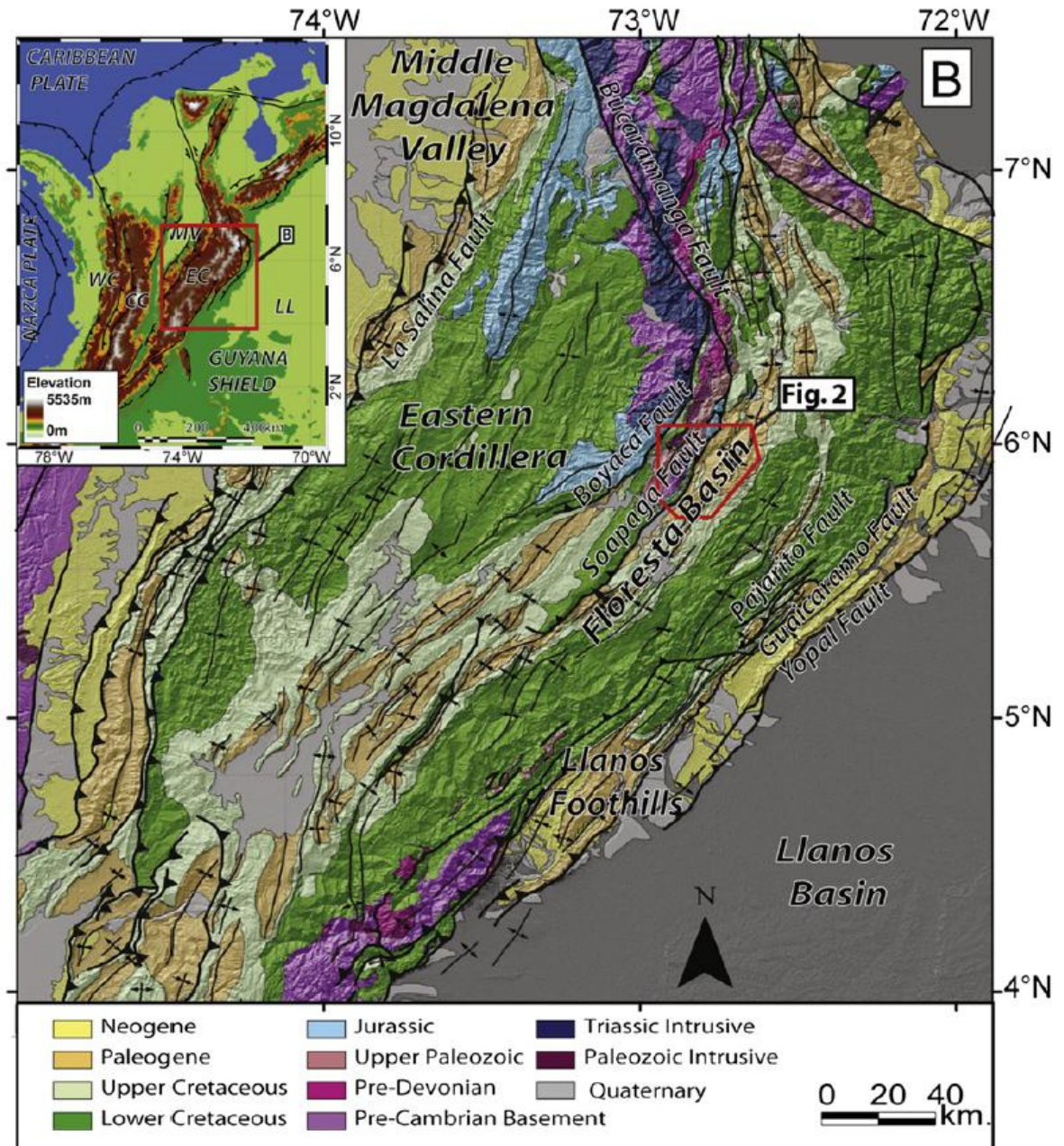
3.2 MARCO GEOLOGICO GENERAL

El área de estudio se localiza sobre un basamento ígneo- metamórfico de edad Proterozoico-Paleozoico; sobre este basamento suprayace una cobertera sedimentaria conformada por las formaciones: Formación Villeta, Formación Ermitaño, Formación Guaduas, Formación Socha Inferior, Formación Socha Superior, Formación Picacho, Formación Concentración; que van desde el Valanginiano (Formación Villeta) hasta el Eoceno Inferior (Formación Concentración). (Alvarado y Sarmiento 1944).

El área de trabajo a nivel geológico se caracteriza por haberse desarrollado en un ambiente extensivo durante el Mesozoico con el desarrollo de estructuras tipo Rift; seguido de un ambiente compresivo durante el Cenozoico (Kammer and Sanchez, 2006; Gómez et al., 2005b; Bayona et al., 2008) y la subsecuente inversión tectónica que reactivó antiguas fallas normales en fallas inversas de bajo ángulo como es el caso de la Falla de Soapaga (Cooper et al., 1995; Kammer and Sanchez, 2006).

La Falla Soapaga como una falla inversa, presenta en su bloque colgante rocas metasedimentarias de bajo grado y granitos Cambro-Ordovícicos (Kammer and Sanchez, 2006; Horton et al 2010b), mientras que en su bloque yacente se compone de rocas sedimentarias de origen marino a no marino y que abarcan edades desde el Cretácico Inferior hasta el Oligoceno (Kimberley, 1980; Villamil, 1999; Bayona et al., 2008; Santos et al., 2008) formando lo que se conoce como la cuenca de Floresta según (Saylor et al., 2012) (Figura 11).

Figura 11. Mapa geológico de la Cordillera Oriental mostrando la cuenca de Floresta y las principales estructuras de pliegue (Tomado de Saylor et al., 2012).



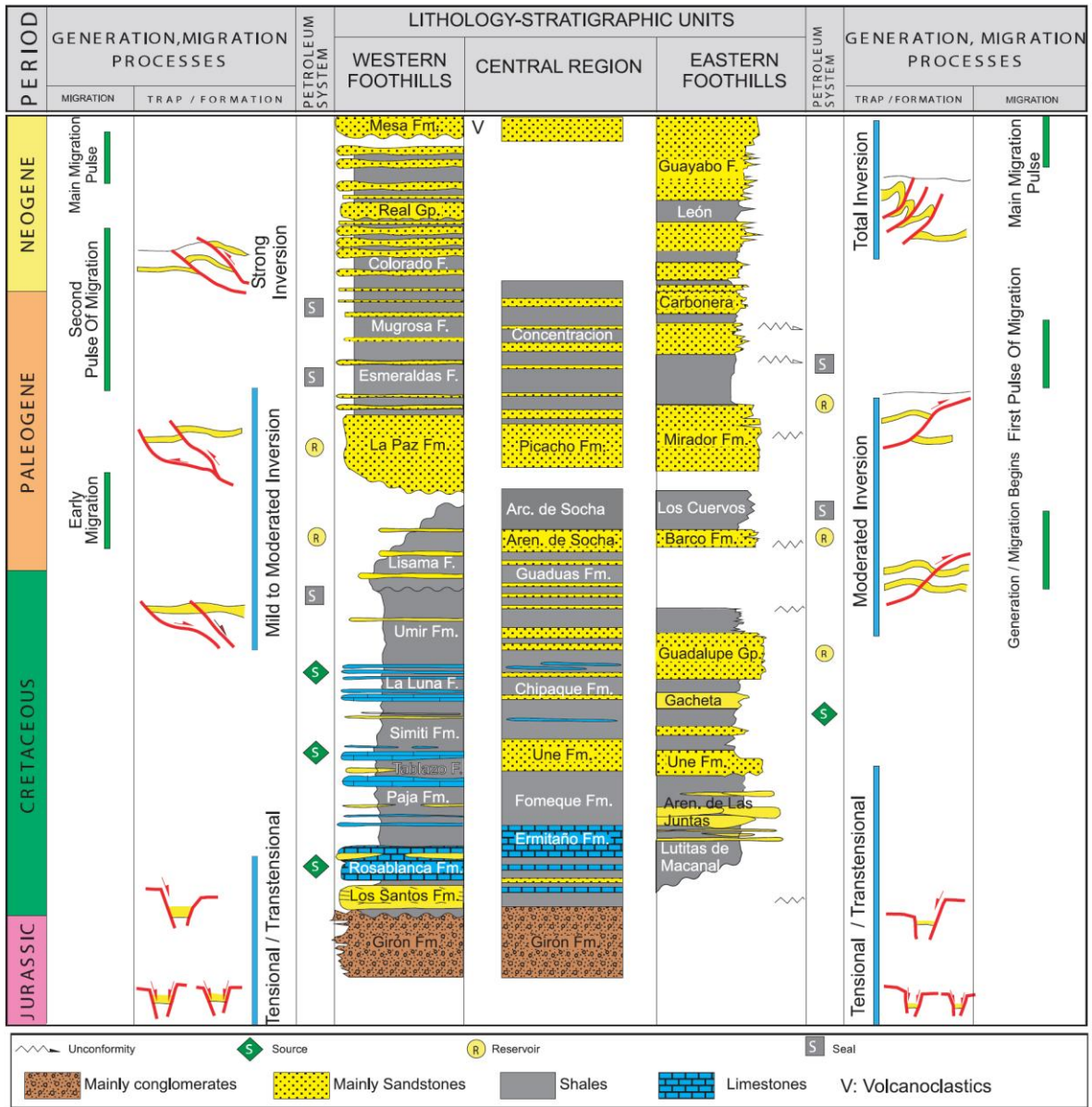
A nivel estructural, la región de estudio se caracteriza por rasgos como: la Falla de Soapaga, el anticlinal de Crucero y otros trazos de falla inferidos, locales y discontinuos. La estratigrafía de la zona (ver Figura 12) por otra parte, se caracteriza por presentar mucho material no consolidado (Cuaternario) además de una cobertera sedimentaria gruesa.

La secuencia del Cretácea de la Cordillera Oriental presenta rocas como shales, limolitas y calizas con contenidos de TOC que varían entre 0.5 y 6%, las cuales son potenciales rocas generadoras de petróleo y gas según el grado de maduración termal. Las formaciones Lutitas de Macanal, Fómeque, La Luna, Chipaque, Conejo, Guaduas y Une, son rocas fuente de gas en la región axial de la Cordillera y de petróleo y gas en los flancos oriental y occidental de la Cordillera (García et al, 2009).

A nivel de reservorios la Formación Une constituye el reservorio más profundo, continuado estratigráficamente por las intercalaciones de areniscas de la Formación Chipaque. Igualmente son de interés las Formaciones Dura, Labor y Tierna del Grupo Guadalupe, las cuales están expuestas en la mayoría de las estructuras. También existen reservorios de interés en las Formaciones del Cenozoico dentro de las que están la Formación Socha, Concentración y Picacho, esta última foco de estudio del presente trabajo (García et al, 2009).

Las trampas de hidrocarburos se encuentran relacionadas principalmente a anticlinales asociados a fallas inversas, productos de la Orogenia Andina; y también estructuras anticlinales asociadas a fallas inversas producto de la reactivación de fallas normales como el caso de la Formación Picacho afectada por la Falla Soapaga. De igual manera encontramos trampas estratigráficas relacionadas a cambios laterales de facies y a canales aluviales presentes en las formaciones del Cenozoico (García et al, 2009).

Figura 12. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca de la Cordillera Oriental. (Tomado de Barrero et al. 2007).



Formación Picacho.

La Formación Picacho está formada por un conjunto potente de areniscas que descansan discordantemente sobre la Formación Socha superior. La sección tipo de esta Formación se encuentra al N de Betéivita en las proximidades de los

Cerros El Fraile y Picacho, del cual deriva su nombre, situados al W de Paz de Río (Alvarado y Sarmiento, 1944).

La parte inferior de la Formación Picacho consta de arenisca conglomerática con cantos que pueden alcanzar hasta 3 cm. Siguen después areniscas de grano medio. En la parte superior se encuentra un nivel de areniscas conglomeráticas con cantos de cuarzo y areniscas blancas de grano medio y grueso (Alvarado y Sarmiento, 1944).

La Formación Picacho es discordante sobre la Formación Socha Superior e infrayace también en discordancia a la Formación Concentración. Por su posición estratigráfica su edad correspondería probablemente al Eoceno inferior. (Van Der Hammen 1958) la correlaciona con la Formación La Paz del Valle Medio del Magdalena y la Formación Mirador del Catatumbo.

3.3 GEOLOGIA LOCAL

La zona de estudio se ubica entre el este de la Falla Soapaga (inferida) y el flanco Oeste del anticlinal de Crucero, formando parte de la Cordillera Oriental a la altura de la población de Sogamoso (Boyacá) y parte nororiental de la cuenca Cordillera Oriental (Figura 10).

La Formación Picacho aflorante en el bloque yacente de la Falla de Soapaga, es una unidad sedimentaria de edad Eoceno (DePorta, 1974); Eoceno temprano 49-55 m.a. (Bayona et al. 2012). Estudios realizados (Alvarado & Sarmiento, 1944), detallan en la localidad de Paz de Río, Boyacá, que la Formación Picacho consta hacia la parte inferior de arenisca conglomerática con cantos que pueden alcanzar hasta 3 cm; siguiendo después areniscas de grano medio, y finalmente en la parte superior se encuentra un nivel de areniscas conglomeráticas con cantos de cuarzo y areniscas blancas de grano medio y grueso. A diferencia de (Ulloa et al, 2001),

detalla la unidad al sur de Sogamoso, Boyacá donde describe hacia la base areniscas de grano grueso con lentes de conglomerados e intercalaciones de lodolitas, seguidos de lodolitas amarillentas y en el tope areniscas de grano grueso.

Fotos de la Formación Picacho en el área de estudio.

Fotografía 1. Contactos Formación Concentración (Izquierda), Formación Picacho (centro), Formación Socha superior (derecha).



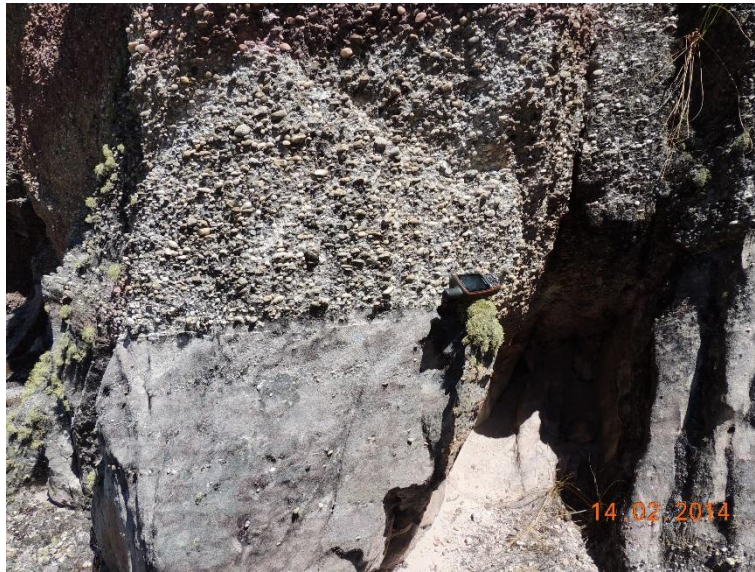
Fotografía 2. Nivel de gravas pertenecientes a la formación Picacho y localizadas al SW de la zona de estudio, en el municipio de Pesca. Quebrada Honda Grande



Fotografía 3. Roca impregnada de Hidrocarburos, perteneciente a la Formación Picacho. Actualmente ubicada en la cabecera del municipio de paz de rio (parte alta). Cerro el Uvo



Fotografía 4. Formación Picacho en el municipio de Pesca; se observa el contacto de una capa de arenisca de grano medio a grueso con otra de gravas que alcanzan tamaños por encima de 20 mm. La presencia de las gravas obedece a la localización del afloramiento dentro de la zona de facies proximal de la cuenca.



4. METODOLOGIA.

4.1 RECOLECCION DE MUESTRAS DE CAMPO.

La toma de muestras se realizó a lo largo de 3 salidas de campo de 12 días de duración cada una en las cuales se recorrió la Formación Picacho entre el este de la Falla Soapaga (inferida) y el flanco Oeste del anticlinal de Crucero desde el Municipio de Pesca hasta el Municipio de Paz De Rio, formando parte de la Cordillera Oriental a la altura de la población de Sogamoso (Boyacá) y parte nororiental de la cuenca Cordillera Oriental.

La recolección de muestras se hizo en dos fases: 1) Selección de muestras para el estudio de distribución Granulométrica a partir de un tamizaje y análisis estadístico (Boggs, 1987) y 2) recolección de muestras para el estudio de procedencia mediante microscopia óptica.

La recolección de muestras se llevó a cabo en los afloramientos presentes en la zona; estas se encontraban poco cementadas y se disgregaban fácilmente lo cual era ideal para el análisis granulométrico, estas muestras de roca muy poco cementada eran pesadas hasta obtener más de un kilo de muestra y almacenada en bolsas previamente marcadas para cada muestra. Por otra parte la poca cementación de las muestras dificultó la recolección de estas para análisis de sección delgada; para ellos se hizo una selección muy estricta de muestras que se presentaran consolidadas o en su defecto con un mayor grado de impregnación de Hidrocarburos que permitía que la muestra no se disgregara fácilmente.

Para la toma de muestras se realizó un análisis completo de los afloramientos identificando base y techo y observando las principales características para proceder a la toma de muestras en los estratos más representativos en cada

sección. Para cada estación se tomó un promedio de 3 a 4 muestras donde se representara a la Formación Picacho; de tal manera que se abarcaran los cambios en la lateral como en la vertical y lograr análisis más exactos.

En total se obtuvieron 88 muestras para análisis granulométrico y 22 muestras para análisis petrográfico.

Fotografía 5. Panorámica afloramiento Municipio de Pesca con niveles de gravas muy potentes, intercalados con niveles de areniscas medias.



Fotografía 6. Capas tabulares de la Formación Picacho, donde se observa laminación cruzada dentro de capas potentes de arenisca. Los ángulos de inclinación de la estratificación varían entre 35° y 45°. Este afloramiento se presenta sobre la vía que conduce de Corrales a Paz de Rio a la altura del sitio conocido como “peña blanca”.



