

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

**"CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y PETROGRÁFICA DE LA
ARENISCA M1, DE LA FORMACIÓN NAPO EN EL POZO
JOHANNA ESTE 45, CAMPO JOHANNA ESTE BLOQUE
TARAPOA".**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN PETRÓLEOS**

JORGE VINICIO MÉNDEZ AGUIRRE
jorge.mendez01@epn.edu.ec

DIRECTOR: Ing. Janeth Gaibor Villota, MSc.
janeth.gaibor@geostrats.com

CODIRECTOR: Dr. Cristian Vallejo Cruz, Ph.D.
cristian.vallejov@epn.edu.ec

Quito, noviembre 2020

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jorge Vinicio Méndez Aguirre, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Janeth Gaibor Villota', is positioned above a horizontal dashed line.

**Ing. Janeth Gaibor Villota, MSc.
DIRECTORA DE PROYECTO**

DECLARACIÓN

Yo, JORGE VINICIO MÉNDEZ AGUIRRE, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; y que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mi derecho de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



JORGE VINICIO MÉNDEZ AGUIRRE

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis es dedicado a mis seres queridos, a mis padres, esposa e hijos por ese apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que de una u otra manera, colaboraron, apoyador y prestaron sus servicios para la realización de este proyecto de tesis.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	i
DECLARACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1 Geología del Campo	3
1.1.1 Arenisca M1	3
1.1.1.1 Litología Arenisca M1	4
1.1.1.2 Litoestratigrafía Arenisca M1	4
1.1.1.3 Características Estructurales Arenisca M1	4
1.1.2 Arcillas	5
1.1.2.1 Tipos de Arcillas	5
Caolinita ($Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$)	5
Clorita ($(Fe, Mg, Al)_3(Al, Si)_4O_{10}(OH)_2^*(Fe, Mg, Al)_3(OH)_6$)	5
Illita ($KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$)	6
Esmectita ($(Al, Mg)_8(Si_4O_{10})_3(OH)_{10} \cdot 12H_2O$)	6
Arcillas de Capas Mixtas Illita/Esmectita	6
1.2 Metodología para la Caracterización Mineralógica y Petrográfica de la Arenisca M1	7
1.2.1 Análisis Petrográfico	7
1.2.2 Método de Difracción de Rayos x	7
1.2.3 Microscopía Electrónica de Barrido.....	9
1.2.3.1 Aplicaciones	10
1.3 Ubicación	10

2.	METODOLOGÍA	12
2.1.1	Litoestratigrafía	13
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
3.1	Resultados.....	15
3.1.1	Análisis Petrográfico	15
3.1.1.1	Tamaño de Grano	20
3.1.1.2	Redondez y Esfericidad	25
3.1.1.3	Sorteo	31
3.1.1.4	Porosidad	34
3.1.1.5	Gargantas Porales	36
3.1.1.6	Minimizar el Daño a la Formación	39
	Fluido de perforación.....	39
	Punteo	39
	Selección de la granulometría del agente puenteante	40
3.1.2	Análisis por Difracción de Rayos x (DRX).....	42
3.1.2.1	Manejo de Datos	42
3.1.2.2	Tendencia y Distribución.....	44
3.1.2.3	Difractogramas	44
3.1.3	Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)	58
3.1.3.1	Análisis de Microscopía Electrónica de Barrido	59
3.1.3.2	Análisis de Imágenes de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB-SEM)	59
3.1.3.3	Muestras analizadas en el Microscopio Electrónico de Barrido.....	60
3.2	Discusión	71
4.	CONCLUSIONES	72
5.	RECOMENDACIONES	74
	Referencias Bibliográficas	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Tabla resumen de las unidades litoestratigráficas consideradas en el pozo Johanna Este 45 con los segmentos propuestos, división A a F, de acuerdo con las características principales de las secuencias desde el punto de vista sedimentológico y del reservorio.....	13
Tabla 3.1.	Conteo porcentual de los minerales del Pozo Johanna Este 45.....	18
Tabla 3.2.	Clasificación de (Pettijohn et al., 1987) del Pozo Johanna Este 45.....	20
Tabla 3.3.	Tamaño de Grano muestras Pozo Johanna Este 45.....	23
Tabla 3.4.	Selección de las muestras del Pozo Johanna Este 45.....	32
Tabla 3.5.	Caracterización de la Abundancia en el sistema poral.....	34
Tabla 3.6.	Gargantas Porales, Abundancia y Tamaño (mm).....	37
Tabla 3.7.	Clasificación de los tipos de roca según el radio de garganta de poros	38
Tabla 3.8.	Tamaño de garganta poral intervalo de producción Pozo Johanna Este 45.....	41
Tabla 3.9.	Composición Mineralógica Total por Difracción de Rayos x del Pozo Johanna Este 45.....	43
Tabla 3.10.	Distribución de Muestras para el Análisis de Microscopía Electrónica de Barrido.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Columna Estratigráfica de la Cuenca Oriente. Fuente: Secretaría de Hidrocarburos, 2018.....	3
Figura 1.2.	Estructuras sedimentarias del Pozo Johanna Este 45.....	4
Figura 1.3.	Esquema de Bragg para la Reflexión en Distintas Familias de Planos, d , d_1 , d_2 , que corresponden a los espaciados reticulares $dhkl$ de índices de Millar (hkl). Fuente: Dr. Andrés Ozols. Aplicaciones de la Difracción de Rayos x.....	8
Figura 1.4.	Ubicación del Bloque Tarapoa.....	11
Figura 1.5.	Ubicación del Pozo Johanna Este 45 (Bloque Tarapoa), en la Cuenca Oriente, de donde proviene el núcleo estudiado.....	11
Figura 2.1.	Sección estratigráfica generalizada del núcleo del pozo Johanna Este 45 con la nomenclatura litoestratigráfica, segmentos y principales características sedimentológicas. Fuente: (Rivera. R, 2018).....	14
Figura 2.2.	Ambientes sedimentarios y distribución de cuerpos de arena en ambientes marinos poco profundos con influencia de las mareas. El cuadro rojo indica los entornos costeros llanos interpretados en el núcleo del pozo Johanna Este 45. Tomado y modificado de Desjardins et al. (2002).....	15
Figura 3.1.	Clasificación de (Pettijohn et al., 1987).....	16
Figura 3.2.	Clasificación de (Pettijohn et al., 1987), Familia de Arenitas.....	19
Figura 3.3.	Clasificación del tamaño de grano de sedimentos terrígenos (Udden-Wentworth, 1922).....	21
Figura 3.4.	Mediciones del tamaño de grano en la Arenisca M1.....	22
Figura 3.5.	Secuencias grano Decreciente – Creciente en la Arenisca M1.....	24
Figura 3.6.	Comparación Visual de Redondez y Esfericidad.....	25
Figura 3.7.	Patrón para la estimación visual de los tipos de sorteo Compton, 1962....	32
Figura 3.8.	Representación gráfica de gargantas porales en secciones delgadas.....	36
Figura 3.9.	Tamaño de gargantas porales del pozo Johanna Este 45.....	37
Figura 3.10.	Distribución de Frecuencia simple de medidas de longitud transversal de garganta poral en la Arenisca M1 del pozo Johanna Este 45.....	38

Figura 3.11.	Esquema de un túnel de cañoneo e invasión con residuos de esquirlas de la roca de la zona invadida y la formación virgen (Fuente: Ciguela, 2004; Toro Álava et al., 2011).....	39
Figura 3.12.	Relación de partículas sellantes y diámetro medio de la garganta poral (Larreal, 2011).....	40
Figura 3.13.	Selección de la granulometría del agente puenteante (Larreal, 2011. Drilling Fluids Halliburton).....	41
Figura 3.14.	Distribución de Minerales del Pozo Johanna Este 45.....	44
Figura 3.15.	Relación del tamaño de los cristales y la difracción. Fuente: Sierra, A., Pérez, R. (2017).....	45

RESUMEN

El estudio de la caracterización mineralógica y petrográfica de la Arenisca M1 del pozo Johanna Este 45, se realizó de acuerdo al análisis e interpretación de datos obtenidos en base a ensayos de laboratorio con la aplicación de tres metodologías utilizadas para identificar de forma más detallada el tipo de reservorio. De acuerdo al análisis petrográfico de luz transmitida se determinó que la Arenisca M1 en el Bloque Tarapoa es una Cuarzoarenita en su mayor proporción, seguido de una composición Subarcosa y en menor porcentaje una composición Sublitarenita, formando dos grandes secuencias de grano decreciente a grano creciente con pequeñas intercalaciones cuyo tamaño de grano van desde limo grueso hasta arenisca gruesa con una forma sub-angulosa a sub-redondeada y un sorteo Muy bien clasificado, Bien clasificado y Moderadamente clasificado. La combinación entre el sorteo granulométrico y la redondez de los granos definen el grado de madurez textural, en el caso de la Arenisca M1 es madura texturalmente, de igual forma la madurez mineralógica se clasifica como madura a supermadura. En la distribución de la porosidad presenta valores que varían desde 10,66 % arenisca muy fina hasta 30% arenisca gruesa con una abundancia poral de buena a excelente. El rango de tamaño de garganta poral es $>10 \mu\text{m}$ correspondiente a un tipo de roca con macroposidad. El análisis de difracción de rayos x muestra que la Arenisca M1 está compuesta en su mayoría de minerales de cuarzo y feldespato, Además, el porcentaje de arcillosidad es menor y está constituida principalmente por caolinita. El análisis de Imágenes de Microscopía Electrónica de Barrido identificó que la Arenisca M1 en el Bloque Tarapoa está compuesta principalmente de cuarzo componente principal del esqueleto de la roca y material arcilloso constituido principalmente por caolinita la cual se presenta en placas pseudo hexagonales en forma de libros ubicada mayormente en los espacios porales.

Palabra Clave: Arenisca M1, cuarzo y feldespato, difracción de rayos x, análisis petrográfico, mineralogía electronica de barrido.

ABSTRACT

The study of the mineralogical and petrographic characterization of the M1 sandstone of the Johanna Este 45 well, was carried out according to the analysis and interpretation of data obtained based on laboratory tests with the application of three methodologies used to identify the type in more detail. reservoir. According to the petrographic analysis of transmitted light, it was determined that the M1 Sandstone is a Quartzsarenite in its highest proportion, followed by a Subarcosa composition and to a lesser percentage a Sublitaarenite composition, forming two large sequences from decreasing grain to increasing grain with small intercalations whose size Grain ranges from coarse silt to coarse sandstone with a sub-angular to sub-rounded shape and a Very Well Classified, Well Classified and Moderately Classified draw. The combination between the grain size grading and the roundness of the grains define the degree of textural maturity, in the case of M1 Sandstone it is texturally mature, in the same way, mineralogical maturity is classified as mature to supermature. The distribution of the porosity of the M1 Sandstone presents values that vary from 10.66% very fine sandstone to 30% coarse sandstone with a poral abundance of good to excellent. The poral throat size range is >10 (μm) corresponding to a rock type with macroposity. X-ray diffraction analysis shows that M1 Sandstone is composed mostly of Quartz and feldspar minerals. Furthermore, the percentage of clay is lower and it is mainly made up of kaolinite. The analysis of Scanning Electron Microscopy Images identified that Sandstone M1 is composed mainly of quartz, the main component of the rock skeleton and clayey material constituted mainly by kaolinite which occurs in pseudo-hexagonal plates in the shape of books located mainly in the poral spaces.

Keywords: Quartz, Sandstone M1, Johanna Este 45 well, the petrographic analysis, X-ray diffraction analysis, analysis of Scanning Electron Microscopy.

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y PETROGRÁFICA DE LA ARENISCA M1, DE LA FORMACIÓN NAPO EN EL POZO JOHANNA ESTE 45, CAMPO JOHANNA ESTE BLOQUE TARAPOA

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el estudio de las geociencias se ha convertido en uno de los pilares para el manejo de yacimientos, y actualmente es una herramienta en la industria petrolera que brinda soluciones en la optimización de la producción de hidrocarburos a lo largo de la vida útil del yacimiento. Por tal motivo, se han desarrollado metodologías enmarcadas principalmente en la caracterización mineralógica de yacimientos, y su aplicabilidad para mejorar el potencial en la productividad de los pozos. Esta caracterización mineralógica se la realizó en el núcleo del pozo Johanna Este 45, analizando la Arenisca M1 perteneciente a la Formación Napo. Este reservorio incluye cuarzoarenitas y subarcosas según la clasificación de (Pettijohn et al., 1987).

El pozo Johanna Este 45 está ubicado en el campo Johanna Este perteneciente al bloque Tarapoa en las coordenadas de la superficie son: N: 9984939.84 m; E: 333009.60 m., en la provincia de Sucumbíos.

El núcleo estudiado del pozo Johanna Este 45 corresponde al intervalo desde 8217' hasta 8278' de profundidad, el cual contiene asociaciones de facies intermareales de canales de mareas, planicies de arena, planicies mixtas y planicies de barro.

La ejecución de este estudio se fundamenta en la aplicación de tres metodologías experimentales basadas en ensayos de laboratorio aplicadas en muestras del núcleo del pozo Johanna Este 45 con el objeto de identificar la composición mineralógica de la Arenisca M1. La primera metodología es el análisis petrográfico de luz transmitida en base a las propiedades ópticas de los minerales en láminas delgadas. Basados en este análisis petrográfico, la muestra es una cuarzoarenita de grano promedio, con granos subangulares a subredondeados, sorteo bueno a muy bueno y una porosidad desde 10.66% hasta 30%. La segunda metodología es la difracción de rayos x con la cual se reconoce la mineralogía de los silicatos, carbonatos, feldespatos y minerales de la fracción fina. Estos análisis muestran que la Arenisca M1 está compuesta en su mayoría de Cuarzo y feldespato.

Además, el porcentaje de arcillosidad es menor de aproximadamente 5.42 %, constituida principalmente por caolinita. La tercera metodología es la microscopía electrónica de barrido caracterizando mineralógicamente la estructura interna de la roca con el fin de conocer el hábito de los minerales a través de su morfología. Entre los minerales generalmente encontrados se destacan el cuarzo como componente principal de la roca, y puede presentar sobrecrecimientos secundarios. Entre los minerales arcillosos, se observa un predominio de la Caolinita; la cual se presenta como placas pseudo hexagonales autigénicas apiladas en forma de libros y ubicadas mayormente en los poros causando obstrucción y creando taponamientos.

La finalidad del estudio es obtener una caracterización mineralógica y petrográfica de la Arenisca M1 del pozo Johanna Este 45 en su estructura interna y composición, con el objeto de optimizar la producción en pozos del Campo Johanna. Por lo tanto, el estudio aportará información valiosa producto del buen uso de las metodologías a nivel micro desarrolladas sobre las muestras de núcleo tomadas del pozo. De igual manera, esta información podrá ser muy útil para estudios futuros de Recuperación Mejorada de Hidrocarburos.

OBJETIVO GENERAL

Determinar los rasgos texturales, composicionales y morfológicos de la Arenisca M1 en el pozo Johanna Este 45 del Campo Johanna Este, Bloque Tarapoa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar mediante mineralogía óptica las características de la roca sedimentaria (armazón, matriz, cemento, tipo de porosidad, forma de las partículas, contactos, composición y microestructuras sedimentarias) de 20 láminas delgadas tomadas de la roca reservorio.
- Determinar porcentualmente la cantidad de minerales en la roca reservorio.
- Obtener imágenes de las muestras mediante barrido con un haz de electrones para la caracterización morfológica, tamaño de grano y poro promedio.
- Cuantificar el grado de cristalinidad de los materiales de grano fino (fracción arcillosa).

1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se realiza una descripción de la geología del campo Johanna Este identificando sus principales componentes geológicos entre ellos la Arenisca M1 como su principal zona productora del pozo Johanna Este 45, adicionalmente se realiza una breve explicación de los materiales arcillosos y los tipos de arcillas presentes en la roca los mismo que inciden en las actividades productivas de los pozos petrolíferos. Por tal motivo, se han desarrollado metodologías enmarcadas principalmente en el análisis mineralógico y petrográfico de los yacimientos, donde se describen tres tipos de metodologías aplicadas al análisis de la Arenisca M1.

1.1 Geología del Campo

1.1.1 Arenisca M1

La zona productora o reservorio del Campo Johanna Este es la Arenisca M1 que fue depositada en la formación Napo constituida por arcillas, calizas y areniscas como se observa en la figura 1.1.

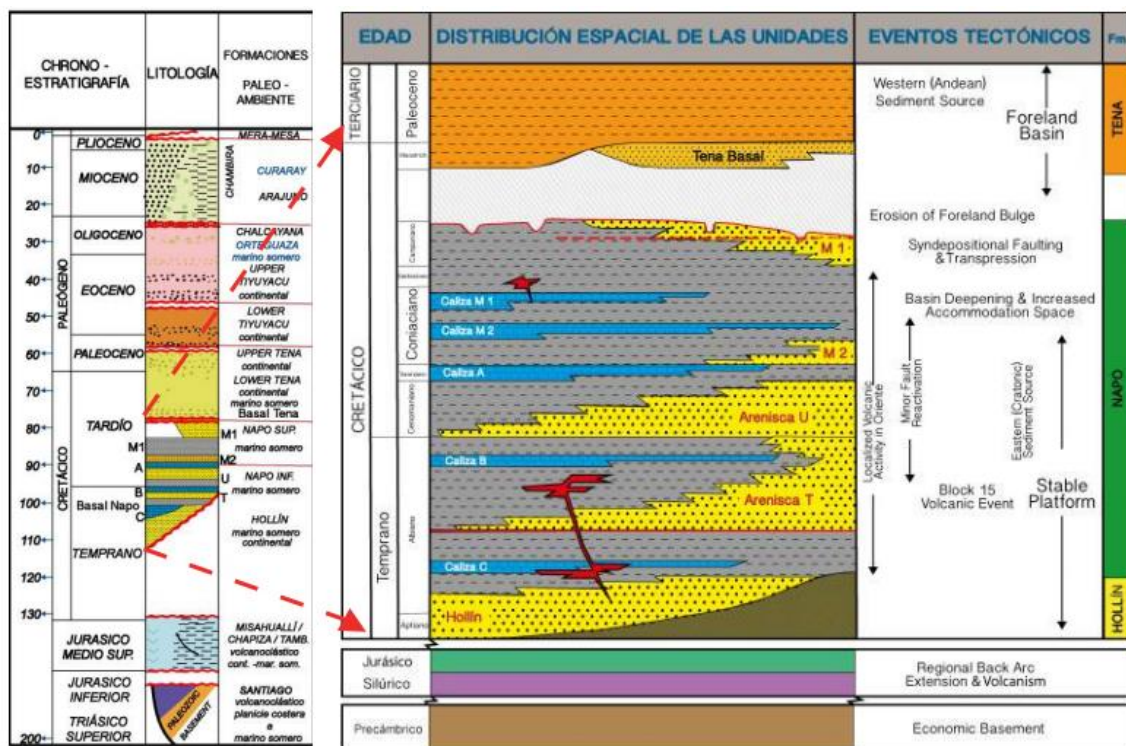


Figura 1.1. Columna Estratigráfica de la Cuenca Oriente. Fuente: Secretaría de Hidrocarburos, 2018

1.1.1.1 Litología Arenisca M1

Con una edad Campaniano Medio – Tardío, Raynaud, 1993. Se desarrolla en la parte este de la Cuenca Oriente y ausente al oeste (Rivadeneira et al, 1995; Barragán et al., 2005), está compuesta por areniscas cuarzosas blancas masivas, de grano grueso a medio frecuentemente micro-conglomeráticas hacia la base, con escasas intercalaciones de lutitas. Estas areniscas tienen menor continuidad lateral por la presencia de planicies lodosas y rematan con areniscas transgresivas cuarzosas de menor tamaño de grano y cuarzo-glaucóníticas. Y en ocasiones con lutitas de plataforma, las mismas que tienen buen desarrollo hacia el SSE y en el Perú, donde se las conoce como "lutitas Cachiyacu", que constituyen el sello del reservorio M1 (Rivadeneira et al., 1995). En la Figura 1.2 se observa intercalaciones de lutitas con arenisca y areniscas saturadas de crudo en secciones del núcleo del pozo Johanna Este 45.

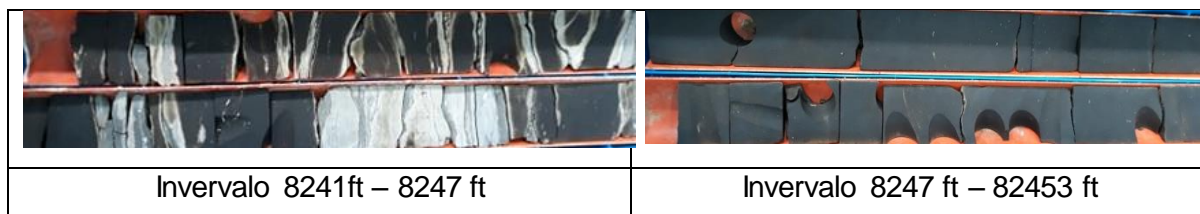


Figura 1.2. Estructuras sedimentarias del Pozo Johanna Este 45

1.1.1.2 Litoestratigrafía Arenisca M1

El intervalo del núcleo extraído del pozo Johanna Este 45 contiene asociaciones de facies interpretadas como depositadas en un sistema de transición de llanuras intermareales y subambientes asociados con ellas (posibles áreas interfluviales entre estuarios dominados por mareas) y depósitos de bahías marinas (vía marítima interior: mar interior), todos sin acceso o con acceso muy restringido o temporal al contacto directo con mar abierto. Las cortinas de barro, la laminación lenticular, la laminación ondulada, la laminación de épsilon y los juegos de láminas con granulometrías alternas, entre otras, son características de diagnóstico de la influencia de las mareas, principalmente del régimen micro o mesomareal y de una influencia marginal de las olas.

1.1.1.3 Características Estructurales Arenisca M1

La configuración estructural de la Arenisca M1 está asociada a un monoclinial con un levantamiento gradual desde el suroeste al noreste. Existe la presencia de fallas inversas con una dirección aproximada sur – norte y plegamientos fallados en algunas localidades.

La acumulación de petróleo en el Campo Johanna Este corresponde a una combinación de trampas estratigráficas y estructurales (Raynaud et al., 1993).

1.1.2 Arcillas

La arcilla está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedente de la descomposición de minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, siendo blanca cuando es pura. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años.

1.1.2.1 Tipos de Arcillas

Caolinita (Al₄(Si₄O₁₀)(OH)₈)

Es una arcilla frecuente en las areniscas, que se encuentran relleno de poros y a veces alrededor de los mismos. Su hábito más común es el de una agrupación de láminas pseudo hexagonales (en forma de libros apilados), de tamaños individuales entre 3 a 20 micras de diámetro. Otra forma de ocurrencia menos común, es el de un delicado crecimiento vermicular, es decir, en forma de una secuencia de láminas pseudo hexagonales linealmente en una extensión proporcional a la longitud del poro.

La Caolinita causa problemas de migración de finos. Se dispersa en agua dulce y causa taponamiento producto de los diferenciales de presión que ocurren durante la vida productiva del pozo.

Clorita (Fe,Mg,Al)₃(Al,Si)₄O₁₀(OH)₂*(Fe,Mg,Al)₃(OH)₆

Es el grupo que presenta mayor variedad de formas y arreglos morfológicos presentes en las areniscas, tales como: láminas, rosetas, panal de miel (honeycomb), formas de repollo (Cabbagehead), entre otros. Como láminas, la clorita se desarrolla como cristales idiomórficos individuales sobre la superficie de los granos, presentando dimensiones de hasta 2 a 10 micras.

El crecimiento del panal de miel consiste de láminas dispuestas en un patrón parecido al de un panal de miel, los cristales están fijos a la superficie de los granos detríticos. Las rosetas o racimos con forma de abanicos, comúnmente se desarrollan como delineadores de poros, aunque también pueden estar relleno de los mismos.

Estas rosetas individuales pueden tener de 5 a 20 micras de diámetro, pero pueden alcanzar las 150 micras, llegando a tener los cristales individuales tamaños de 4 a 18 micras. La forma de repollo es la de crecimiento más raro y usualmente aparece como pequeños granos equidimensionales fijos a la superficie de los granos. Las estructuras individuales tienen tamaños entre las 8 a 40 micras, suelen delinear poros aunque también pueden rellenarlos.

La Clorita presenta alto intercambio de cationes y es inestable en ácido Clorhídrico (HCl), causando precipitados de cloruro de hierro (FeCl), los cuales taponan las gargantas porales.

Illita (KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂)

Generalmente ocurre como láminas irregulares con proyecciones parecidas a listones. Es el crecimiento más delicado como hábito de todos los minerales de arcillas y generalmente se encuentra delineando poros. Sus espesores promedio van del orden de 0,5 a 2 micras. La Illita causa problemas de migración de finos y presenta intercambio de iones. Contiene Potasio (K), lo que causa precipitación de flúor silicatos del ácido gastado. Debido a su morfología (fibras o pelos), presenta alta capilaridad por lo que tienden a atrapar moléculas de agua (H₂O) en su estructura y presenta porosidades falsas.

Esmectita ((Al,Mg)₈(Si₄O₁₀)₃(OH)₁₀*12H₂O)

Tiene por lo general dos formas básicas de crecimiento, como envoltorios corrugados sobre granos de arena detríticos o en forma de una estructura similar al panal de miel de clorita. Los espesores de las láminas de arcillas están en un intervalo de 2 a 12 micras. La esmectita es un mineral que presenta alto intercambio de iones y se hincha en agua dulce.

Arcillas de Capas Mixtas Illita/Esmectita

Tienen características similares a la de las arcillas participantes, es decir, a las illitas y esmectitas. La mezcla de láminas de arcilla presenta alto intercambio de iones y se hinchan en agua dulce. A menudo contienen K, que puede causar la precipitación de flúor silicatos del ácido gastado.

1.2 Metodología para la Caracterización Mineralógica y Petrográfica de la Arenisca M1

1.2.1 Análisis Petrográfico

La petrografía en rocas clásticas consiste en la descripción y cuantificación de los componentes (minerales, líticos, etc.) y en la identificación y la descripción de la textura presente en la roca. Con base en estos atributos se nombra de acuerdo a las clasificaciones más comunes, siendo el caso de las rocas clásticas las establecidas por Pettijohn, Folk y Dott.

La microscopía óptica de minerales es una importante herramienta para investigaciones geológicas de diversa índole. Con su ayuda se pueden determinar minerales, describir texturas, identificar tipos de rocas, alteraciones y asociaciones de minerales de mena, entre otras aplicaciones. Este análisis consiste en corta esquirlas de rocas sedimentarias clásticas consolidadas (núcleos de corona) con las cuales se preparan láminas delgadas petrográficas (LDPs), y empleando un microscopio petrográfico y un software administrador de imágenes se identifican y miden múltiples longitudes mayores de tamaño granos, poros y menores de gargantas porales para que sean tratadas estadísticamente, generando luego curvas de frecuencia simple donde se puede extraer parámetros estadísticos.

El análisis estadístico de la muestra de roca se lo realiza montando la lámina delgada en la platina giratoria del microscopio petrográfico y se va barriendo el área de la lámina delgada haciendo movimientos de N a S cada milímetro con la perilla del cursor N-S, una vez barrida así la lámina se la desplaza en sentido Este empleando el cursor E-W, de esta forma se hace el conteo de granos existentes en la muestra de lámina delgada, posteriormente se toma una microfotografía en donde se realizan las mediciones de los granos y gargantas porales obteniéndose un número de medidas de entre 200 a 450 (Toro Álava et al., 2011)

1.2.2 Método de Difracción de Rayos x

La difracción de rayos x (DRX) es una de las técnicas más eficaces para el análisis cualitativo y cuantitativo de fases cristalinas de cualquier tipo de material, tanto natural como sintético.

La difracción de rayos x es una técnica analítica versátil, no destructiva para la identificación y determinación cuantitativa de las diversas formas cristalinas, conocidas como fases de compuestos presentes en muestras en polvo y sólidas. La identificación se logra comparando el patrón de difracción de rayos x, o difractograma, obtenido a partir de una muestra desconocida con una base de datos reconocida internacionalmente que contiene patrones de referencia de más de 70.000 fases.

Los sistemas modernos de difractómetros controlados por computadores usan rutinas automáticas para medir, grabar e interpretar los difractogramas únicos producidos por los constituyentes individuales incluso en mezclas altamente complejas

Las anchuras de los picos en un patrón de fase particular indica el tamaño medio de los cristales. Cuando los cristales son grandes dan lugar a picos agudos, mientras que los cristales pequeños generan una anchura en los picos.

La difracción de rayos x es un fenómeno físico en el cual chocan los electrones con suficiente energía cinética para originarlos, se busca la interacción de un rayo con determinada longitud de onda originado por un cátodo y un ánodo, en el cátodo se le aplica un potencial para acelerar los electrones producidos por el filamento los cuales chocan contra el ánodo y envían los rayos x en todas las direcciones (Baños, 2001).

Este fenómeno físico se basa en leyes ópticas de refracción y difracción. Existen varias técnicas de difracción de rayos x, la más utilizada es la ley de Bragg en la figura 1.2.

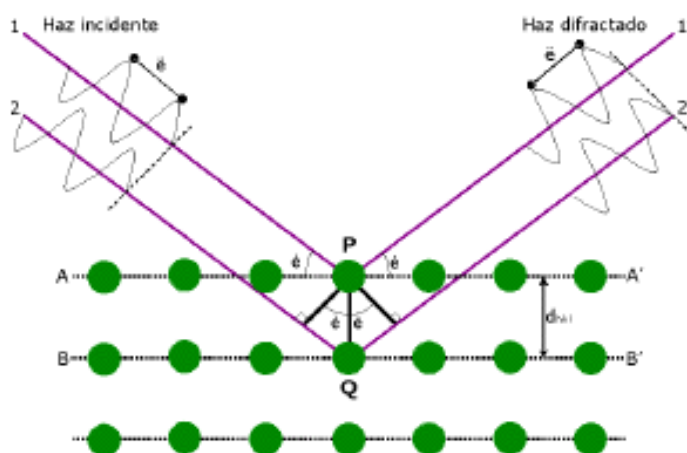


Figura 1.3. Esquema de Bragg para la reflexión en distintas familias de planos, d , d_1 , d_2 , que corresponden a los espaciado reticulares d_{hkl} . de índices de Millar (hkl) . Fuente: Dr. Andrés Ozols. Aplicaciones de la difracción de rayos X

La difracción de rayos x es una técnica de caracterización de sustancias cristalinas y amorfas que sirve para determinar la estructura detallada de un material en específico, propiedades como tamaño del cristal, tamaño de celdas unitarias, cantidad de material cristalino, cantidad de material amorfo y composición química de la muestra.

Las fases amorfas no se ven por difracción de rayos X, solamente una gran cantidad de una fase amorfa se mostrará como un fondo aumentado, especialmente entre 10 - 30 grados 2θ para la radiación de cobalto.

La suma de todas las fases detectadas se normaliza siempre al 100%. Cuando está presente una fase amorfa, las cantidades de todas las fases cristalinas se calculan demasiado altas, con el fin de compensar la fase amorfa no detectada. Esto se utiliza para cuantificar indirectamente la cantidad amorfa en una muestra.

Se añade a la muestra una cantidad conocida de una fase patrón cristalina al 100%. A partir de la sobreestimación de la fase estándar se calcula un factor de corrección, que a su vez se aplica a todas las n fases cristalinas. La diferencia restante al 100% (después de aplicar el factor de corrección) es el porcentaje en peso de la fase amorfa.

Para esto es necesario tener exactitud en la adición del peso porcentual material estándar o “rutilo” que se use” generalmente del 10%” , ya que es necesario evitar al máximo fenómenos de factores de escala demasiados altos y traslapamientos de picos que entorpezcan el estudio.

1.2.3 Microscopía Electrónica de Barrido

El Microscopio electrónico de barrido o SEM (Scanning Electron Microscope), es aquel que utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen. Tiene una gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra. También produce imágenes de alta resolución, que significa que características espacialmente cercanas en la muestra pueden ser examinadas a una alta magnificación. La preparación de las muestras es relativamente fácil pues la mayoría de SEMs sólo requieren que estas sean conductoras (Morales et al., 2015).

En el microscopio electrónico de barrido la muestra generalmente es recubierta con una capa de carbón o una capa delgada de un metal como el oro para darle propiedades conductoras a la muestra. Posteriormente es barrida con los electrones acelerados que viajan a través del cañón. Un detector mide la cantidad de electrones enviados que arroja

la intensidad de la zona de muestra, siendo capaz de mostrar figuras en tres dimensiones, proyectados en una imagen de TV o una imagen digital. Su resolución está entre 4 y 20 nm, dependiendo del microscopio (Castroviejo, 2020).

El microscopio electrónico de barrido con detector de energía dispersiva (SEM-EDX) permite obtener imágenes microscópicas de todo tipo de materiales. Las imágenes se pueden obtener con electrones secundarios y retrodispersados, estas últimas nos dan información de variaciones composicionales de la muestra, mientras que las primeras permiten observar la textura y características morfológicas de las fases analizadas. La escala de trabajo comprende aumentos que van desde pocas decenas hasta 300000 en condiciones ideales.

1.2.3.1 Aplicaciones

- Caracterización y descripción de fases arcillosas para estudios paleoambientales, diagenéticos, expansibilidad en ingeniería civil, etc.
- Determinación de la presencia de hidrocarburos.
- Existencia de fases potencialmente problemáticas de la serie etringita-taumasita en obras públicas.
- Descripciones mineralógicas y texturales de materiales pertenecientes al Patrimonio histórico analizando su grado de alteración y/o recuperación.
- Caracterizaciones texturales, morfológicas y químicas de un gran número de fases en el área de la minería, petrología ígnea y metamórfica, paleontología y mineralogía en general.

1.3 Ubicación

El pozo Johanna Este 45 está ubicado en el Campo Johanna Este perteneciente al Bloque Tarapoa, el cual está localizado en la provincia de Sucumbíos, Cantón Cuyabeno en la parroquia de Tarapoa. El Bloque está limitado al Norte por el Bloque 58, al Este por la reserva Cuyabeno, al sur por el Bloque 12 Eden Yuturi y Bloque 15 Indillana, y al Oeste por el Bloque 57 o Libertador en la Cuenca Oriente. Las coordenadas de la superficie son: N: 9984939.84 m; E: 333009.60 m. La secuencia conservada en la parte superior comienza en 8217' y la base corresponde a 8278'. Espesor total de 61 pies (Figura 1.4 y Figura 1.5).

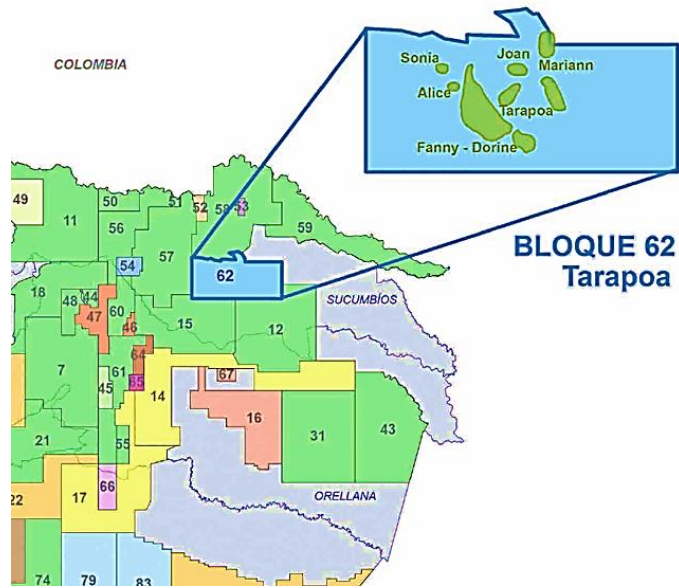


Figura. 1.4. Ubicación del Bloque Tarapoa

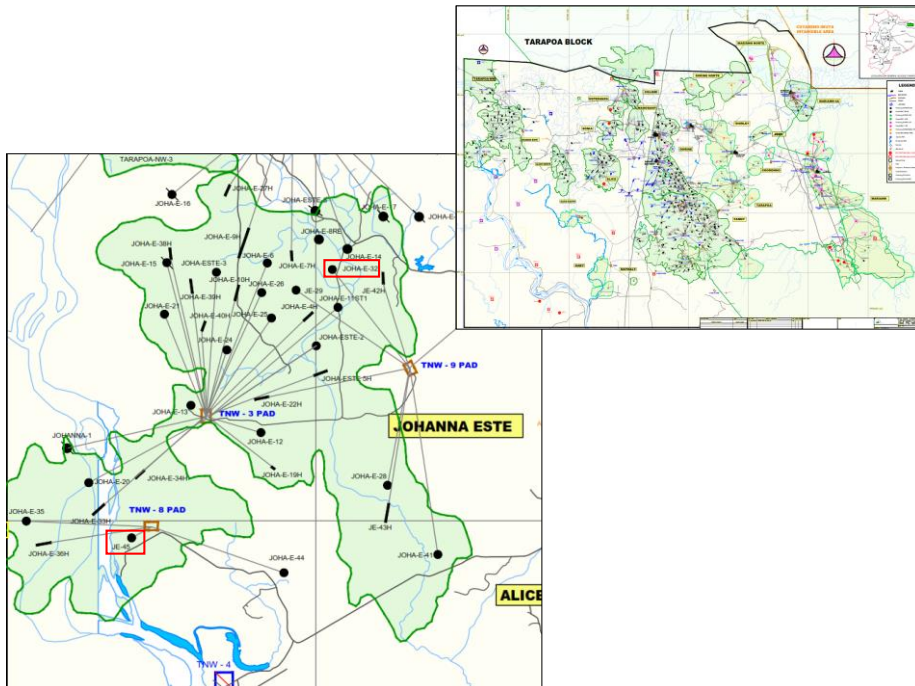


Figura. 1.5. Ubicación del pozo Johanna Este 45 (Bloque Tarapoa), en la Cuenca Oriente, de donde proviene el núcleo estudiado.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la línea de investigación del proyecto es experimental, donde se realizó ensayos de laboratorio para identificar de forma más detallada el tipo de roca sedimentaria y sus características geológicas y petrofísicas del reservorio. Adicionalmente se cuantificó el grado de cristalinidad de los materiales arcilloso (Carmona y Fernández, 2014).

Con la utilización de un microscopio de polarización o petrográfico de luz transmitida se realizó la descripción a detalle de las características petrográficas: tipo de arenisca, minerales y tamaño de los cristales, así como el tipo de porosidad, gargantas porales, cementos , sobrecrecimientos y rasgos de disolución del pozo Johanna Este 45.

Para el segundo ensayo de laboratorio se utilizó un microscopio electrónico de barrido (SEM), el cual mapea la superficie de la muestra con el fin de caracterizar la morfología con respecto al tamaño y forma cristalina de los granos, así como la longitud de las gargantas porales identificadas en las muestras del núcleo.

El tercer ensayo realizado es la difracción de rayos x que es una técnica analítica versátil, no destructiva para la identificación y determinación cuantitativa y cualitativa de las diversas formas cristalinas, conocidas como fases de compuestos presentes en muestras en polvo del núcleo.

El estudio se realizó en 39 de las cuales se escogieron 31 muestras para el análisis petrográfico de láminas delgadas, 39 muestras para difracción de rayos x y 21 muestras para el análisis de imágenes de microscopía electrónica de barrido, escogidas del núcleo en base a criterios geológicos observados en el intervalo desde 8217 pies hasta 8277 pies con un total de 60 pies analizados. De esta manera la caracterización mineralógica y petrográfica del núcleo presentará resultados más cercanos a la realidad geológica del reservorio, con lo cual este análisis se convertirá en fuente de información para los pozos del Campo Johanna Este del Bloque Tarapoa.

La clasificación composicional de las rocas se realizó con base en la proporción relativa de cuarzo, feldespato y líticos; el tamaño de grano de la muestra se definió de acuerdo con la escala de Wentworth (1922); La clasificación y redondez de los granos se realizó a partir de la tabla de clasificación de Compton (1962).

2.1.1 Litoestratigrafía

El estudio litoestratigráfico realizado en el pozo Johanna Este 45 muestra evidencia de la influencia de la marea en la acumulación de la sucesión analizada. Las principales características de diagnóstico son la laminación lenticular, la presencia generalizada de cortinas de lodo, la laminación de épsilon, los juegos de láminas con granulometrías alternas, entre otras características, permiten soportar un ambiente de depósito con influencia de las mareas, en un régimen mesotidal, de acuerdo con el pequeño grosor y la magnitud de los conjuntos laminados conservados en los cuerpos sedimentarios acumulados.

La ausencia o escasez de indicadores de exposición subaerial, tales como óxidos de hierro, horizontes de paleosuelos, rizolitos, lechos o láminas de carbón, grietas de desecación, entre otros, indica que las secuencias descritas se acumularon en entornos sub e intermareales, pero en un ambiente relativamente Sistema cerrado sin comunicación abierta al mar abierto (Rivera, 2018).

Por lo tanto, la sucesión de Johanna East-45 se interpreta como acumulada en las llanuras costeras de las mareas y comprende asociaciones de facies intermareales de canales de mareas, planicies de arena, planicies mixtas y planicies de lodo.

Las subdivisiones se nombraron con letras mayúsculas, donde la letra A corresponde a los intervalos de la base, mientras que la letra F incluye los intervalos de la parte superior y cada uno está asociado con un entorno. La figura 2.1 muestra la columna estratigráfica, mientras que la tabla 2.1 corresponde a un resumen de los segmentos, relacionados con los entornos, los intervalos, si los reservorios y el carácter de la sucesión.

Tabla 2.1. Tabla resumen de las unidades litoestratigráficas consideradas en el pozo Johanna Este 45 con los segmentos propuestos, división A a F, de acuerdo con las características principales de las secuencias desde el punto de vista sedimentológico y del reservorio.

NOMBRE UNIDAD	AMBIENTE DEPOSICIONAL	ASOCIACIÓN	INTERVALO	CARACTERÍSTICA LITOFACIAL
TENA BASAL	Llanuras supramareales	F	8222' - 8217'	Silicio fino
ARENISCA SUPERIOR M1	Arroyos de marea y mezcla calcárea	E	8230' - 8222'	Carbonato fino
FORMACIÓN NAPO ZONA DE ARENISCA M1	Pisos de marea mixtos	D2	8236.30' - 8230'	Heterolítico
		D1	8247' - 8241'	Arenisca Cuarzosa
	Pisos intermareales arenosos	C2	8241' - 8236.30'	Arenisca Cuarzosa
		C1	8261.30' - 8247'	
Canales de marea	B	8277' - 8267'		
FORMACIÓN NAPO ARENISCA M1	Pisos intermareales arcillosos	A2	8267' - 8261.30'	Heterolítico
		A1	8278' - 8277'	

(Fuente: Rivera. R 2018, modificado Intervalos Jorge Méndez).

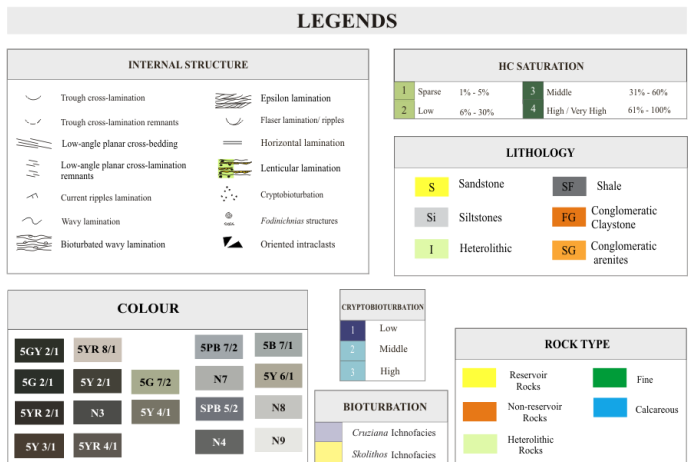
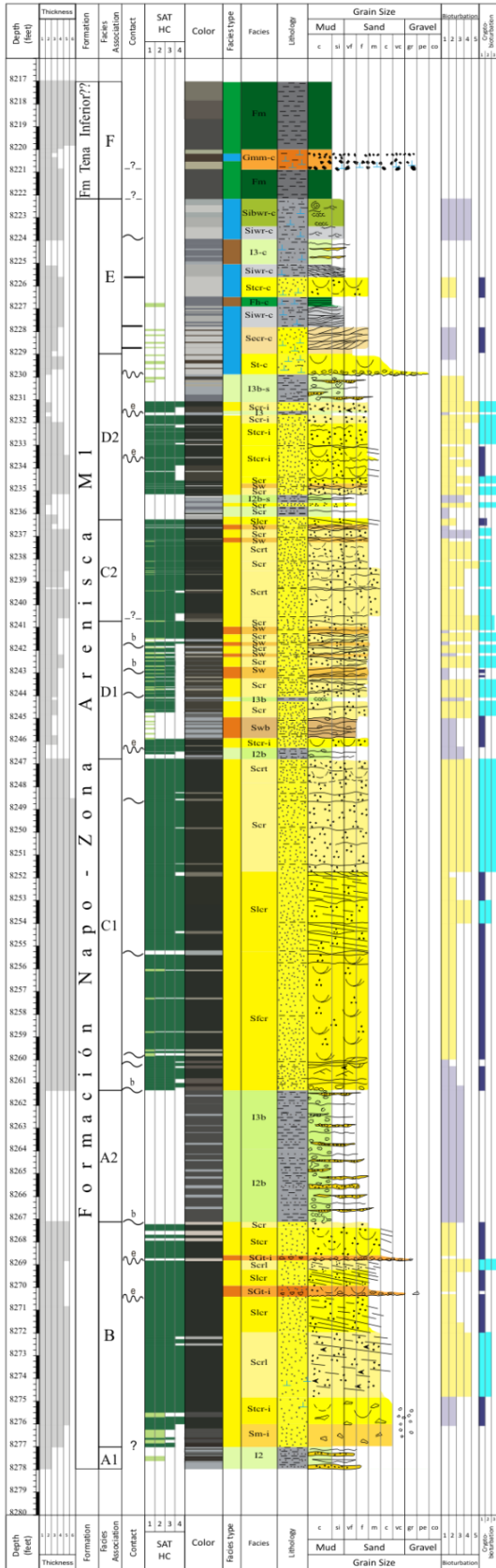


Figura 2.1. Sección estratigráfica generalizada del núcleo del pozo Johanna Este 45 con la nomenclatura litoestratigráfica, segmentos y principales características sedimentológicas. Fuente: (Rivera, 2018).

La parte superior de la secuencia, posiblemente supramareales (?). En este proyecto, se propone seguir el modelo de Desjardins et al. (2012), limitado a la zona supramareales a submareales poco profunda (figura 2.2 cuadro rojo), pero en entornos restringidos, tal vez de bahías cerradas.

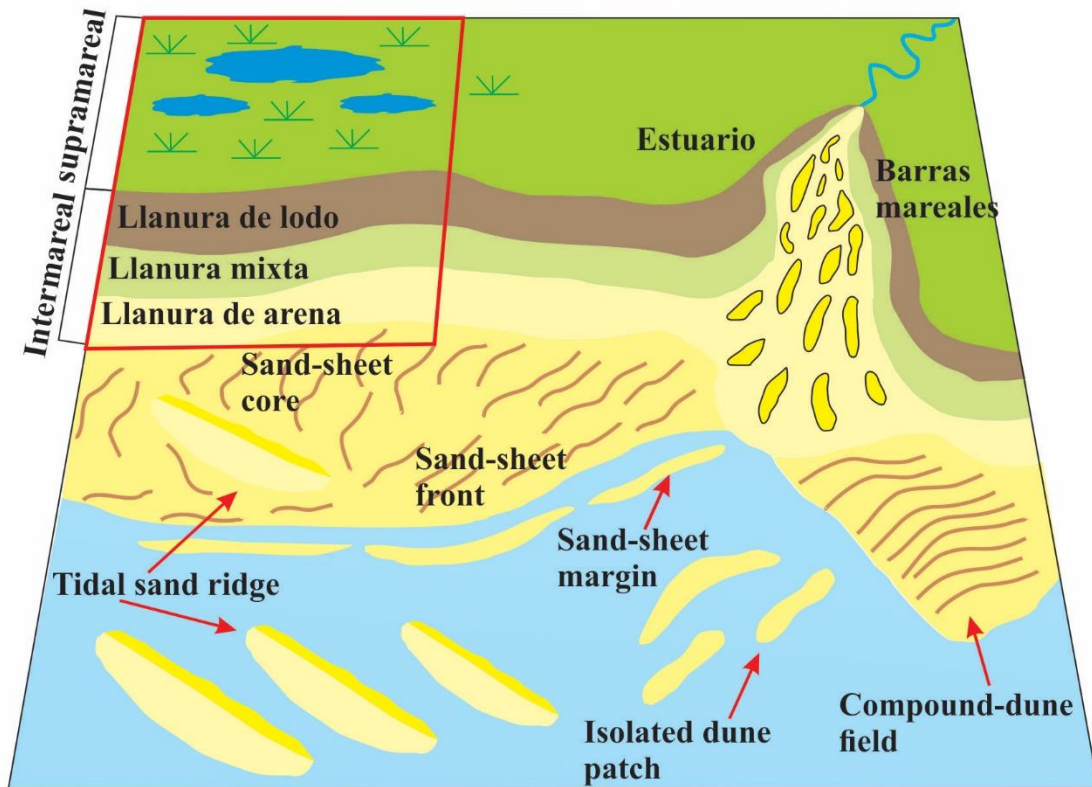


Figura 2.2. Ambientes sedimentarios y distribución de cuerpos de arena en ambientes marinos poco profundos con influencia de las mareas. El cuadro rojo indica los entornos costeros llanos interpretados en el núcleo del pozo Johanna Este 45. Tomado y modificado de Desjardins et al. (2002)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1 Análisis Petrográfico

El proceso de clasificación de los sedimentos se inicia observando la lamina fina de una roca a través de un microscopio de luz polarizada, para determinar cuáles son los minerales presentes en la roca.

Para el estudio petrográfico del pozo Johanna Este 45, se realizó el análisis mediante mineralogía óptica de 31 muestras de secciones delgadas en un microscopio petrográfico de luz transmitida, se utilizó el método de conteo de puntos, que consiste en realizar una

mallas constante de diez líneas contando treinta puntos en cada una de ellas, obteniendo un total de trescientos puntos, para un porcentaje del cien por ciento, y considerando el principio de que el volumen ocupado por cada componente de una roca es proporcional a la superficie que ocupa sobre una sección, se determinó así los minerales presentes en las muestras del reservorio.

Con este resultado se obtuvo la clasificación textural, composicional y porosidad de las muestras que se muestran en la tabla 3.1, en la cual se observa el intervalo de producción del pozo Johanna Este 45 desde 8250 ft hasta 8258ft, identificado con las celdas de color amarillo.

Este tipo de reservorio, de acuerdo a sus características, es clástico y pertenece al grupo de las areniscas, existen diversos métodos para clasificar a este tipo de reservorio, entre los cuales se tienen el de (Dott, 1964; Dickinson, 1970; Okada, 1971; Fol, 1980 y Pettijohn et al. 1987). Para el estudio actual, el método utilizado corresponde al de (Pettijohn et al. 1987).

Como base para realizar la clasificación, los autores (Pettijohn et al. 1987), toman cuatro componentes, tres de ellos relativos a la composición, los cuales son el cuarzo, el feldespato y los fragmentos de roca; y otro relativo al contenido en matriz detrítica.

En la clasificación de (Pettijohn et al. 1987), existen tres triángulos, los cuales, se pueden observar en la figura 3.1; los dos primeros triángulos pertenecen cada uno a una familia de areniscas (arenitas, grauvacas) y el último triángulo pertenece a las lutitas.

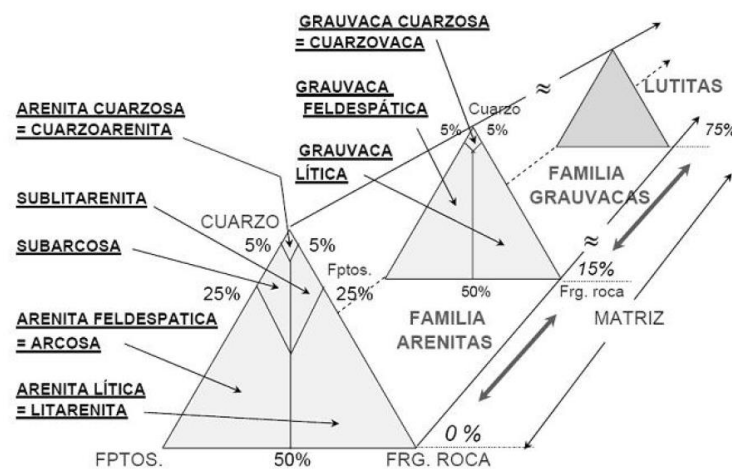


Figura 3.1. Clasificación de (Pettijohn et al., 1987)

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 3.1, el componente relativo al contenido de matriz tiene un porcentaje menor al 15 %, por consiguiente el reservorio que se está clasificando pertenece a la familia de las arenitas que conforman el primer triángulo.

Tabla 3.1. Conteo porcentual de los minerales del Pozo Johanna Este 45

CONTEO DE MINERALES POZO JOHANNA ESTE 45														
N° MUESTRA	Prof (pies)	Qmo	Qp2-3	Qc	Feldp	Caolinita	Calcita	Micas	Líticos	Glauconita	Arcillas	Pirita	φ Primaria	φ Secundaria
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	8231,30	61,05	5,04	6,60	3,24	1,18	-	-	1,79	1,14	-	-	17,44	2,52
2	8232,70	56,12	1,00	11,20	2,42	0,66	-	-	-	-	-	-	27,50	1,10
3	8233,90	51,48	2,41	17,52	4,56	0,38	1,15	-	-	-	-	-	20,91	1,59
4	8237,20	60,00	14,00	5,33	1,67	1,00	-	-	-	1,00	-	-	17,00	-
5	8238,30	57,12	2,83	10,95	2,10	1,45	-	-	1,10	0,73	-	-	22,80	0,92
6	8239,10	58,10	7,10	8,10	3,22	2,45	-	-	-	-	-	-	20,65	0,38
7	8240,50	40,72	2,81	20,32	7,34	4,26	2,45	-	-	-	0,90	-	21,20	-
8	8242,10	23,92	1,20	35,40	16,74	0,83	-	-	-	-	-	-	21,40	0,51
9	8243,30	38,37	2,24	25,70	3,79	10,76	0,42	-	-	-	-	-	18,30	0,42
10	8245,90	47,00	10,33	22,67	2,33	1,67	-	-	-	-	0,33	-	15,67	-
11	8247,30	49,33	3,00	24,67	6,67	2,67	-	-	-	0,33	-	-	13,33	-
12	8248,15	51,67	4,67	15,33	7,67	0,33	-	0,33	-	-	-	-	20,00	-
13	8249,80	54,67	3,67	19,00	8,33	3,67	-	-	-	-	-	-	10,66	-
14	8250,70	63,25	4,07	14,35	2,04	-	-	0,40	-	-	-	-	15,14	0,75
15	8252,40	53,16	3,39	10,24	4,45	4,64	0,58	-	-	-	-	-	23,22	0,32
16	8253,45	52,66	2,67	13,67	5,00	2,00	-	-	-	-	-	-	23,67	0,33
17	8254,60	59,23	1,16	12,08	4,53	5,95	-	-	-	-	-	-	17,05	-
18	8255,80	55,67	4,33	5,00	1,67	17,33	-	-	-	-	1,67	-	14,33	-
19	8256,80	46,12	1,80	13,25	11,40	3,20	-	-	-	-	6,85	2,45	14,75	0,18
20	8258,20	42,67	3,67	14,67	10,33	5,33	-	-	-	-	7,00	1,67	14,66	-
21	8259,60	50,33	4,33	12,67	9,33	2,67	-	-	-	-	4,00	0,33	16,34	-
22	8261,10	41,14	1,34	21,73	3,68	9,70	-	-	-	-	8,03	0,33	14,05	-
23	8267,50	54,33	3,33	7,00	3,00	9,67	0,67	-	-	-	2,67	-	19,33	-
24	8268,60	52,75	1,46	8,67	5,45	6,67	3,67	-	-	-	9,00	-	12,00	0,33
25	8269,30	57,66	1,33	10,67	3,67	3,00	0,67	-	-	-	-	-	23,00	-
26	8270,40	56,34	3,33	11,00	5,00	4,33	1,33	-	-	-	-	-	17,67	1,00
27	8272,20	54,67	2,67	9,32	10,00	4,67	1,67	-	-	-	1,00	-	16,00	-
28	8274,00	52,32	2,67	13,00	9,67	2,00	-	-	-	-	-	-	19,67	0,67
29	8274,80	46,00	5,67	8,00	7,33	2,00	1,00	-	-	-	-	-	30,00	-
30	8277,00	42,34	1,00	11,33	4,67	17,33	3,00	-	-	-	-	-	20,33	-
31	8277,60	43,78	4,72	8,56	5,69	5,42	2,61	-	-	-	2,67	-	23,87	2,68

Para el estudio en cuestión se analizaron los porcentajes de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca (líticos) en el software Triplot en donde los resultados obtenidos fueron los siguientes representados en la figura 3.2.

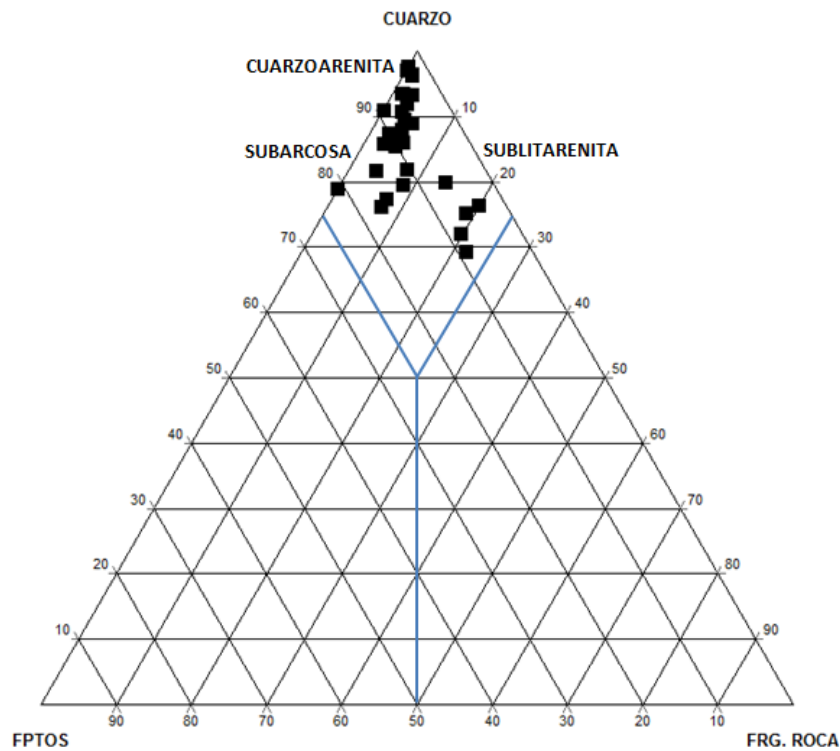


Figura 3.2. Clasificación de (Pettijohn et al., 1987), Familia de Arenitas

Se puede observar en el diagrama triangular de la figura 3.2 que la mayor concentración de puntos se ubica en la parte superior izquierda del triángulo perteneciente a la región identificada como “Arenita Cuarzosa” o Cuarzoarenita, “Subarcosa” y “Sublitarenita” en menor proporción por lo tanto, el tipo de reservorio que se está clasificando se identifica como una Cuarzoarenita en su mayor proporción a lo largo de todo el núcleo, incrementando su porcentaje hacia el tope, seguido de una composición Subarcosa igualmente a lo largo del núcleo incrementando su porcentaje hacia la base, y por último una composición Sublitarenita menor incrementando su porcentaje hacia la base del núcleo. A continuación, en la tabla 3.2 se observa una clasificación composicional de (Pettijohn et al., 1987) del pozo Johanna Este 45.

Tabla 3.2. Clasificación de (Pettijohn et al., 1987) del Pozo Johanna Este 45

CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL				
Profundidad	Cuarzo	Fptos	Frag. Rocas	Clasificación
Ft	%	%	%	
8231,30	72,69	4,65	2,70	Cuarzoarenita
8232,70	68,32	2,42	0,66	Cuarzoarenita
8233,90	71,41	4,56	1,53	Cuarzoarenita
8237,20	79,33	2,67	1,00	Cuarzoarenita
8238,30	70,90	3,20	2,18	Cuarzoarenita
8239,10	73,30	4,36	1,31	Cuarzoarenita
8240,50	63,85	8,78	6,17	Subarcosa
8242,10	60,52	16,74	0,83	Subarcosa
8243,30	68,56	7,85	4,87	Sublitarenita
8245,90	80,00	2,78	1,55	Cuarzoarenita
8247,30	77,00	6,67	3,00	Subarcosa
8248,15	71,67	7,67	0,66	Subarcosa
8249,80	77,34	8,33	3,67	Subarcosa
8250,70	81,67	2,04	0,40	Cuarzoarenita
8252,40	66,79	6,35	3,32	Cuarzoarenita
8253,45	69,00	5,00	2,00	Subarcosa
8254,60	72,47	5,87	4,61	Cuarzoarenita
8255,80	65,00	3,45	17,22	Sublitarenita
8256,80	64,58	14,25	6,24	Subarcosa
8258,20	65,45	13,87	6,02	Subarcosa
8259,60	67,33	12,45	3,88	Subarcosa
8261,10	64,21	5,68	16,06	Sublitarenita
8267,50	64,66	5,00	11,01	Sublitarenita
8268,60	62,88	7,45	17,34	Sublitarenita
8269,30	69,66	4,65	2,69	Cuarzoarenita
8270,40	70,67	8,45	2,21	Cuarzoarenita
8272,20	66,66	10,00	7,34	Subarcosa
8274,00	67,99	9,67	2,00	Subarcosa
8274,80	59,67	7,33	3,00	Subarcosa
8277,00	54,67	7,86	17,14	Sublitarenita
8277,60	58,75	5,85	8,85	Sublitarenita

3.1.1.1 Tamaño de Grano

La clasificación del tamaño de grano de las muestras se definió de acuerdo con la escala de Wentworth (1922) mostrada en la figura 3.3; esta escala fue adoptada internacionalmente para la clasificación granulométrica de partículas sedimentarias.

Fue propuesta en 1922 por C. K. Wentworth, basándose en la anterior escala de J. A. Udden, de 1898.

Millimeters (mm)	Micrometers (μm)	Phi (ϕ)	Wentworth size class		Rock type
4096		-12.0	Boulder	Gravel	Conglomerate/ Breccia
256		-8.0	Cobble		
64		-6.0	Pebble		
4		-2.0	Granule		
2.00		-1.0	Very coarse sand	Sand	Sandstone
1.00		0.0	Coarse sand		
1/2	0.50	1.0	Medium sand		
1/4	0.25	2.0	Fine sand		
1/8	0.125	3.0	Very fine sand		
1/16	0.0625	4.0	Coarse silt	Silt	Siltstone
1/32	0.031	5.0	Medium silt		
1/64	0.0156	6.0	Fine silt		
1/128	0.0078	7.0	Very fine silt		
1/256	0.0039	8.0		Mud	Claystone
	0.00006	14.0	Clay		

Figura 3.3. Clasificación del tamaño de grano de sedimentos terrígenos (Udden-Wentworth, 1922)

Para medir el tamaño de los granos en las muestras de láminas delgadas se utilizó un software denominado Action Vision el cual presenta una escala correspondiente a cada objetivo del microscopio. Esta escala es graduada teniendo en cuenta los aumentos del objetivo utilizado en la observación de las zonas contenidas en la lámina, donde se realizaron las mediciones de los granos, obteniendo de esta manera una medida real del tamaño del grano.

En la figura 3.4 se muestran varios ejemplos de la forma como se realizaron las mediciones de los granos de la arenisca M1 a lo largo de todo el núcleo estudiado.

En las siguientes fotos se observan cuatro muestras representativas del núcleo que han sido medidas utilizando las escalas adecuadas para cada objetivo, de esta manera se puede diferenciar los tamaños de grano que se encuentra en el reservorio.

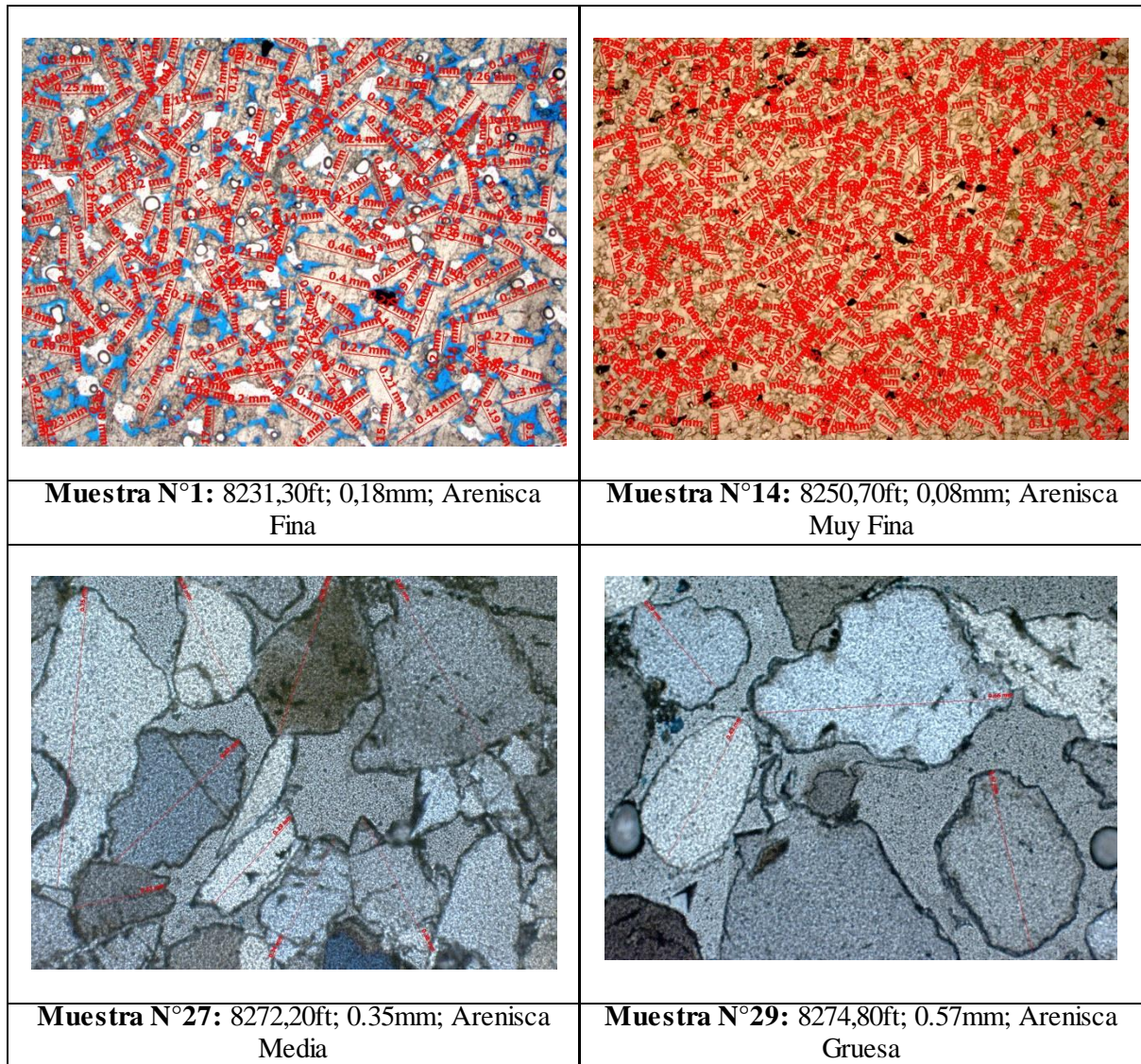


Figura 3.4. Mediciones del tamaño de grano en la Arenisca M1

Luego de realizar varias medidas de forma proporcional y homogénea en toda la lámina delgada, se obtuvo un valor promedio del tamaño de grano para cada muestra del reservorio.

Estos valores promedio se cuantificaron de acuerdo a la Clasificación del tamaño de grano de (Udden-Wentworth, 1922) observados en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Tamaño de Grano muestras Pozo Johanna Este 45

TAMAÑO DE GRANO			
N° MUESTRA	Prof (pies)	mm	Clasificación
1	8231,30	0,18	Arenisca Fina
2	8232,70	0,17	Arenisca Fina
3	8233,90	0,15	Arenisca Fina
4	8237,20	0,13	Arenisca Fina
5	8238,30	0,13	Arenisca Fina
6	8239,10	0,16	Arenisca Fina
7	8240,50	0,10	Arenisca Muy Fina
8	8242,10	0,20	Arenisca Fina
9	8243,30	0,11	Arenisca Muy Fina
10	8245,90	0,12	Arenisca Muy Fina
11	8247,30	0,13	Arenisca Fina
12	8248,15	0,11	Arenisca Muy Fina
13	8249,80	0,08	Arenisca Muy Fina
14	8250,70	0,08	Arenisca Muy Fina
15	8252,40	0,07	Arenisca Muy Fina
16	8253,45	0,08	Arenisca Muy Fina
17	8254,60	0,09	Arenisca Muy Fina
18	8255,80	0,11	Arenisca Muy Fina
19	8256,80	0,05	Limo Gueso
20	8258,20	0,06	Limo Gueso
21	8259,60	0,07	Arenisca Muy Fina
22	8261,10	0,12	Arenisca Muy Fina
23	8267,50	0,26	Arenisca Media
24	8268,60	0,56	Arenisca Guesa
25	8269,30	0,52	Arenisca Guesa
26	8270,40	0,39	Arenisca Media
27	8272,20	0,35	Arenisca Media
28	8274,00	0,59	Arenisca Guesa
29	8274,80	0,57	Arenisca Guesa
30	8277,00	0,18	Arenisca Fina
31	8277,60	0,21	Arenisca Fina

Como resultado de esta clasificación se obtuvo interfaces o secuencias de areniscas identificadas en las muestras a lo largo del núcleo del pozo. Estas secuencias mostradas en la tabla 3.3 forman dos grandes secuencias de grano decreciente a grano creciente con pequeñas intercalaciones. La representación gráfica de las secuencias de areniscas se puede observar en la figura 3.5, mostrando de esta manera la distribución del tamaño de grano de las muestras analizadas.