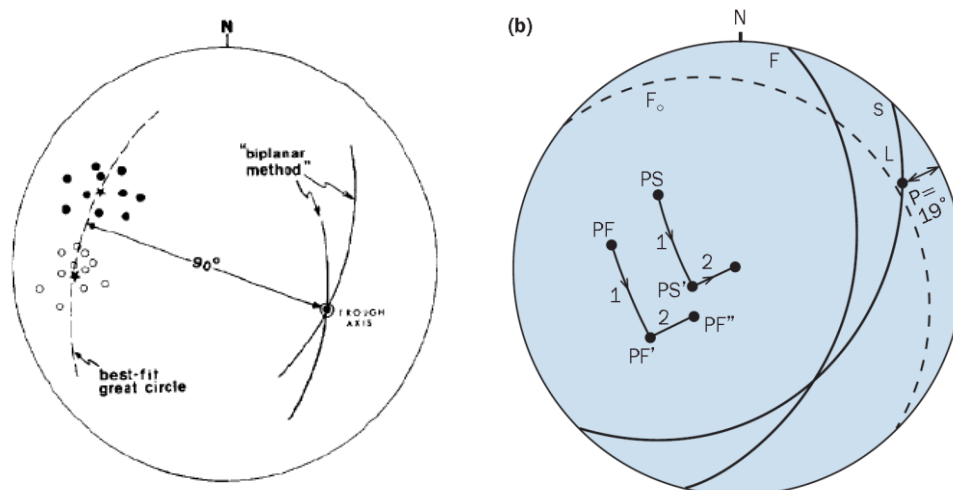
Figura 13. Mapa de estaciones de la Formación Picacho. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)



4.2 MEDICION DE PALEOCORRIENTES.

En este trabajo se siguió el método para medición de estratificación cruzada (Dorrick A.V Stow 2010) y el método para medición de flancos de artesa de estratificación cruzada en artesa (Decelles et al., 1983) y. Se realizaron aproximadamente 700 mediciones de paleocorrientes en la Formación Picacho entre el este de la Falla Soapaga (inferida) y el flanco oeste del anticlinal de Crucero, formando parte de la Cordillera Oriental a la altura de la población de Sogamoso (Boyacá) y parte nororiental de la cuenca cordillera oriental. Igualmente se incluyen algunas mediciones de imbricación de clastos como datos de paleocorrientes pero en su mayoría son datos de estratificación inclinada paralela. El análisis de las paleocorrientes se llevó a cabo mediante el software de SterenoNet, en el cual se introducían todos los datos estructurales de las paleocorrientes tomadas realizando una serie de correcciones por la inclinación presente en los estratos de la Formación Picacho.

Figura 14. Calculo de paleocorrientes para laminación cruzada y laminación cruzada en artesa. Tomado de a) Decelles et al, 1983; b) Dorrick 2010.

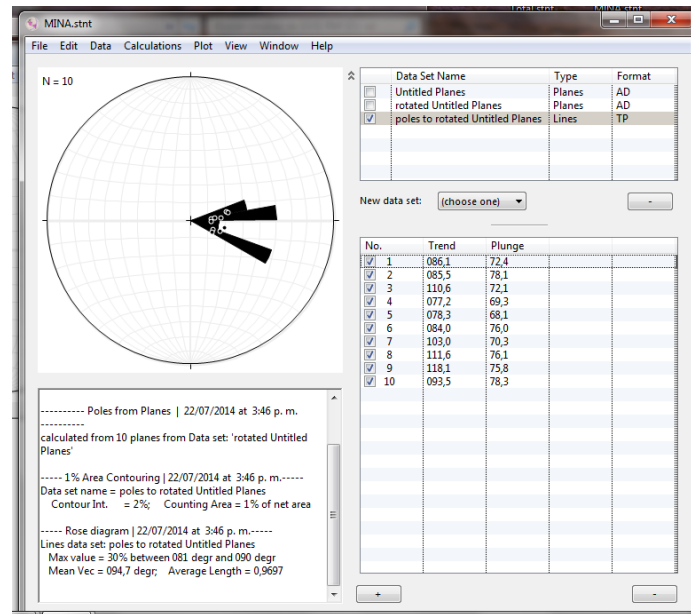


En la figura 14 se muestra A) Gráfica que muestra la toma de medidas para laminación cruzada en artesa donde se toman los datos de los dos limbos de la

artesa (círculos negros y blancos), el punto donde se interceptan los dos círculos mayores de esos conjuntos de datos da la dirección del eje de la artesa. B) Ejemplo de la reorientación para la toma de laminación cruzada. Datos de campo ploteados en la figura. Con los datos de estratificación, laminación, y el pitch. En los cuales se hace con el valor del pitch una reorientación de los datos, y se procede a corregir el error por la inclinación del estrato para así obtener la dirección de la paleocorriente.

Los datos tomados en campo se introducen en el software SterenoNet y de esta manera se muestran los resultados para la dirección de paleocorrientes.

Figura 15. Calculo de paleocorrientes en el programa SterenoNet.



Fotografía 7. (Izquierda) Detalle de la presencia de clastos imbricados junto con laminación cruzada, indicadores de paleocorrientes. Imagen tomada a las afueras del municipio de Sogamoso cerca al batallón Tarqui. (Derecha) Detalle de laminación cruzada en artesa.

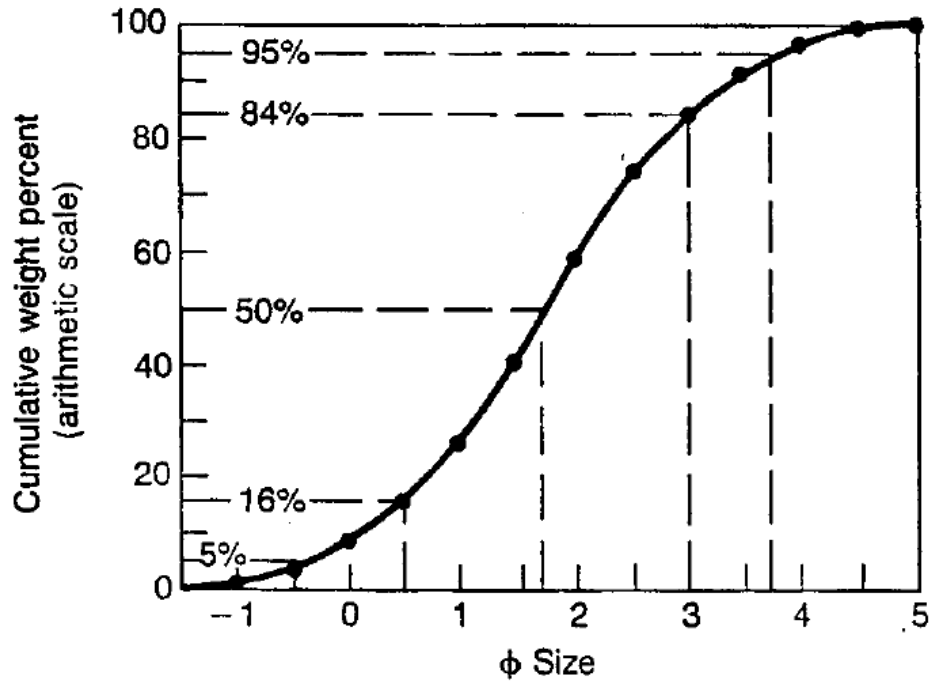


4.3 TAMIZADO DE MUESTRAS CUARZO-ARENITAS.

Las muestras fueron llevadas a los laboratorios de ConstruSuelos de Colombia S.A.S. Se utilizaron los tamices No $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{4}$, 4, 10, 40, 100, 200 en orden descendente de diámetro de malla y se pesó la cantidad retenida de muestra en cada tamiz. Para los tamices que van desde el tamiz No $\frac{3}{4}$, hasta el tamiz No 10 se separaban los granos retenidos en dichos tamices para un posterior análisis de las características texturales de los granos. Finalmente se determinaba el porcentaje retenido en cada tamiz y se lleva a una tabla para su análisis estadístico.

Los análisis estadísticos realizados a las respectivas muestras tamizadas corresponden al cálculo de la moda, promedio, y los percentiles 5, 16, 50, 84, 95. Los percentiles son calculados a partir de la curva de porcentaje de peso acumulado para cada tamiz por el diámetro de cada tamiz como se muestra en la figura 16.

Figura 16. Grafica de Porcentaje de peso acumulado vs tamaño de malla de tamiz. Tomado de Boggs, 1987



A partir de los datos anteriores se calculan la desviación estándar, la mediana, Skewnees, Kurtosis como se muestra en la siguiente figura.

Figura 17. Fórmulas para calcular distintos valores estadísticos para análisis granulométrico. Tomado de Boggs, 1987

Graphic mean	$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$	(1)
Inclusive graphic standard deviation	$\sigma_I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$	(2)
Inclusive graphic skewness	$SK_I = \frac{(\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{(\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$	(3)
Graphic kurtosis	$K_G = \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$	(4)

Con los valores de Skewness y la desviación estándar se lleva a cabo el análisis del tipo de arena presente en nuestros sedimentos, si son arenas de playa o arenas de río.

Con los valores de la mediana y la moda se determinan los tamaños de grano para cada tamiz y de esta manera ser representados en un mapa para determinar cómo es la distribución granulométrica de la Formación Picacho en el área de estudio.

4.4 PETROGRAFIA DE CUARZO-ARENITAS.

Las muestras recogidas de campo fueron enviadas al Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) para su preparación utilizando la metodología establecida en el manual de Procedimientos Técnicos del Laboratorio de Procedimientos de Muestras Geológicas.

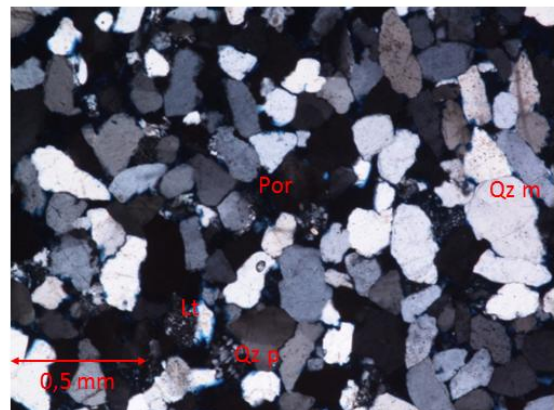
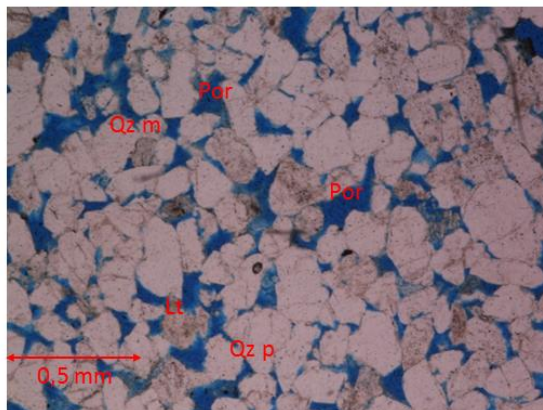
Para la elaboración de las muestras se lleva a cabo la impregnación con resina epóxica azul la cual facilita la determinación de la porosidad. De igual manera las secciones delgadas son sometidas a procesos químicos de tinción con Cobalto Nitrito de Potasio para diferenciar entre feldespatos alcalinos y posteriormente con rojo de alizarina para diferenciar entre carbonatos (Calcita y Dolomita) de acuerdo al contenido de Hierro.

La caracterización textural y composicional de las muestras se realiza mediante Técnicas de Petrografía convencional (Microscopía óptica de luz transmitida polarizada). Este estudio petrográfico se realizó usando un microscopio Petrográfico de Luz transmitida polarizada marca Nikon Eclipse E200 en el laboratorio de Óptica de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

Las secciones fueron analizadas mediante el método de conteo de puntos (± 300) para su clasificación composicional. Se llevó a cabo el conteo en 22 muestras como secciones delgadas.

Para el estudio de Proveniencia se tienen en cuenta principalmente las tipologías de Cuarzo, diferenciando entre Cuarzo monocristalino y cuarzo policristalino. También se tienen en cuenta la presencia de Líticos, Feldespatos y Plagioclasas estos últimos prácticamente no presentes en las muestras analizadas.

Fotografía 8. Muestras de sección delgada donde se observan las características texturales y composicionales de la Formación Picacho en el área de estudio. Muestra MEU-02-SD



5. PRESENTACION DE RESULTADOS.

5.1 DISTRIBUCIÓN DE PALEOCORRIENTES.

En las estaciones realizadas se puede apreciar las direcciones de las paleocorrientes medidas en el área de estudio, las cuales llevan un tren principal en dirección NE. (Figura 14 y 15). En el mapa de paleocorrientes (Figura 15) se pueden apreciar otras direcciones orientadas principalmente al E y NE. Estos cambios en la dirección de corriente se pueden atribuir al sistema de flujo de ríos anastomosados-trenzados como ambiente deposicional de la Formación Picacho (Saylor, 2011).

Lo anterior puede indicar una fuente de sedimento que puede venir del SW o del W de la posición actual de la Formación Picacho en el bloque yacente de la Falla de Soapaga.

Figura 18. Diagrama de rosetas dirección general del flujo de paleocorrientes de la Formación Picacho.

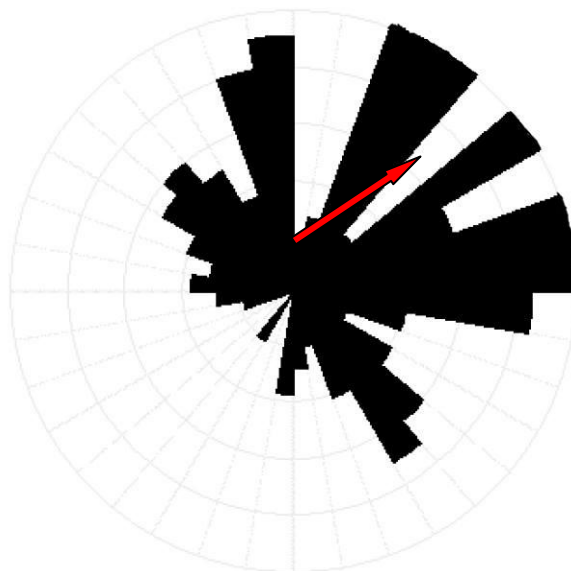


Figura 19. Distribución de paleocorrientes de la Formación Picacho en el Bloque Yacente de la Falla Soapaga, Boyacá. (Tomado de Ulloa, et., al, 1978)



5.2 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA GRAVAS DE LA FORMACIÓN PICACHO.

El modelo de distribución granulométrica plantea que los tamaños de grano tienen una distribución de mayor a menor tamaño en dirección NE, con los mayores tamaños de grano en la cercanía del Municipio de Pesca, con gravas tamaño guijas superiores a 19 mm; y con los menores tamaños de grano en las cercanías del Municipio Paz del río con muestras que presentan un porcentaje muy alto de granos tamaño arena fina y arena muy fina. (Figura 13)

En las figuras (16 a la 25) podemos observar la distribución granulométrica por porcentaje acumulado para cada tamiz. Utilizando el mapa para el tamiz No $\frac{3}{4}$ (Figura 16) se observa que la presencia de gravas retenidas para ese tamiz solo están presentes hacia el SW del área de estudio; de igual forma analizando los datos ploteados en el mapa para el tamiz No 100 (Figura 23) se observa que hacia la parte NE del área de estudio se encuentra el menor porcentaje acumulado para dicho tamiz, lo que representa que el mayor porcentaje para esas muestras está concentrado en tamices con diámetro inferior al tamiz No 100.

Con base en lo anterior se puede inferir que las Facies proximales en cuanto al tamaño de grano estarían localizadas hacia el SW del área de estudio y las Facies más distales hacia el NE del área de estudio.

Figura 20. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz 3/4. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)

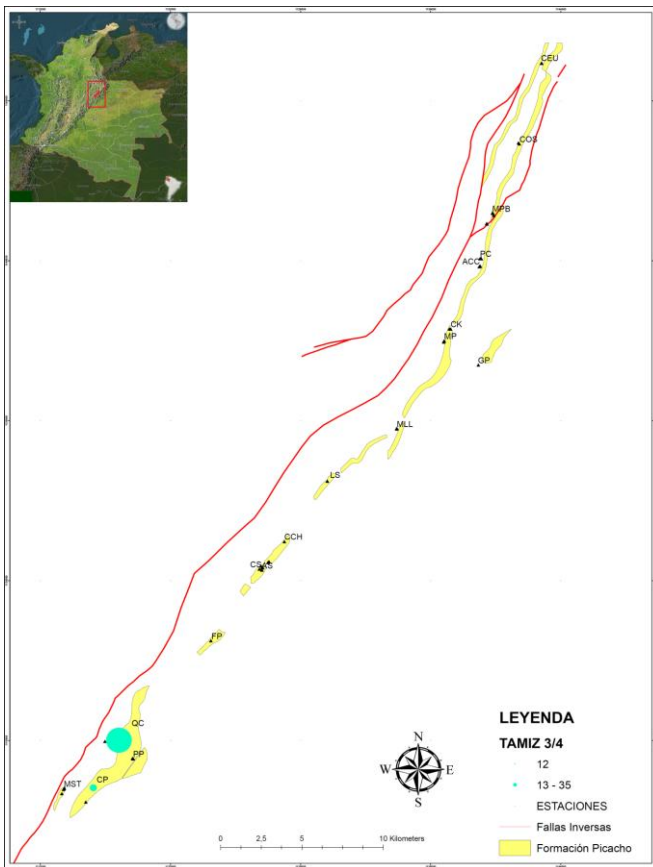


Figura 21. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz 1/2. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)

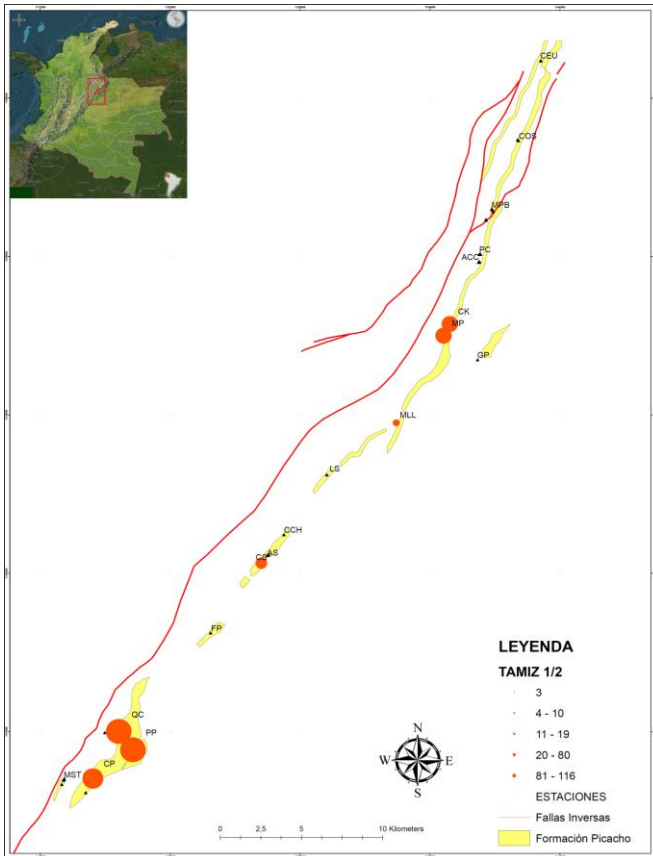


Figura 22. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz 3/8. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)