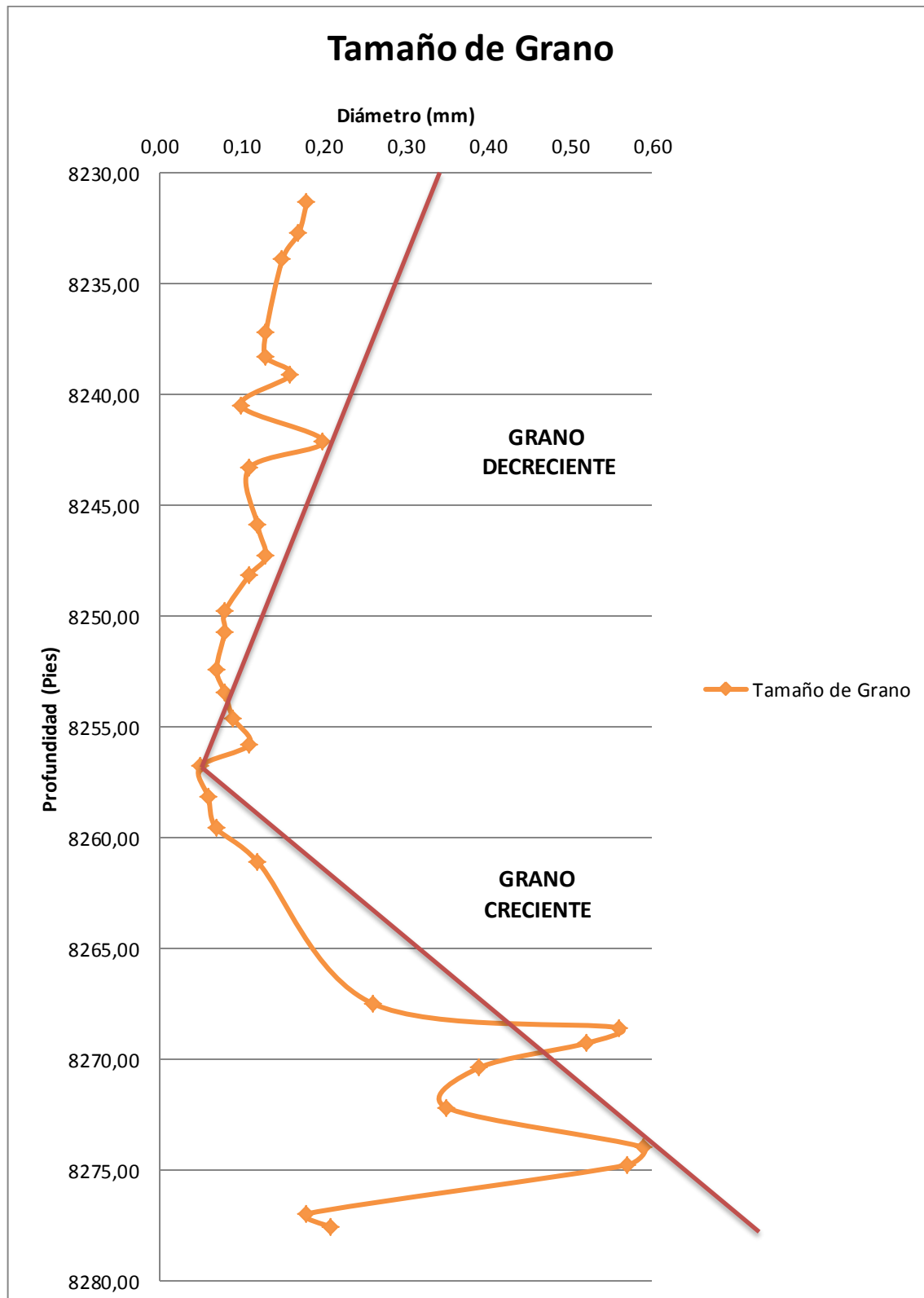


Figura 3.5 Secuencias grano decreciente – creciente en la Arenisca M1

La primera secuencia es de grano decreciente que va desde los 8231,30 hasta 8258,20 pies de profundidad que incluyen areniscas finas a muy finas terminando en un limo grueso.

La segunda secuencia es de grano creciente que va desde 8259,60 hasta 8274,80 pies de profundidad que incluye areniscas muy finas, medias a gruesas, y por último una pequeña secuencia grano decreciente desde 8277 hasta 8277,60 pies de profundidad.

Las asociaciones de facies corresponden a ambientes de depositación fluvio-lacustre y planicie de inundación costera. La ocurrencia de secuencias granocrecientes, indican la inestabilidad de los taludes influenciados por pequeños deltas que progradan en este sistema generalmente fluvio-lacustre (Martínez, D. 2017).

3.1.1.2 Redondez y Esfericidad

Para la cuantificación de la esfericidad y redondez de las areniscas en láminas delgadas se utilizó la escala de comparación visual de Powers (1953) representada en la figura 3.6. Además de determinar estas dos características, es útil para relacionar la textura ya que a medida que se recorre del extremo izquierdo – muy angular- hasta el extremo derecho de la escala, también la superficie pasa de rugosa a lisa.

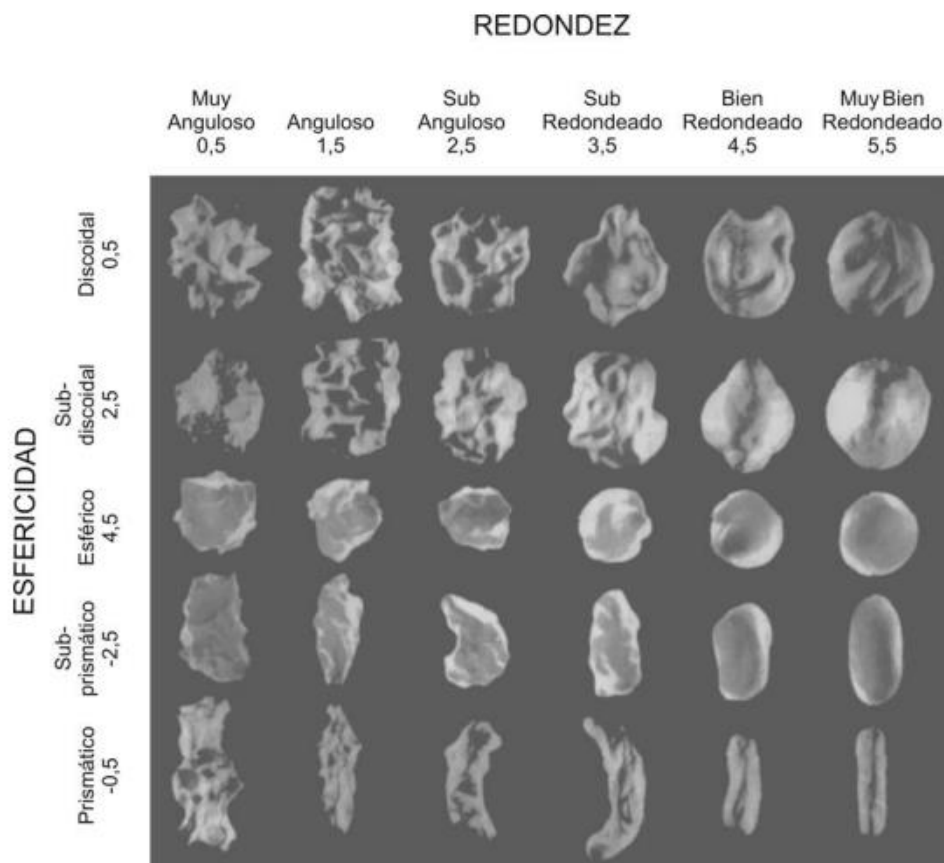
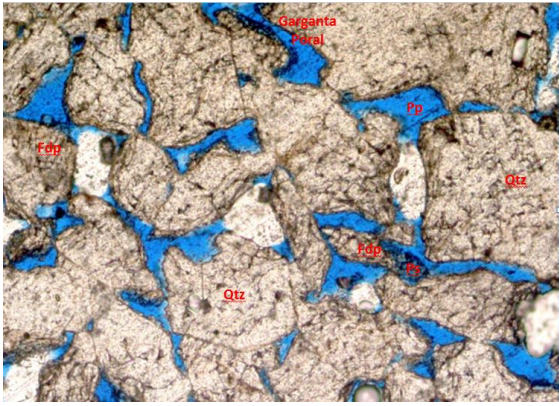
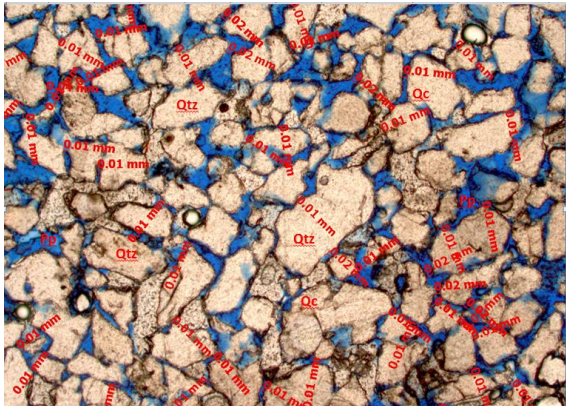
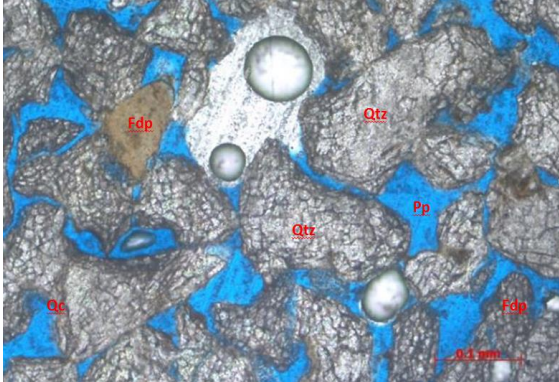
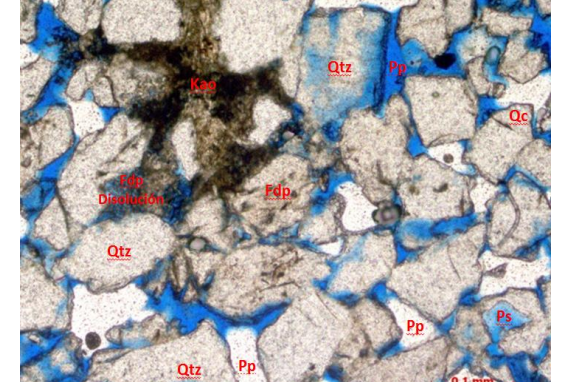


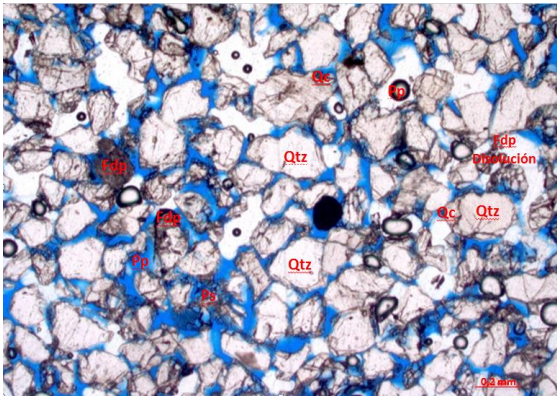
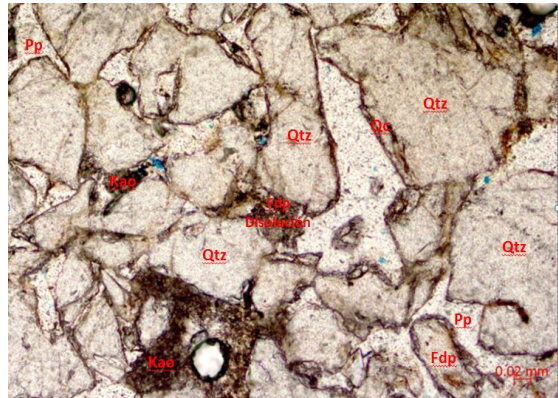
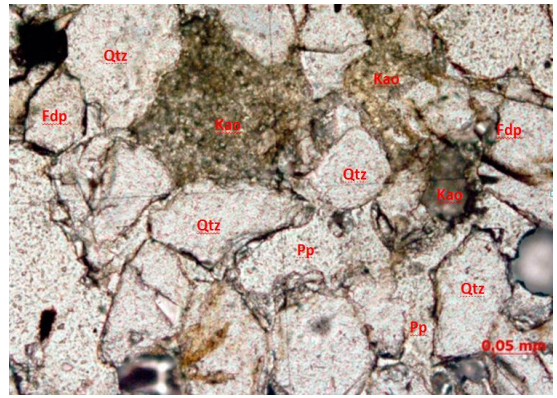
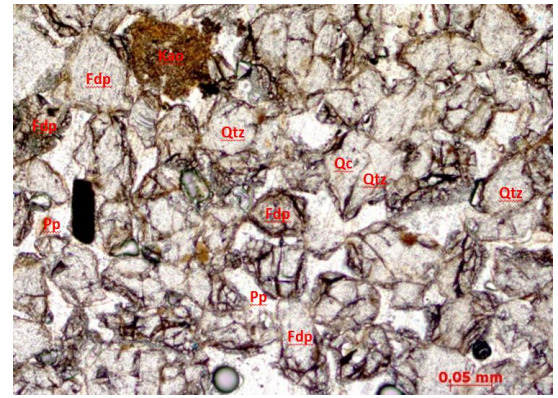
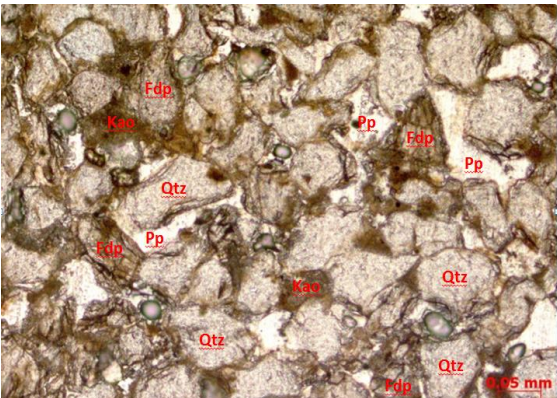
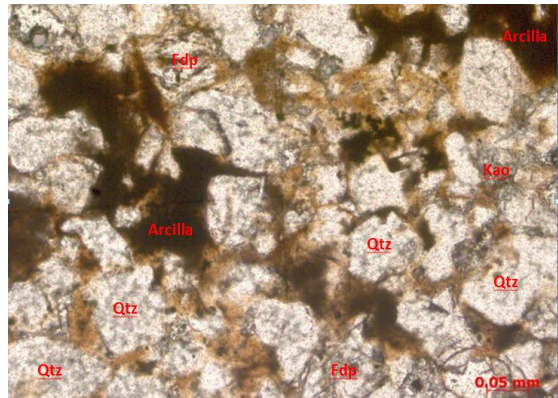
Figura 3.6. Comparación Visual de Redondez y Esfericidad

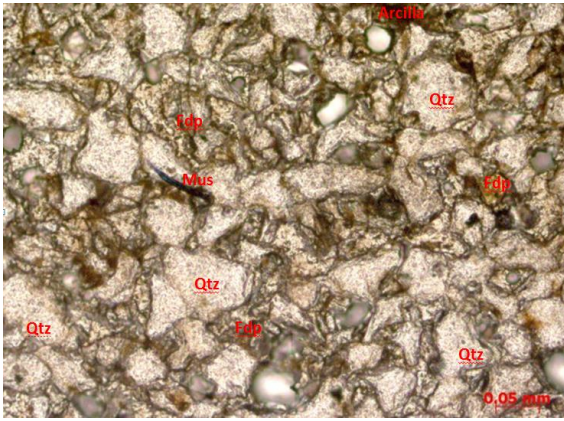
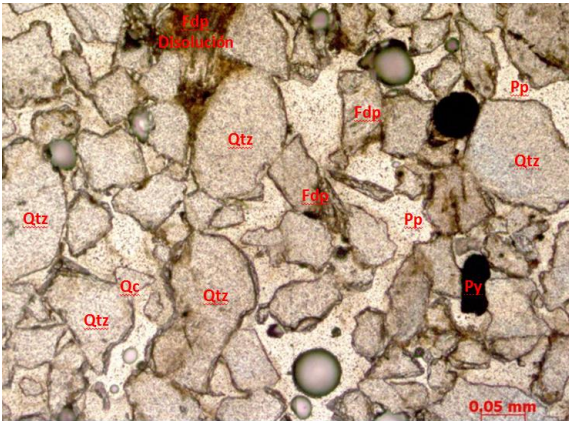
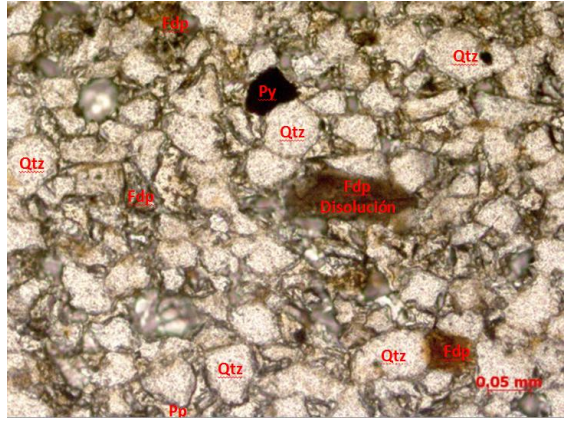
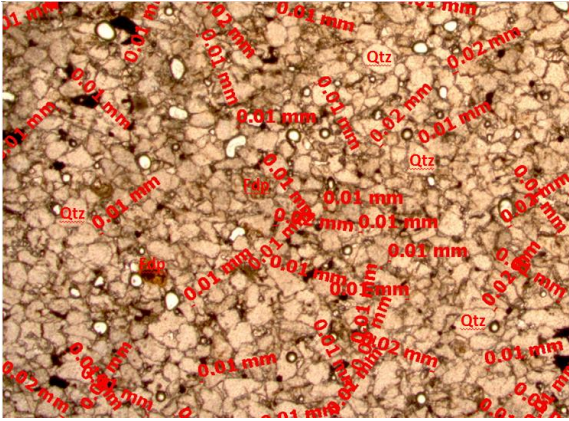
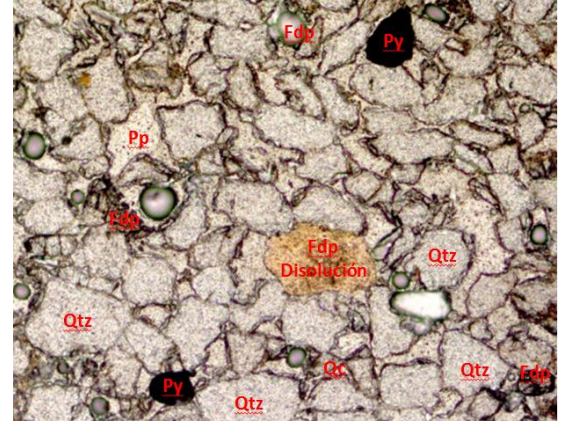
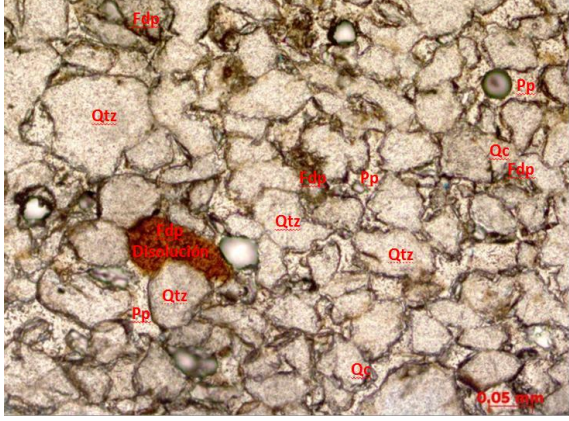
Con los registros fotográficos obtenidos en el estudio de la mineralogía óptica, se realizó una comparación visual de los componentes minerales presentes de cada muestra de lámina delgada.

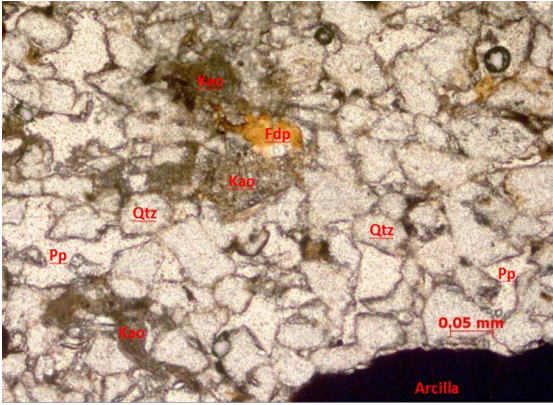
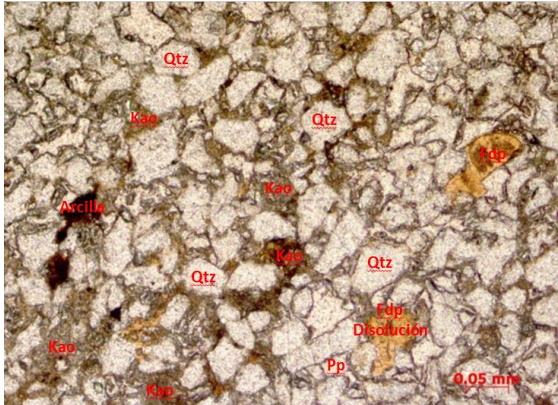
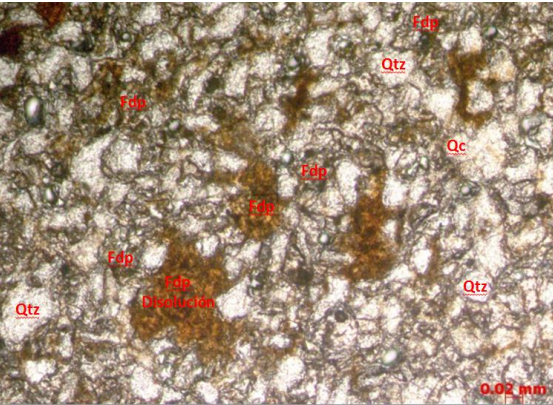
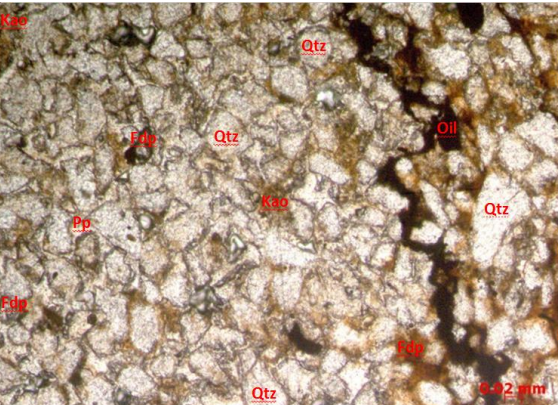
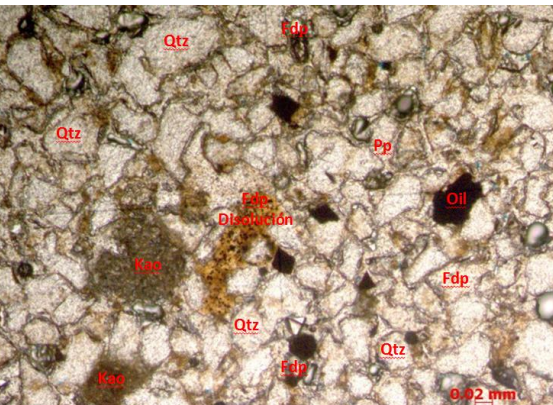
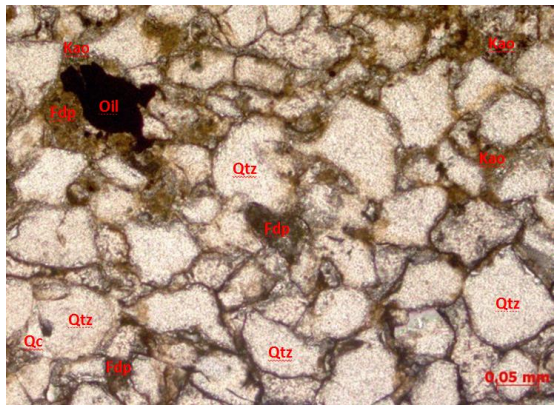
En las siguientes imágenes se muestra la esfericidad y redondez de las muestras del pozo Johanna Este 45.

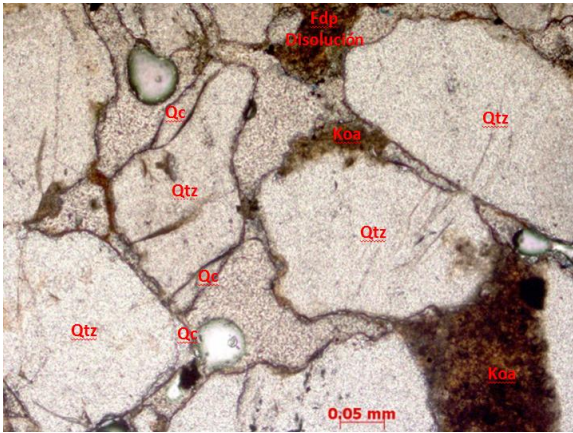
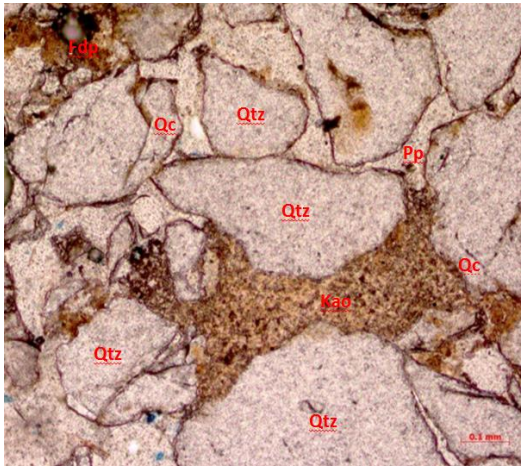
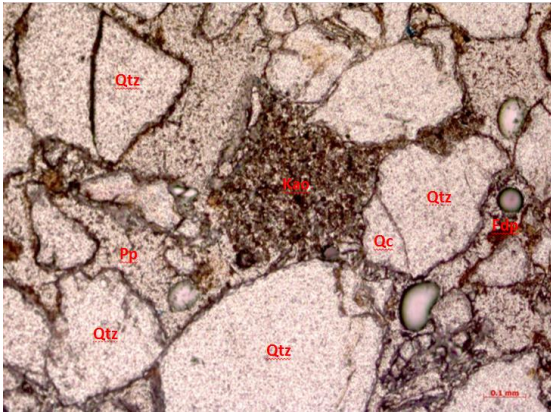
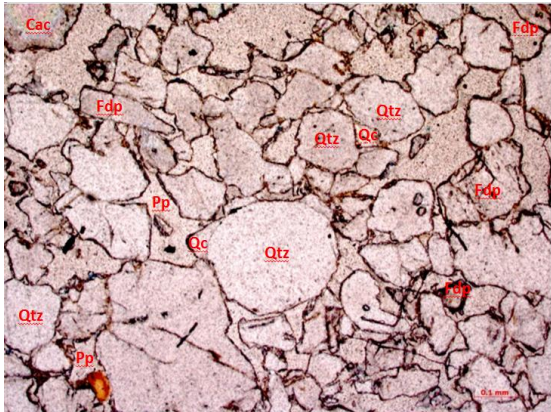
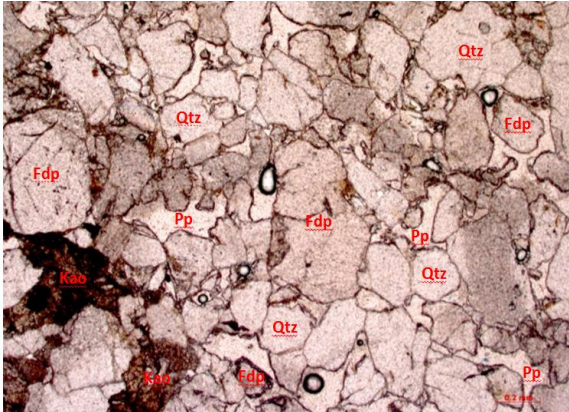
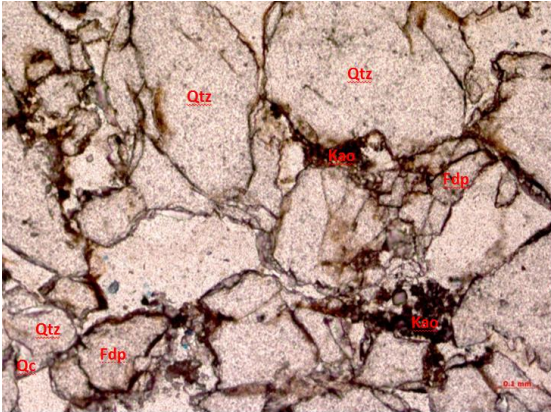
Imágenes Microscópicas

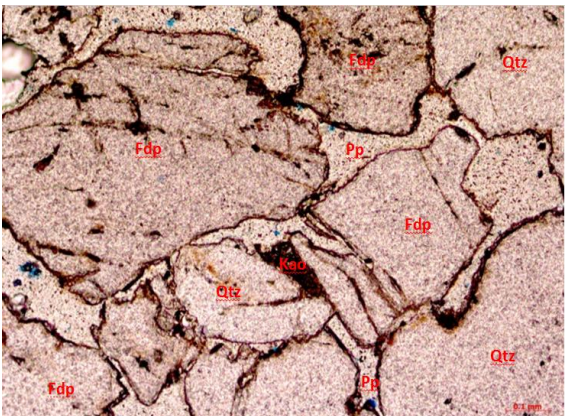
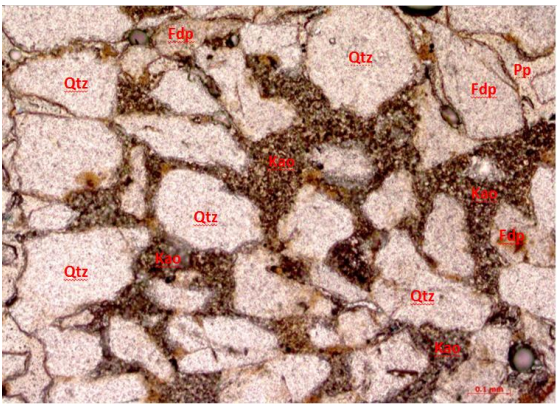
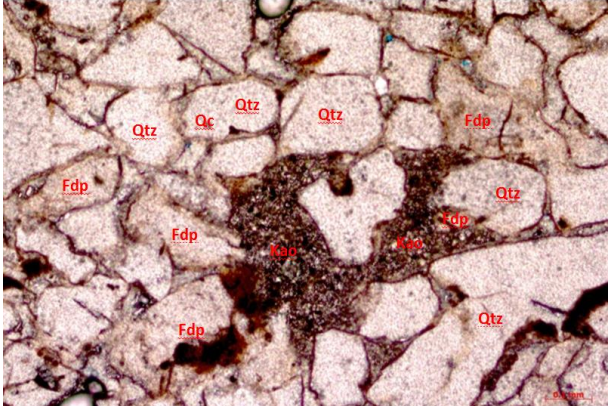
8231,30 ft	8232,70 ft
	
Redondez: Subangular Esfericidad: Subprismoidal	Redondez: Subangular Esfericidad: Subprismoidal
8233,90 ft	8237,20 ft
	
Redondez: Subangular Esfericidad: Subprismoidal	Redondez: Subangular Esfericidad: Subprismoidal

<p>8238,30 ft</p> 	<p>8239,10 ft</p> 
<p>Redondez: Subangular Esfericidad: Subprismoidal</p>	<p>Redondez: Subangular Esfericidad: Subprismoidal</p>
<p>8240,50 ft</p> 	<p>8242,10 ft</p> 
<p>Redondez: Subangular Esfericidad: Subprismoidal</p>	<p>Redondez: Subangular Esfericidad: Subprismoidal</p>
<p>8243,30 ft</p> 	<p>8245,90 ft</p> 
<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal</p>	<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal</p>

<p>8247,30 ft</p> 	<p>8248,15 ft</p> 
<p>Redondez: Subangular Esfericidad: Subdiscoidal</p>	<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subprismoidal</p>
<p>8249,80 ft</p> 	<p>8250,70 ft</p> 
<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal</p>	<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal</p>
<p>8252,40 ft</p> 	<p>8253,45 ft</p> 
<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal</p>	<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal</p>

<p>8254,60 ft</p> 	<p>8255,80 ft</p> 
<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal</p>	<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subprismoidal</p>
<p>8256,80 ft</p> 	<p>8258,20 ft</p> 
<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal</p>	<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal</p>
<p>8259,60 ft</p> 	<p>8261,10 ft</p> 
<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal</p>	<p>Redondez: Subangular Esfericidad: Subdiscoidal</p>

8267,50 ft	8268,60 ft
	
<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal</p>	<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subprismoidal</p>
8269,30 ft	8270,40 ft
	
<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal</p>	<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal</p>
8272,20 ft	8274 ft
	
<p>Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subprismoidal</p>	<p>Redondez: Subangular Esfericidad: Subdiscoidal</p>

8274,80 ft	8277 ft
	
Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subdiscoidal	Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subprismoidal
8277,60 ft	
	
Redondez: Subredondeado Esfericidad: Subprismoidal	

3.1.1.3 Sorteó

El sorteó es la propiedad que describe la variabilidad del tamaño de grano dentro del conjunto de la muestra. Al igual que para la cuantificación de la forma de los granos, se estimó visualmente empleando la clasificación de Compton (1962).