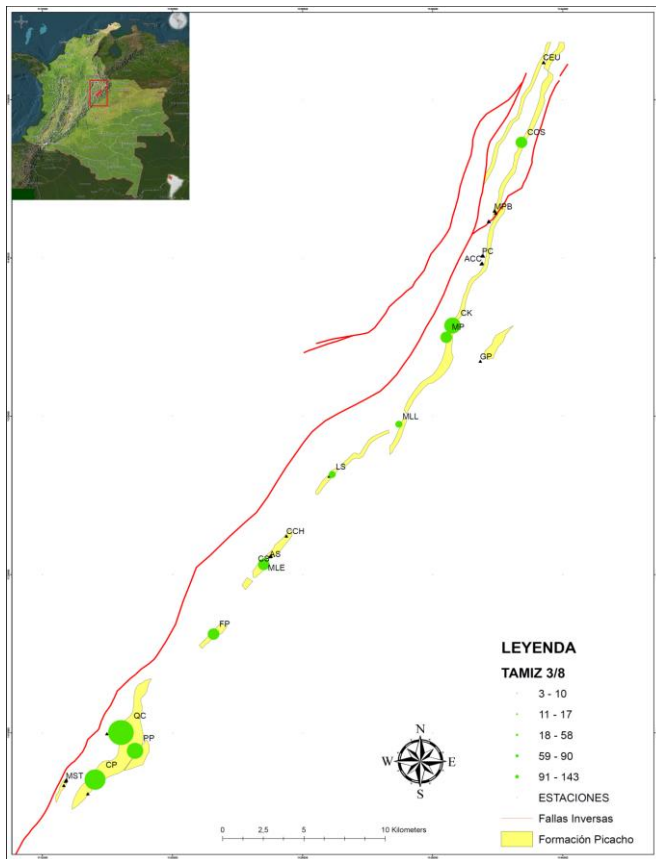


Figura 23. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz 1/4. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)

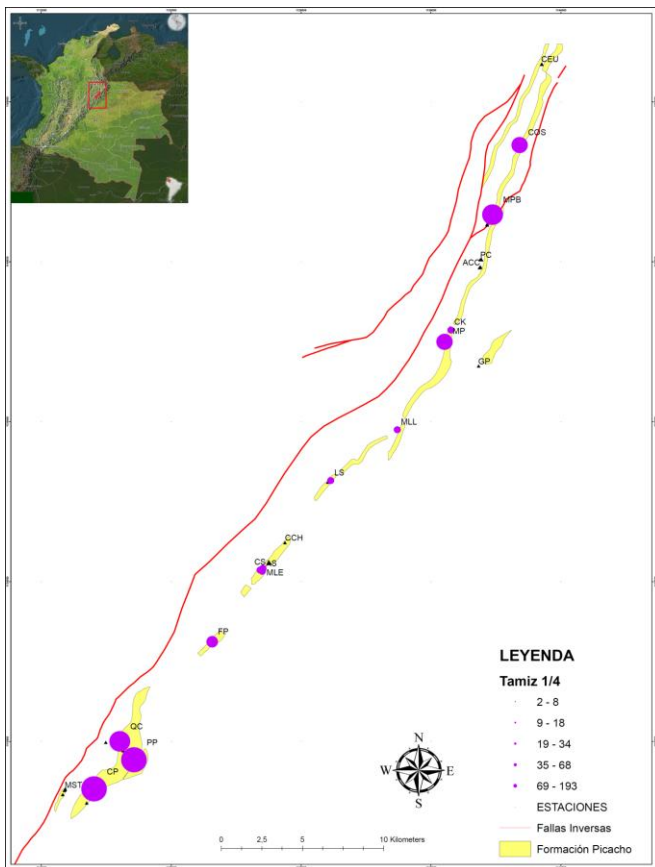


Figura 24. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz #4. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)

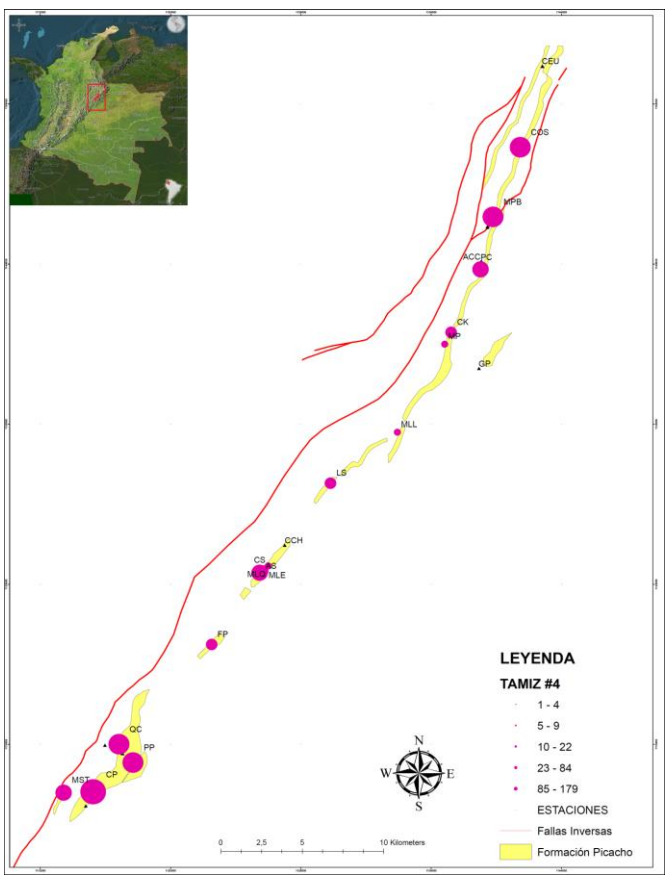


Figura 25. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz 10. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)

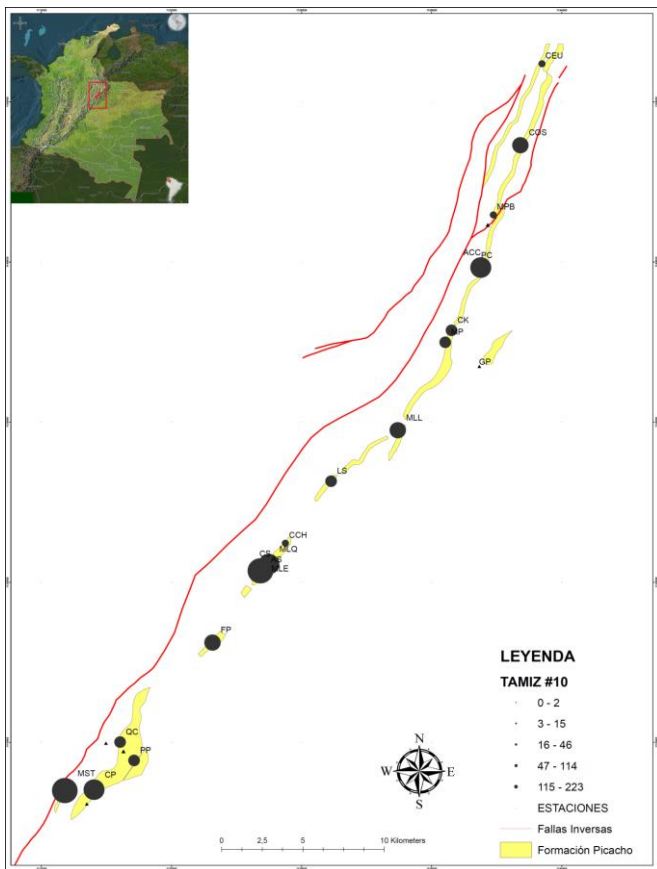


Figura 26. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz #40. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)

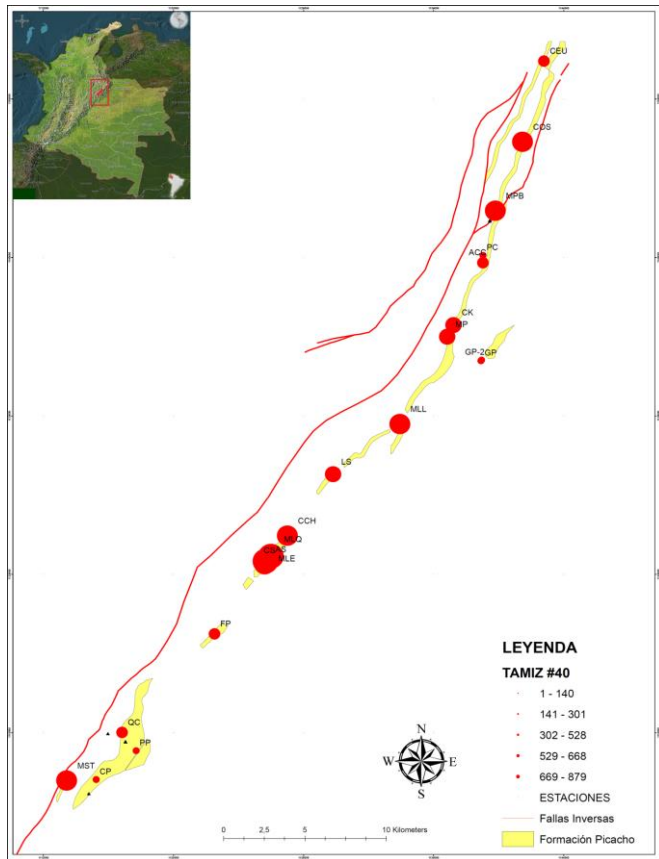


Figura 27. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz 100. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)

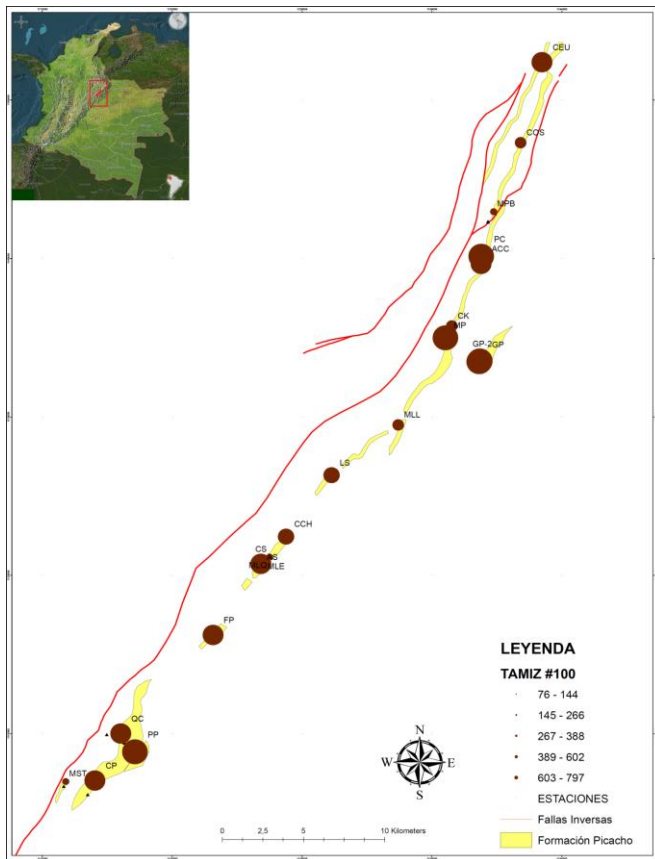


Figura 28. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz #200. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)

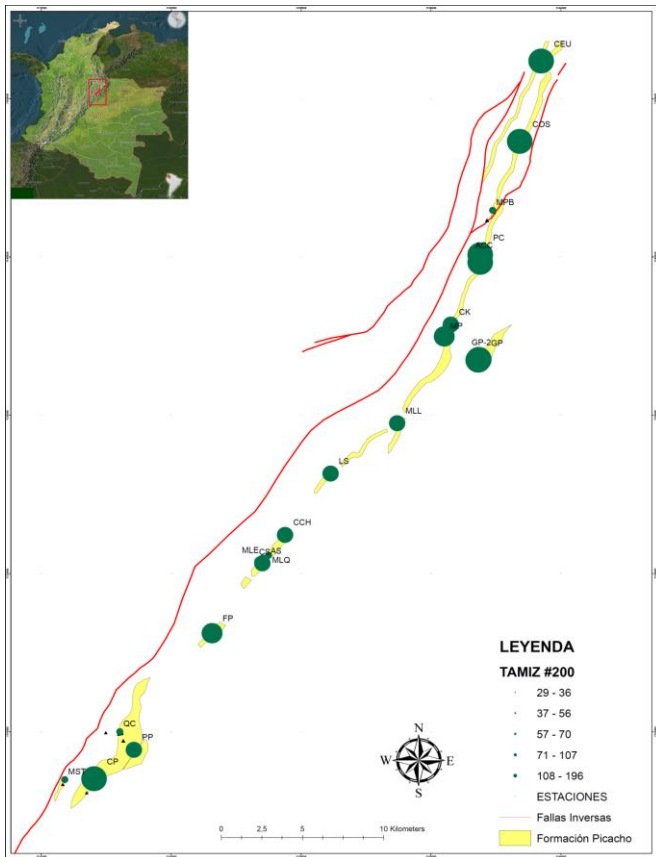


Figura 29. Distribución Granulométrica de Gravas y Arenas en la Formación Picacho para el tamiz +200. (Modificado de Ulloa, et., al, 1978)

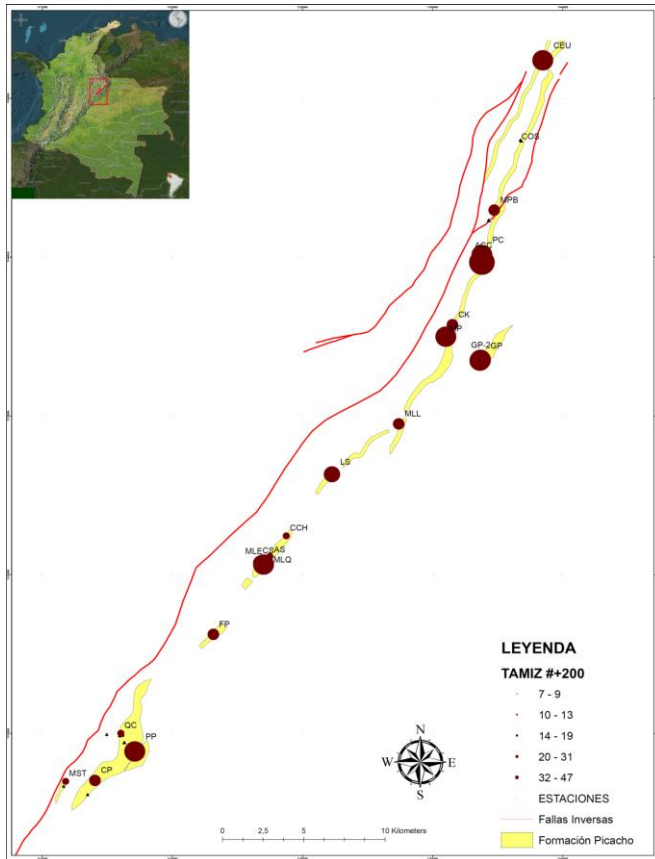
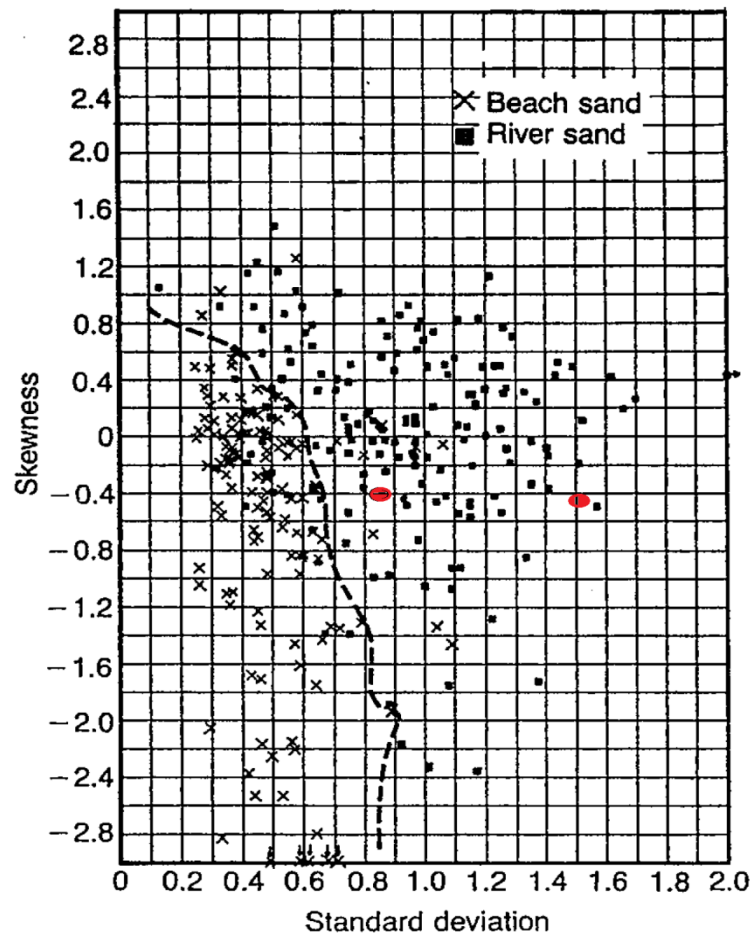
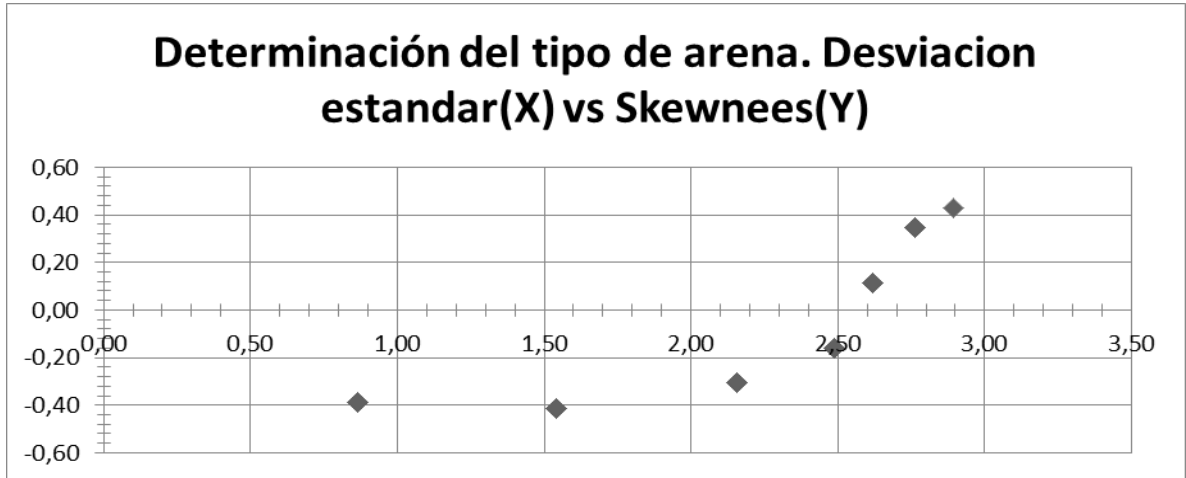


Figura 30. Distribución Granulométrica para determinar el tipo de arena. A) resultados obtenidos a partir de las muestras estudiadas. B) Diagrama de Boggs, 1987 para clasificar arenas de playa y arenas de ríos.

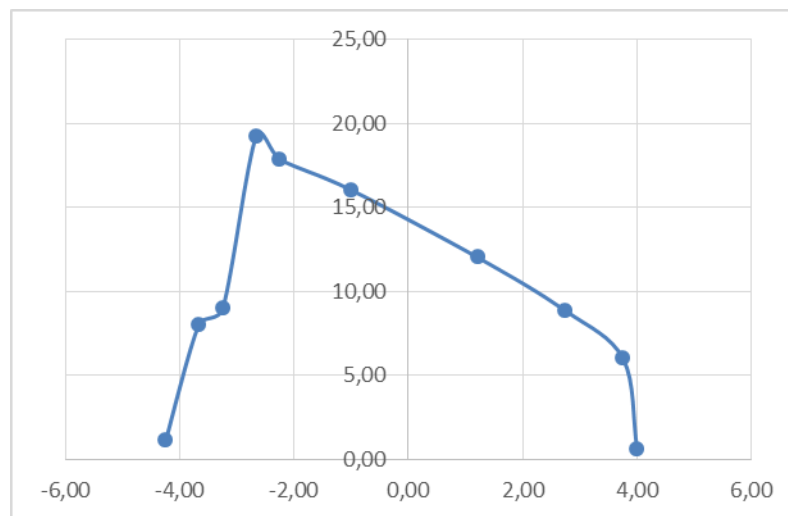


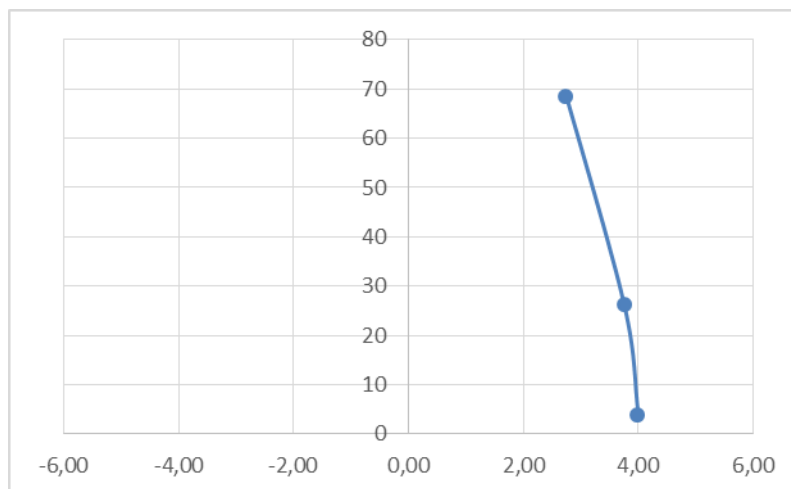
En la (figura 30) se presentan los datos de simetría y desviación estándar de las arenas analizadas mediante los cuales se determinó que tipo de arena formaba los sedimentos de la Formación Picacho.

A partir de los datos obtenidos se observa que las arenas presentes provienen de ambientes netamente fluviales. Los datos derivados coinciden con la información suministrada a partir de los anexos (Tabla excell, datos estadísticos muestras tamizadas) presentes en el trabajo. En la (figura 30) se relaciona el tamaño de los granos con la simetría de los mismos, asignándole una serie de valores y rangos que separan las arenas de playa con las arenas de ríos (marcado en la figura 26 con línea punteada). Los valores en rojo representan los valores aproximados de las muestras estudiadas localizadas en la zona de arenas de ríos.

Estos datos se obtuvieron a partir del cálculo de percentiles para obtener los valores de Skewness y Desviación Estándar mostrados en el anexo “Datos estadísticos muestras tamizadas”.

Figura 31. Distribución de tamaño de grano para dos muestra, Diámetro de tamiz vs porcentaje retenido. (Arriba) Muestra con mayor tamaño de grano. (Abajo) Muestra con menor tamaño de grano.



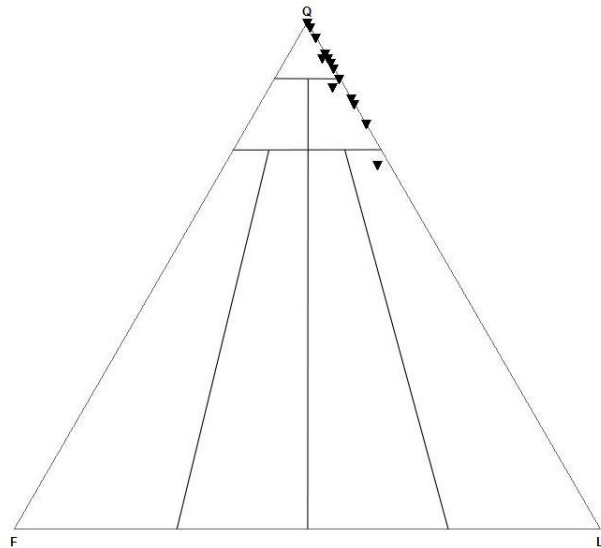


En la figura 31 se presentan las gráficas que muestran el porcentaje en peso retenido en cada tamiz para dos muestras específicas, se puede observar el comportamiento para la muestra de mayor tamaño de grano (arriba) tomada en el Municipio de Pesca correspondiente a la muestra CP-03-g, la cual presente una repartición más homogénea entre los distintos tamices con los mayores porcentajes de peso retenido en los tamices de mayor tamaño, mientras que las muestras con tamaños de grano más fino (abajo) presentan una tendencia prácticamente decreciente formando una línea en la que se encuentra a mayor parte de su peso situado en un solo tamiz la cual corresponde a la muestra GP-02-g que se encuentra ubicada hacia la zona del municipio de Paz De Rio. Este estudio se realizó para todas las muestras obteniendo los mayores tamaños de grano hacia el Municipio de Pesca y las muestras con tamaño de grano más fino hacia el Municipio de Paz De Rio.

5.3 PETROGRAFÍA DE ARENITAS DE LA FORMACIÓN PICACHO.

Basándose en el diagrama triangular QFR de Folk se estableció el tipo de roca. Las muestras analizadas son en su mayoría sublitoarenitas, con altos porcentajes de cuarzo, superior al 80% y como accesorio secundario fragmentos Líticos en su mayoría metamórficos, destacándose la no presencia de feldespatos.

Figura 32. Diagrama triangular de Folk, clasificación composicional para las muestras analizadas bajo microscopía óptica.



En la figura 32 se observa que la mayoría de muestras analizadas estas en el rango de concentraciones de cuarzo superior al 80%, con algunas muestras por encima del 95% clasificándose como cuarzo arenitas y una muestra con concentraciones por debajo del 75% y con mayor presencia de líticos clasificándose como una roca litoarenita, la cual corresponde a la muestra VC-2 recolectada en el Municipio de Pesca.

En conclusión general se clasifican las rocas como sublitoarenitas por ser las de mayor proporción en toda la zona de estudio con algunas variaciones a cuarzo arenitas presentes principalmente en las Facies distales y la presencia de una roca litoarenita en las Facies proximales. De esto se puede deducir el efecto del transporte en los fragmentos líticos los cuales al ser los componentes más inestables de las areniscas son erosionados más fácilmente durante el proceso de transporte.

En las Tablas 2 y 3 se presentan los análisis texturales y composicionales detallados para cada muestra analizada.

La descripción de las secciones delgadas se suministra a continuación a partir de fotos de las mismas con su respectiva descripción. En los anexos se presentan datos completos del análisis textural y composicional de cada muestra.

PETROFACIES

Sección Picacho.

Petrofacies 1.

Esta localidad presenta areniscas de arena fina a media, de mal a moderadamente calibradas. Los granos que predominan presentan en su mayoría formas subredondeadas y en algunas zonas principalmente subangulares. Está compuesta principalmente por minerales de cuarzo; el cual se encuentra en mayor proporción como cuarzo monocristalino, aunque también está presente en forma de cuarzo policristalino. El cuarzo monocristalino presenta en su mayoría extinción recta, y en menos proporción extinción ondulante, lo que habla de procesos deformativos. De igual forma resalta el gran fracturamiento que se puede observar en los minerales de cuarzo, indicio de influencia tectónica posiblemente debido a la actividad de la Falla de Soapaga. Los fragmentos líticos desenvuelven un papel importante al ser superados en proporción solo por el cuarzo. Principalmente tenemos fragmentos metamórficos, seguidos de fragmentos sedimentarios y plutónicos. EL contacto entre granos varía entre puntual, cóncavo y suturado. Destaca la ausencia de feldespatos potásicos y plagioclasas, indicador de haber sufrido un gran transporte. Las muestras se encuentran bastante sucias por impregnación de petróleo lo cual le da unas tonalidades marrones a las secciones.

Petrofacies 2.

Petrofacies caracterizada por la presencia principalmente de arena muy fina bien calibrada. Los granos tienen formas subredondeadas con contactos cóncavos entre ellos. El principal cemento sigue siendo la caolinita. Presenta idiomorfismo subherdral.

Parámetros para los diagrama

Tabla 2. Análisis composicional de las muestras en sección delgada.

Seccion	Total Puntos	Armazon							Composicion Modal Normalizada																
		Armazon	Cm	Mx	Poro	Oil	Cm+Mx+Poros	Qm	Ch	Qp	Fpl	Fk	Fi	Lm	Ls	Lp	Lv	Li	Ca	Minerales traza	Total Qz+F+L	Qz Recal	F Recal	L Recal	L+Qp Recal
MEU-01-SD	288	207	7	6	68	0	81	162	0	42	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	207	98,55	0,00	1,45	21,74
MEU-02-SD	291	213	13	0	65	0	78	145	0	50	0	0	2	0	0	0	0	12	0	4	209	93,30	0,96	5,74	29,67
PC-02-SD	303	228	12	9	54	16	75	116	11	53	0	0	5	0	0	0	0	20	0	7	205	82,44	2,44	9,76	35,61
PC-03-SD	288	203	13	10	62	7	85	136	0	26	0	0	0	0	0	0	0	16	0	18	178	91,01	0,00	8,99	23,60
CCH-03-SD	289	211	5	0	73	0	78	177	0	13	0	0	0	0	0	0	0	19	0	2	209	90,91	0,00	9,09	15,31
COS-09-SD	288	197	6	24	61	0	91	163	0	18	0	0	0	0	0	0	0	11	0	5	192	94,27	0,00	5,73	15,10
COS-07-SD	289	199	8	21	61	0	90	127	0	33	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	199	80,40	0,00	19,60	36,18
CCH-02-SD	288	160	23	36	69	0	128	117	0	18	0	0	0	0	0	0	0	16	0	9	151	89,40	0,00	10,60	22,52
COS-05-SD	289	211	16	0	62	0	78	186	0	18	0	0	0	0	0	0	0	6	0	1	210	97,14	0,00	2,86	11,43
PC-01-SD	288	184	8	12	84	0	104	141	0	29	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	184	92,39	0,00	7,61	23,37
MINA	290	240	11	0	39	0	50	158	0	47	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	240	85,42	0,00	14,58	34,17
COS-06-SD	288	238	4	11	35	0	50	173	0	45	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	238	91,60	0,00	8,40	27,31
CEU-06-SD	288	202	5	7	74	0	86	181	0	9	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	202	94,06	0,00	5,94	10,40
ACC-01-SD	288	212	12	45	19	0	76	147	0	31	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	212	83,96	0,00	16,04	30,66
MST-01-01-SD	288	203	3	7	75	0	85	170	0	17	0	0	0	0	0	0	0	13	0	3	200	93,50	0,00	6,50	15,00
MEM-03-SD	282	213	16	15	38	10	69	168	0	16	0	0	0	0	0	0	0	18	0	1	202	91,09	0,00	8,91	16,83
VC-2	289	174	10	34	71	0	115	112	0	12	4	0	0	0	0	0	0	44	0	2	172	72,09	2,33	25,58	32,56
VC-1	291	236	10	28	17	2	55	179	0	23	0	0	0	0	0	0	0	25	0	7	227	88,99	0,00	11,01	21,15
CEU-07-SD	288	170	8	36	39	0	83	163	0	21	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	194	94,85	0,00	5,15	15,98
MST-03-01-SD	288	211	10	34	33	0	77	148	0	20	0	0	0	0	0	0	0	41	0	2	209	80,38	0,00	19,62	29,19
CEU-05-SD	288	175	10	34	69	0	113	165	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	175	97,14	0,00	2,86	5,71
COS-02-SD	297	164	10	42	81	0	133	155	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	164	100,00	0,00	0,00	5,49

Tabla 3. Análisis textural de las muestras en sección delgada.

Seccion	Rasgos Texturales								
	Tamaño de grano		Calibrado	Esfericidad	Redondez	Porosidad(%) ?	Contactos	Cemento	Idiomorfismo
MEU-01-SD	0,33 mm	Arena Media	Moderado	Esférica	Subredondeada	23,61	Puntual>Longitudinal	Caolinita>Silice	Subhedral
MEU-02-SD	0,41 mm	Arena Media	Moderado	Esférica	Subredondeada	22,34	Longitudinal>convexo	Caolinita>Silice	Subhedral
PC-02-SD	0,22 mm	Arena Fina	Moderado	Esférica	Subredondeada	17,82	Concavo>Suturado	Caolinita	Subhedral
PC-03-SD	0,15 mm	Arena Fina	Moderado	Esférica	Subangular	21,35	Puntual>Longitudinal	Caolinita	Subhedral
CCH-03-SD	0,19 mm	Arena Fina	Moderado	Esférica	Subredondeada	25,26	Puntual>Longitudinal	Caolinita	Subhedral
COS-09-SD	0,20 mm	Arena Fina	Moderado	Esférica	Subredondeada	21,18	Concavo>Suturado	Caolinita	Subhedral
COS-07-SD	0,16 mm	Arena Fina	Bueno	Esférica	Subredondeada	21,11	Concavo	Caolinita	Subhedral
CCH-02-SD	0,16 mm	Arena Fina	Moderado	Esférica	Subredondeada	23,96	Concavo>Suturado	Caolinita	Subhedral
COS-05-SD	0,44 mm	Arena Media	Moderado	Esférica	Subredondeada	21,45	Concavo	Caolinita	Subhedral
PC-01-SD	0,36 mm	Arena Media	Moderado	Esférica	Subredondeada	29,17	Concavo	Caolinita	Subhedral
MINA	0,24 mm	Arena Fina	Malo	Esférica	Subredondeada	13,45	Concavo>Suturado	Caolinita	Subhedral
COS-06-SD	0,81 mm	Arena Gruesa	Moderado	Esférica	Subangular	12,15	Concavo	Caolinita	Subhedral
CEU-06-SD	0,33 mm	Arena Media	Moderado	Esférica	Subredondeada	25,69	Concavo	Caolinita	Subhedral
ACC-01-SD	0,22 mm	Arena Fina	Malo	Esférica	Subangular	6,60	Concavo>Suturado	Caolinita>Silice	Subhedral
MST-01-01-SD	0,43 mm	Arena Media	Malo	Esférica	Subredondeada	26,04	Puntual>Longitudinal	Caolinita	Subhedral
MEM-03-SD	0,43 mm	Arena Media	Malo	Esférica	Subangular	13,48	Concavo>Suturado	Caolinita	Subhedral
VC-2	0,13 mm	Arena Fina	Bueno	Esférica	Subredondeada	24,57	Concavo>Suturado	Caolinita	Subhedral
VC-1	0,17 mm	Arena Fina	Bueno	Esférica	Subredondeada	5,84	Concavo	Caolinita	Subhedral
CEU-07-SD	0,06 mm	Arena muy Fina	Malo	Esférica	Subredondeada		Concavo	Caolinita	Subhedral
MST-03-01-SD	0,22 mm	Arena Fina	Malo	Esférica	Subredondeada	11,46	Concavo>Suturado	Caolinita	Subhedral
CEU-05-SD	0,39 mm	Arena Media	Malo	Esférica	Subredondeada	23,96	Concavo>Suturado	Caolinita	Subhedral
COS-02-SD	0,38 mm	Arena Media	Malo	Esférica	Subredondeada	27,27	Concavo>Suturado	Caolinita	Subhedral

5.4 AMBIENTE TECTÓNICO DE ÁREA FUENTE.

Para determinar el tipo de ambiente tectónico asociado a la zona de procedencia de los sedimentos se utilizaron los diagramas triangulares QFL de Dickinson.

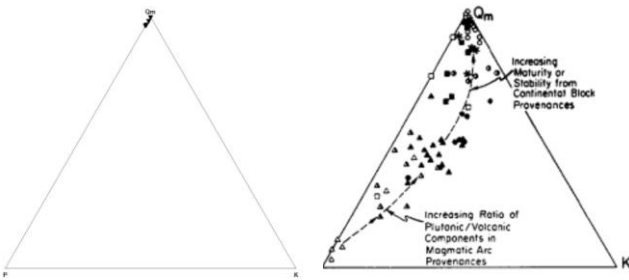
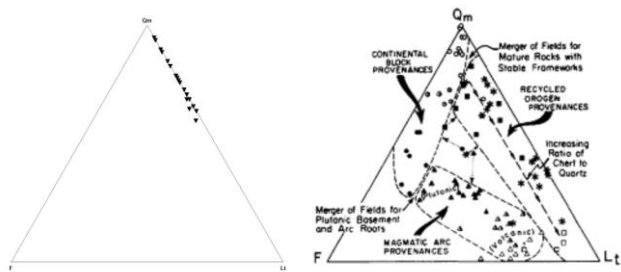
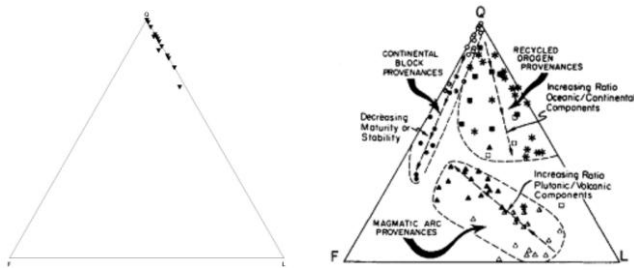
A partir del análisis petrográfico de las muestras se clasificaron como rocas Areniscas (sublitoarenitas) ricas en Qt y Lt con concentraciones casi nulas de F y Lv y relaciones variables de Qm/Qp como se puede observar en los anexos incluidos en este trabajo.