Esta clasificación refleja los niveles de energía del agente de transporte y el grado de retrabajo. (Figura 3.7)

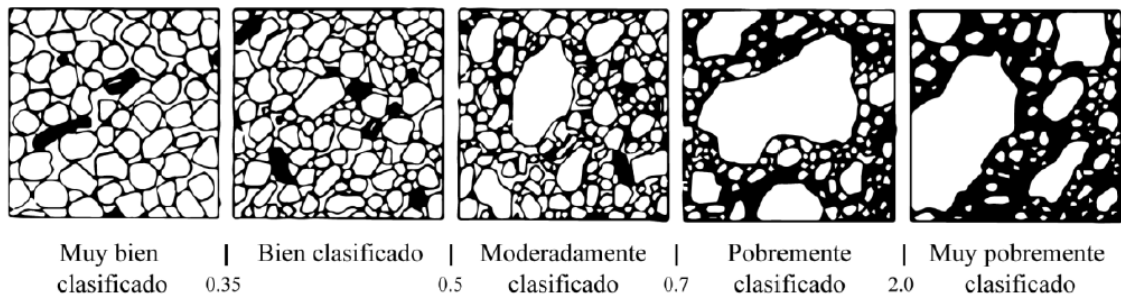


Figura 3.7. Patrón para la estimación visual de los tipos de sorteo Compton, 1962.

A continuación, se muestra en la tabla 3.4 el grado de clasificación por tamaño de los granos observados en las muestras de láminas delgadas del núcleo del pozo Johanna Este 45.

Tabla 3.4 Selección de las muestras del Pozo Johanna Este 45

SORTEO			
N° MUESTRA	Prof (pies)	mm	Clasificación
1	8231,30	0,18	Bien Clasificado
2	8232,70	0,17	Bien Clasificado
3	8233,90	0,15	Bien Clasificado
4	8237,20	0,13	Bien Clasificado
5	8238,30	0,13	Bien Clasificado
6	8239,10	0,16	Bien Clasificado
7	8240,50	0,10	Bien Clasificado
8	8242,10	0,20	Bien Clasificado
9	8243,30	0,11	Muy Bien
10	8245,90	0,12	Bien Clasificado
11	8247,30	0,13	Bien Clasificado
12	8248,15	0,11	Bien Clasificado
13	8249,80	0,08	Bien Clasificado
14	8250,70	0,08	Bien Clasificado
15	8252,40	0,07	Muy Bien
16	8253,45	0,08	Bien Clasificado
17	8254,60	0,09	Bien Clasificado
18	8255,80	0,11	Bien Clasificado
19	8256,80	0,05	Muy Bien
20	8258,20	0,06	Muy Bien
21	8259,60	0,07	Muy Bien
22	8261,10	0,12	Muy bien

SORTEO			
23	8267,50	0,26	Bien clasificado
24	8268,60	0,56	Moderadamente
25	8269,30	0,52	Moderadamente
26	8270,40	0,39	Moderadamente
27	8272,20	0,35	Moderadamente
28	8274,00	0,59	Moderadamente
29	8274,80	0,57	Moderadamente
30	8277,00	0,18	Bien Clasificado
31	8277,60	0,21	Bien Clasificado

De acuerdo a la estimación visual de la clasificación de Compton (1962), La arenisca M1 presenta tres patrones identificados como se observa en la tabla 3.4: Muy bien clasificado, Bien clasificado y Moderadamente clasificado. Esto quiere decir que las muestras que presentan una clasificación muy buena – buena presentan una granulometría bien definida, siendo el tamaño de todas las partículas similares, se dicen bien sorteadas. En cambio, con las muestras que tiene una clasificación moderada, es decir el tamaño de las partículas es moderadamente similar y en consecuencia presenta un sorteo moderada también.

La combinación entre el sorteo granulométrico y la redondez de los granos definen el grado de madurez textural de los depósitos. En el caso de la Arenisca M1 se determinó la madurez textural mediante la secuencia establecida por Folk (1951). Basándose en el bajo contenido de arcillas, con una selección muy bien clasificada a moderadamente clasificada y la redondez de los granos de subangulosos a subredondeados, se dice que la Arenisca M1 es madura texturalmente debido a un mayor proceso de transporte.

Los componentes minerales encontrados en las láminas delgadas contienen un gran porcentaje de minerales estables químicamente y/o resistentes a la abrasión o disolución, como cuarzo policristalino en abundancia, cuarzo monocristalino, micas y líticos volcánicos de composición intermedia a ácida. Por consiguiente, la Arenisca M1 de acuerdo a su composición común se clasifica con una madurez mineralógica de madura a supermadura de acuerdo a la Tabla de Términos de madurez mineralógica y su composición común. Modificado de Silva, 2011.

3.1.1.4 Porosidad

La Cuantificación y distribución de la porosidad intergranular de las areniscas expuesta en las secciones delgadas fue caracterizada a partir del análisis del conteo de puntos en las imágenes petrográficas donde aparece como parches de variada forma y tamaño que no necesariamente constituyen un solo poro, sino que pueden corresponder a un conjunto de varios poros y gargantas. Este análisis resulta del cálculo del porcentaje relativo de porosidad.

La porosidad óptica total se encuentra más relacionada a la porosidad efectiva de la roca que a la porosidad total, ya que está estrechamente asociada a la penetración de la resina de impregnación (Ehrlich et al., 1991).

Para la caracterización del sistema poral se utilizó la tabla modificada de Choquette & Pray (1970). En la tabla 3.5 se muestra la abundancia de la porosidad obtenida del análisis porcentual de las secciones delgadas.

Tabla 3.5. Caracterización de la Abundancia en el sistema poral

MUESTRA	PROFUNDIDAD	POROSIDAD TOTAL	ABUNDANCIA
N°	Pies	%	%
1	8231,30	19,96	Muy Buena
2	8232,70	28,60	Excelente
3	8233,90	22,50	Excelente
4	8237,20	17,00	Muy Buena
5	8238,30	23,72	Excelente
6	8239,10	21,03	Excelente
7	8240,50	21,20	Excelente
8	8242,10	21,91	Excelente
9	8243,30	18,72	Muy Buena
10	8245,90	15,67	Muy Buena
11	8247,30	13,33	Buena
12	8248,15	20,00	Muy Buena
13	8249,80	10,66	Buena
14	8250,70	15,89	Muy Buena
15	8252,40	23,54	Excelente
16	8253,45	24,00	Excelente
17	8254,60	17,05	Muy Buena
18	8255,80	14,33	Buena
19	8256,80	14,93	Buena
20	8258,20	14,66	Buena

MUESTRA	PROFUNDIDAD	POROSIDAD TOTAL	ABUNDANCIA
21	8259,60	16,34	Muy Buena
22	8261,10	14,05	Buena
23	8267,50	19,33	Muy Buena
24	8268,60	12,33	Buena
25	8269,30	23,00	Excelente
26	8270,40	18,67	Muy Buena
27	8272,20	16,00	Muy Buena
28	8274,00	20,34	Excelente
29	8274,80	30,00	Excelente
30	8277,00	20,33	Excelente
31	8277,60	21,56	Excelente

Con el objeto de evaluar la distribución de la porosidad y los factores que la controlan, los porcentajes obtenidos durante los estudios petrográficos se relacionan con la porosidad efectiva, y como se puede ver en la tabla 3.5 el patrón general de la distribución de la porosidad de la Arenisca M1 a lo largo del núcleo es similar con valores de porosidad que varían desde 10,66 % correspondiente a una arenisca muy fina hasta 30% correspondiente a una arenisca gruesa con una abundancia poral de buena a excelente.

De acuerdo con las características de abundancia de los sistemas porales, se han identificado tres patrones de porosidad establecidos previamente por análisis porcentual en las secciones delgadas. Estos patrones están asociados al porcentaje de porosidad de acuerdo al tamaño de grano que presentan los tipos de areniscas observados en la tabla 3.3. Para el primer caso la porosidad es reconocida con una abundancia buena y asociada a una arenisca fina – muy fina y limo grueso. El segundo tipo de porosidad tiene una abundancia de muy buena y está asociada a una arenisca muy fina, fina y media. El tercer tipo de porosidad presenta una abundancia excelente y se encuentra asociada a una arenisca muy fina, fina y gruesa.

También se consideró la presencia de porosidad secundarias en las láminas delgadas que se encuentra presente en las areniscas medianas y gruesas, debido a disolución parcial a total de clastos de feldespato, y por el otro, de la abundante microporosidad en la caolinita autigénica.

3.1.1.5 Gargantas Porales

Se determina como el canal que interconecta los poros en un volumen de roca, los mismos que deben mantenerse abiertos para permitir el flujo de fluidos a través de los canales. Los estudios orientados a determinar las dimensiones de las gargantas porales tiene el propósito de contribuir al diseño de un material puenteante adecuado del flujo de perforación en la zona productora y a minimizar el grado de filtración hacia la formación productora a medida que el revoque o costra de lodo se construye (Toro Álava et al., 2011).

Sus dimensiones como su forma y tamaño dependen de la composición y configuración de los granos, y la matriz de la roca. De manera que cuando se habla del tamaño o del radio de la garganta poral, es el radio de la circunferencia menor trazada en dirección perpendicular a la dirección de flujo como se representa en la figura 3.8.

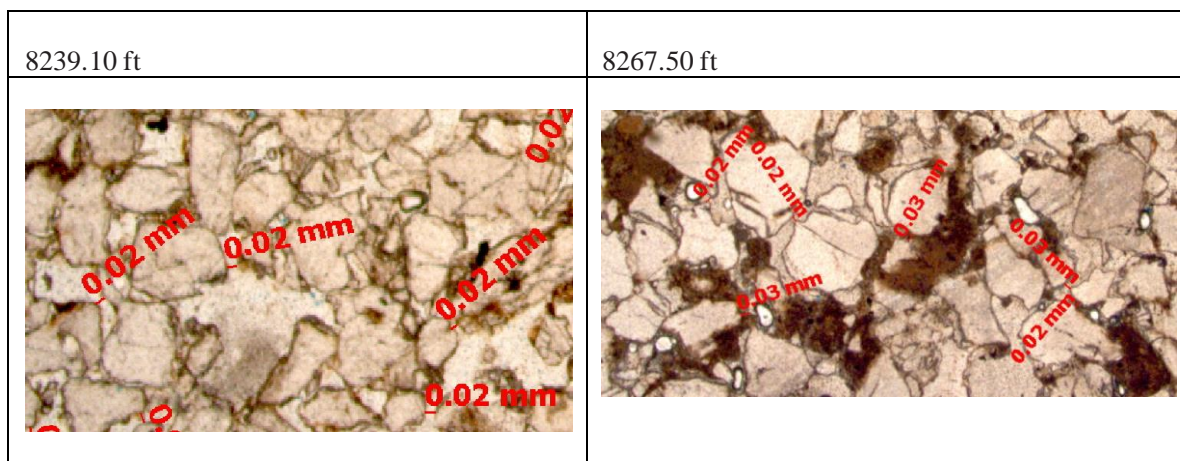


Figura 3.8. Representación gráfica de gargantas porales en secciones delgadas

Para realizar las mediciones de las longitudes de las gargantas porales en las secciones delgadas, se utilizó la misma metodología que se aplicó para la medición del tamaño de grano en la Arenisca M1. Este análisis genera un valor promedio para cada muestra el cual se cuantifico de acuerdo a la Clasificación de gargantas porales modificado de Choquette y Pray (1970) observados en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Gargantas Porales, Abundancia y Tamaño (mm)

TAMAÑO GARGANTAS PORALES			
Prof (pies)	mm	Abundancia	Tamaño
8231,30 - 8237,20	0,01	Frecuentes	Capilares
8238,30 - 8239,10	0,02	Frecuentes	Capilares
8240,50 - 8261,10	0,01	Frecuentes	Capilares
8267,50	0,02	Frecuentes	Capilares
8268,60 - 8269,30	0,03	Comunes	Capilares
8270,40 - 8272,20	0,02	Frecuentes	Capilares
8274 - 8274,80	0,03	Comunes	Capilares
8277,00	0,02	Frecuentes	Capilares
8277,60	0,01	Frecuentes	Capilares

Como resultado del análisis se determinó tres tamaños de gargantas porales con se observa en la figura 3.9 con un valor mínimo de 0,01mm/10um y un valor máximo de 0.03mm/30um. Estos valores fueron clasificados en intervalos de ocurrencia a lo largo del núcleo del pozo. El intervalo de 8240,50 ft – 8261.10 ft, se encuentra la zona de producción del pozo Johanna Este 45 que va desde 8250 ft hasta 8258 ft de amarillo en la figura 3.9, en esta zona se identificó un tamaño de garganta poral de 10um la cual está asociada de acuerdo al tamaño de grano a una arenisca muy fina hasta un limo grueso. Otro intervalo 8270,40 ft - 8272,20 ft las gargantas porales son de 20um asociadas a arenisca media y el intervalo 8274 ft - 8274,80 ft con gargantas porales de 30um de tamaño de su radio, están asociadas a arenisca gruesa.

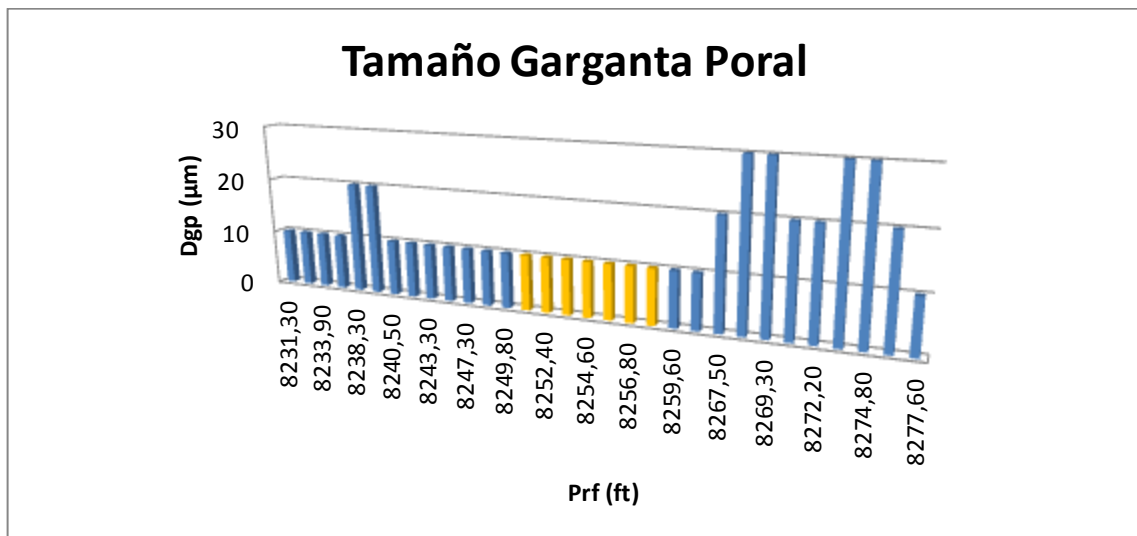


Figura 3.9. Tamaño de gargantas porales del pozo Johanna Este 45

El radio de garganta de poros representa un control dominante sobre la permeabilidad y las características de flujo de los yacimientos. Clasificando a las rocas en cinco categorías petrofísicas como se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Clasificación de los tipos de roca según el radio de garganta de poros

Tipos de roca	Rango de tamaño [μm]
Megaporosa	> 10
Macroporosa	2 a 10
Mesoporosa	0.5 a 2
Microporosa	0.1 a 0.5
Nanoporosa	< 0.1

(Fuente: Libny et al., 2001).

La información dada por la clasificación de Libny et al. (2001) mostró que la Arenisca M1 a lo largo del núcleo del pozo Johanna Este 45 está clasificada como un rango de tamaño de garganta poral >10 (μm) correspondiente a un tipo de roca con macroposidad, la cual ofrece una menor resistencia capilar a la migración de hidrocarburos, es decir, los fluidos migrarán a través de este tipo de roca con una mínima presión de desplazamiento.

Una curva de distribución de tamaños en frecuencia relativa se muestra en la figura 3.10, en donde se observan los porcentajes de cada uno de los tamaños de gargantas porales, donde la gran mayoría de valores de longitud transversal de garganta poral se encuentra en 10 μm medidos en las secciones delgadas.

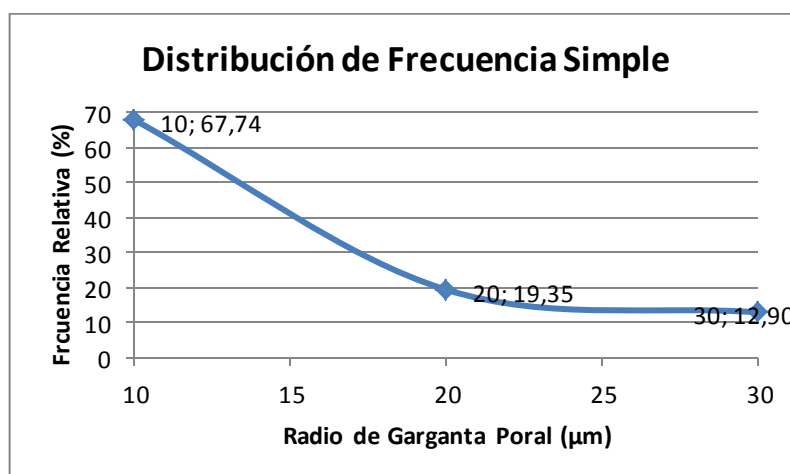


Figura 3.10. Distribución de Frecuencia simple de medidas de longitud transversal de garganta poral en la Arenisca M1 del pozo Johanna Este 45

3.1.1.6 Minimizar el Daño a la Formación

Es importante diseñar apropiadamente la distribución de partículas de sólidos, que constituyen la parte sólida – granular de los lodos de perforación. Los que, a su vez, por medio del acomodo de los granos en el espacio poral (puenteo de la cara de poros) de los sedimentos del reservorio, van a minimizar la invasión de sólidos y filtrado de fluidos hacia el interior de la formación. Lo que contribuye a minimizar el daño a la formación en la fase de perforación de un pozo petrolero. Toro Álava et al. (2011); Larreal (2011).

Este procedimiento orientará la utilización de tamaños y proporciones de mezclas apropiados de las diferentes granulometrías de sólidos como carbonatos de puenteo para lograr un lodo de perforación que contribuya a optimizar la producción inicial de un pozo petrolero.

Fluido de perforación

Es una mezcla de componentes químicos que son seleccionados para satisfacer necesidades específicas bajo las diversas condiciones de la perforación.

El fluido de perforación está diseñado para ser usado especialmente en zonas productoras, y su principal objetivo es minimizar el daño a la formación por invasión del fluido; para esto es indispensable conocer los parámetros mineralógicos del reservorio.

Puenteo

Es una técnica que se utiliza para proteger la zona productora del pozo de la invasión de la mezcla de las fases líquidas y sólidas del fluido de perforación como se muestra en la figura 3.11. Evitando un daño mayor a esta, mediante la formación de un revoque o sello (costra) en la cara de la formación.

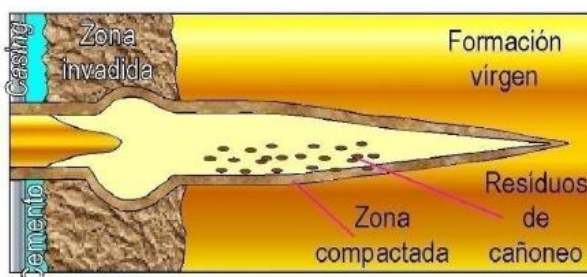


Figura 3.11. Esquema de un túnel de cañoneo e invasión con residuos de esquirlas de la roca de la zona invadida y la formación virgen (Fuente: Ciguela, 2004; Toro Álava et al., 2011)

Para tener un óptimo sello de dicha zona, se debe realizar una mezcla adecuada de sólidos puenteantes, partículas coloidales y subcoloidales (Larreal, 2011). Primero las partículas más grandes forman un puente en los espacios porosos del reservorio alrededor del pozo, reduciendo la porosidad y permeabilidad de esta superficie; luego dicho puente es sellado con las partículas más pequeñas (coloidales y subcoloidales) que taponan los espacios que dejan los sólidos de puenteo, protegiendo así a la formación de la invasión. Para obtener un efectivo puenteo es necesario saber los rangos de tamaño de la garganta poral del reservorio.

Selección de la granulometría del agente puenteante

El tamaño medio de las partículas sellantes a ser usadas para controlar la invasión del fluido al reservorio debe ser igual o mayor que un tercio del tamaño medio de la garganta del poro. La regla de $1/3$ se ha usado para seleccionar el tamaño de partículas que puedes invadir una formación sin generar daño permanente. Figura 3.12.

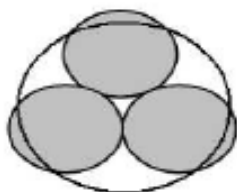


Figura 3.12. Relación de partículas sellantes y diámetro medio de la garganta poral (Larreal, 2011).

Las partículas menores a $1/7$ del diámetro de la garganta del poro causan daño a la formación debido a que la sobrepresión generada por la columna de fluidos hace que las partículas finas sean transportadas dentro de la formación ocasionando daño o taponamiento.

Para obtener un puenteo eficiente en un determinado reservorio el diámetro de las partículas a usarse como agente puenteante debe estar en el rango de $1/3$ y $1/7$ del diámetro medio de la garganta poral, tal como se observa en la figura 3.13.

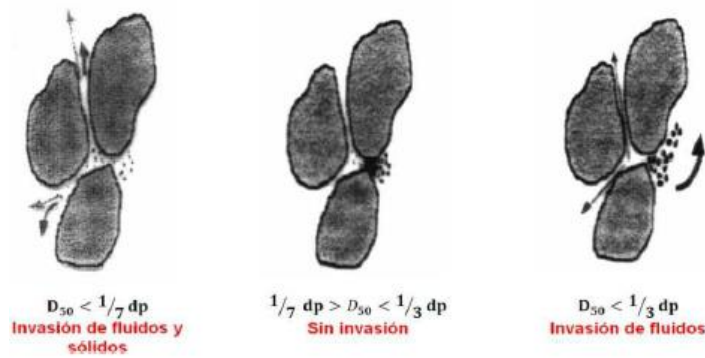


Figura 3.13. Selección de la granulometría del agente puenteante (Larreal, 2011. Drilling Fluids Halliburton)

Los datos obtenidos del diámetro de garganta poral de la zona productora del pozo Johanna Este 45 se muestran en la tabla 3.8.

Con estos resultados se puede obtener la selección de la granulometría del agente puenteante y conocer las propiedades de las partículas sellantes utilizadas en la preparación del fluido de perforación, el porcentaje de los diferentes componentes granulares sellantes del fluido.

Tabla 3.8. Tamaño de garganta poral intervalo de producción Pozo Johanna Este 45

TAMAÑO GARGANTAS PORALES INTERVALO DE PRODUCCIÓN		
N° MUESTRA	Prof (pies)	μm
14	8250,70	10
15	8252,40	10
16	8253,45	10
17	8254,60	10
18	8255,80	10
19	8256,80	10
20	8258,20	10

El tamaño medio de las partículas sellantes a ser usadas para controlar la invasión del fluido en el intervalo de producción es 3,33 μm , este tamaño de partículas puedes invadir a la formación sin generar daño permanente.

Las partículas menores a 1,43 μm del diámetro de la garganta del poro causarán daño a la zona de producción. De tal forma que para obtener un puenteo eficiente en el intervalo de producción el diámetro de las partículas a usarse como agente puenteante debe estar en el rango de 3,33 – 1,43 del diámetro medio de la garganta poral.

3.1.2 Análisis por Difracción de Rayos x (DRX)

La difracción de rayos x es una técnica que sirve para la identificación y determinación cuantitativa de los diversos minerales presentes en la roca. La identificación se logró comparando el patrón de difracción de rayos X, o difractograma, obtenido de las muestras del núcleo del pozo Johanna Este 45 con una base de datos reconocida internacionalmente que contiene patrones de referencia de más de 70.000 fases.

Estos análisis se han realizado en el equipo X'Pert PRO de PANALYTICAL con un tubo de 2.2 Kw, ánodo de cobre y en condiciones de uso de 40 Kw y 40 mA del Centro de Investigaciones Geológicas Quito (CIGQ).

El análisis por difracción de rayos x, se realizó en 39 fragmentos de muestras del núcleo del pozo Johanna Este 45, los cuales fueron molidos en un mortero de ágata hasta obtener un polvo de un tamaño de <0,032 mm, el cual fue analizado posteriormente. Con esta técnica se reconoce la mineralogía de los silicatos, carbonatos, feldespatos y minerales de la fracción fina que permiten la identificación de los minerales de arcillas presentes en la roca, previa su separación y concentración.

Este análisis suministrará datos importantes sobre la composición total de la roca, pudiendo revelar la presencia de pequeñas cantidades de ciertos minerales, difíciles de identificar o no presentes (minerales trazas), en la sección fina estudiada. La aplicación de esta técnica y los resultados de estos análisis se muestran en la tabla 3.9.

3.1.2.1 Manejo de Datos

Con los resultados obtenidos, se procedió a la generación de gráficos de tendencia, proporción y distribución de los diversos minerales, difractogramas de cada una de las muestras analizadas del pozo Johanna Este 45. Todo esto con el fin de poder observar y evaluar los efectos que pueden alterar la calidad de la roca (núcleo) y principalmente del reservorio.

El gráfico que se construyó a partir de los datos duros de difracción de rayos X es el gráfico de áreas apiladas de roca total, donde se puede apreciar la variedad de minerales tanto principales (Cuarzo, micas, feldespatos, carbonatos), accesorios (pirita y otros minerales en pequeñas proporciones) y arcillas principalmente la caolinita; los cuales son expresados en porcentajes.

Tabla 3.9. Composición Mineralógica Total por Difracción de Rayos X del Pozo Johanna Este 45

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA TOTAL (%) DEL POZO JOHANNA ESTE 45, M1												
N°	Prof.	SILICATO	ARCILLAS		CARBONATOS		FELDESPATOS		HALURO	Micas	SULFATO	SULFURO
	(ft)	Cuarzo %	Caolinita %	Ilita %	Calcita %	Dolomita %	Microclina %	Albita %	halita %	Biotita %	Barita %	Pirita %
JOHANNA ESTE 45, M1												
1	8219,5	89	2	-	6	3	-	-	-	-	-	-
2	8223	78	8	-	6	8	-	-	-	-	-	-
3	8226	89	6	-	5	-	-	-	-	-	-	-
4	8226,4	88	9	-	1	-	-	-	-	-	2	-
5	8229	80	7	-	5	4	-	4	-	-	-	-
6	8229,5	95	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-
7	8231,3	99	trz	-	-	-	-	trz	-	-	-	-
8	8232,7	87	8	-	5	-	-	-	-	-	-	-
9	8233,9	99	trz	-	trz	-	-	-	-	-	-	-
10	8235,5	69	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	8237,2	96	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	8238,3	97	trz	-	2,8	-	-	-	-	-	-	-
13	8239,1	93	2	-	4	1	-	-	-	-	-	-
14	8240,5	84	12	-	2	2	-	-	-	-	-	-
15	8242,1	79	17	-	4	-	-	-	-	-	-	-
16	8243,3	93	4	-	3	-	-	-	-	-	-	-
17	8245,9	99	trz	-	-	-	-	-	1	-	-	-
18	8247,3	99	trz	-	trz	-	-	-	-	-	-	-
19	8248,15	91	trz	-	trz	-	8	-	-	-	-	-
20	8249,8	98	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	8250,7	97	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	8252,4	97	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	8253,45	87	2	-	-	-	11	-	-	-	-	-
24	8254,6	99	trz	-	1	-	-	-	-	-	-	-
25	8255,8	93	6	-	1	-	-	-	-	-	-	-
26	8256,8	99	trz	-	trz	-	-	-	-	-	-	-
27	8258,2	97	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	8259,6	99	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	8261,1	96	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	8263,2	69	19	5	-	-	5	-	-	-	-	2
31	8267,5	98	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
32	8268,6	96	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-
33	8269,3	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	8270,4	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	8272,2	99	trz	-	trz	-	-	-	-	-	-	-
36	8274	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	8274,8	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	8277	91	6	-	-	-	-	-	-	1	-	2
39	8277,6	95	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.1.2.2 Tendencia y Distribución

En la figura 3.14 de roca total, la proporción de cuarzo (zona de color celeste) es mayormente homogénea a lo largo de todo el núcleo, incluyendo la zona productora cuyo intervalo es 8250 – 8258 pies. Esto quiere decir que la Arenisca M1 está compuesta en su mayoría de minerales de Cuarzo y feldespato. Además, el gráfico presenta dos picos con porcentajes mayores a los demás minerales pertenecientes a la caolinita, estos porcentajes de caolinita a una profundidad de 8235,50 y 8263,20 pies están asociados a lutitas. El porcentaje de arcillosidad como se puede ver en el gráfico es menor, constituida principalmente por caolinita.

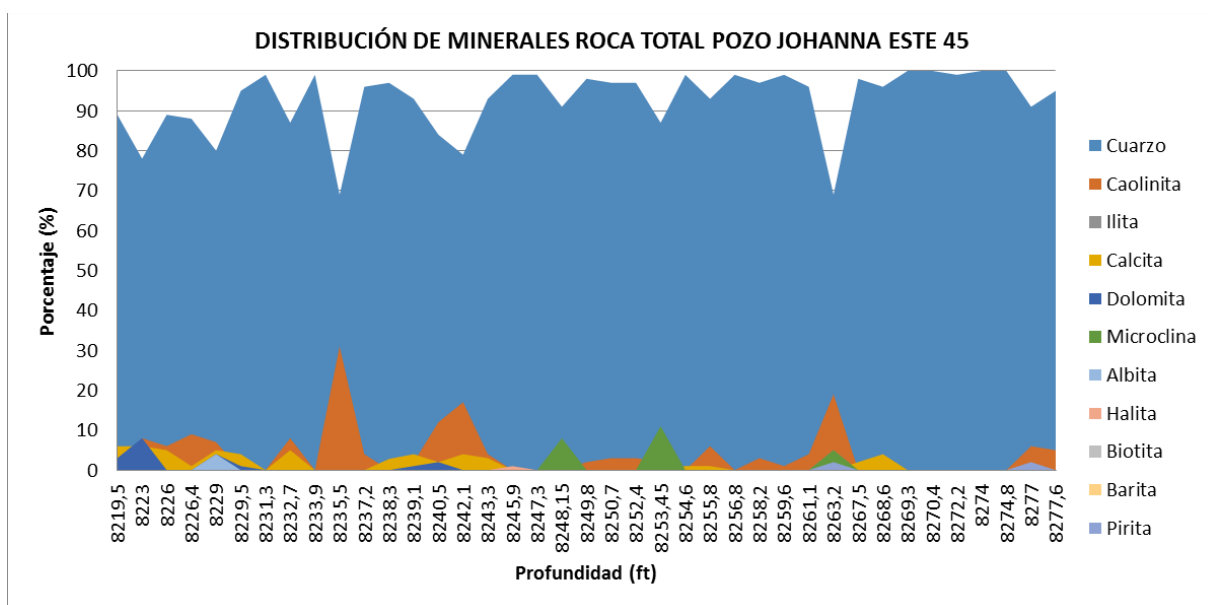


Figura 3.14. Distribución de Minerales del Pozo Johanna Este 45

La zona productora con el intervalo 8250 – 8258 pies, presenta una variedad de minerales conformados por cuarzo en mayor proporción, minerales de arcilla como la caolinita entre los espacios porales, microclina y calcita en una porción menor.

3.1.2.3 Difractogramas

En los difractogramas las anchuras de los picos en un patrón de fase particular indica el tamaño medio de los cristales. Cuando los cristales son grandes dan lugar a picos

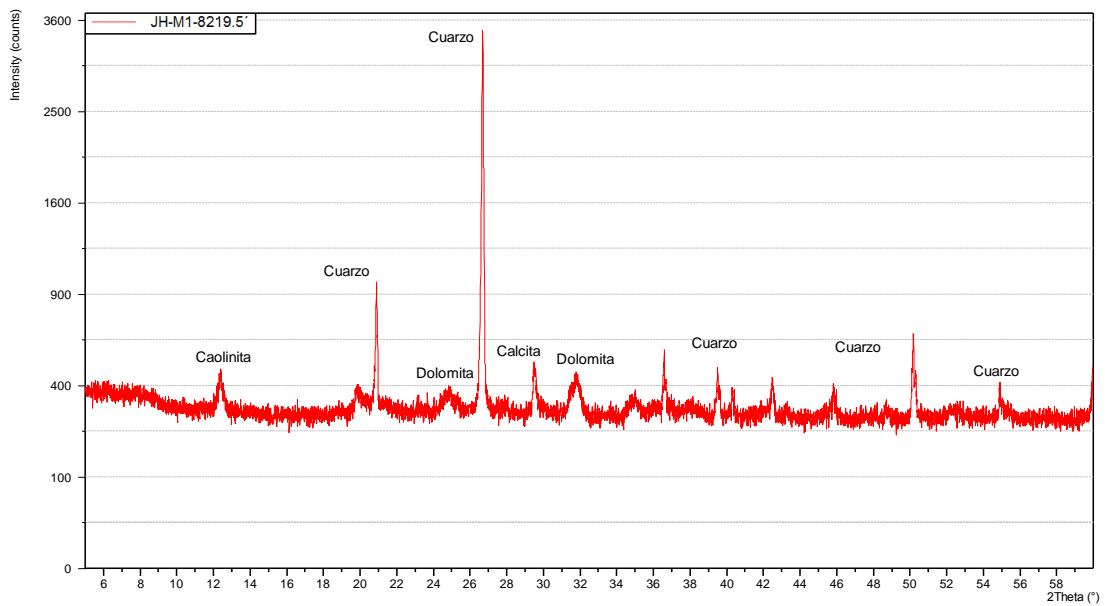
agudos, mientras que los cristales pequeños generan una anchura en los picos como se observa en la figura 3.15.



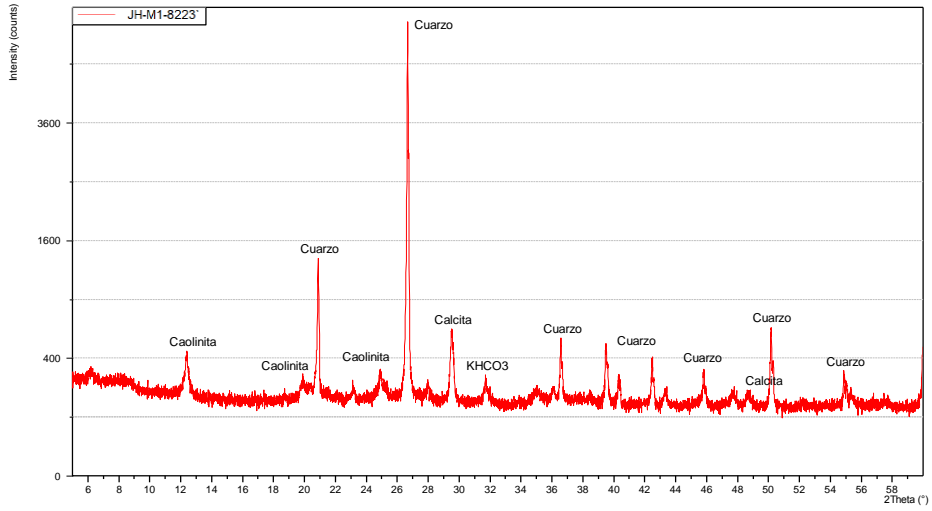
Figura 3.15. Relación del tamaño de los cristales y la difracción. Fuente: Sierra, A., Pérez, R. (2017)

A continuación se presenta un ejemplo de los difractogramas realizados en 39 fragmentos de muestras del Pozo Johanna Este 45.

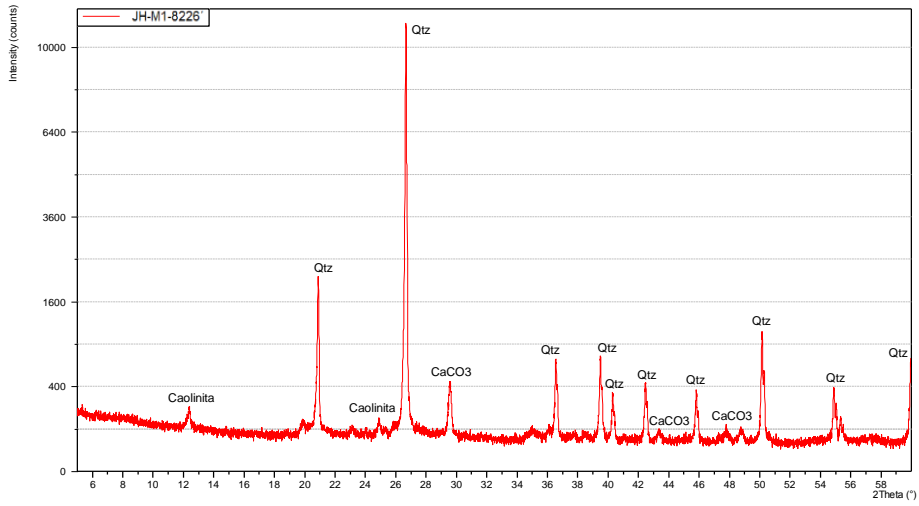
JH-M1-8219.5'



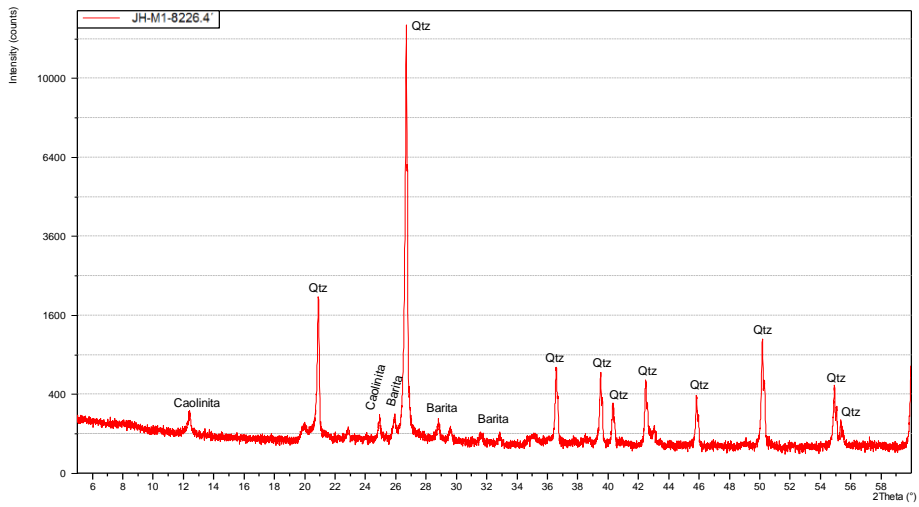
JH-M1-8223'



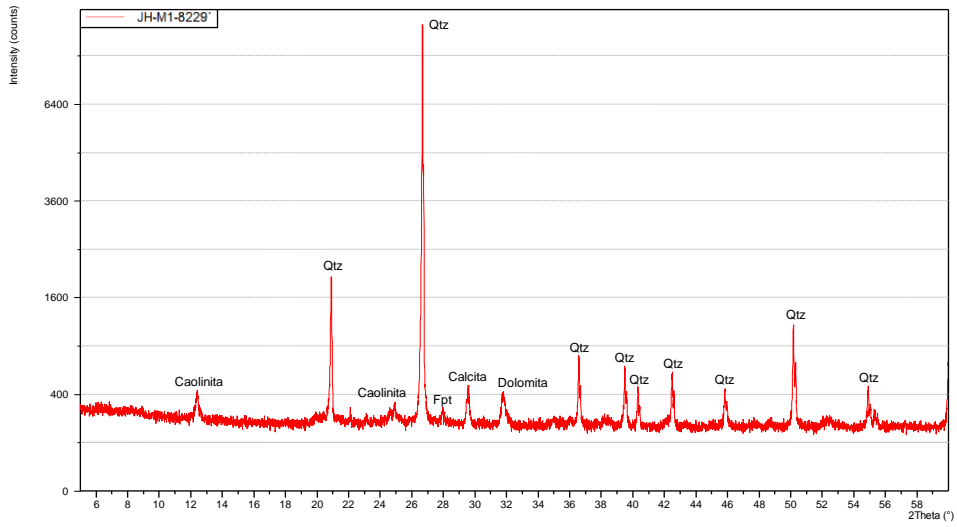
JH-M1-8226'



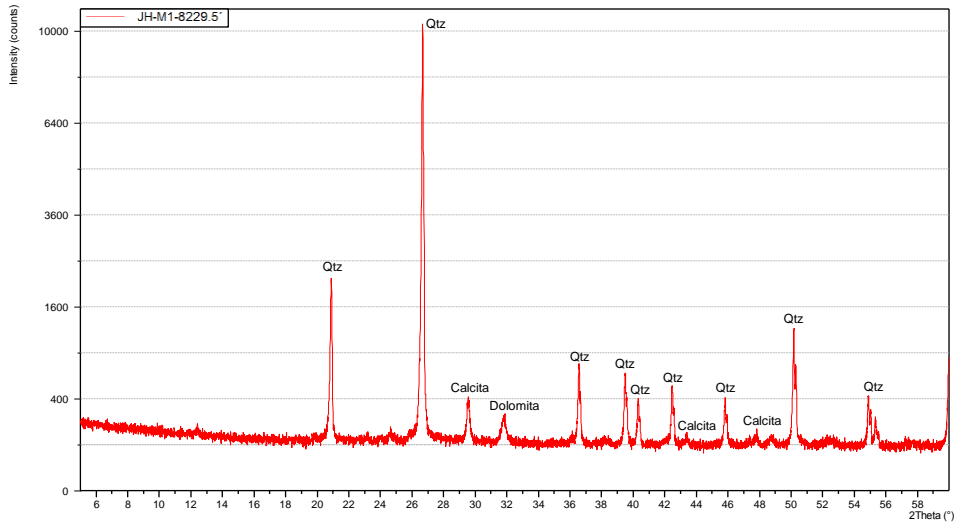
JH-M1-8226.4'



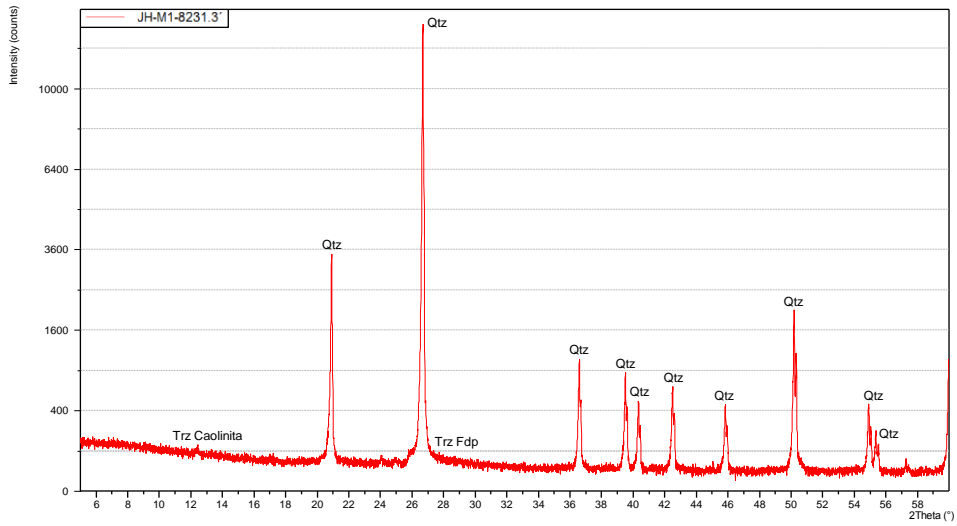
JH-M1-8229'



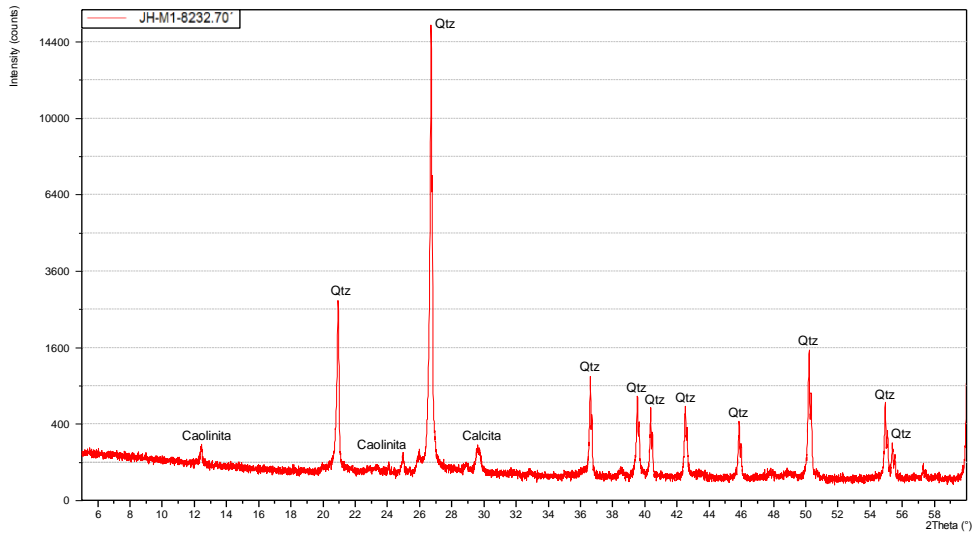
JH-M1-8229.5'



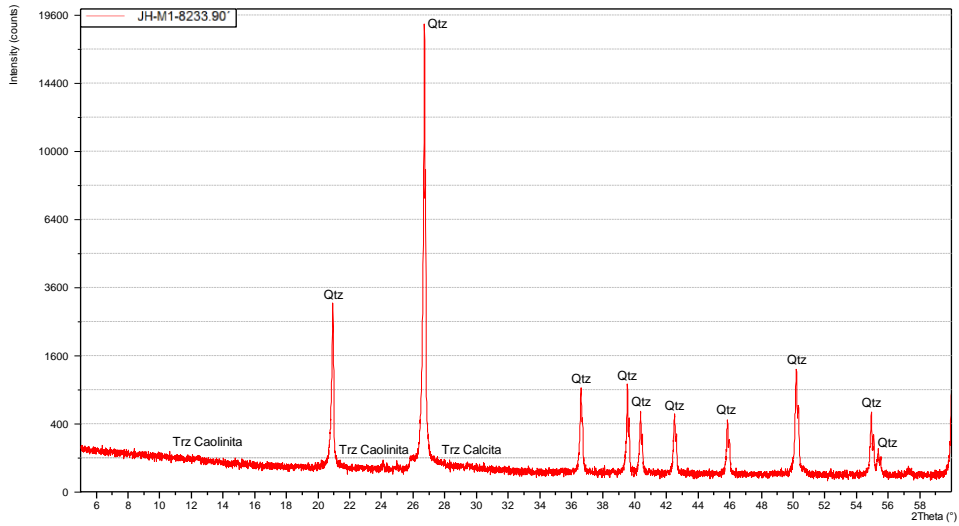
JH-M1-8231.3'



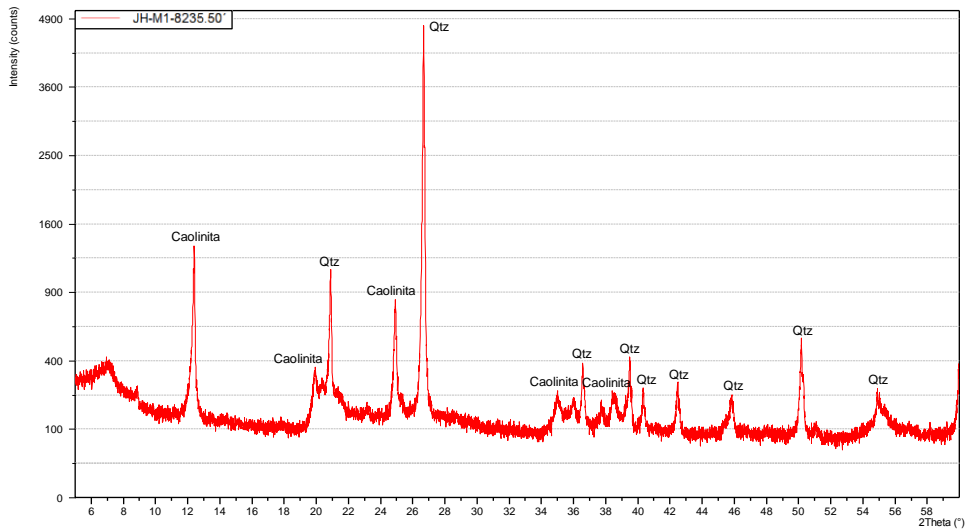
JH-M1-8232.70'



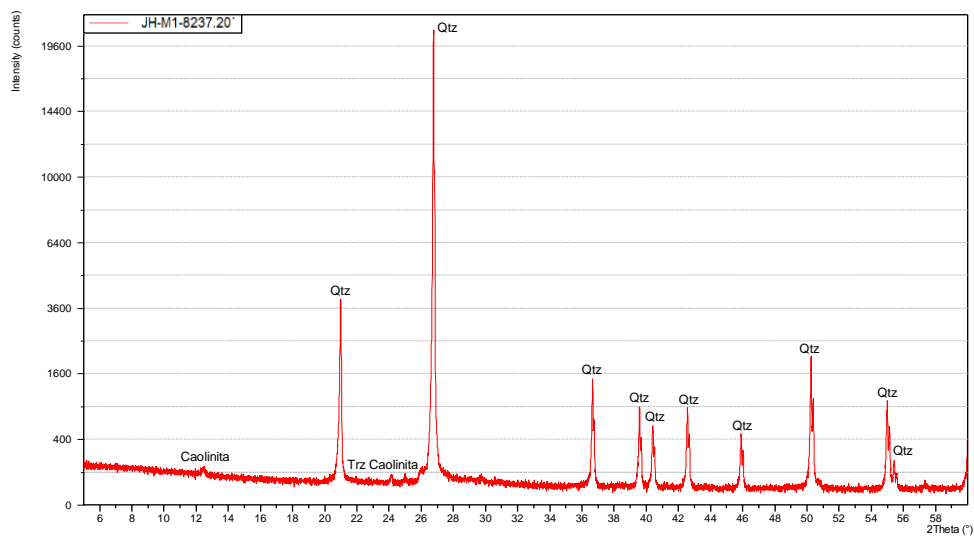
JH-M1-8233.90'



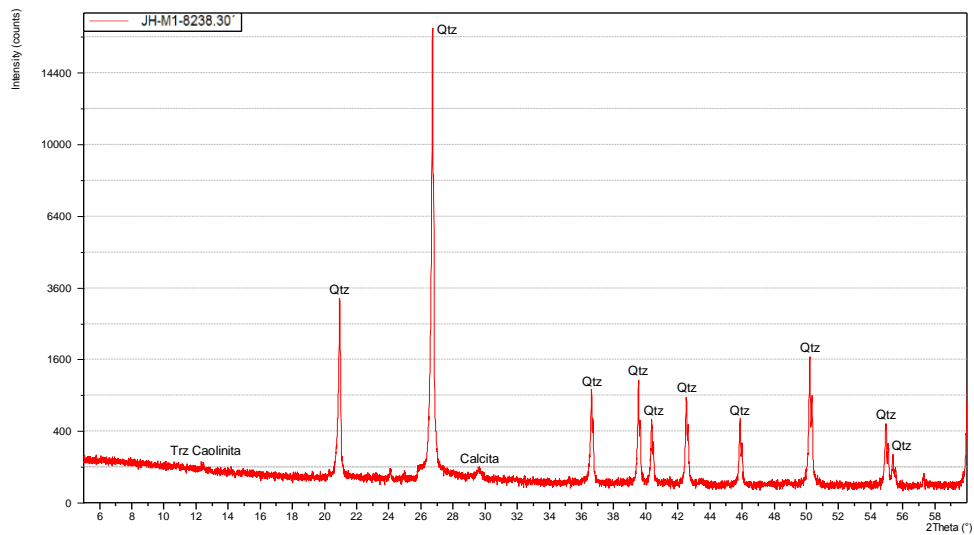
JH-M1-8235.50'



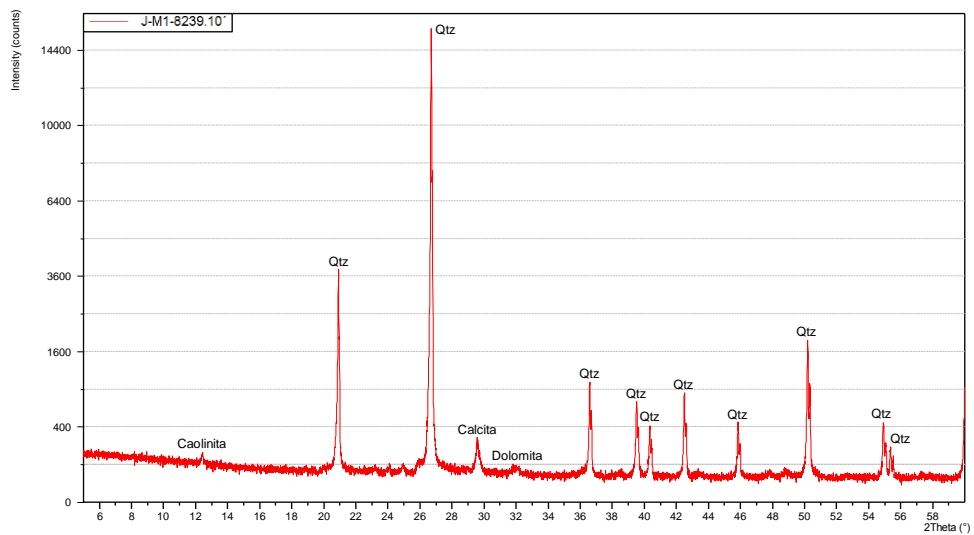
JH-M1-8237.20'



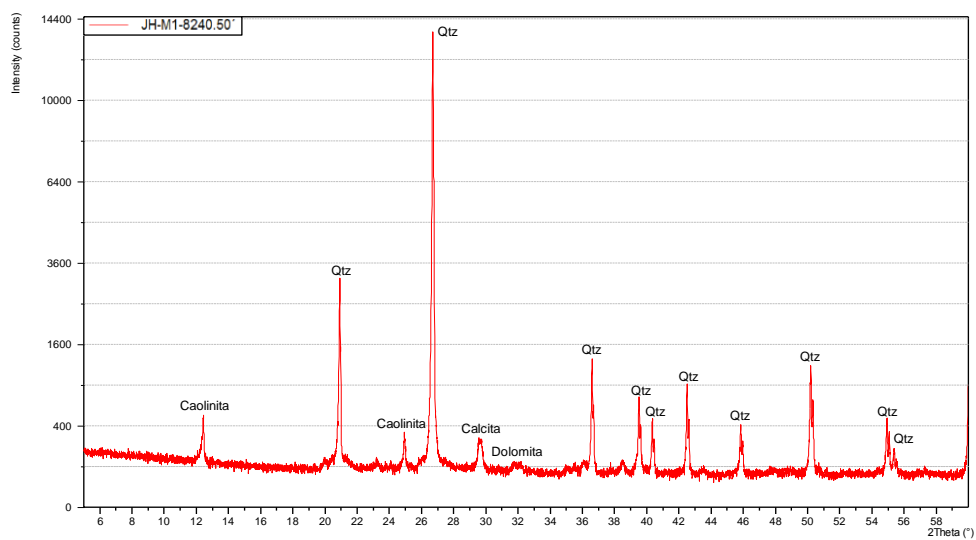
JH-M1-8238.30'



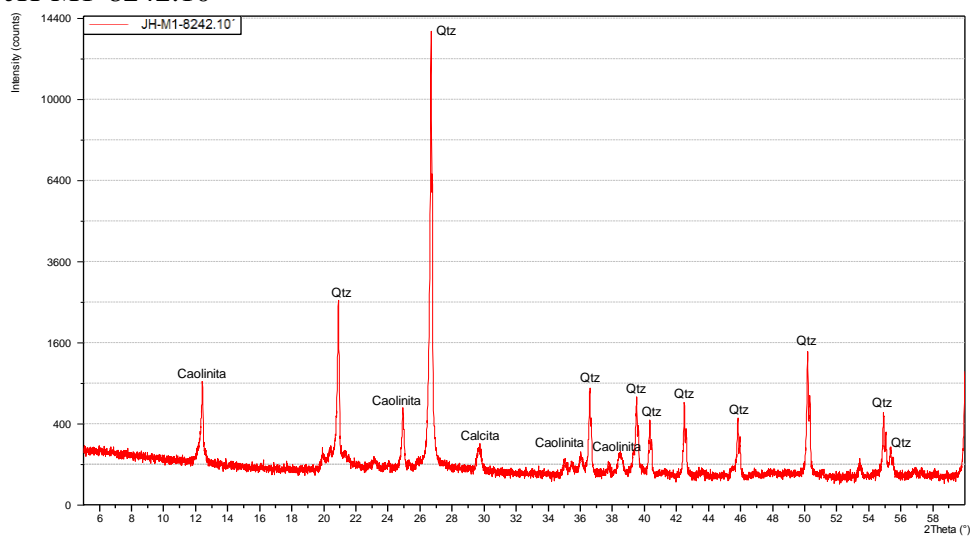
JH-M1-8239.10'



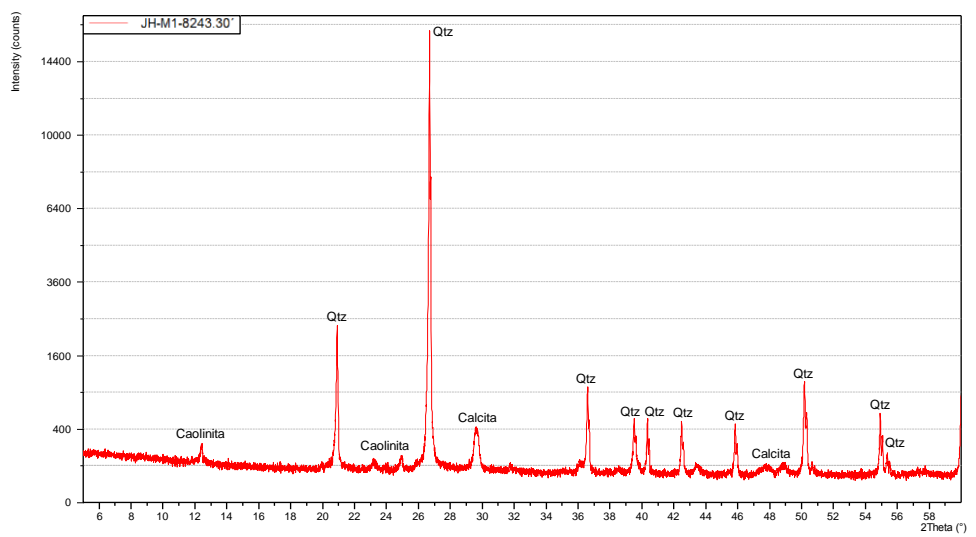
JH-M1-8240.50'



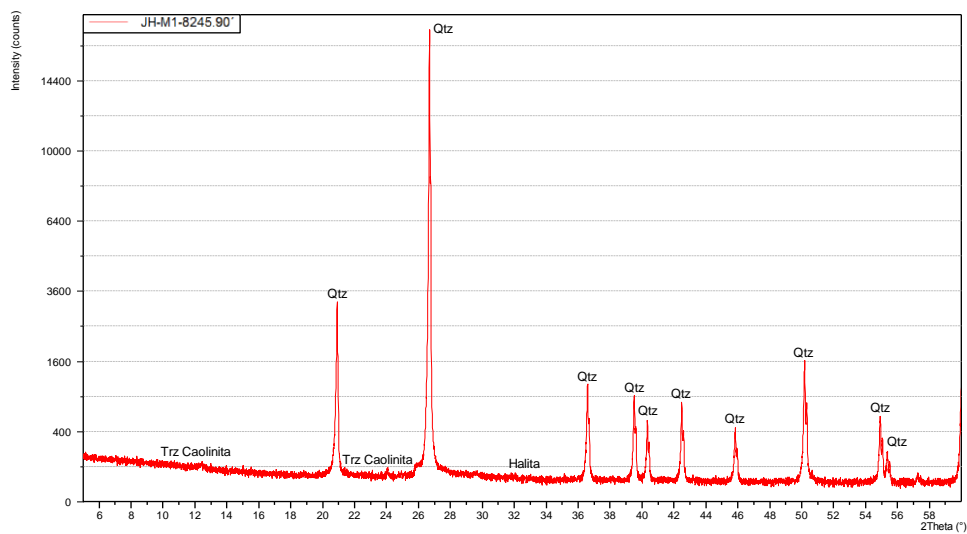
JH-M1-8242.10'



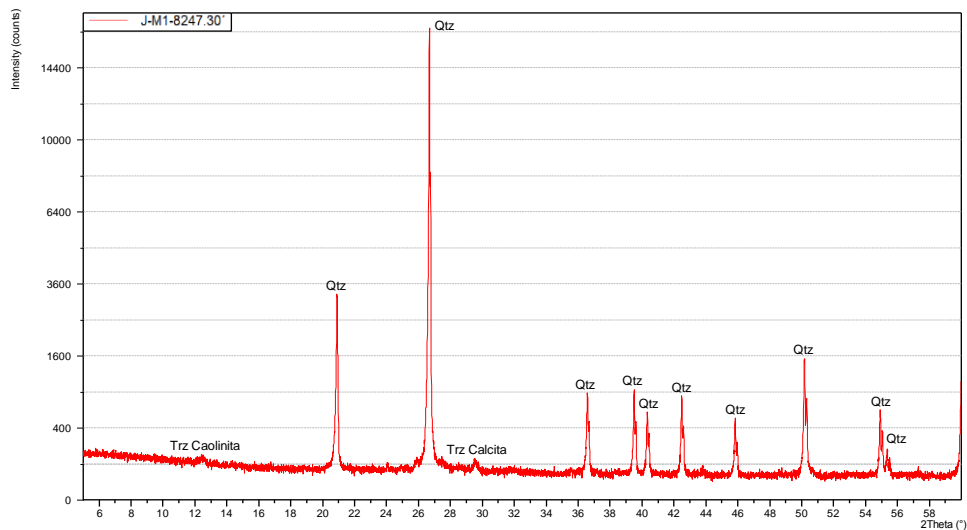
JH-M1-8243.30'



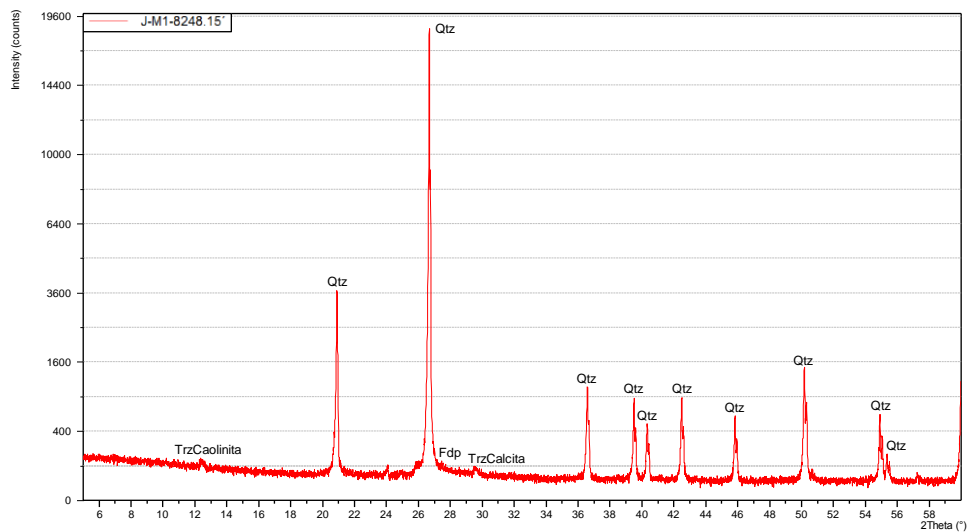
JH-M1-8245.90'



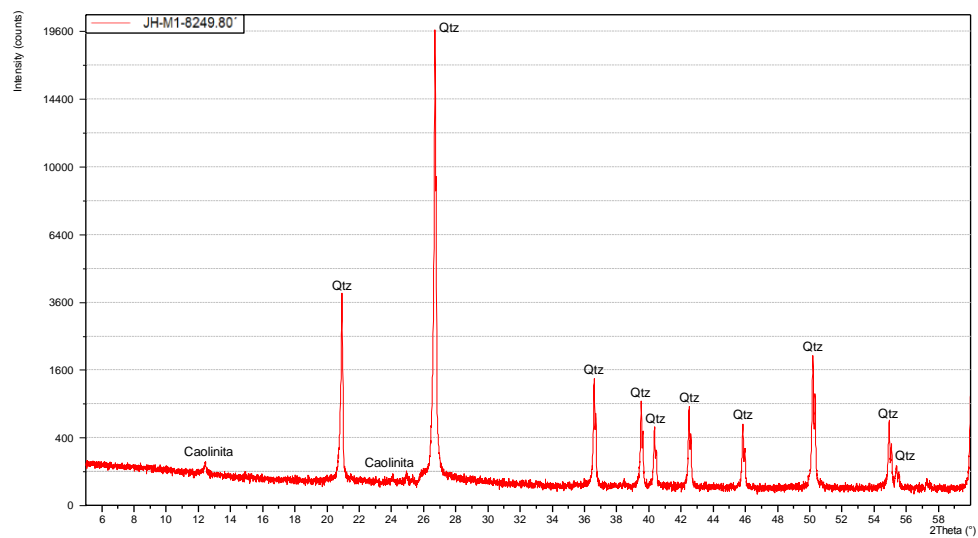
JH-M1-8247.30'



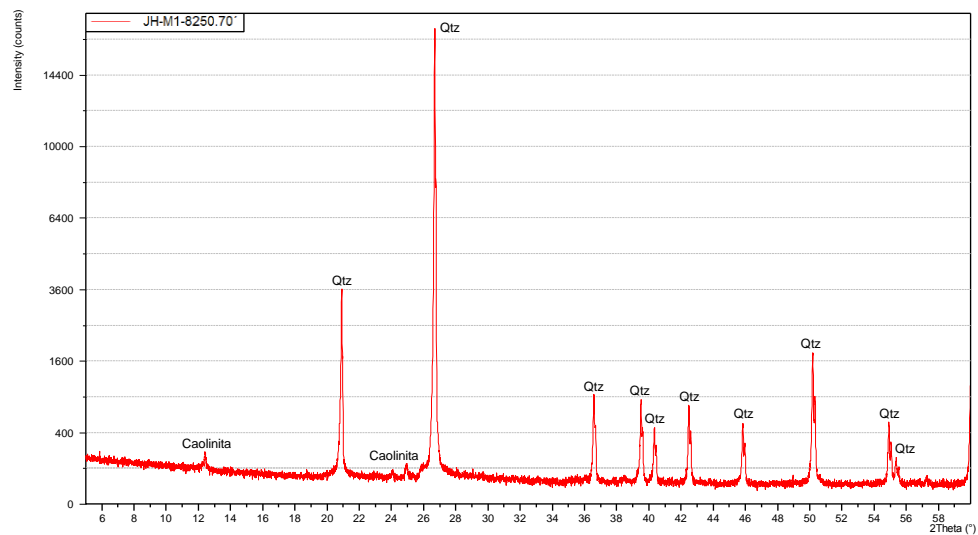
JH-M1-8248.15'



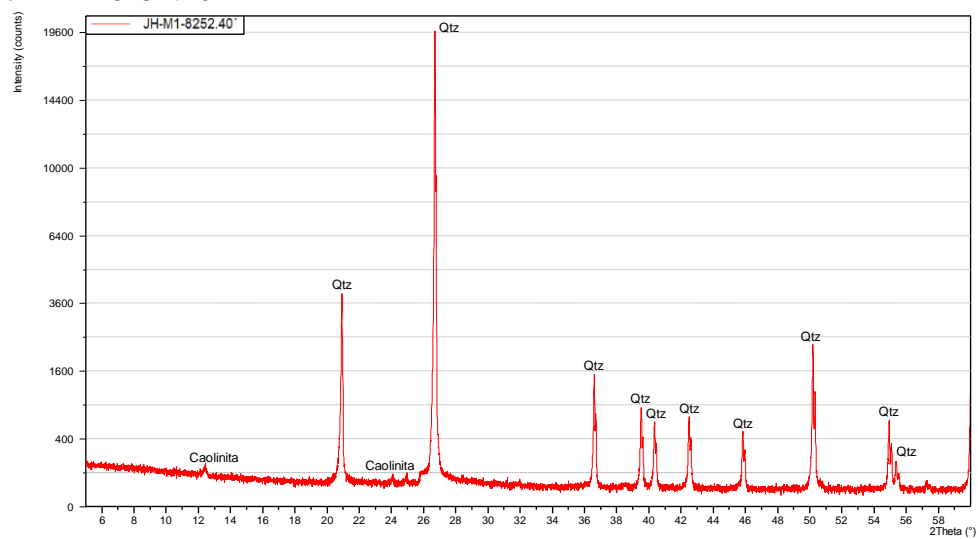
JH-M1-8249.80'



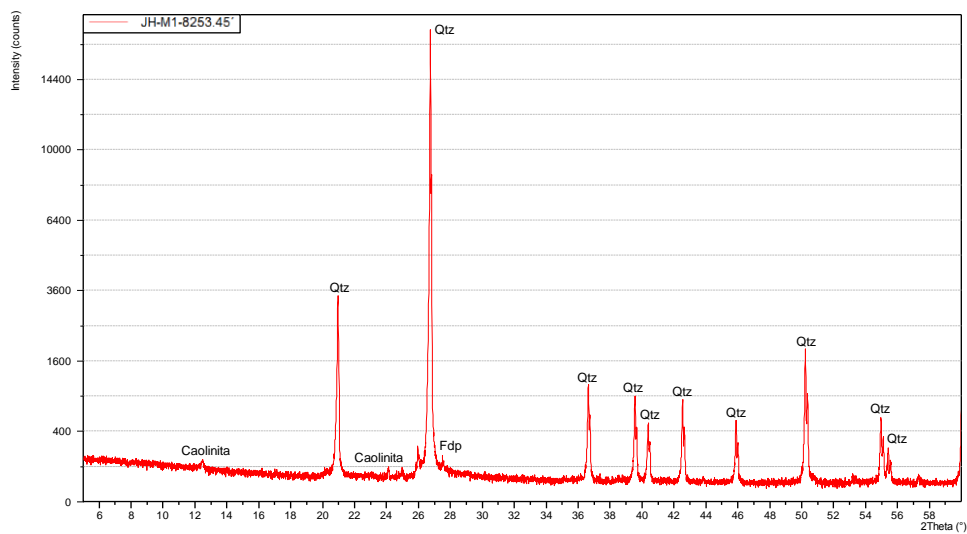
JH-M1-8250.70'