La no presencia de Feldespatos es evidencia de haber sufrido un transporte muy largo lo cual erosiono completamente estos minerales; permaneciendo así los granos de cuarzos, los cuales son más resistentes a estos procesos erosivos.

Al ser principalmente sublitoarenitas sugiere que se han depositado en cuencas asociadas a complejos de subducción, cinturones de pliegues y cabalgaduras, aunque estos están más relacionados con la presencia de cuarzo policristalinos y líticos de origen sedimentario, lo cual se contradice con la alta presencia de líticos metamórficos.

Ubicando los porcentajes de cada uno de los granos presentes en las secciones delgadas en el diagrama QFL nos situamos en la zona de orógenos reciclados entre colisión de orógenos y levantamiento de cuencas Foreland. Ubicando los puntos en el diagrama QmFLt nos volvemos a ubicar en la zona de orógenos reciclados más precisamente en la zona de levantamiento de cuencas Foreland.

Figura 33. Diagramas triangulares de Dickinson para las muestras analizadas bajo microscopia óptica de la Formación Picacho.



Se presentan los 3 diagramas triangulares de Dickinson (Figura 29) con los datos de las muestras dadas y se establece como proveniencia un orógeno reciclado por levantamiento de una cuenca Foreland. En los diagramas se muestra de forma concreta la tendencia que mantienen los datos, debido a la ausencia de feldespatos se tienen en cuenta solo los porcentajes de cuarzo y líticos presentes para establecer el ambiente tectónico de proveniencia; de ahí que todos los valores se encuentren hacia el límite de la línea de LQ con una pequeña variación en la concentración de feldespatos hacia una muestra presente en las Facies proximales del ambiente de depósito.

Con los datos analizados se llega a la conclusión que el ambiente tectónico de la zona de estudio está relacionado con el levantamiento de cuencas Foreland como se muestra en la Figura 9.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los datos en el presente trabajo así como los resultados arrojados demuestran la relación de las rocas de edad eoceno temprano-medio situadas al noreste de la cordillera oriental; como una sucesión de areniscas cuarzosas pobremente cementadas, que por su composición obedecen a una roca fuente de carácter metamórfico-ígneo y a un origen distal del área de estudio.

Los resultados de la distribución granulométrica de la Formación Picacho en el bloque yacente de la Falla Soapaga indican la acumulación de facies proximales de ríos anastomosados – trenzados de tamaño grueso a medio hacia el sur oeste del área de estudio, caracterizadas por la presencia de guijas de cuarzo muy bien redondeadas y la acumulación de facies distales de tamaño medio a fino hacia el noreste; éstas últimas también con un alto contenido de cuarzo tal como se observa en la figura 34.

La integración del análisis de secciones delgadas junto con las muestras de material no consolidado tamizadas genera una similitud de resultados que corroboran la acumulación de facies distales hacia el noreste del área de estudio y facies proximales hacia el suroeste.

El conjunto de datos correspondiente a las direcciones de paleocorrientes expresadas mediante la determinación de laminaciones en campo arrojan una dirección principal de flujo en sentido NORESTE que indica una fuente de sedimento en sentido SUROESTE.

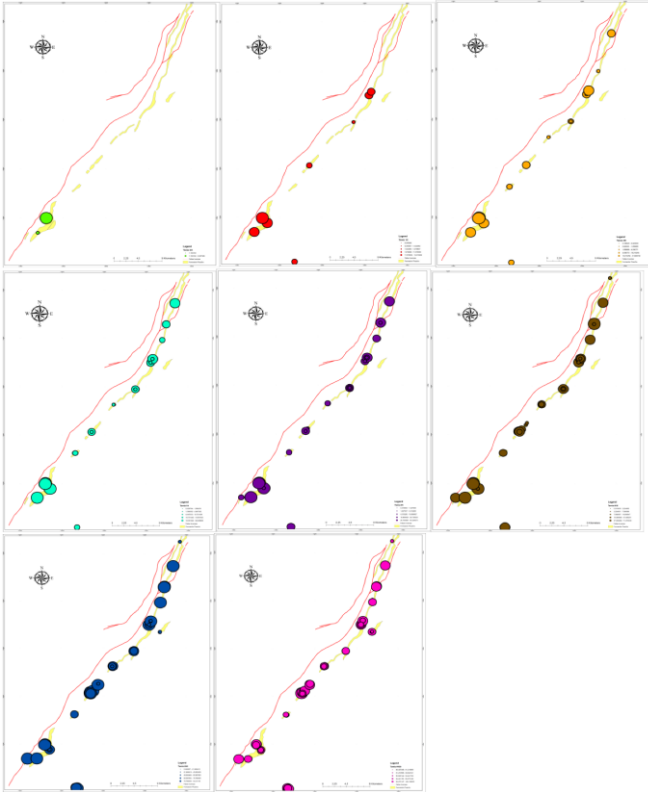
El levantamiento de la cordillera central es entendido como un levantamiento de edad Cretácico Temprano a Eoceno Temprano mediante análisis termocronológicos de huellas de fisión en zircones (Gómez et al., 2003) y en

estudios paleogeográficos (Villamil 1999). A finales de este periodo se da una erosión generalizada en el territorio Colombiano, conocida como la discordancia del Eoceno (Gómez et al., 2005b) y es depositada la Formación Picacho.

Se presume que la fuente de sedimento de la Formación Picacho es la cordillera central debido principalmente a las direcciones de paleocorrientes obtenidas y a la naturaleza composicional de las muestras; ya que la cantidad de fragmentos metamórficos y la gran cantidad de fragmentos de cuarzo sólo pueden derivarse de vetas de cuarzo o rocas metamórficas que para el momento de su depositación se encontraban aflorando en la cordillera central.

La configuración actual del relieve Colombiano sigue presentando rocas del basamento expuestas sobre la cordillera central; además de macizos como los de Santander, Floresta o Garzón que aunque tienen una composición íntimamente relacionada con las rocas estudiadas no concuerda su fuente de sedimento por factores como la dirección de las paleocorrientes o la temporalidad de los eventos (Saylor, 2012).

Figura 34. Distribución espacial de los tamaños de grano de acuerdo a los tamices A)3/4, B)1/2, C)3/4, D)1/4, E)4, F) 10, G) 40, H) 100, I) 200, J) +200 por peso acumulado.



7. CONCLUSIONES

- 1 El análisis de datos de laminación obtenidos en campo nos permite concluir una dirección principal de paleocorriente en sentido noreste (NE) y una subsecuente área fuente de sedimentos en sentido suroeste (SW).
- 2 La formación Picacho representa una sucesión de areniscas de tamaño grueso a fino muy ricas en cuarzo que evidencia la depositación de sedimentos provenientes de una fuente metamórfica-Ígnea alojada al suroeste del área de estudio, sobre lo que hoy día es la cordillera Central. Posiblemente asociada al grupo Cajamarca, al Batolito de Santa Bárbara o al Batolito de Ibagué en la Cordillera Central.
- 3 De acuerdo a la distribución granulométrica de la Formación Picacho obtenida a partir del análisis estadístico de datos, se lograron identificar facies proximales al suroeste (SW) del área de estudio y facies distales al noreste (NE) correspondiente a un ambiente depositacional fluvial.
- 4 La distribución composicional de la Formación Picacho está marcada por un mayor o menor porcentaje de cuarzo o un mayor o menor porcentaje de líticos, estos últimos casi ausentes hacia las facies distales por ser los materiales más fácilmente erosionables aumentando así la concentración de cuarzo hacia esas zonas.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, B., SARMIENTO, R.; (1944). - Informe geológico sobre los yacimientos de hierro, carbón y caliza de la Región de Paz de Río (Departamento de Boyacá), Serv. Geol. Nal., Informe nº 468, Bogotá.

BARRERO, D., PARDO, A., VARGAS, C., MARTÍNEZ, J., (2007). Colombian Sedimentary Basins. Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. Agencia Nacional de Hidrocarburos.

BASU, A, (1976), Petrology of Holocene Fluvial Sand Derived from Plutonic Source Rocks: Implications to Paleoclimatic Interpretation, Journal of Sedimentary Petrology Vol. 46 (1976) No. 3. (September), Pages 694-709

BASU, A, (1985), Influence of Climate and Relief on Compositions of Sands Released at Source Areas, Provenance of Arenites, NATO ASI Series Volume 148, 1985, pp 1-18

BAYONA, G., CORTES, M., JARAMILLO, C., OJEDA, G., ARISTIZABAL, J.J., REYES-HARKER, A., (2008). An integrated analysis of an orogen-sedimentary basin pair: latest Cretaceous- Cenozoic evolution of the linked Eastern Cordillera orogen and the Llanos foreland basin of Colombia. Geological Society of America Bulletin 120 (9e10), 1171e1197.

BOGGS, S., (1987). Principles of Sedimentology and Stratigraphy. University of Oregon.

COOPER, M.A., ADDISON, F.T., ALVAREZ, R., CORAL, M., GRAHAM, R.H., HAYWARD, A.B., HOWE, S., MARTINEZ, J., NAAR, J., PENAS, R., PULHAM, A.J., TABORDA, A., (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 79 (10), 1421e1443.

CRUZ, L. CABALLERO, V.M, (2005). Análisis de Tamaño de Grano de Sedimentos. Guía de Laboratorio. Escuela de Geología. UIS

DECELLES, P. G., LANGFORD, R. P., y SCHWARTZ, R. K. (1983). Two new methods of paleocurrent determination from trough cross- stratification: Journal of Sedimentary Petrology, 53 (2): 629-642.

DECKER, J., and HELMOLD, K.P., (1985). The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method-Discussion: Journal of Sedimentary Petrology, v. 55, p. 0618-0620.

DE PORTA, J. (1974). Union internationale des sciences géologiques, Amérique Latine, volumen V, fascicule 4v, Colombie (deuxième partie).Tertiaire et quaternaire

DICKINSON W., BREARD L., BRAKENRIDGE G., ERJAVEC J., FERGUSON R., INMAN K., KNEPP R., LINDBERG, F. y RYBERG P. (1983). Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. Geological Society of America Bulletin, 94: 222-235.

DICKINSON, W. R., (1970). Interpreting detrital modes of graywacke and arkose: Journal of Sedimentary Petrology: v. 40, p. 695-707.

DICKINSON, W. y Suczek, C. (1979). Plate tectonics and sandstone compositions. American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 63: 2164-2182

DORRIK A. V. STOW (2005). *Sedimentary Rocks in the Field: A Color Guide*, Fifth impression 2010.

DOTT R, (1964), WACKE, Graywacke and matrix-what approach to immature sandstone classification? *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 34, No. 3, pp. 625-632.

GARCIA, M., MIER, R., CRUZ, L., VASQUEZ, M., (2009). Informe ejecutivo Evaluación del Potencial Hidrocarburífero de las Cuencas Colombianas.

GÓMEZ, E., JORDAN, T.E., ALLMENDINGER, R.W., HEGARTY, K., KELLEY, S., HEIZLER, M., (2003). Controls on architecture of the late Cretaceous to Cenozoic southern middle Magdalena valley basin, Colombia. *Geological Society of America Bulletin* 115 (2), 131e147.

GÓMEZ, E., JORDAN, T.E., ALLMENDINGER, R.W., HEGARTY, K., KELLEY, S., (2005b). Syntectonic Cenozoic sedimentation in the northern middle Magdalena Valley Basin of Colombia and implications for exhumation of the northern Andes. *Geological Society of America Bulletin* 117 (5e6), 547e569.

GUERRERO, J. & SARMIENTO, G. (1996): *Estratigrafía Física, Palinológica, Sedimentológica y Secuencial del Cretácico Superior y Paleoceno del Piedemonte Llanero. Implicaciones en Exploración Petrolera.*- *Geología Colombiana*, n. 20, p. 3-66, 9 Figs., Bogotá.

HORTON, B.K., SAYLOR, J.E., NIE, J., MORA, A., PARRA, M., REYES-HARKER, A., STOCKLI, D.F., (2010b). Linking sedimentation in the northern Andes to basement configuration, Mesozoic extension, and Cenozoic shortening: evidence from detrital zircon UePb ages, Eastern Cordillera, Colombia. *Geological Society of America Bulletin* 122, 1423e1442.

KAMMER, A., SANCHEZ, J., (2006). Early Jurassic rift structures associated with the Soápage and Boyacá faults of the Eastern Cordillera, Colombia: sedimentological inferences and regional implications. *Journal of South American Earth Sciences* 21, 412e422.

KIMBERLEY, M.M., (1980). Paz-de-Rio oolitic inland-sea iron formation. *Economic Geology* 75 (1), 97e106.

MACK, G. H., and SUTTNER, L. J., (1977), Paleoclimate interpretation from a petrographic comparason of Holocene sands and the Fountain Formation (Pennsylvanian) in the Colorado front range: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 47, p. 89-100.

SALAGER, J.L.; (2007), Cuaderno FIRP S554-A, Universidad de los Andes, Merida, Venezuela, Versión #2.

SÁNCHEZ J.L. y CENTENO, E.; (2010), Técnicas y aplicaciones del estudio de los sedimentos terrígenos de grano fino: Procedencia y tectónica. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología.

SANTOS, C., JARAMILLO, C., BAYONA, G., RUEDA, M., TORRES, V., (2008). Late Eocene marine incursion in north-western South America. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 264 (1e2), 140e146.

SAYLOR, J.E., STOCKLI, D.F., HORTON, B.K., NIE, J., Mora, A., (2012). Discriminating rapid exhumation from syndepositional volcanism using detrital zircon double dating: Implications for the tectonic history of the Eastern Cordillera, Colombia. *Geological Society of America Bulletin*.

SCASSO R y LIMARINO C, (1997), Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas, Asociación Argentina de Sedimentología, Argentina.

STOLTMAN, J.; (1989). A Quantitative Approach to the Petrographic Analysis of Ceramic Thin Sections. American Antiquity. Vol. 54. N, 1:147-160. Washington D.C.

SUTTNER, L.J.; BASU, A., and MACK, G.H., (1981), Climate and the origin of quartz arenites: Journal of Sedimentary Petrology, v. 51, p. 1235-1246.

TORTOSA A., PALOMARES M. y ARRIBAS J.; (1988), Tipologías de cuarzo como indicadores de la procedencia en areniscas: excepciones al método de Basu et al. (1975), Estudios geol., 44:385-390.

ULLOA, C.E., RODRIGUEZ, E., FUQUEN, J., ACOSTA, J.E.; (2001), Geología de la plancha 192 Laguna de Tota. Instituto de investigación e información minero-ambiental y nuclear, Ingeominas 2001.

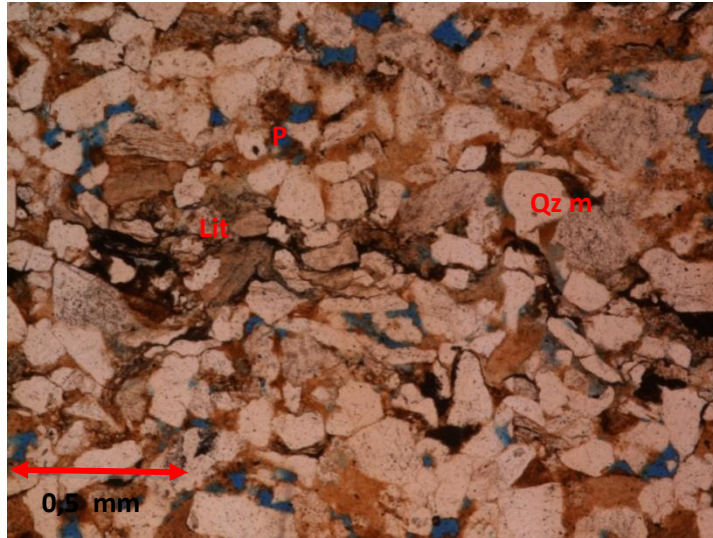
VARGAS, C. A.; (2009), Nuevos aportes a la estimación del potencial de hidrocarburos en Colombia, Rev. Acad. Colombiana de Ciencias. 33 (126): 17-43, 2009. ISSN 0370-3908

VILLAMIL, T., (1999). Campanian-Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and Western Venezuela. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology 153 (1e4), 239e275.

VISHER, G.E.; (1969). Grain size Distributions and Depositional Processes. University of Tulsa, Tulsa, Oklahoma.

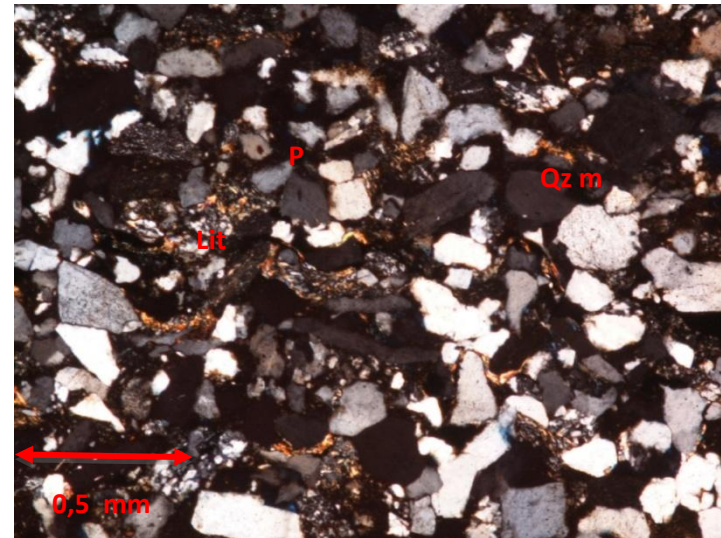
ANEXOS.