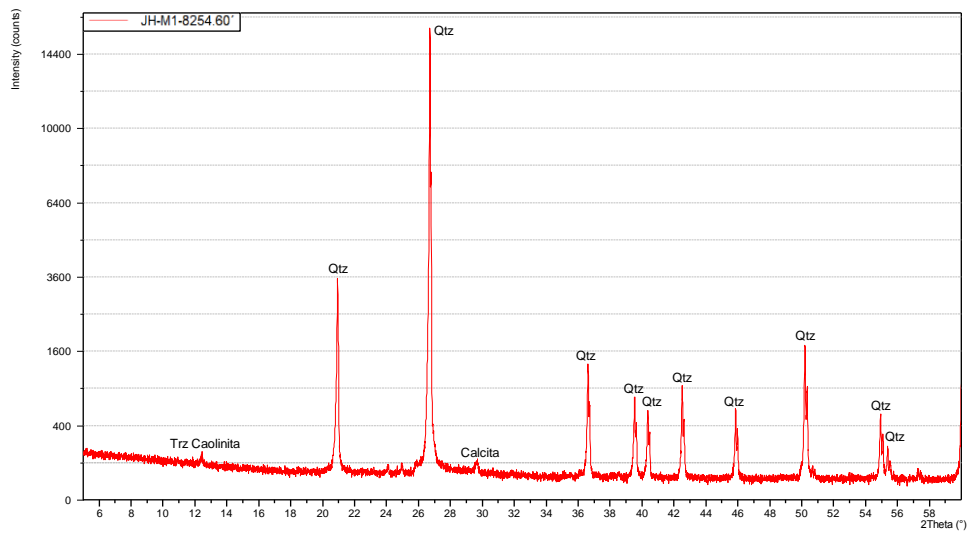
JH-M1-8252.40'



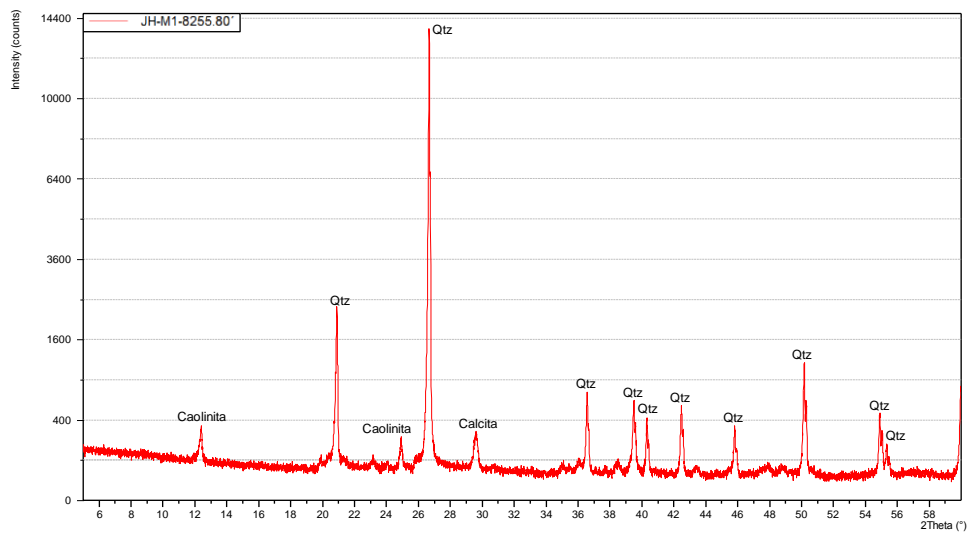
JH-M1-8253.45'



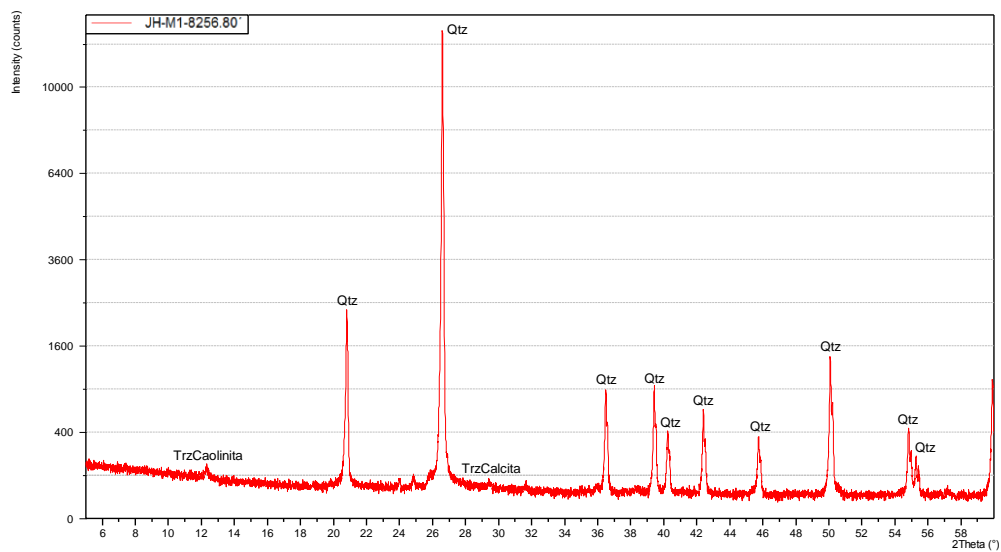
JH-M1-8254.60'



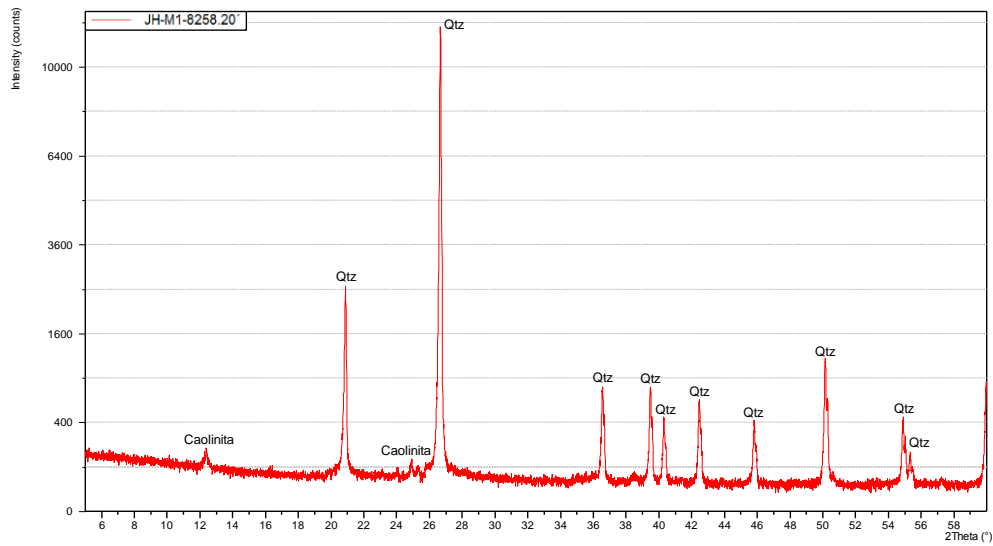
JH-M1-8255.80'



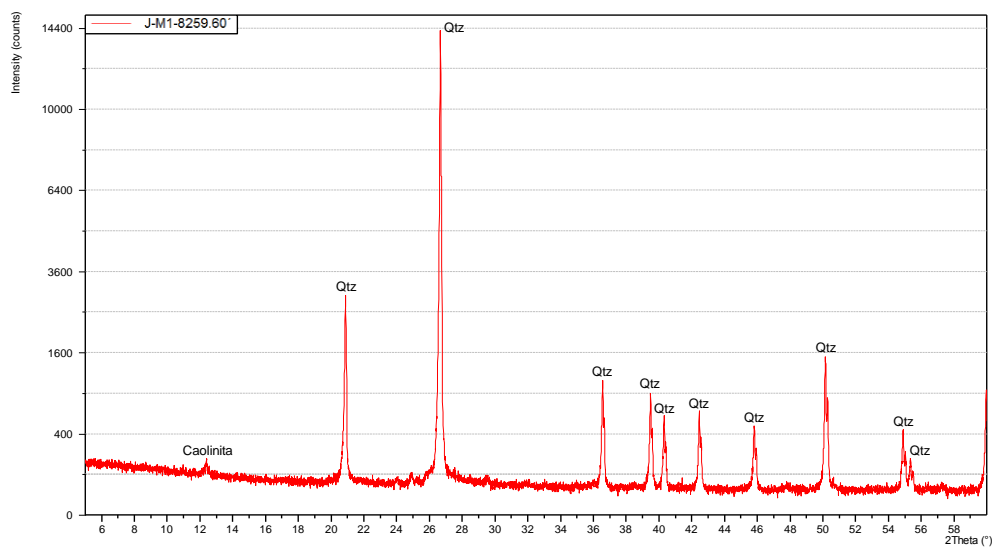
JH-M1-8256.80'



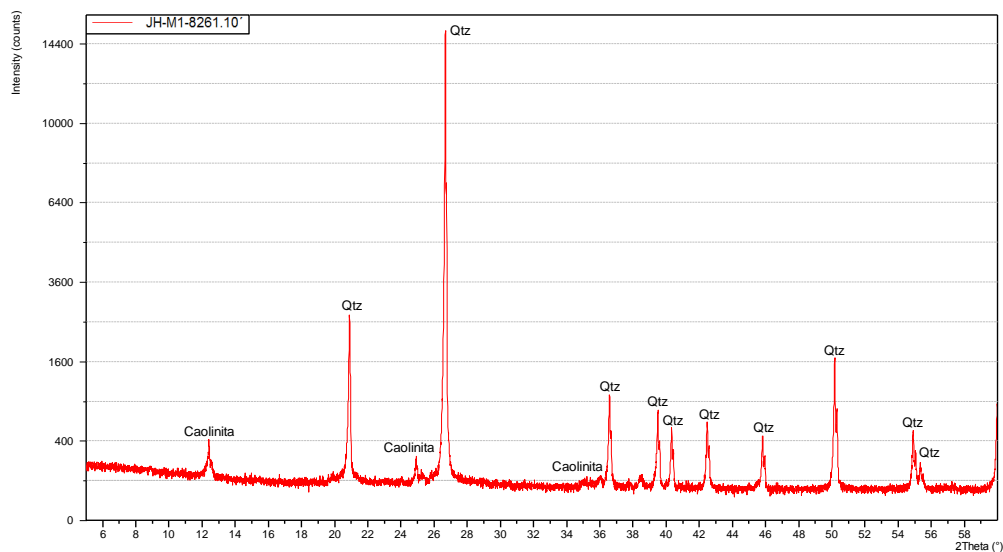
JH-M1-8258.20'



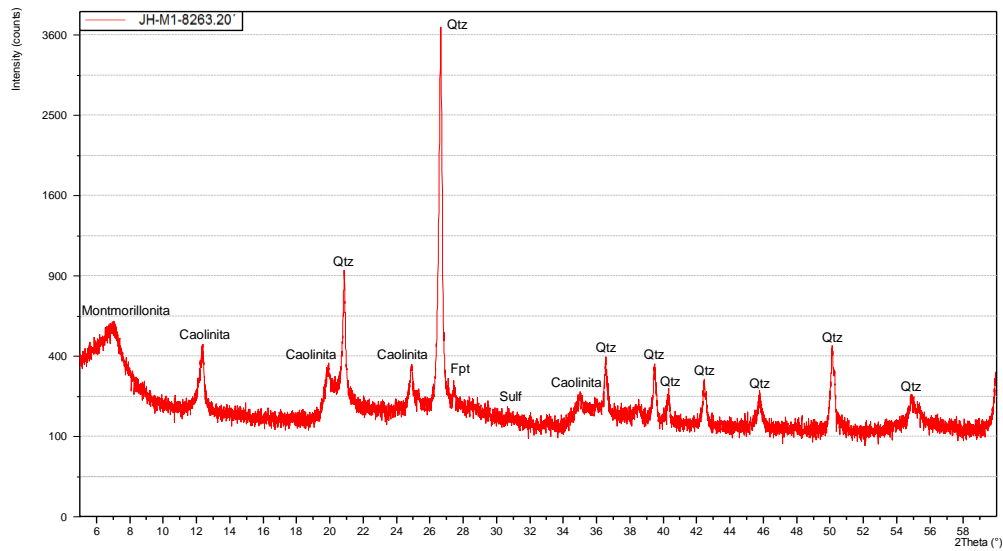
JH-M1-8259.60'



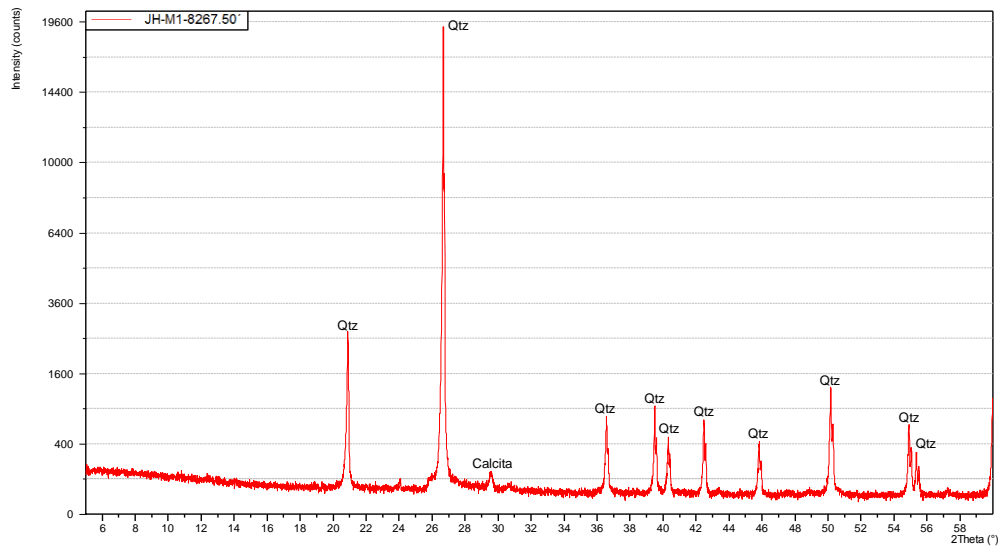
JH-M1-8261.10'



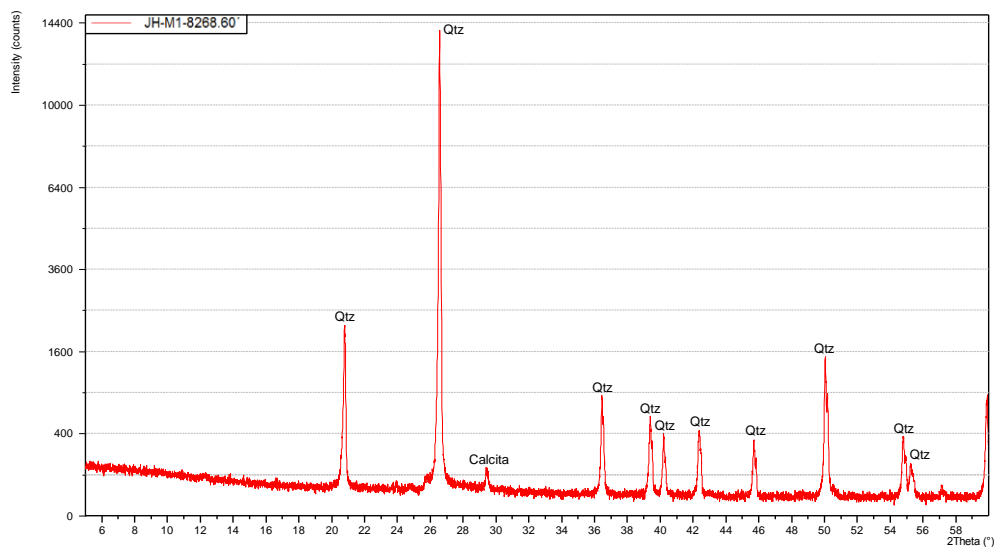
JH-M1-8263.20'



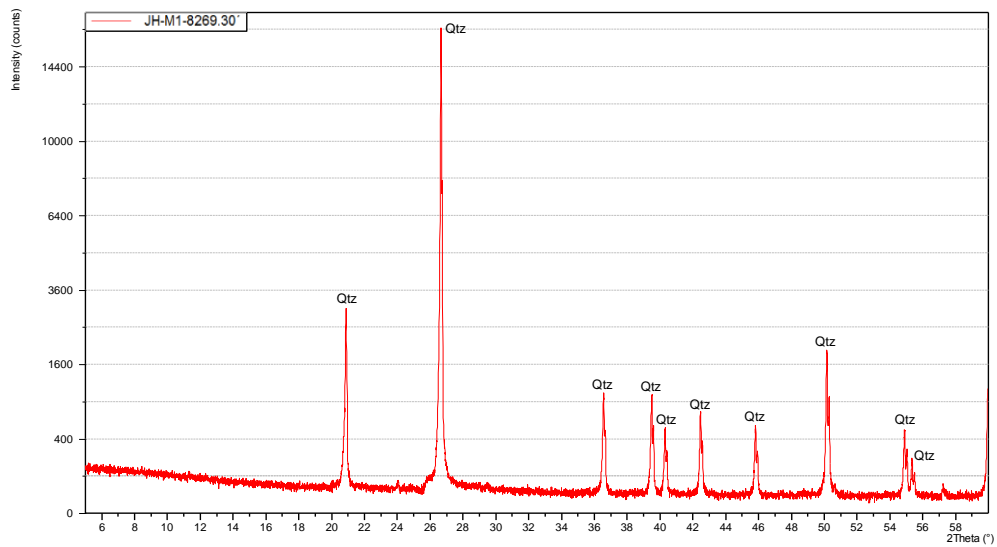
JH-M1-8267.50'



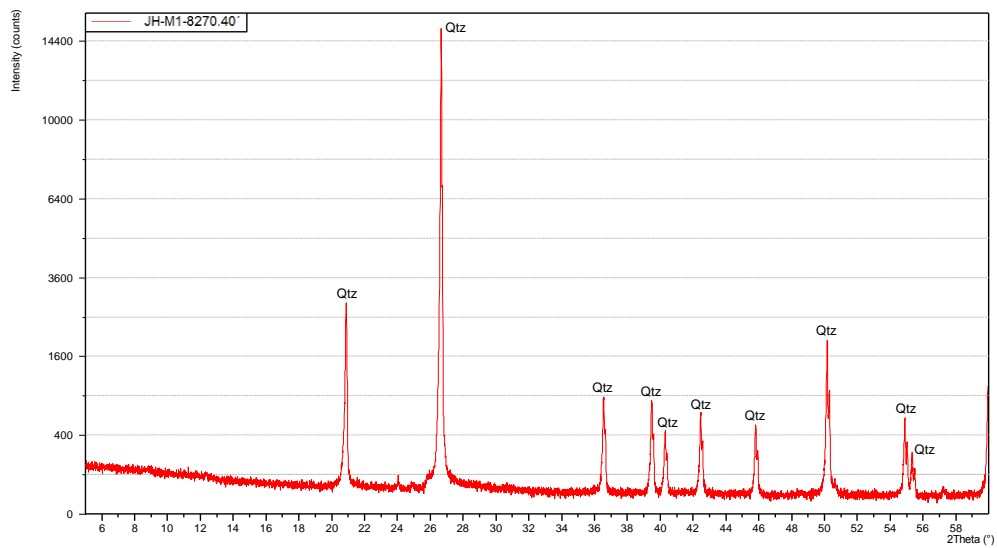
JH-M1-8268.60'



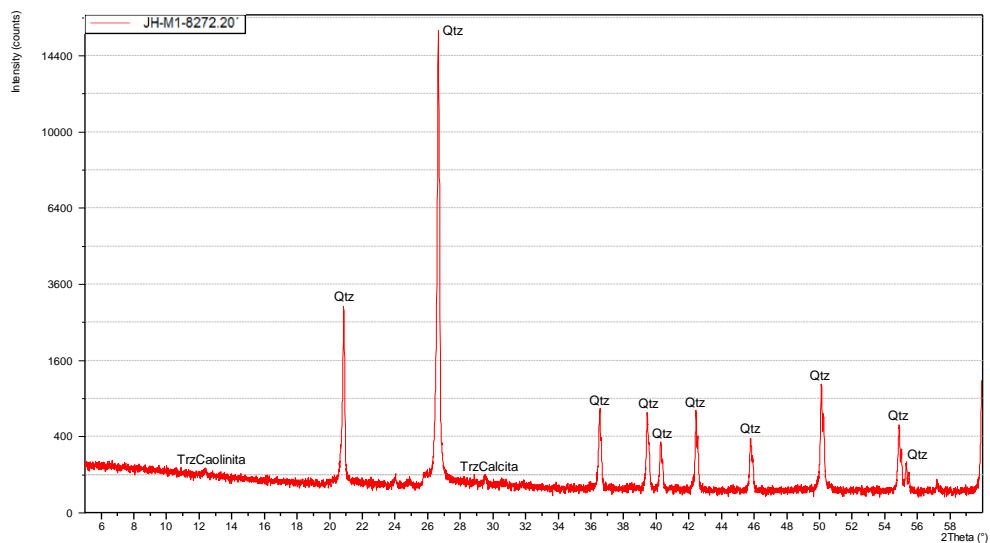
JH-M1-8269.30'



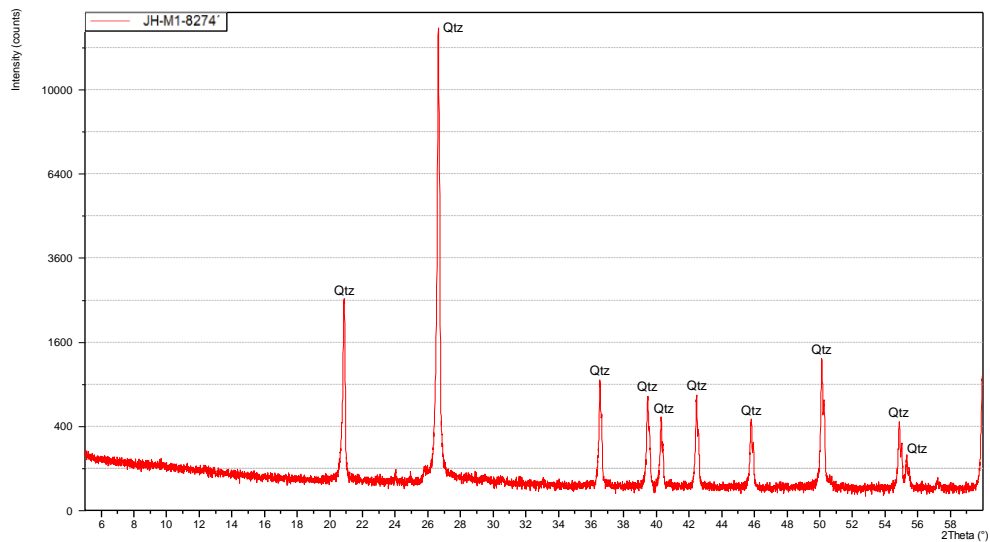
JH-M1-8270.40'



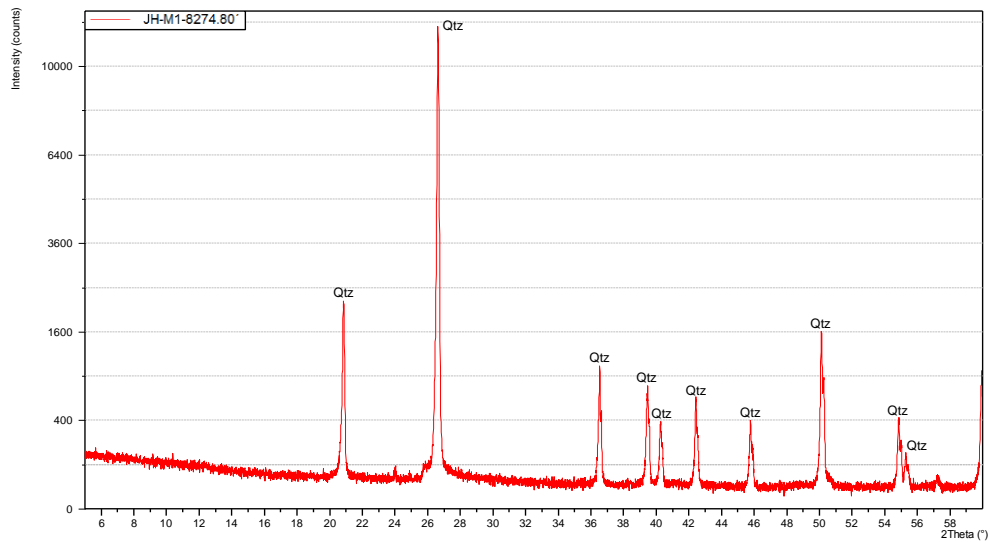
JH-M1-8272.20'



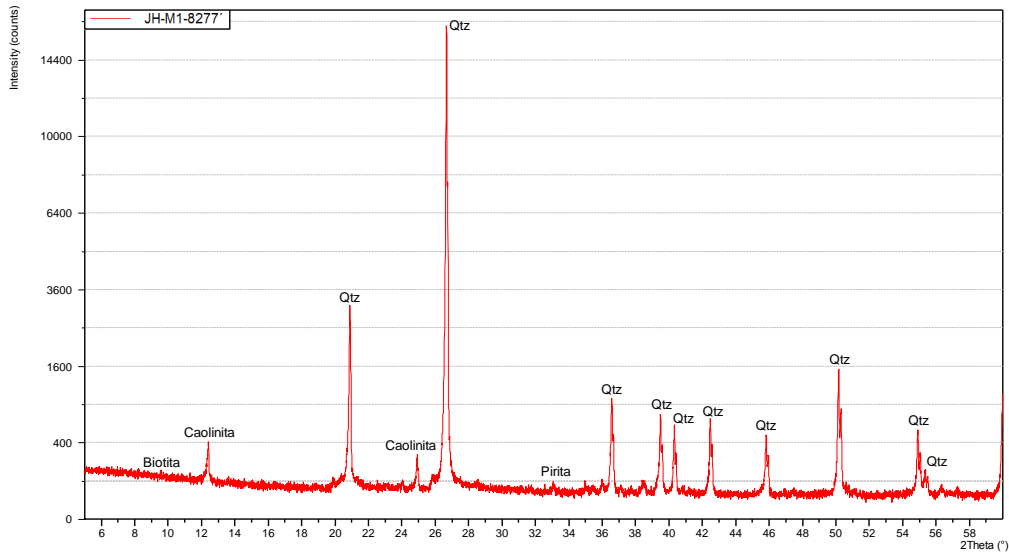
JH-M1-8274'



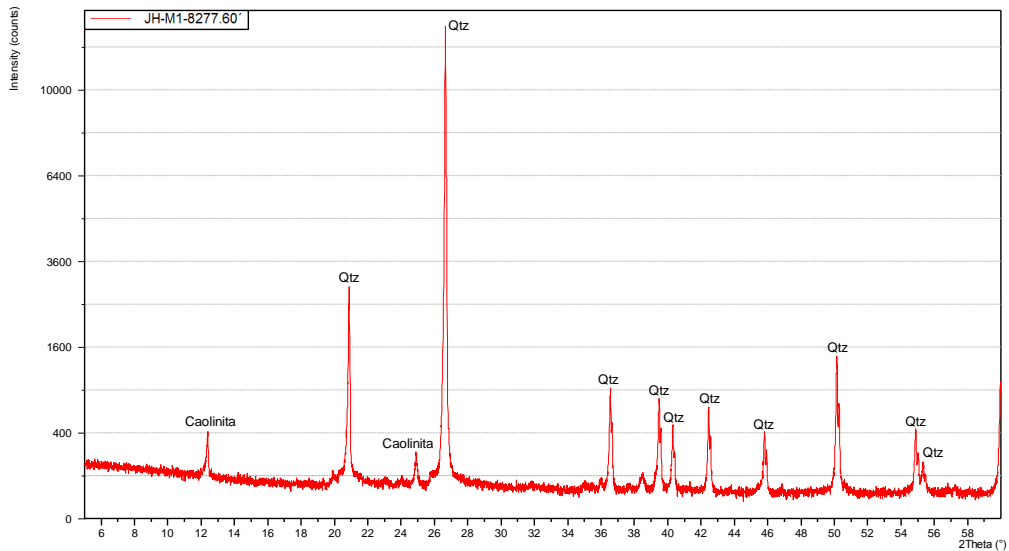
JH-M1-8274.80'



JH-M1-8277'



JH-M1-8277.60'



3.1.3 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

La microscopía electrónica de barrido es importante para la caracterización mineralógica de la estructura interna de la roca con el fin de conocer el hábito de los minerales a través de su morfología y la distribución de los minerales arcillosos en las gargantas porales, superficies de los granos principales y como estos minerales inhiben los sobrecrecimientos secundarios de cuarzo. Así mismo, se pueden observar la presencia de minerales accesorios inmersos dentro de la estructura de la roca, de la misma manera el efecto de los carbonatos y arcillas entre las partículas de cuarzo, los cuales crean

corrosión sobre los remates policristalinos de las mismas e inhiben los sobrecrecimientos (cementación) responsables de la dureza y la resistencia de la roca.

3.1.3.1 Análisis de Microscopía Electrónica de Barrido

En este caso se contó con un total de 21 muestras correspondientes a la Arenisca M1 y una muestra de lutita del pozo Johanna Este 45, tal como se muestra en la tabla 3.10 a continuación:

Tabla 3.10. Distribución de Muestras para el Análisis de Microscopía Electrónica de Barrido.

MUESTRA	PROFUNDIDAD	SEM
Nº	Pies	
1	8219,50	√
2	8223,00	√
3	8226,00	√
4	8226,40	√
5	8229,00	√
6	8229,50	√
7	8231,30	√
8	8232,70	√
9	8233,90	√
10	8235,50	√
11	8237,20	√
12	8238,30	√
13	8239,10	√
14	8240,50	√
15	8242,10	√
16	8243,30	√
17	8245,90	√
18	8247,30	√
19	8248,15	√
20	8249,80	√
21	8250,70	√

3.1.3.2 Análisis de Imágenes de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB-SEM)

Las muestras utilizadas fueron de fragmentos del núcleo del pozo Johanna Este 45 en rotura fresca, donde la descripción se realiza a través de la visualización directa de las microfotografías provenientes de los análisis de microscopía electrónica de barrido.

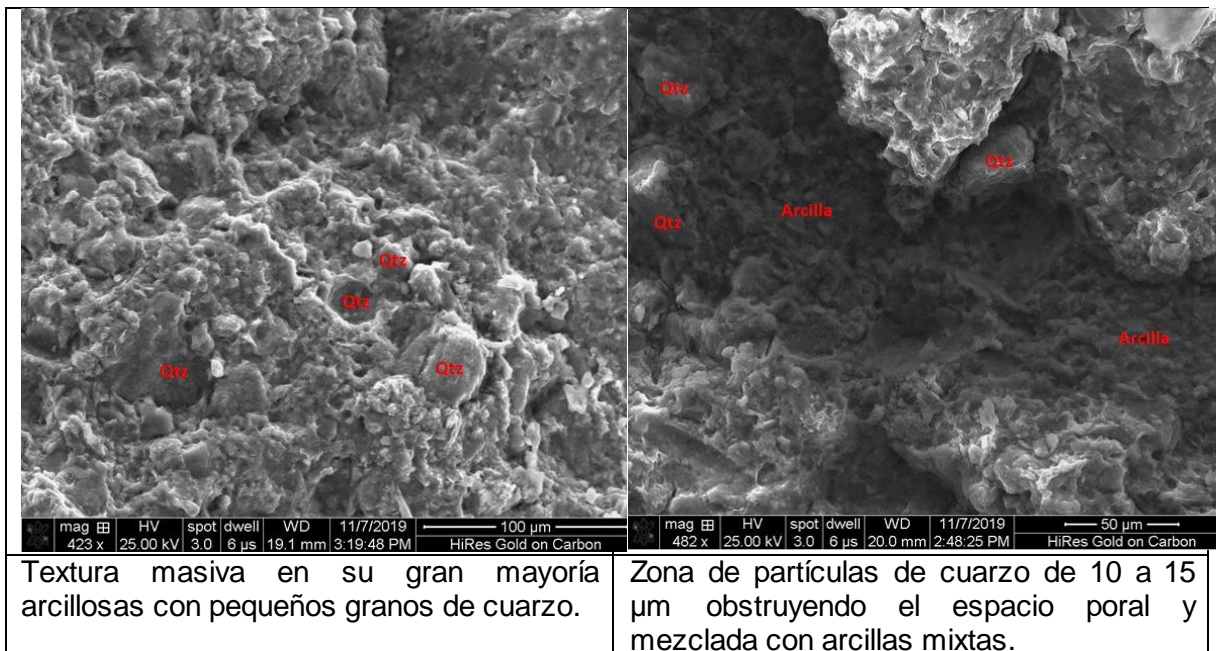
Estas muestras fueron interpretadas a diferentes magnificaciones; visualizando principalmente los minerales presentes que afectan los espacios porales dentro de la roca.

El Cuarzo es el componente principal del esqueleto de la roca, y se presenta afectado por los sobrecrecimientos secundarios, por inestabilidad producto de los esfuerzos actuantes y por la inhibición causada por arcillas. Cabe destacar, que de igual manera se observaron minerales accesorios como óxidos y sulfuros. Las microfotografías que se presentan a continuación muestran los principales minerales, su distribución dentro del espacio poral y otras características importantes.