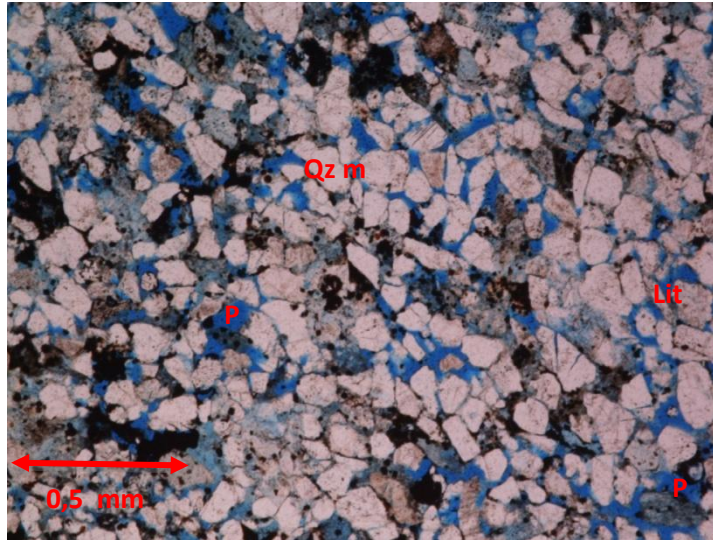
ANEXO A. Secciones delgadas para el análisis de las diferentes petrofacies presentes en la Formación Picacho.



Nombre: ACC-01-SD
Formación: PICACHO.
Área: Municipio de Corrales.

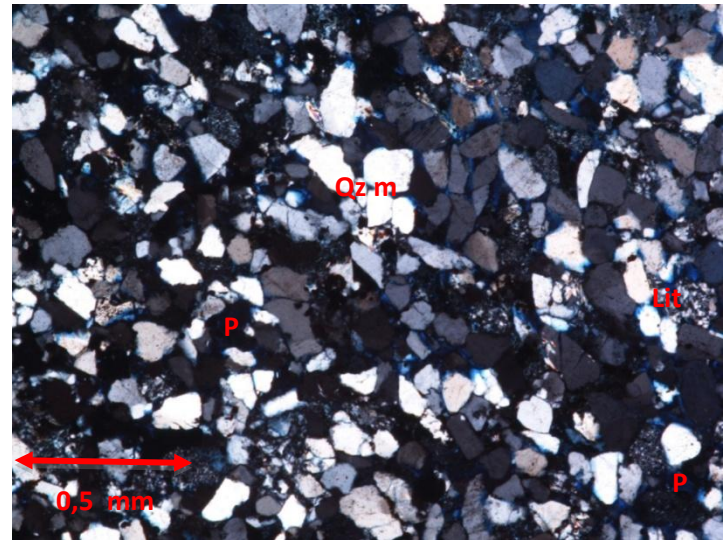
Tamaño de grano: Arena fina
Selección: Malo
Forma: Subangular
Contactos granos: Concavo>suturado
Cementos: Caolinita>silice

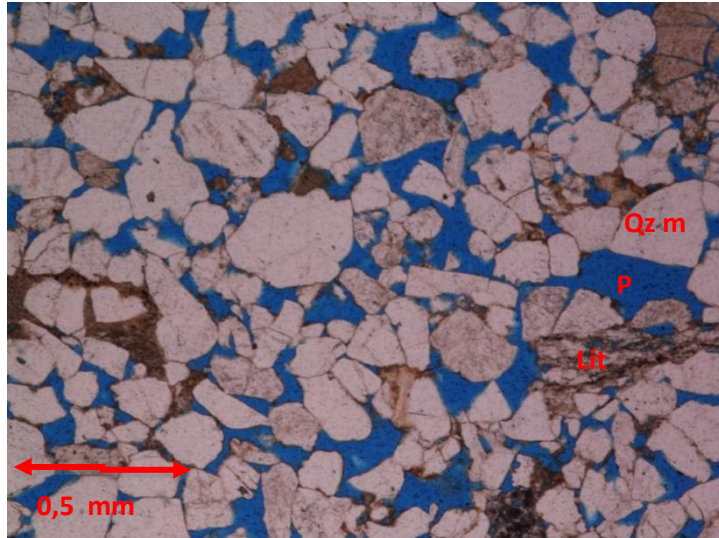




Nombre: CCH-01-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Sogamoso.

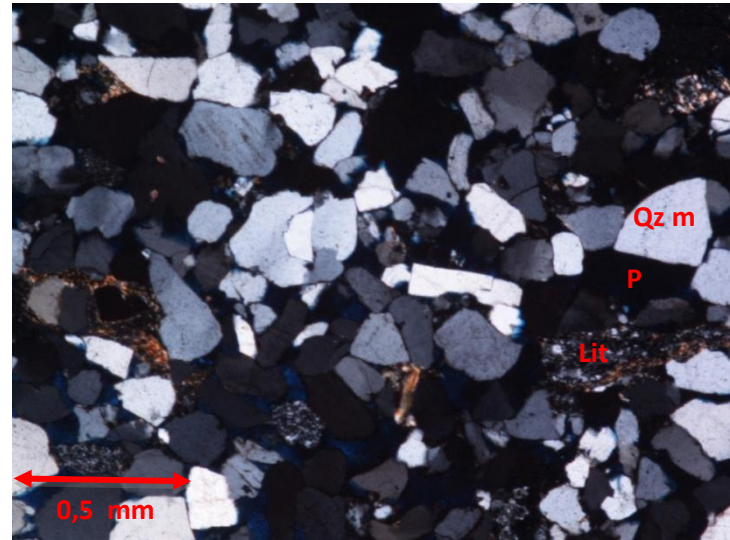
Tamaño de grano: Arena fina
Selección: Moderado
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Concavo>suturado
Cementos: Caolinita

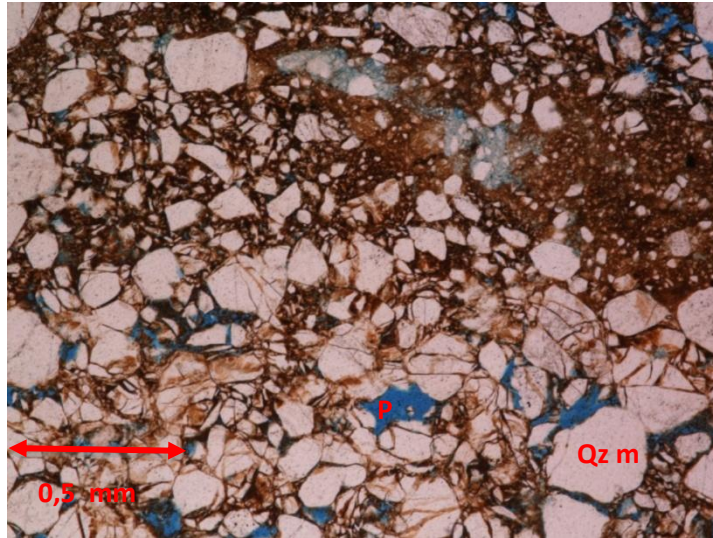




Nombre: CCH-03-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Sogamoso.

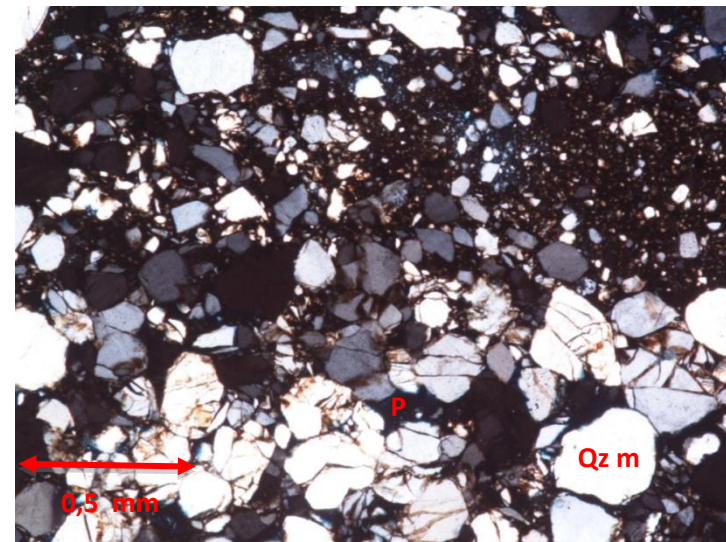
Tamaño de grano: Arena fina
Selección: Moderado
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Puntual>longitudinal
Cementos: Caolinita

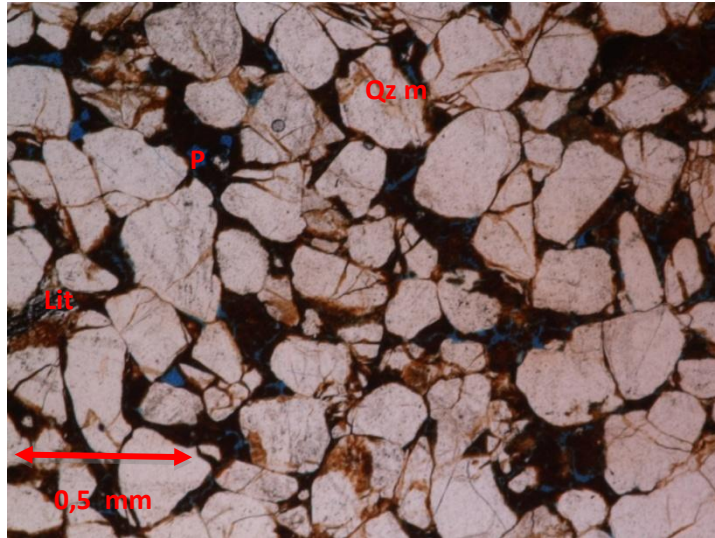




Nombre: CEU-05-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Paz De Rio.

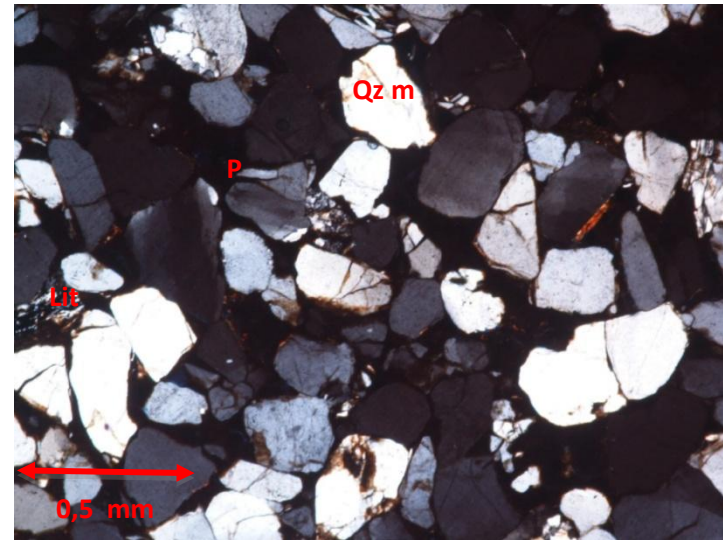
Tamaño de grano: Arena media
Selección: Malo
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Concavo>suturado
Cementos: Caolinita

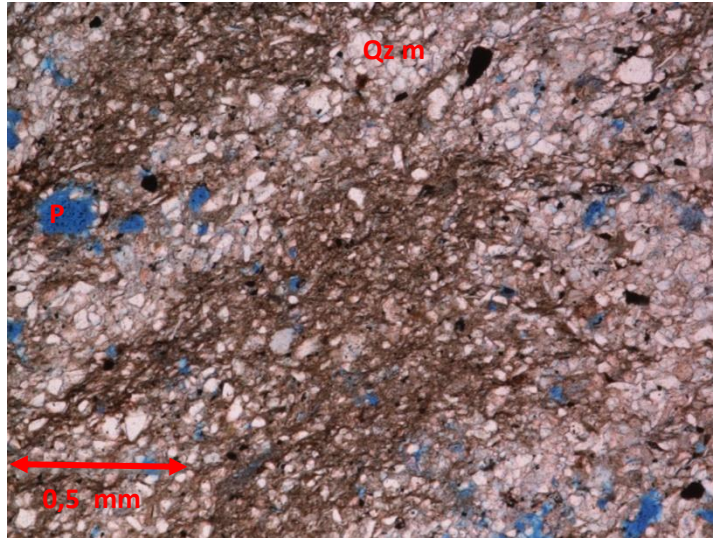




Nombre: CEU-06-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Paz De Rio.

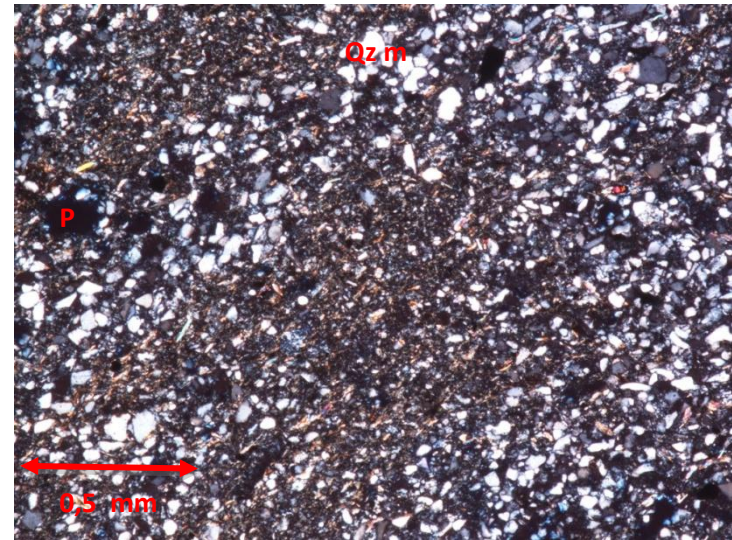
Tamaño de grano: Arena gruesa
Selección: Moderado
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Concavo
Cementos: Caolinita

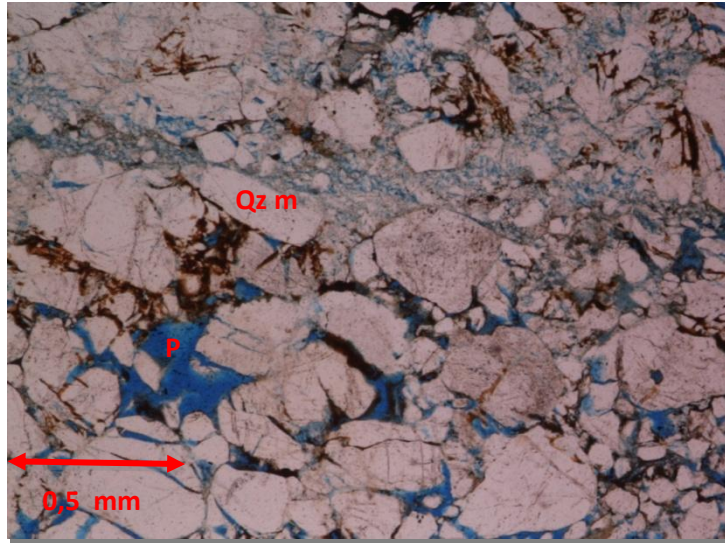




Nombre: CEU-07-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Paz De Rio.

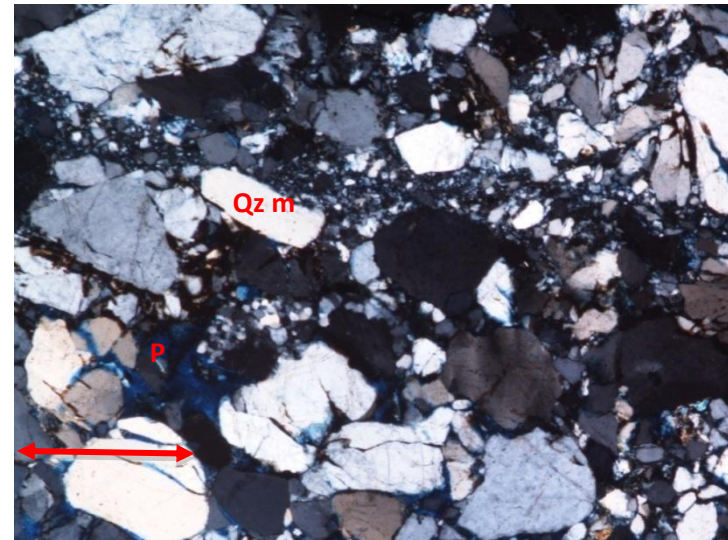
Tamaño de grano: Arena muy fina
Selección: Malo
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Concavo
Cementos: Caolinita

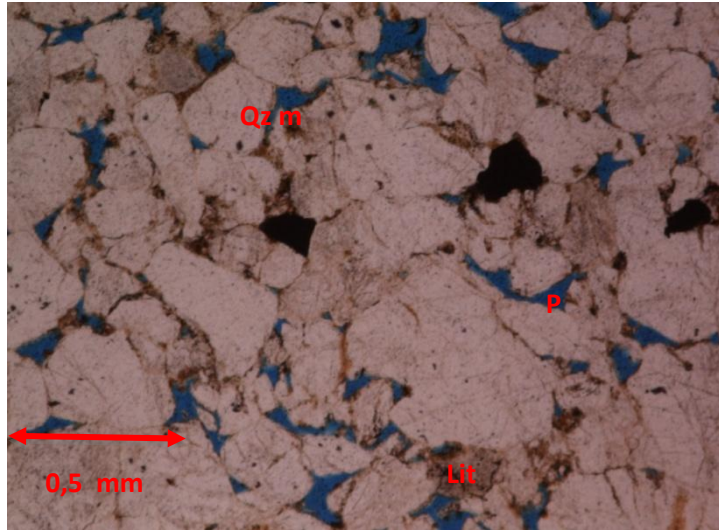




Nombre: COS-02-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Beteitiva.