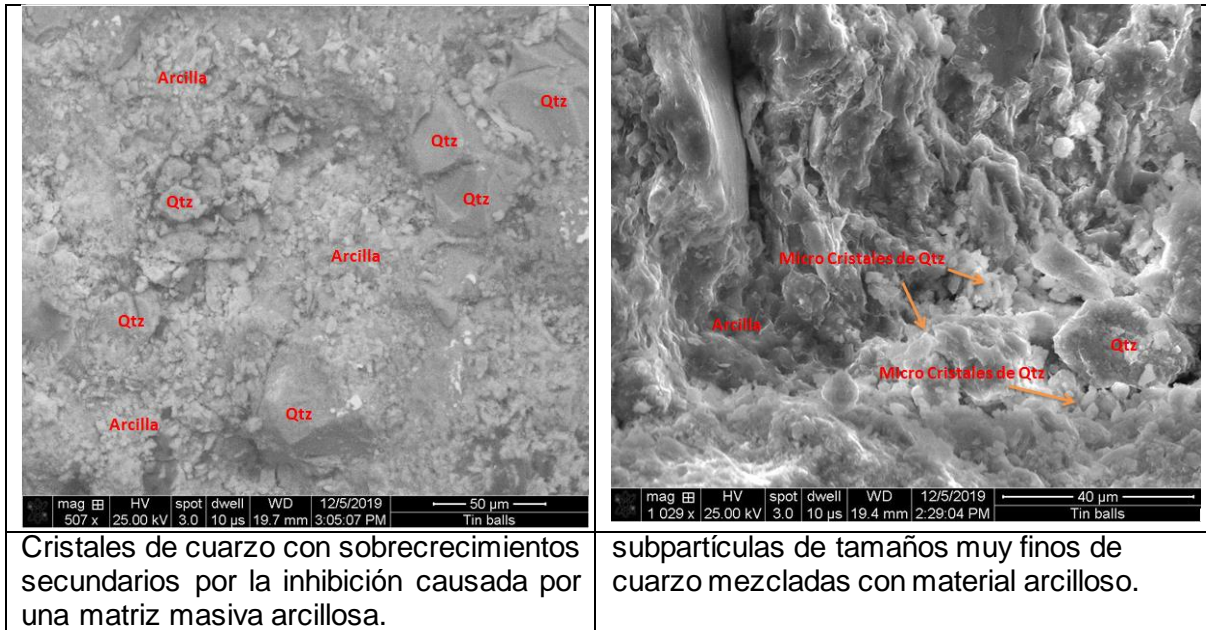
El principal material arcilloso lo constituye la Caolinita; la cual se presenta como placas pseudo hexagonales autigénicas apiladas en forma de libros y ubicadas mayormente en los poros causando obstrucción y creando taponamientos, algunas veces como cemento, estas arcillas pertenecen al grupo de arcillas migrables.

3.1.3.3 Muestras analizadas en el Microscopio Electrónico de Barrido

Muestra # 1



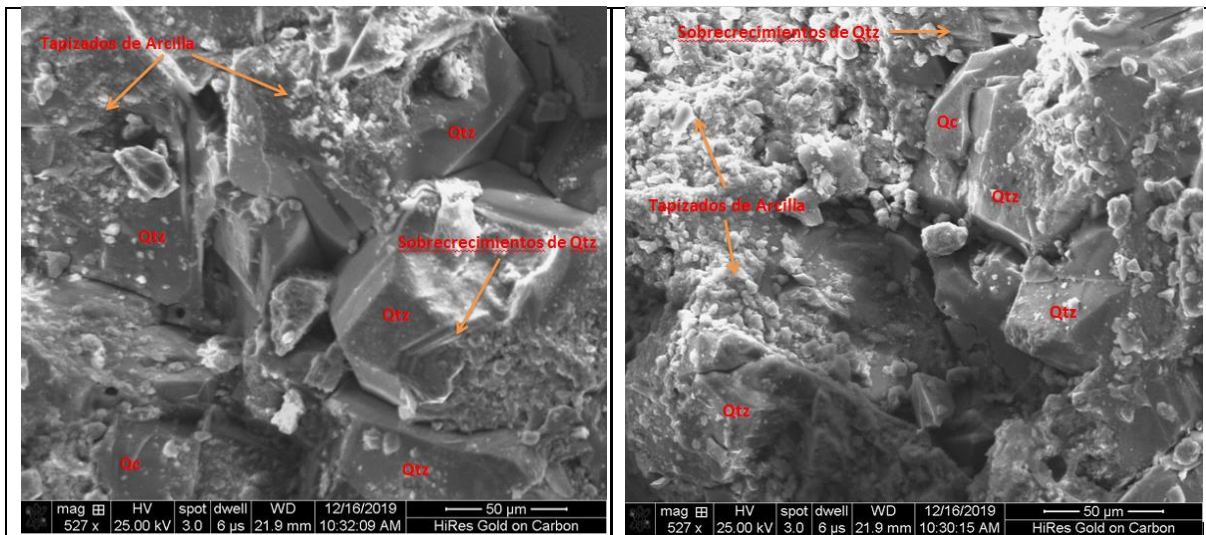
Muestra # 2



Cristales de cuarzo con sobrecrecimientos secundarios por la inhibición causada por una matriz masiva arcillosa.

subpartículas de tamaños muy finos de cuarzo mezcladas con material arcilloso.

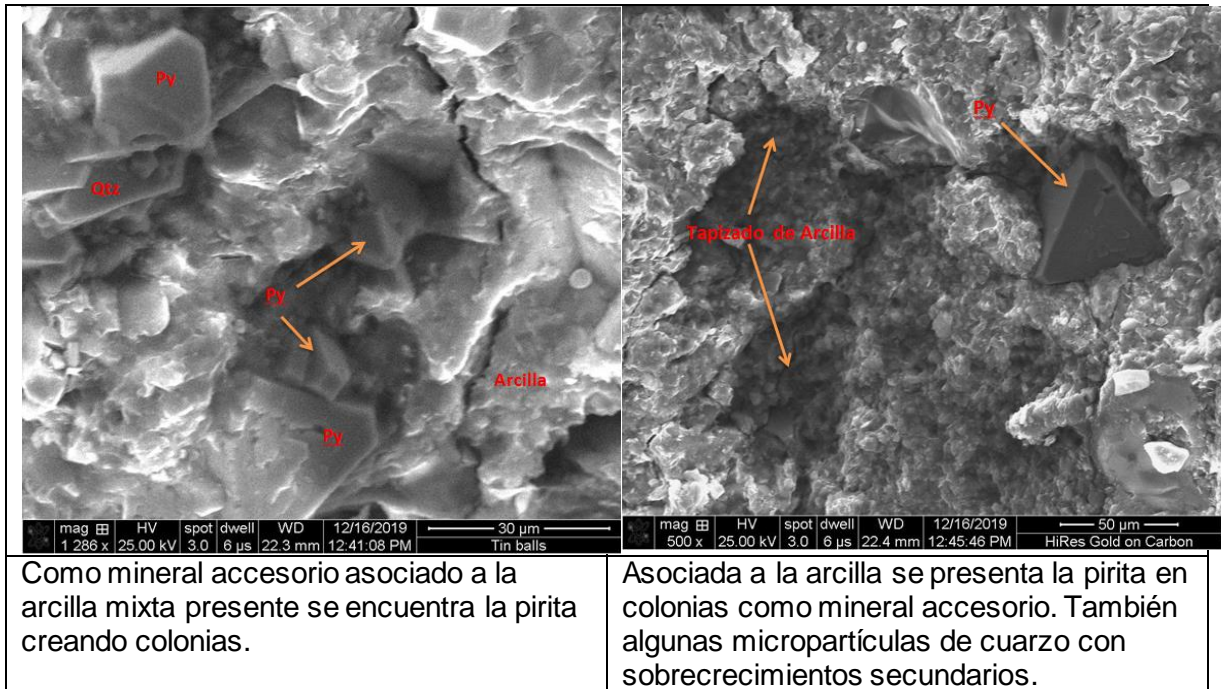
Muestra # 3



Cristales de Cuarzo con sobrecrecimientos secundarios de cemento de cuarzo y un tapizado de arcillas en las superficies de los granos.

Sobrecrecimientos secundarios de cristales de cuarzo, se visualizar las arcillas que tapizan las superficies de los granos de cuarzo.

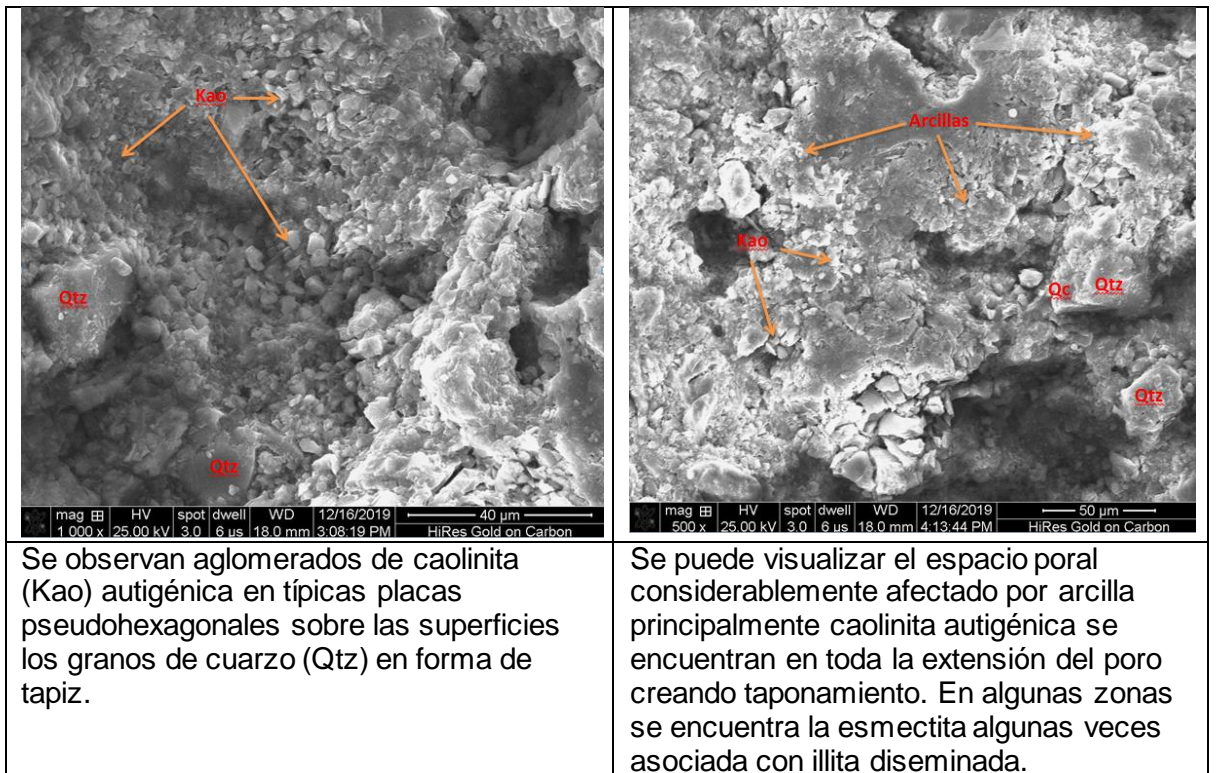
Muestra # 4



Como mineral accesorio asociado a la arcilla mixta presente se encuentra la pirita creando colonias.

Asociada a la arcilla se presenta la pirita en colonias como mineral accesorio. También algunas micropartículas de cuarzo con sobrecrecimientos secundarios.

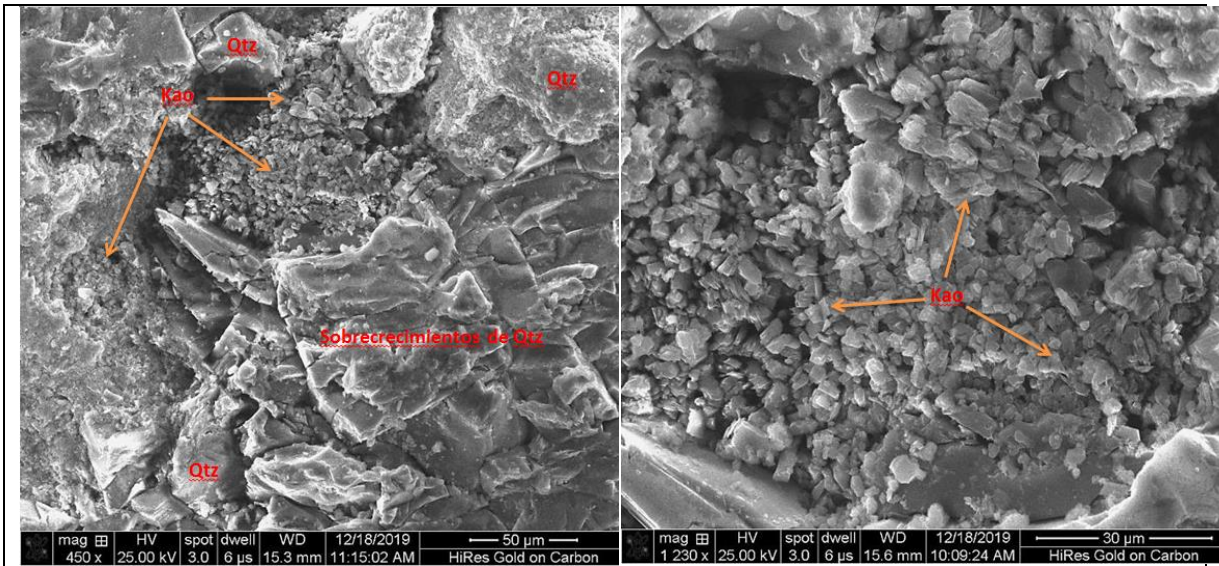
Muestra # 5



Se observan aglomerados de caolinita (Kao) autígenica en típicas placas pseudo hexagonales sobre las superficies los granos de cuarzo (Qtz) en forma de tapiz.

Se puede visualizar el espacio poral considerablemente afectado por arcilla principalmente caolinita autígenica se encuentran en toda la extensión del poro creando taponamiento. En algunas zonas se encuentra la esmectita algunas veces asociada con illita diseminada.

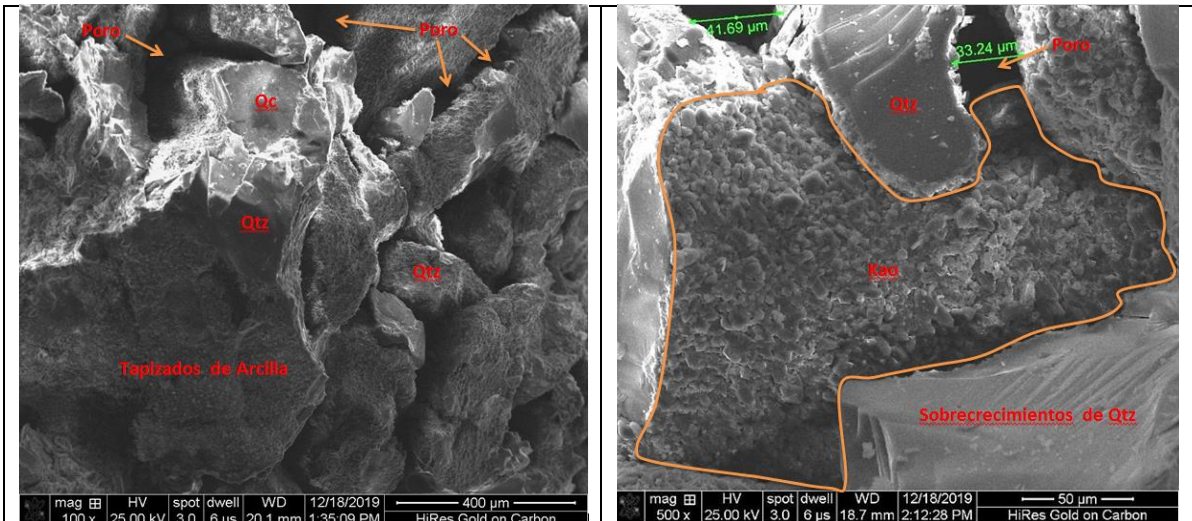
Muestra # 6



Se observa sobrecrecimiento de sílice en algunos granos de cuarzo que forman recubrimientos puntuales en las superficies de las partículas de cuarzo inhibiendo y creando sobrecimientos discontinuos a través del plano. se observa también el espacio poral totalmente ocluido por caolinita autígenica.

se visualiza una morfología típica de placas pseudo hexagonales apiladas en secuencia de caolinita (Kao) autígenica, la cual muestra su típica morfología apiladas como libros.

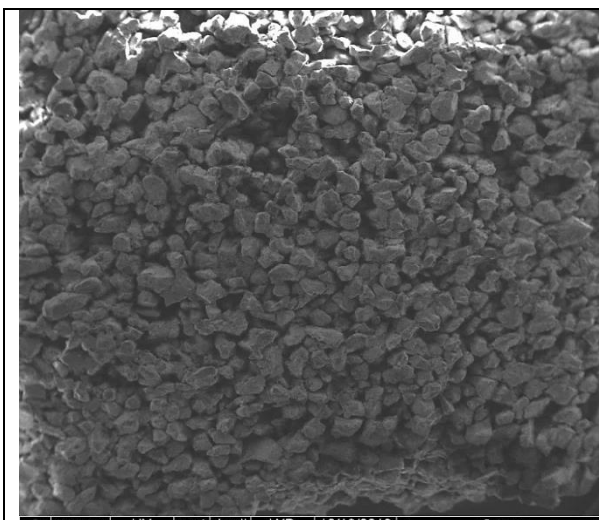
Muestra # 7



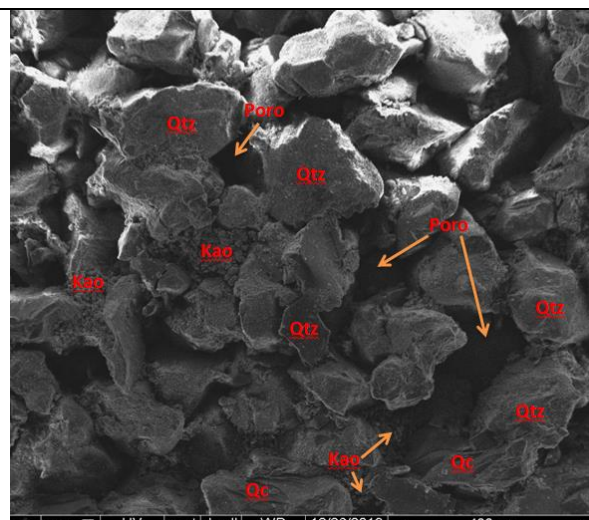
Se observa un tapizado de arcillas sobre las superficies de las partículas de cuarzo y a nivel de las gargantas porales.

Concentraciones de caolinita se muestran como agregados apilados en forma de libros ubicados sobre la superficie de los granos de cuarzo.

Muestra # 8

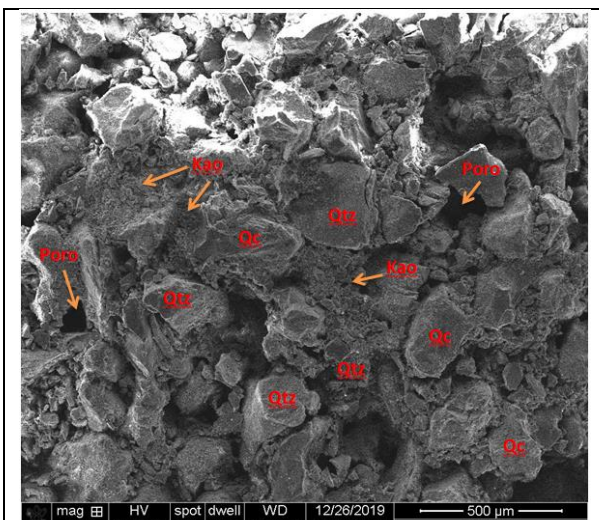


Se observa una textura granular con una buena selección de los granos de cuarzo y un tamaño promedio de 170 μm y una porosidad de 28.60 % asociados a una Arenisca fina.

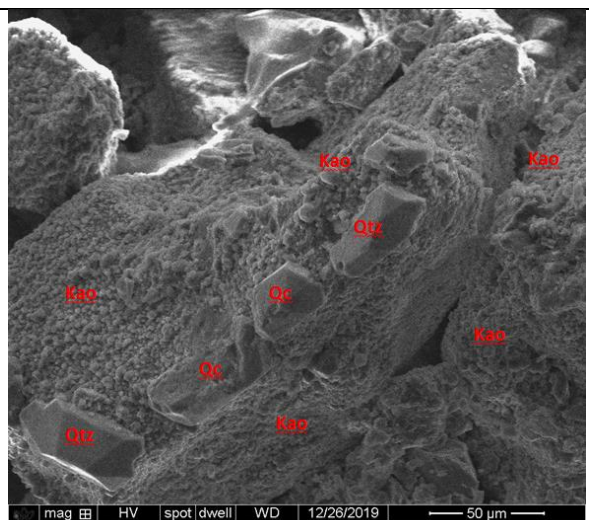


Esporádicas concentraciones de caolinita entre los poros se muestran como agregados apilados en forma de libros y un tapizado en las superficies de los granos de cuarzo.

Muestra # 9

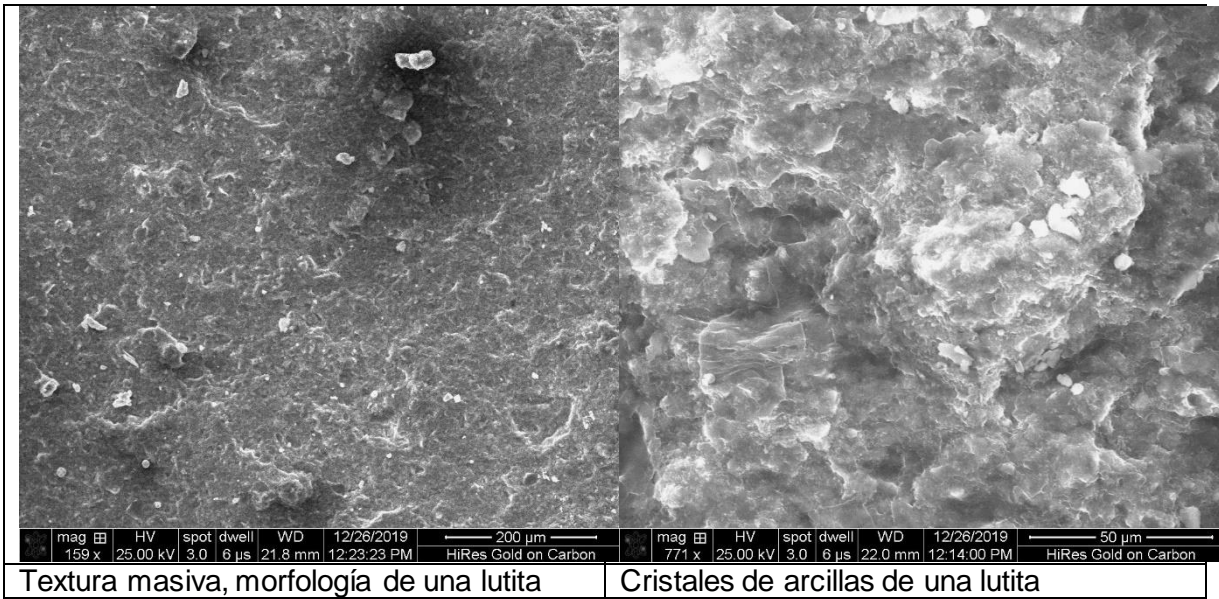


Granos de cuarzo tapizados por arcilla inhibiendo considerablemente un buen contacto entre los granos principales del esqueleto de la roca. Caolinita autigénica relleno poros se observa en forma puntual.

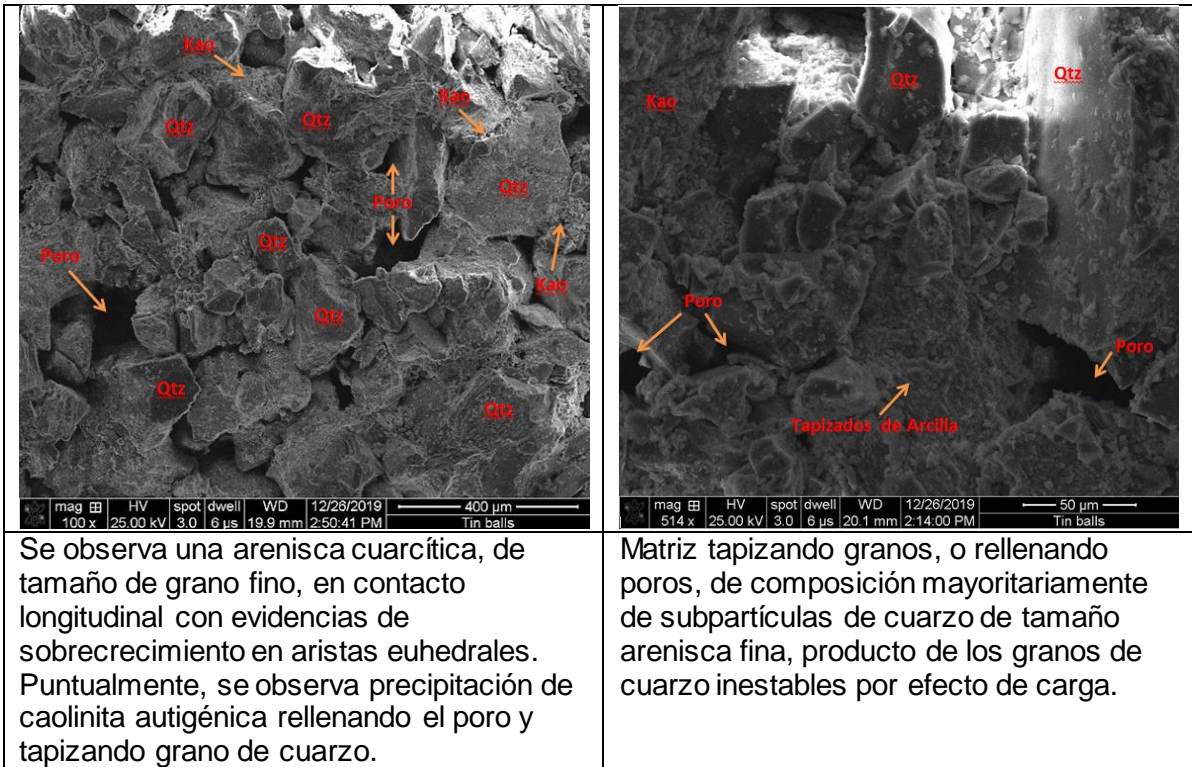


Caolinita recubriendo las superficies de los granos de cuarzo y sobrecrecimiento de los mismos en cemento de cuarzo.

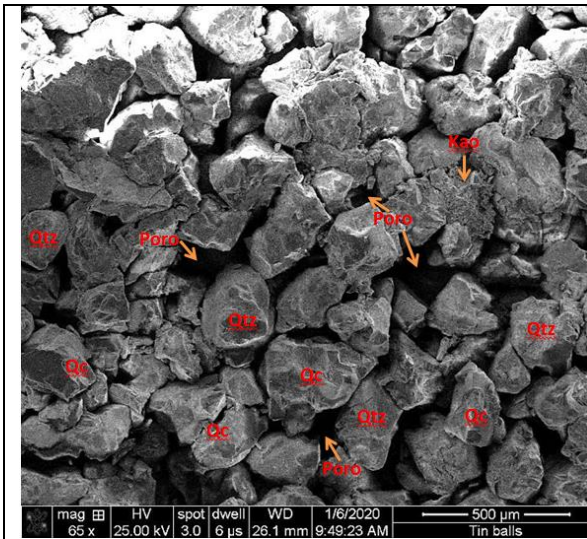
Muestra # 10



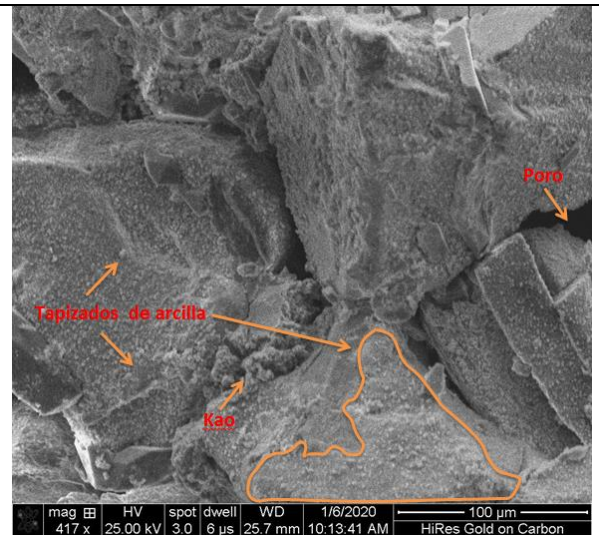
Muestra # 11



Muestra # 12

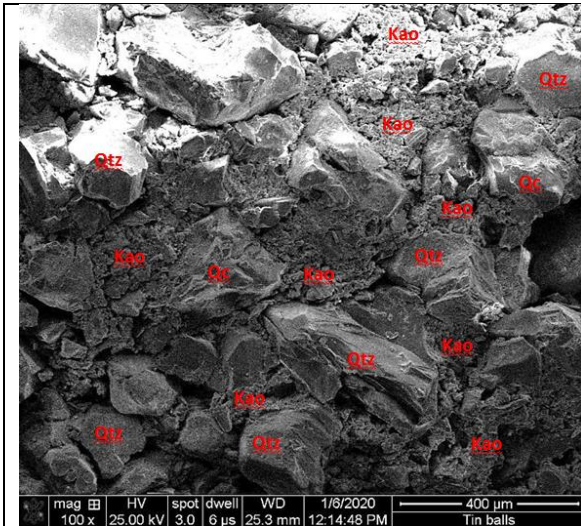


Granos de cuarzo con esporádicas concentraciones de caolinita en los espacios porales. Sobrecrecimientos de cemento de cuarzo alrededor de los granos, contactos longitudinales y cóncavo convexo.

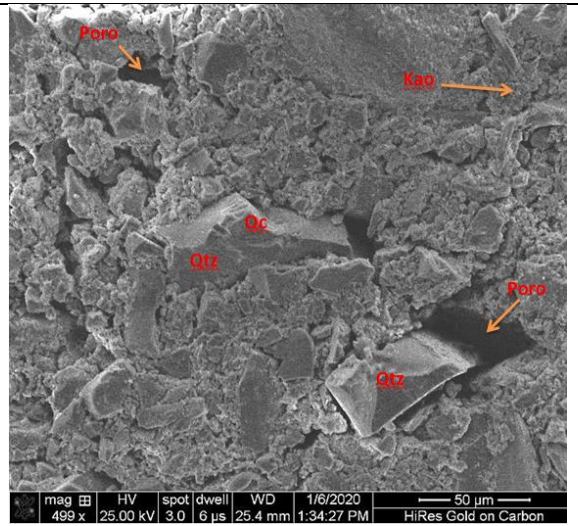


Se observa granos de cuarzo recubiertos por una fina capa de arcilla en la superficie de los granos y caolinita entre los poros y gargantas porales.

Muestra # 13

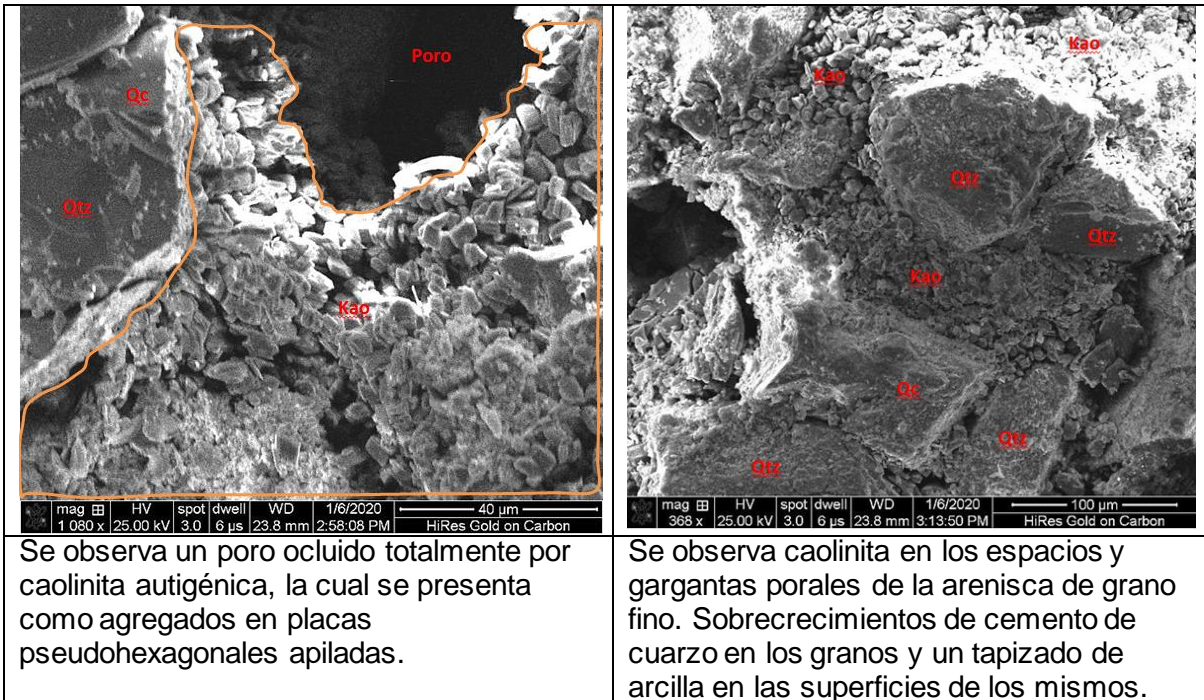


Se observa sobrecrecimiento de cuarzo o el relleno de finos. Caolinita autigénica relleno poros en forma puntual.

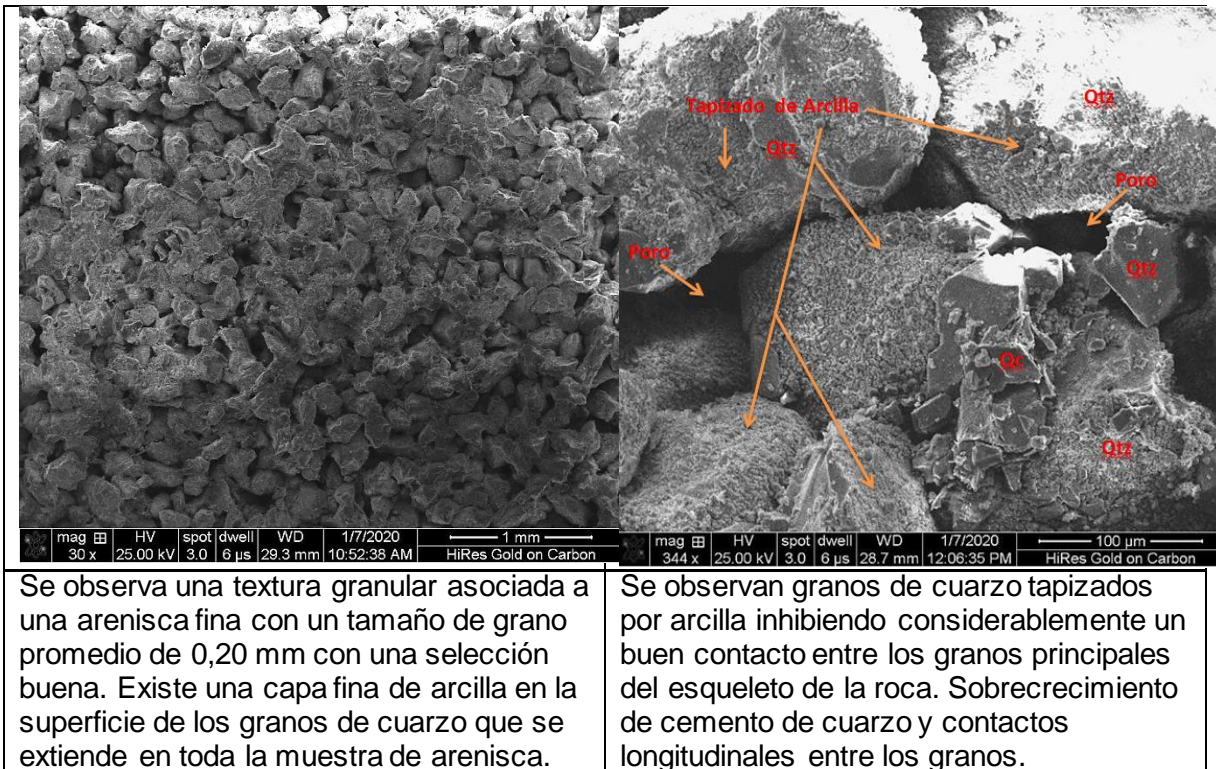


Arenisca cuarcítica, de tamaño de grano fino, en contacto longitudinal con evidencias de sobrecrecimiento en aristas euhedrales. Puntualmente, se observa precipitación de caolinita autigénica relleno el poro y tapizando grano de cuarzo.