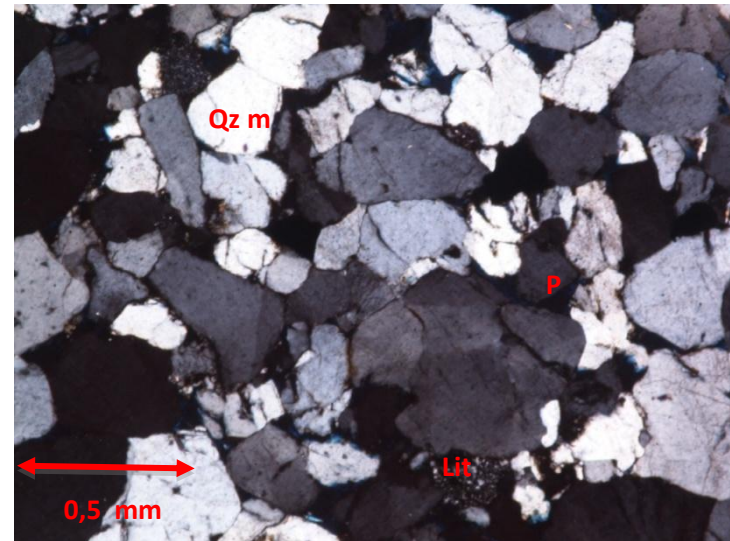
Tamaño de grano: Arena media
Selección: Malo
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Concavo>suturado
Cementos: Caolinita

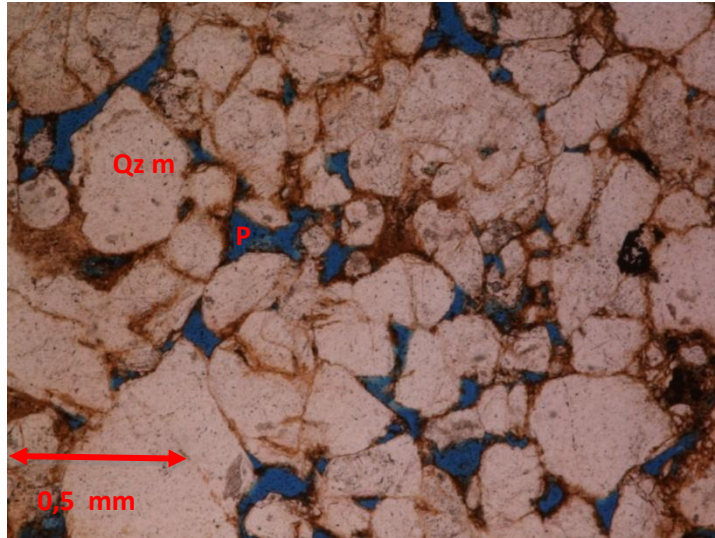




Nombre: COS-05-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Beteitiva.

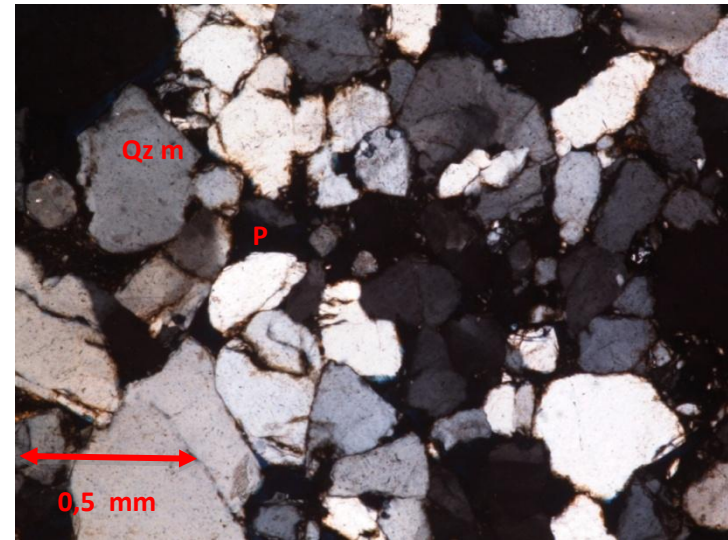
Tamaño de grano: Arena media
Selección: Moderado
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Concavo
Cementos: Caolinita

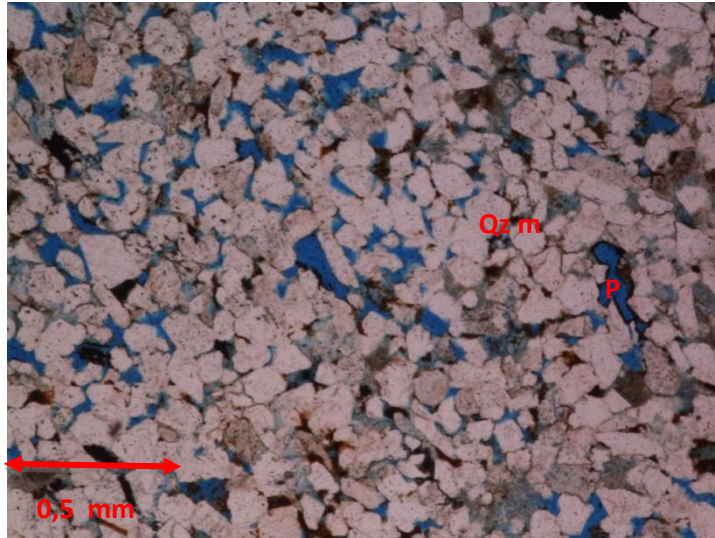




Nombre: COS-06-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Beteitiva.

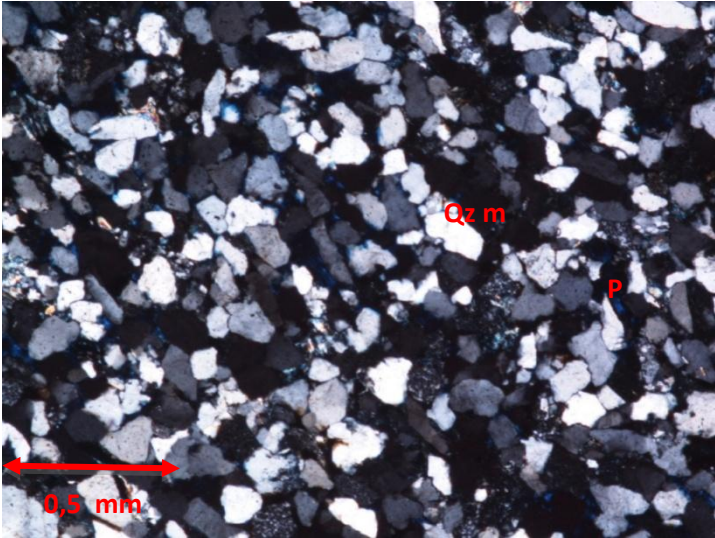
Tamaño de grano: Arena gruesa
Selección: Moderado
Forma: Subangular
Contactos granos: Concavo
Cementos: Caolinita

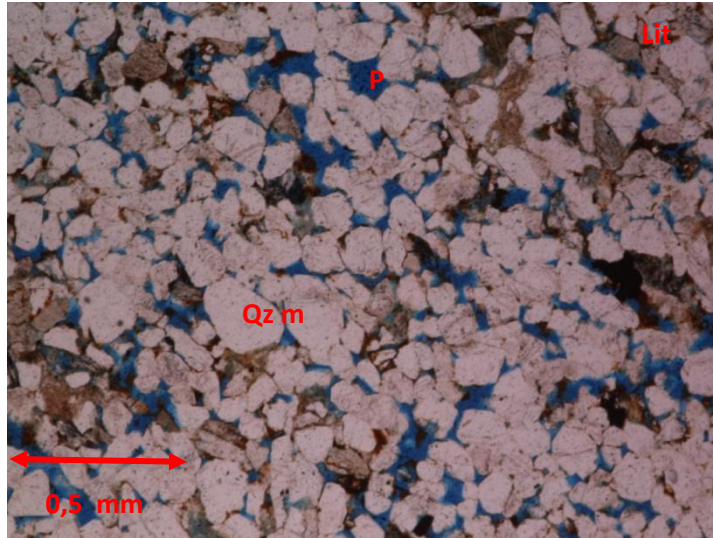




Nombre: COS-07-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Beteitiva.

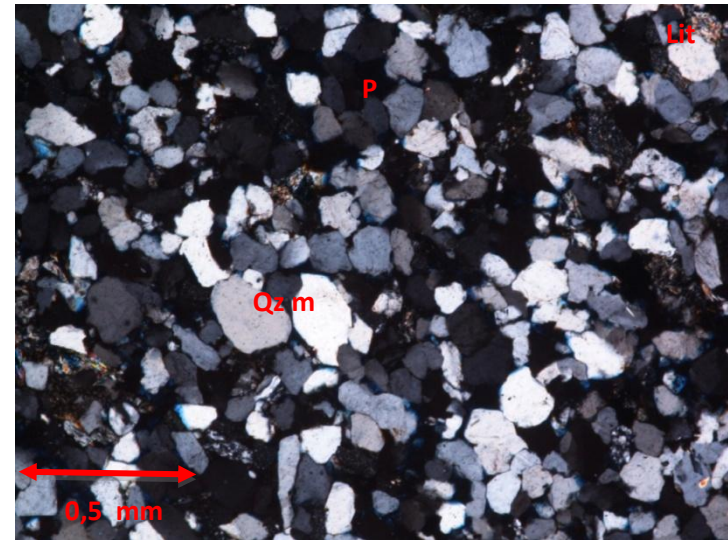
Tamaño de grano: Arena fina
Selección: Bueno
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Concavo
Cementos: Caolinita

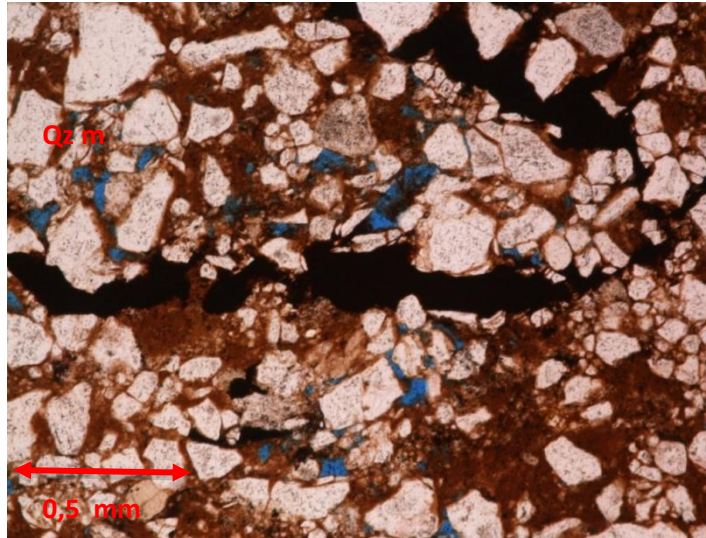




Nombre: COS-09-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Beteitiva.

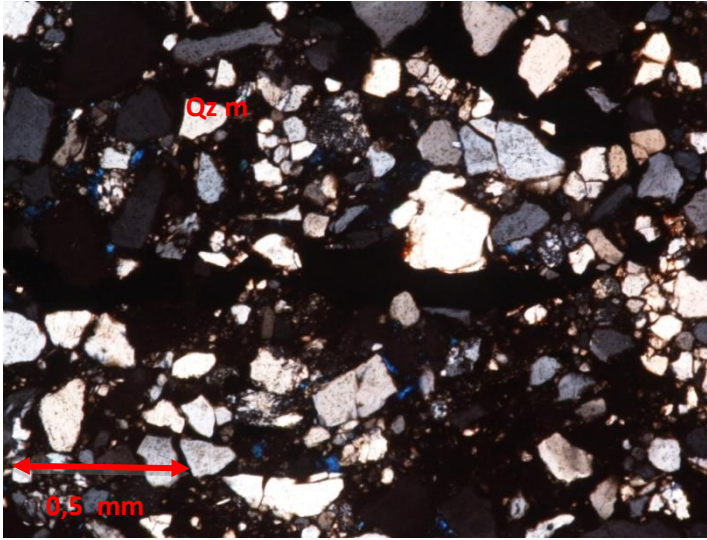
Tamaño de grano: Arena fina
Selección: Moderado
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Concavo>suturado
Cementos: Caolinita

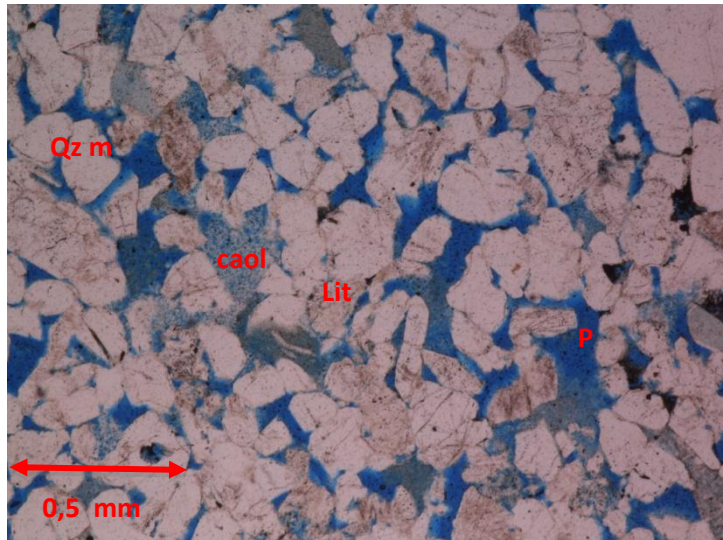




Nombre: MEM-03-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Pesca.

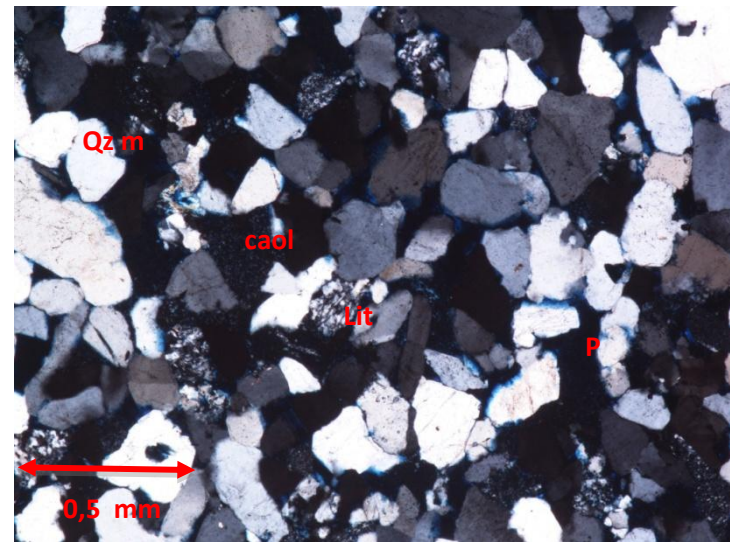
Tamaño de grano: Arena media
Selección: Malo
Forma: Subangular
Contactos granos: Concavo>suturado
Cementos: Caolinita

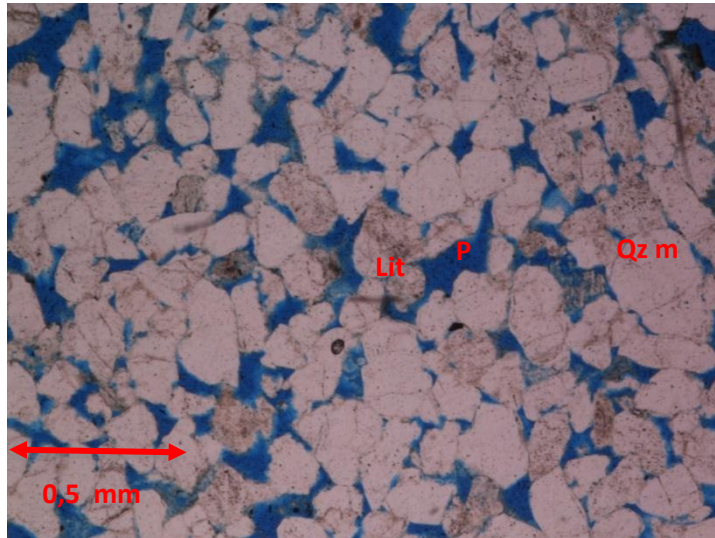




Nombre: MEU-01-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Paz De Rio.

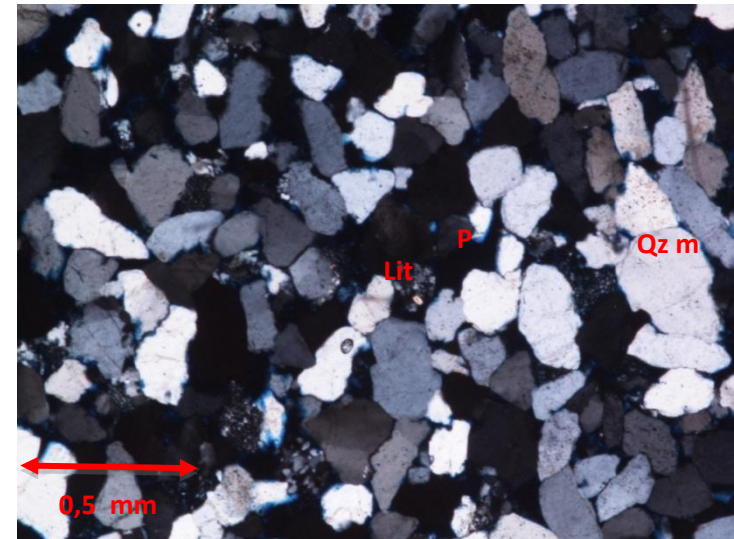
Tamaño de grano: Arena media
Selección: Moderado
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Puntual>longitudinal
Cementos: Caolinita>silice

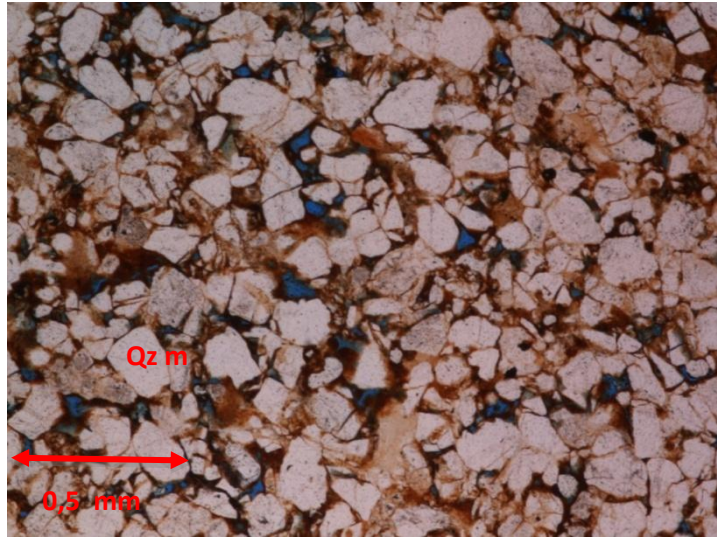




Nombre: MEU-02-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Paz De Rio.