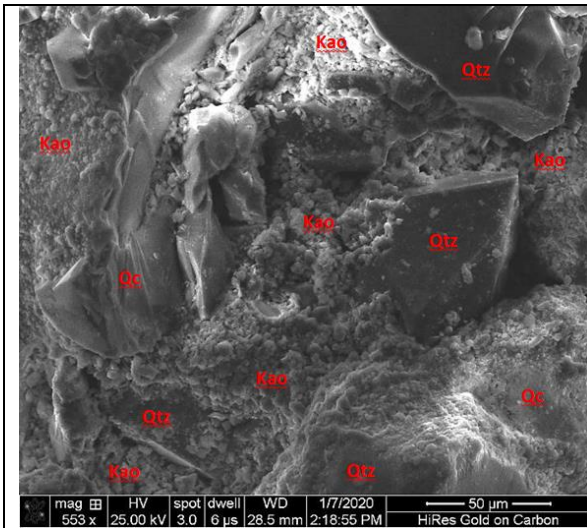
Muestra # 14



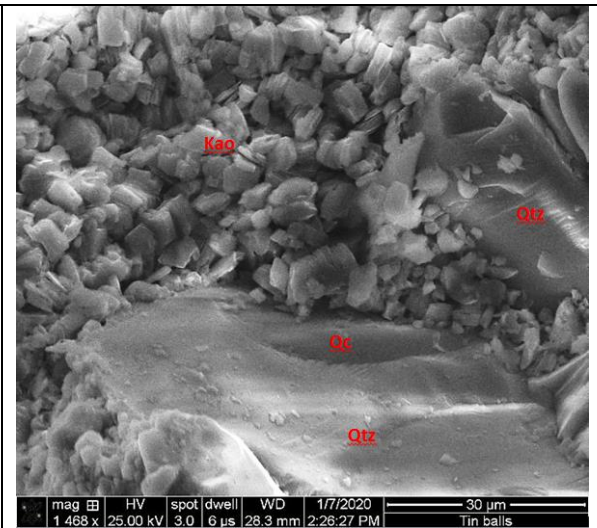
Muestra # 15



Muestra # 16

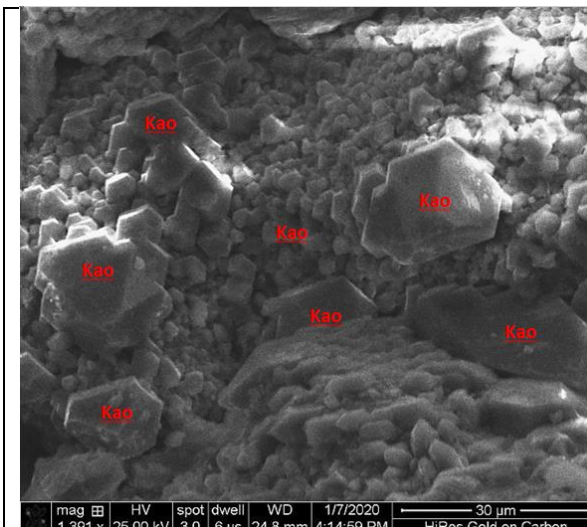


El espacio poral que se encuentra afectado por una asociación de arcillas mixtas compuestas por agregados de caolinita en su gran mayoría, se observa también contactos rectos y longitudinales de granos de cuarzo.

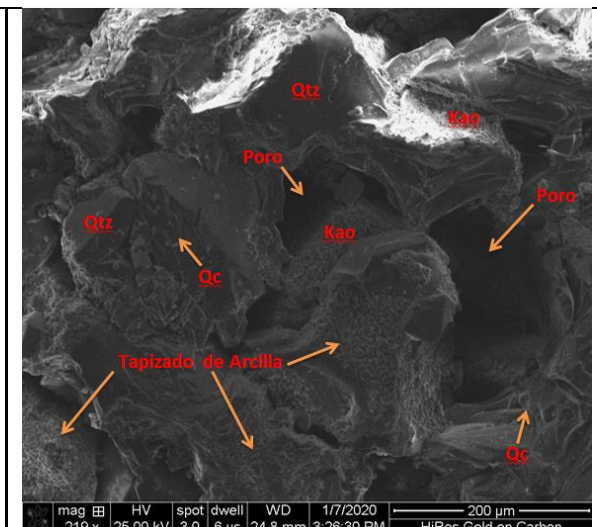


Espacio poral totalmente ocluido por caolinita autigénica la cual muestra su típica morfología de placas pseudo-hexagonales apiladas como libros.

Muestra # 17

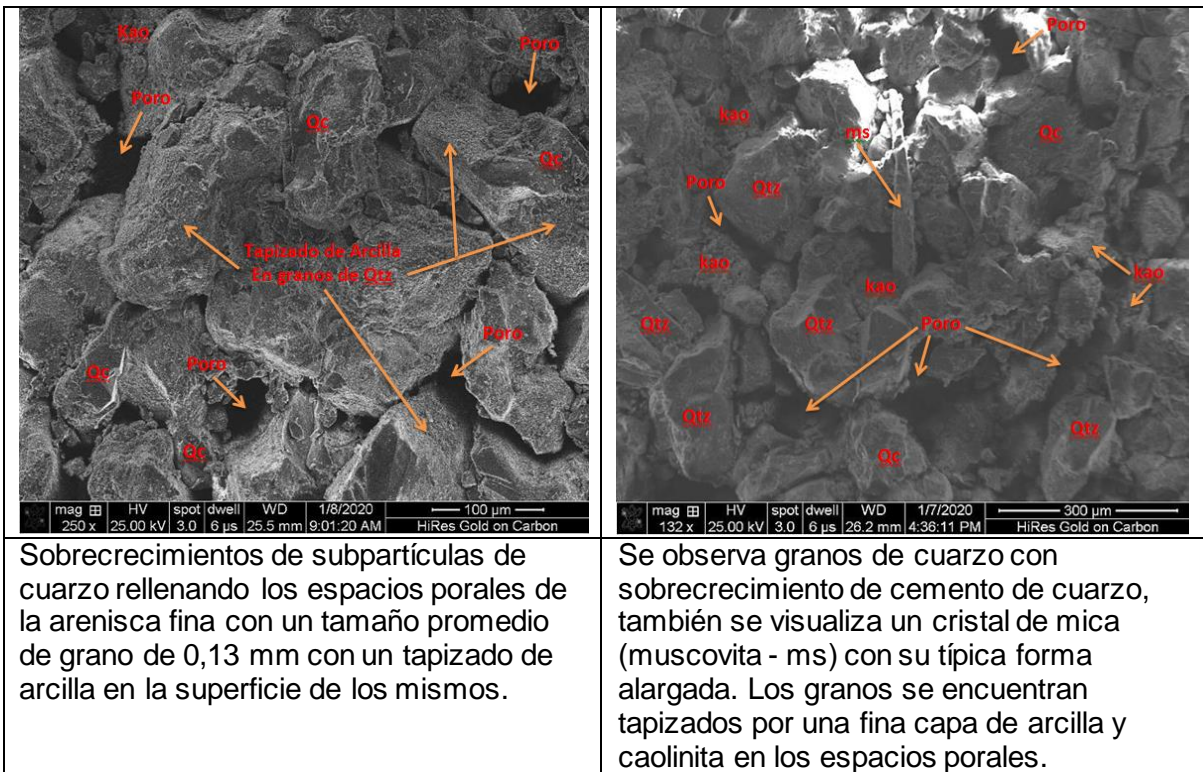


Se observa caolinita autigénica la cual muestra su típica morfología de placas pseudo-hexagonales apiladas como libros.

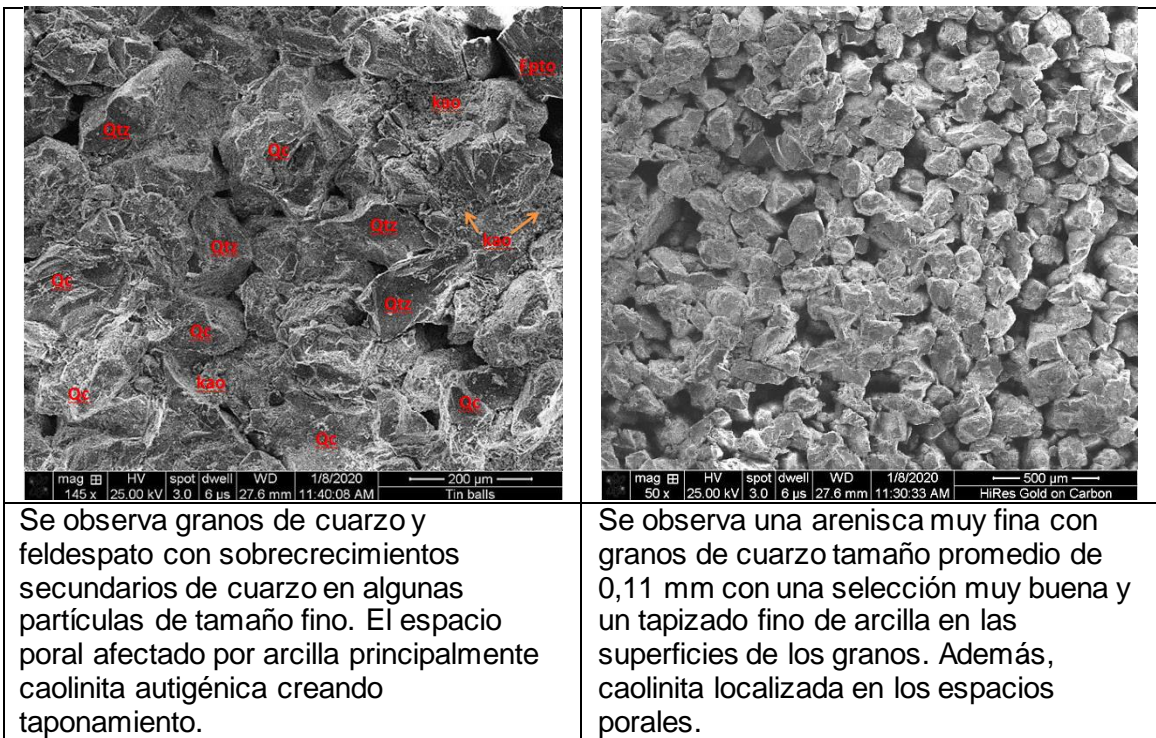


Algunas arcillas forman recubrimientos puntuales en las superficies de las partículas de cuarzo inhibiendo y creando sobrecimientos discontinuos a través del plano.

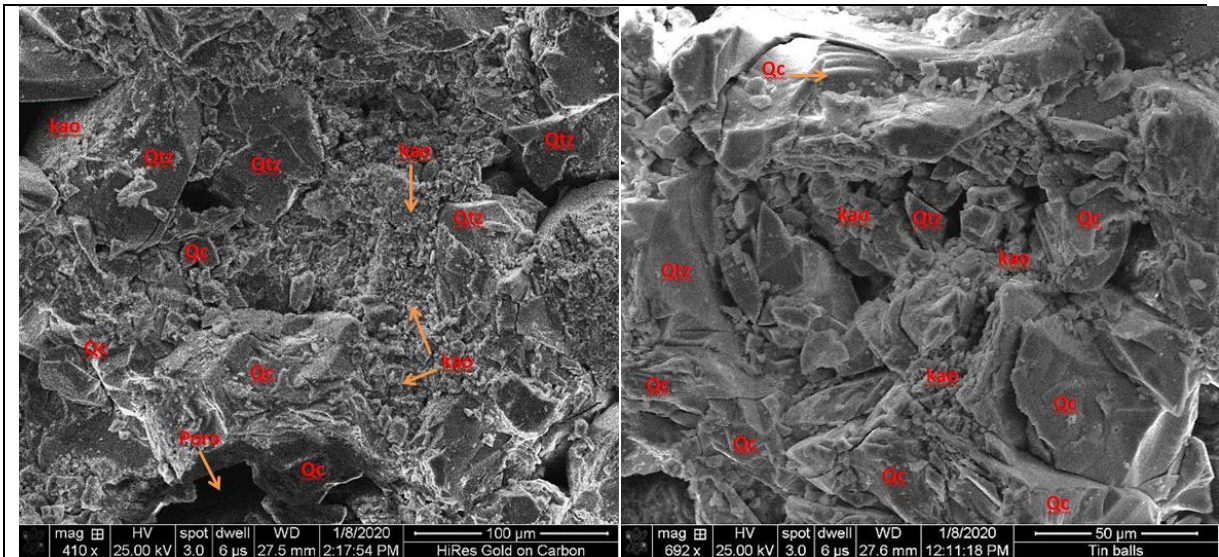
Muestra # 18



Muestra # 19



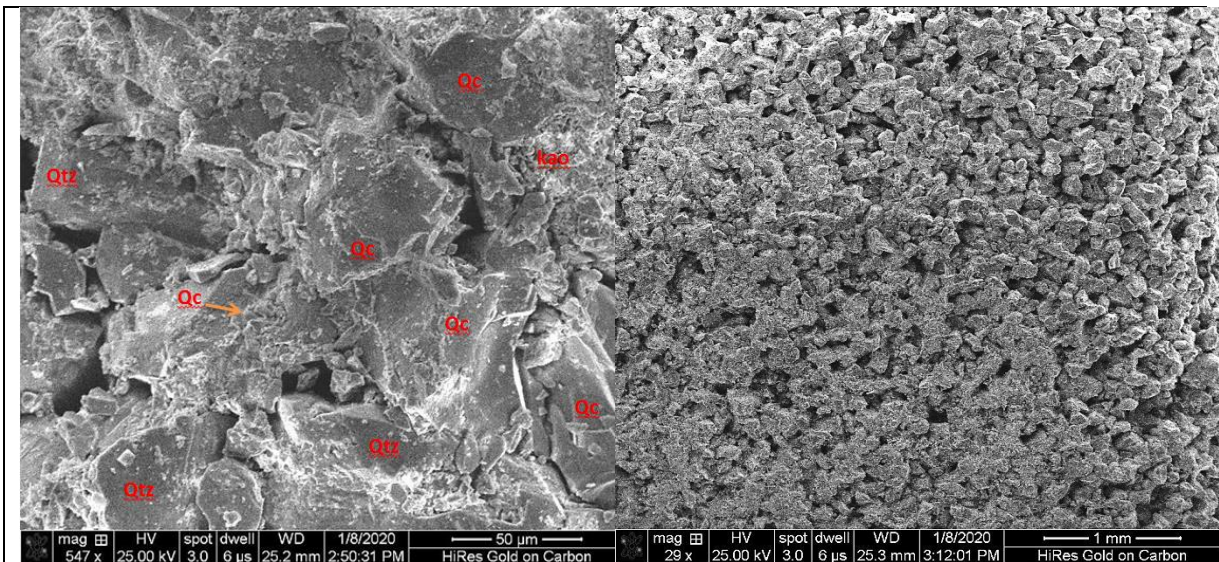
Muestra # 20



Se observa granos de cuarzo y la generación de subpartículas de tamaños muy finos. Sobrecrecimientos de cuarzo cuyos remates cristalinos entran en contacto longitudinal entre las partículas de cuarzo vecinas.

Se observa la inestabilidad de las partículas de cuarzo y la generación de subpartículas de tamaños muy finos. Presencia de caolinita en los espacios porales.

Muestra # 21



Se observa sobrecrecimientos de cemento de cuarzo y subpartículas de tamaño muy fino, asociado a una matriz arcillosa en su mayoría caolinita en espacios y gargantas porales y en las superficies de los granos.

Se observa una textura granular asociada a una arenisca muy fina con un tamaño de grano promedio de 0,08 mm con una matriz arcillosa cuyo componente principal es la caolinita en espacios y gargantas porales, así como en las superficies de los granos de cuarzo.

3.2 Discusión

Para los geólogos petroleros es de gran importancia tomar en cuenta los rasgos diagenéticos asociados a la mineralogía y petrografía de rocas sedimentarias, en este caso de las areniscas, para determinar la calidad del reservorio. Además, en los trabajos de ingeniería, la estimulación de pozos y tratamientos de completación, se debe tomar en consideración la composición de los reservorios para escoger el tipo de fluido a usar en dichas zonas productoras y obtener un máximo de optimización en la producción de hidrocarburos.

De acuerdo al análisis petrográfico realizado a la Arenisca M1 en el Bloque Tarapoa, esta se encuentra clasificada como una Cuarzoarenita en su mayor proporción a lo largo de todo el núcleo, seguido de una composición Subarcosa por el contenido de feldespatos asociados a plagioclasas (albita) y microclinas en menor proporción.

La Arenisca M1 del pozo Johanna Este 45, Campo Johanna Este Bloque Tarapoa, presenta una secuencia grano decreciente desde el tope hasta la zona productora de la muestra y desde esta zona hasta la base del núcleo grano creciente, los granos tienen formas subangulares a subredondeadas con un sorteo bien clasificado asociado a un bajo nivel de compactación. La combinación entre el sorteo granulométrico y la forma de los granos se clasificó a la Arenisca M1 como una arenisca madura texturalmente y considerando que la mayoría de los granos son cuarzos policristalinos en abundancia, cuarzos monocristalinos seguido de feldespatos micas y líticos en menor proporción se la clasificó con una madurez mineralógica de madura a supermadura.

La caracterización del sistema poral de la Arenisca M1, está asociado a dos tipos de porosidades, una porosidad primaria intergranular y una porosidad secundaria por disolución de feldespatos. Los porcentajes obtenidos durante los estudios petrográficos se relacionan con la porosidad buena correspondiente a una arenisca muy fina hasta excelente correspondiente a una arenisca gruesa, por consiguiente, se puede considerar que la Arenisca M1 es un buen reservorio, desde el punto de vista de mayor almacenaje y de mayor facilidad de flujo de los hidrocarburos, considerando que posee mayor porosidad intergranular.

Los diámetros de las “gargantas de los poros” en la Arenisca M1 son mayores en los granos gruesos con un máximo de 30 μm , los mismos que presentan menos área superficial por unidad de volumen de grano y poro, de esta manera los aros o envoltorios de minerales de arcilla son volumétricamente menores con granos gruesos, a diferencia

de granos finos con un mínimo de 10 μm asociados a la zona productora del pozo Johanna Este 45. Este rango de tamaño de garganta poral $>10 \mu\text{m}$ correspondiente a un tipo de roca con macroposidad, Por consiguiente, la Arenisca M1 ofrece una menor resistencia capilar a la migración de hidrocarburos, es decir, los fluidos migrarán a través de esta con una mínima presión de desplazamiento.

Los análisis de difracción de rayos x revelaron que la Arenisca M1 está compuesta en su mayoría de minerales de Cuarzo y feldespato. Además, el porcentaje de arcillosidad es menor al 15 %, constituida principalmente por caolinita.

La porosidad y permeabilidad de la Arenisca M1 está asociada al tamaño y la forma de los poros modificados por los minerales de arcillas, bien sean que ocurran como relleno de poros, como envoltorios de granos o delineando poros que reducen la abertura del poro o una compleja combinación de ambos.

El análisis de la microscopía electrónica de barrido de la Arenisca M1 presenta al cuarzo como el componente principal del esqueleto de la roca, y se presenta afectado por los sobrecrecimientos secundarios. De igual manera se observaron minerales accesorios como óxidos y sulfuros. El principal material arcilloso lo constituye la Caolinita; la cual se presenta como placas pseudo hexagonales autigénicas apiladas en forma de libros.

Para Hutcheon (1982, c.p. Sandoval 2000), la morfología de los minerales de arcillas puede afectar de diferente manera la eficiencia de la explotación y recuperación de un reservorio. Considerando que la Arenisca M1 presenta un bajo porcentaje de arcillosidad menor al 15% asociada principalmente a la caolinita la cual forma agregados y rellenos de poros, cuando la velocidad de un fluido intersticial es alta durante la recuperación, estos agregados o cristales individuales pueden o no ser separados de su substrato y alojados en los cuellos de los poros, impidiendo levemente el paso del flujo en la zona productora del pozo Johanna este 45.

4. CONCLUSIONES

El desarrollo de Metodologías detalladas como: Petrografía, Difracción de Rayos X y Microscopía Electrónica de Barrido, permitió identificar el tipo de reservorio perteneciente al pozo Johanna Este 45 desde diferentes puntos de vista. El análisis e interpretación de los resultados obtenidos a través de estas metodologías fueron correlacionados entre sí para realizar una caracterización mineralógica y petrográfica efectiva en el reservorio.

Con el análisis petrográfico realizado de acuerdo a la clasificación de (Pettijohn et al., 1987), el tipo de reservorio se lo clasifico como una Cuarzoarenita en su mayor proporción a lo largo de todo el núcleo, incrementando su porcentaje hacia el tope, seguido de una composición Subarcosa igualmente a lo largo del núcleo incrementando su porcentaje hacia la base, y por último una composición Sublitarenita menor incrementando su porcentaje hacia la base del núcleo.

La clasificación del tamaño de grano obtenido del núcleo del pozo Johanna Este 45 de acuerdo con la escala de Wentworth (1922), se identificó interfaces o secuencias de areniscas formando dos grandes secuencias de grano decreciente a grano creciente con pequeñas intercalaciones, que van desde un limo grueso a una arenisca gruesa.

La forma de los granos del núcleo basado en la escala de comparación visual de Powers (1953), presentan una redondez que va desde subanguloso a subredondeado, y una esfericidad desde subprismático a subdiscoidal. De igual forma empleando la clasificación de Compton (1962), se identificó un sorteo a lo largo del núcleo de la Arenisca M1 con tres patrones definidos como: Muy bien clasificado, Bien clasificado y Moderadamente clasificado.

Como resultado de la combinación entre el sorteo granulométrico y la redondez de los granos, la Arenisca M1 presenta un grado de madurez textural establecida por la secuencia de Folk (1951), como una Arenisca madura texturalmente debido a un mayor proceso de transporte. De acuerdo a los términos madurez mineralógica y su composición común. Modificado de Silva (2011), la Arenisca M1 se clasifica con una madurez mineralógica de madura a supermadura.

El patrón general de la distribución de la porosidad de la arenisca "M1" a lo largo del núcleo es similar con valores de porosidad que varían desde 10,66 % correspondiente a una arenisca muy fina hasta 30% correspondiente a una arenisca gruesa con una abundancia poral de buena a excelente.

Como resultado del análisis de acuerdo a la Clasificación de gargantas porales modificado de Choquette y Pray (1970), se identificó tres tamaños de gargantas porales con un valor mínimo de 0,01mm/10um y un valor máximo de 0.03mm/30um. Y con la clasificación de Libny et al. (2001), relacionado al rango del tamaño del radio de poros, la Arenisca M1 mostró a lo largo del núcleo del pozo Johanna Este 45 rango de tamaño de garganta poral >10 (µm) correspondiente a un tipo de roca con macroposidad.

Con los datos obtenidos del diámetro de garganta poral de la zona productora del pozo Johanna Este 45 se determinó la selección de la granulometría del agente puenteante Larreal (2011) y las propiedades de las partículas sellantes usadas para controlar la invasión del fluido en el intervalo de producción es 3,33 μm , este tamaño de partículas pueden invadir a la formación sin generar daño permanente, pero las partículas menores a 1,43 μm del diámetro de la garganta del poro causarán daño a la zona de producción.

El puenteo eficiente asociado al intervalo de producción del pozo Johanna Este 45 el diámetro de las partículas a usarse como agente puenteante debe estar en el rango de 3,33 – 1,43 del diámetro medio de la garganta poral.

El análisis por difracción de rayos x realizado en 39 fragmentos de muestras del núcleo del pozo Johanna Este 45, dio como resultado que la Arenisca M1 está compuesta en su mayoría de minerales de Cuarzo y feldespato, además el porcentaje de arcillosidad constituida principalmente por caolinita es menor a lo largo del núcleo.

La difracción de rayos x en la zona productora con el intervalo 8250 – 8258 pies, presentó una variedad de minerales conformados por cuarzo en mayor proporción, minerales de arcilla como la caolinita entre los espacios porales, microclina y calcita en una porción menor.

En el análisis de Microscopía Electrónica de Barrido el cuarzo es el componente principal del esqueleto de la roca, y se presenta afectado por los sobrecrecimientos secundarios, de igual manera se observó minerales accesorios como óxidos y sulfuros.

Se identificó también que el principal material arcilloso lo constituye la Caolinita; la cual se presenta como placas pseudo hexagonales autigénicas apiladas en forma de libros y ubicadas mayormente en los poros intragranular.

5. RECOMENDACIONES

Con el análisis e interpretación de los datos obtenidos a partir del núcleo del pozo Johanna Este 45, en base a las metodologías aplicada para la caracterización mineralógica y petrográfica, se debe implementar como fuente de información para futuros estudios en el diseño y elaboración de fluidos de control para las operaciones de recuperación secundaria y reacondicionamiento de pozos del campo Johanna Este, y de esta manera minimizar el daño a la formación y aumentar la productividad de los mismos.

Debido a que las características petrográficas de las facies arenosas de una formación productora son de vital importancia y representan un papel preponderante al momento de extraer el crudo de un Campo petrolífero, se recomienda la realización de estos estudios detallados de la caracterización petrográfica que ayudara a evaluar de mejor manera el tipo de reservorio petrolífero y a estimar los factores y procesos que influyeron sobre las actuales porosidades de las rocas reservorio del Campo Johanna este y del Bloque Tarapoa.

Los cambios en el carácter del fluido intersticial durante la perforación y producción, pueden afectar fuertemente a los minerales de arcillas presentes en el reservorio y causar una reducción adicional en la permeabilidad de las areniscas. En el caso de la Arenisca M1 como ya se analizó anteriormente el principal material arcilloso es la caolinita con pequeños porcentajes de arcillas mixtas, por tal motivo se recomienda tomar en cuenta la investigación de Baptist y Sweeney, (1955, c.p. Sandoval 2000) donde mostraron que la permeabilidad en los núcleos de las areniscas que contenían caolinita e illita, era menor al introducir agua fresca que salobre, pues la introducción de la primera en el reservorio durante la perforación o recuperación secundaria, causa la dispersión de los cristales de caolinita ocasionando la obstrucción de algunos poros; sin embargo, notaron que agregando el agua salobre, los cristales de arcillas permanecían en forma de libros, por lo que ofrecían menos impedimentos a fluir. La introducción de agua salada después de fresca, traía una tendencia en las arcillas dispersas a agregarse de nuevo en forma orientada.

Referencias Bibliográficas

- Suárez, D. (2010). *Caracterización Mineralógica para la Optimización de la Producción en los Yacimientos Azulita y Caparo del Campo Ceuta*. Tesis para optar al Grado Académico de Magister Scientiarum en Ingeniería de Petróleo. Universidad del Zulia Facultad de Ingeniería división de postgrado programa de postgrado en ingeniería de petróleo. Venezuela.
- Rivera, R. (2018). Evaluación Geológica del Pozo Johanna Este 45. Informe del análisis e interpretación de los datos sedimentológicos recopilados y procesados a partir de secuencias litofaciales recuperadas del intervalo Cretácico Superior-Paleoceno de la Areniscas M1, en el núcleo Johanna Este 45. Bloque Tarapoa, Cuenca Oriente, Ecuador.

- Carmona, D., Fernández, V. (2014). *Caracterización Integrada de Yacimientos Petroleros*. Tesis para obtener el título de: Ingeniera petrolera e Ingeniero Petrolero. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Arandia, A. (2018). *Caracterización Petrofísica y Sedimentológica de las arenas del mioceno temprano como potencial gasífero presentes en la Cuenca de la Guajira, Campo Chuchupa en el área de influencia del pozo "c1"*. Trabajo de Grado para Optar por el Título de Ingeniero Geólogo. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Sierra, A., Pérez, R. (2017). *Caracterización Petrográfica y de Difracción de Rayos "x" para establecer las áreas de interés en las zonas de explotación de puzolanas del Municipio de Iza Boyacá*. Tesis para optar al título de Ingeniero Geólogo. Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia.
- Hernández, G., Osorio, O. (1990). *Análisis petrográfico y químico de las rocas volcánicas del suroriente de Paipa*. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias. Bogotá.
- Mohamed, W. Abd El-Moghny (2017). *The Nature, Origin and Distribution of Kaolinite in the Lower Paleozoic Naqus Formation along Western Side of Gulf of Suez, Egypt*. Geology Department, Faculty of Science, Al-Azhar University, Nasr City, Cairo, Egypt.
- Raith, M., Raase, P. and Reinhardt, J. (2012). *Guía para la Microscopía de Minerales en Lámina Delgada*. (University of Bonn), (University of Kiel) and (University of KwaZulu-Natal).
- Ortiz, D., Andrade, G. (2019). *Litological and stratigraphical characterization of the Gonzanamá basin*. Geo Latitud Publication. Ecuador.
- Jabbour, G., Márquez, R., y Guerra, I. (2009). A sandstones classification model. Artículo de Investigación Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 30, No. 3, pp. 219-22. Escuela de Ingeniería de Sistemas Facultad de Ingeniería. ULA. Mérida, 5101 Venezuela.
- Román, J., Navarro, M., Gómez, G., y Muñoz, J. (2013). *Optimización del Análisis del Tamaño de Grano de Arenas Costeras*. Dpto. Física Aplicada, Centro Andaluz Superior de Estudios Marinos (Universidad de Cádiz). Pol. Río San Pedro, s/n. 11510 Pto. Real (Cádiz).
- MICROMATCO S.A.S. Servicio y Soluciones de Análisis Microscópico de Materiales para la Industria de la Construcción. (2018). *Análisis Petrográfico de Agregados Norma ASTM C-295*. Proyecto Tesis: "Ensayos convencionales y no convencionales para agregados gruesos según norma IDU sección 500-11, de

una cantera de Villavicencio, comparando los datos obtenidos, concluyendo si cumple y/o existen alternativas de mejoramiento para que puedan ser utilizadas en la elaboración de mezclas asfálticas”. Bogotá D.C.

- Net, L., Limarino, C. (2000). Caracterización y origen de la porosidad en areniscas de la sección inferior del Grupo Paganzo (Carbonífero superior), Cuenca Paganzo, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, vol. 7, núm. 1-2, 2000, pp. 49-72. Asociación Argentina de Sedimentología. Buenos Aires, Argentina.
- Ruiz, L., Santana, P. (2012). *Determinación del Diámetro de las gargantas Porales y Presiones capilares usando el equipo de Presión Capilar con Picnómetro de Mercurio para la Caracterización del Reservorio Arenisca U del Campo Auca, mediante pruebas de laboratorio*. Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero En Petróleos. Escuela Politécnica nacional, Quito Ecuador.
- Esteva, O., Porras, Y., Hoeger, T., y Pérez, D. (2009). Determinación del tamaño de garganta de poros en las arenas de la Formación Naricual, atravesadas por los pozos exploratorios Sintu- 9, Ocre- 4X y Ocre- 5, en los campos Sintu-Ocre, área norte de Monagas, Venezuela. U.L.A. Escuela de Ingeniería Geológica. Mérida. PDVSA-Oriente. Gerencia de Operaciones Geológicas. Puerto La Cruz.
- Perillo, G.M.E. (2003). Dinámica del Transporte de Sedimentos. Asociación Argentina de Sedimentología, Publicación Especial 2, 201 pp. La Plata.
- Scasso, R. A., Limarino, C.O. (1997). Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas. Asociación Argentina de Sedimentología, Publicación Especial n° 1, 257 pp. Buenos Aires.
- Spalletti, L., (1986). Nociones sobre Transporte y Depositación de Sedimentos Clásticos. *Revista Museo La Plata, Ser. Técnica y Didáctica* 13, La Plata.
- Hernández, U. (2017). *Manual de prácticas de laboratorio de Petrología Sedimentaria*. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chirif, L. (2010). Microscopía Óptica de Minerales. Boletín N°1 serie J Tópicos de Geología. Lima, Perú.
- González, J. (2014). *Daño a la Formación en Pozos Petroleros*. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Petrolero. Universidad Nacional Autónoma de México.
- López, N., Ruiz, C. (2017). *Identificación de Recursos Minerales en las Áreas de Influencia de la Empresa Poyming S.A.S. de los Municipios de Paipa, Firavitova, Iza y Pesca del Departamento (Boyacá, Colombia) a partir de Caracterización*

Petrográfica. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Geólogo. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

- Cordero, E. (2013). *Metodología para la Identificación de Daños de Formación basados en Análisis de Producción, Presión y Datos de Laboratorio del Campo Colibrí*. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero en Petróleos. Universidad Central del Ecuador.
- Condit, G. (2008). *Análisis de un Fluido de Completación y Re-acondicionamiento de Pozos para Determinar si Previene el Daño de Formación en los Campos Fanny y Dorine*. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero en Petróleos. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador.
- Cabrera, D. (2018). *Estudio Técnico y Económico de la Factibilidad de perforación de Pozos Horizontales en el Campo Tarapoa, para el Incremento de Producción de Crudo*. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero en Petróleos. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito-Ecuador.
- Morales-Echevarría, Carlos; George de Armas, Edgar A.; López - Guerra, Silio; Vega – Torres, Doramis; Alonso - Pérez, Juan Antonio. Caracterización de rocas arcillosas sello por microscopía electrónica de barrido y microanálisis de rayos x. Revista CENIC. Ciencias Químicas, vol. 46, 2015, pp. 9-15. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. La Habana, Cuba.
- Ipohorski, M., Bozzano, P. (2013). Microscopía Electrónica de Barrido en la Caracterización de Materiales. Revista de Ciencia e Investigación - Tomo 63 N° 3.
- Castroviejo, M. (2020). Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Servicios científicos técnicos de la universidad de Burgos. Recuperado de <https://www.ubu.es/parque-cientifico-tecnologico/servicios-cientifico-tecnicos/microscopia/microscopia-electronica-de-barrido-meb>