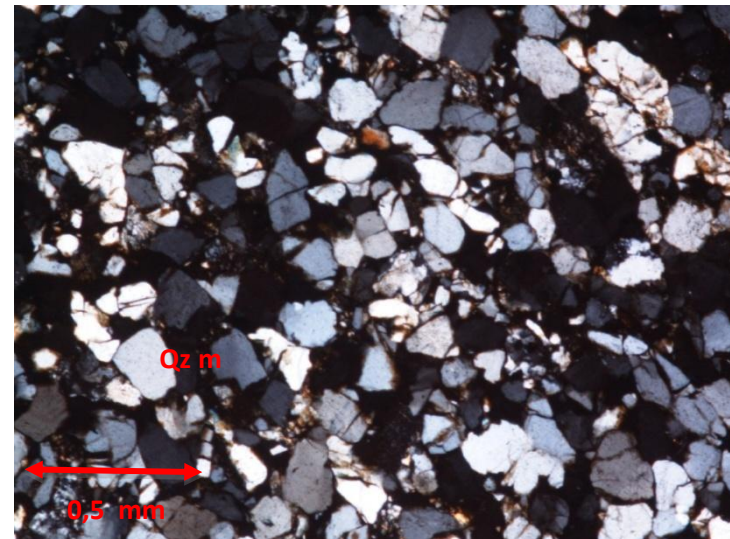
Tamaño de grano: Arena media
Selección: Moderado
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Longitudinal>convexo
Cementos: Caolinita>silice

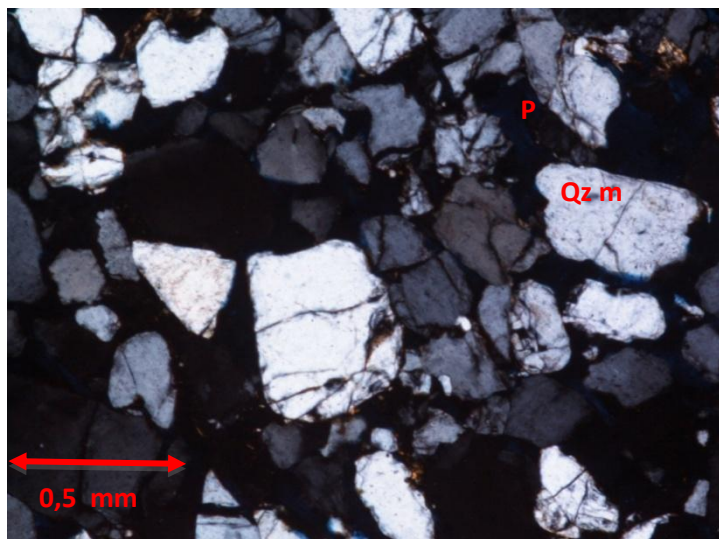




Nombre: MINA-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Pesca.

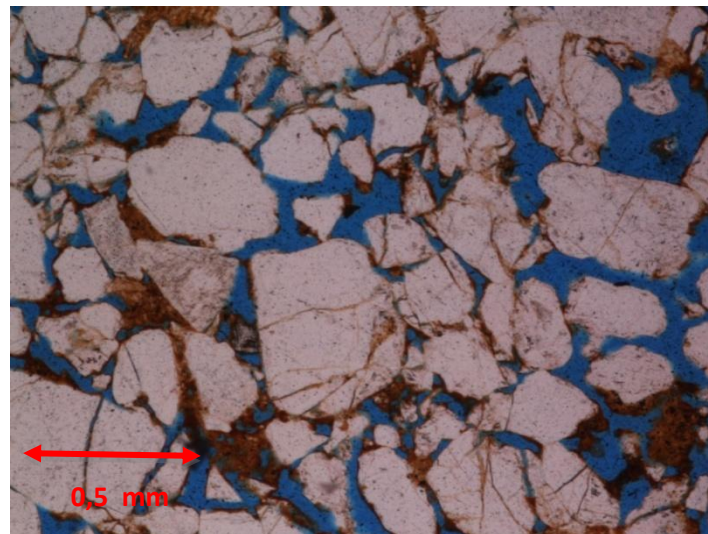
Tamaño de grano: Arena fina
Selección: Malo
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Concavo>suturado
Cementos: Caolinita

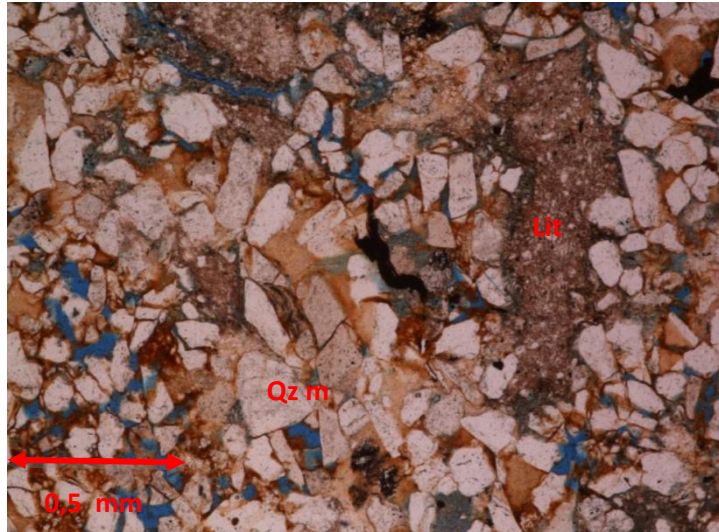




Nombre: MST-01-01-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Pesca.

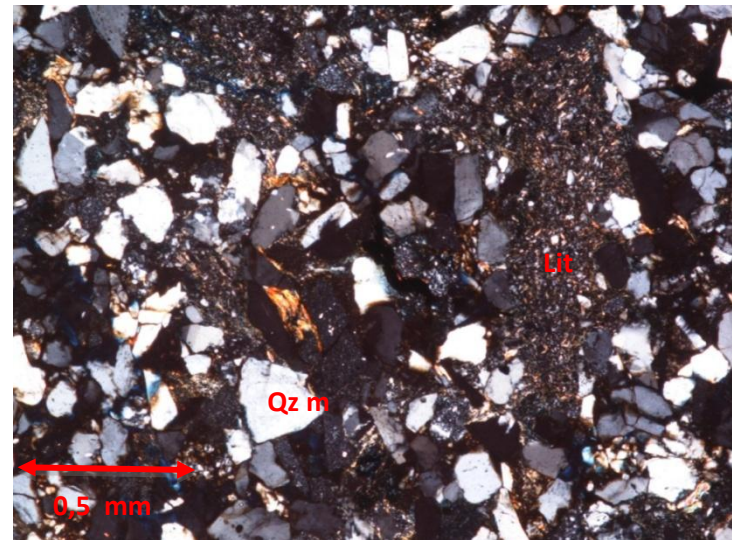
Tamaño de grano: Arena media
Selección: Malo
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Puntual>longitudinal
Cementos: Caolinita

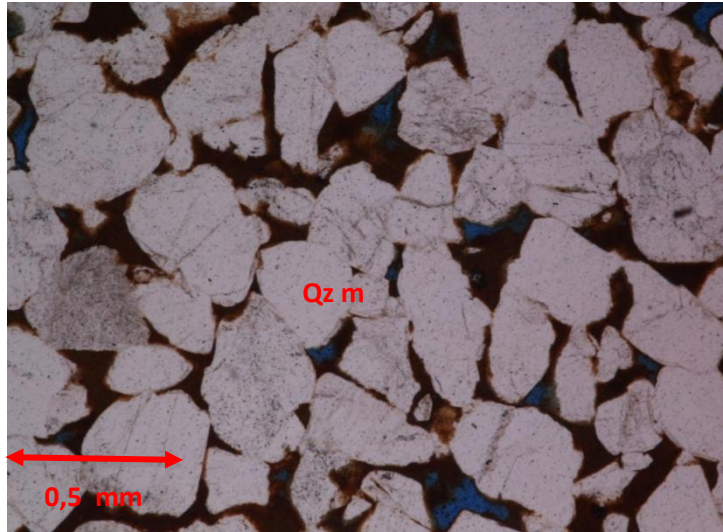




Nombre: MST-03-01-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Pesca.

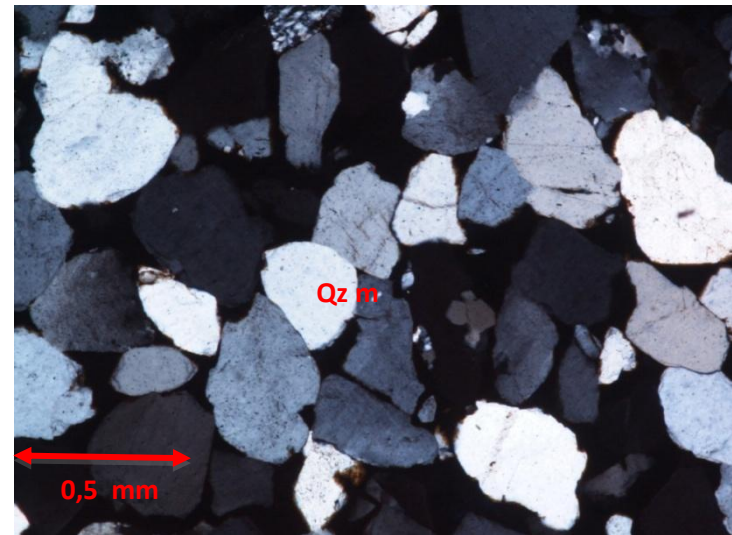
Tamaño de grano: Arena fina
Selección: Malo
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Concavo>suturado
Cementos: Caolinita

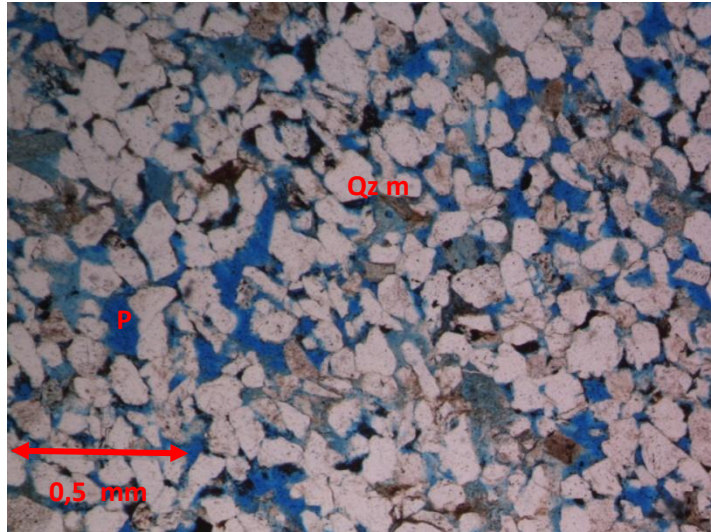




Nombre: PC-01-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Corrales.

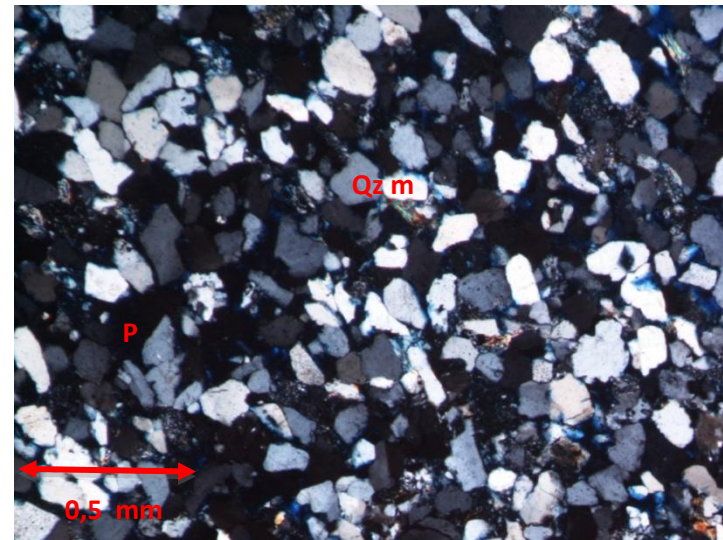
Tamaño de grano: Arena media
Selección: Moderado
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Concavo
Cementos: Caolinita

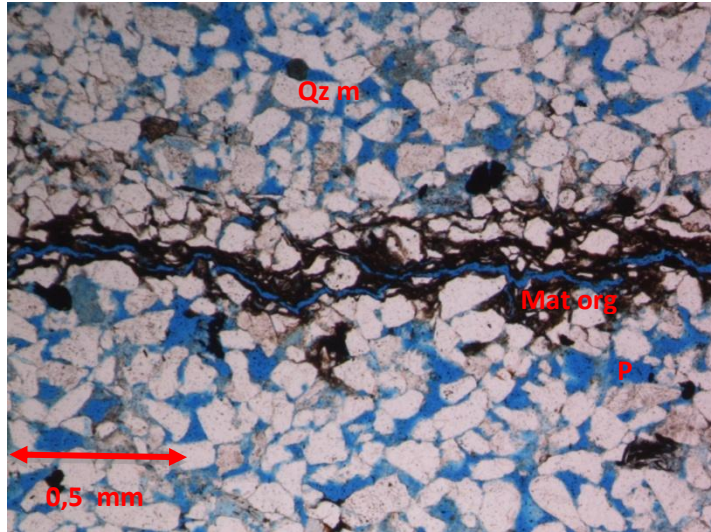




Nombre: PC-02-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Corrales.

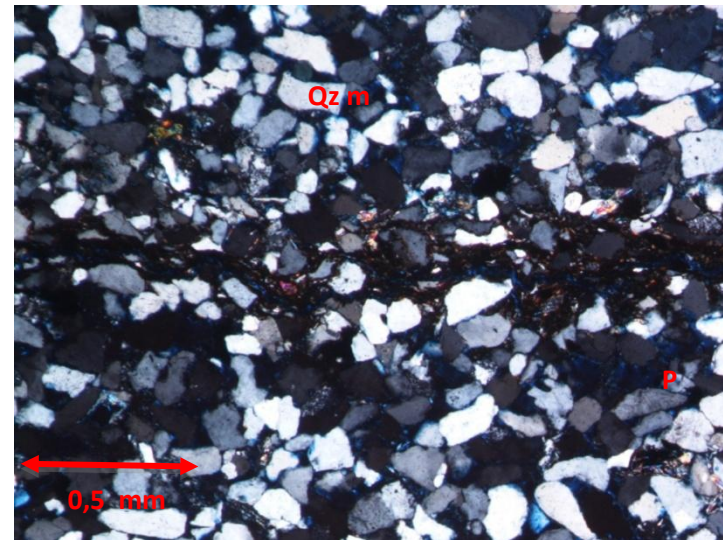
Tamaño de grano: Arena fina
Selección: Moderado
Forma: Subredondeado
Contactos granos: Concavo>suturado
Cementos: Caolinita

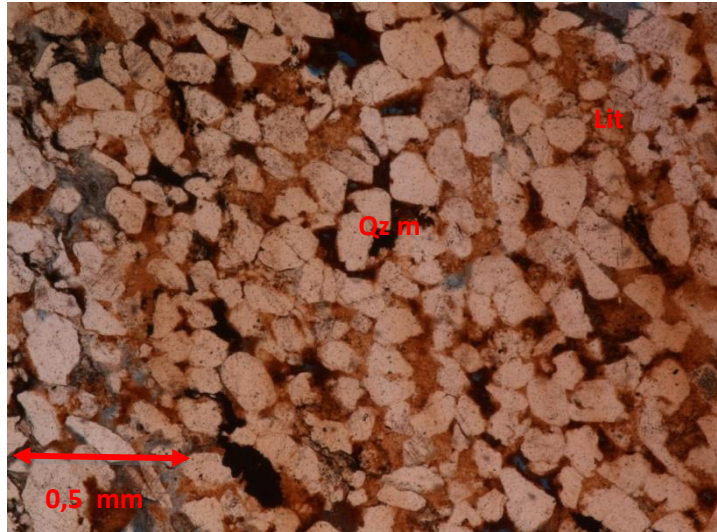




Nombre: PC-03-SD
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Corrales.

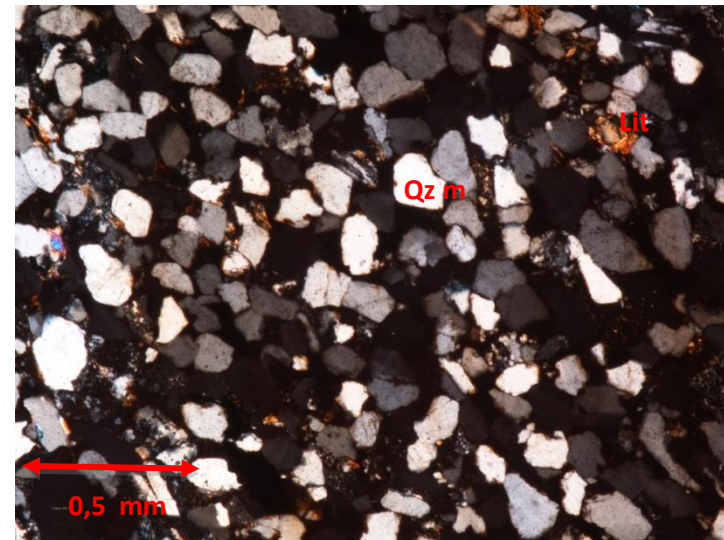
Tamaño de grano: Arena fina
Selección: Moderado
Forma: Subangular
Contactos granos: Puntual>longitudinal
Cementos: Caolinita



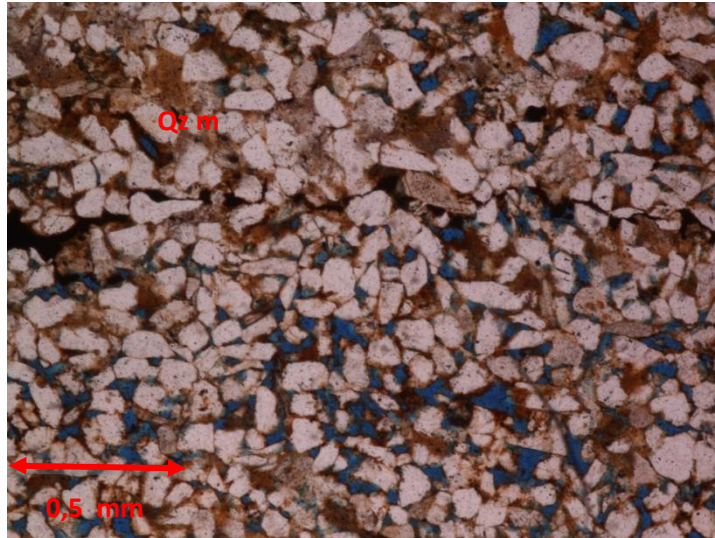


Nombre: PIEDEMONTE-VC-1
Formación: PICACHO
Área: Municipio de Pesca.

Tamaño de grano: Arena fina
Selección: Bueno
Forma: Subredondeada
Contactos granos: Concavo
Cementos: Caolinita



PIEDEMONTE-VC-2



Nombre: PIEDEMONTE-VC-2

Formación: PICACHO

Área: Municipio de Pesca.