

1. Introducción

Este trabajo tiene como objetivo la interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia, para estudiar el cemento de cuarzo y determinar las características de textura y mineralogía de areniscas paleozoicas presentes en la Formación Hato Viejo. El área de estudio está localizada en la Faja Petrolífera del Orinoco (Figura 1). Se estudiaron núcleos de cinco pozos de la zona. La metodología consiste en analizar secciones pulidas usando las técnicas de catodoluminiscencia y backscattering en el microscopio electrónico, y comparar los resultados, con los obtenidos mediante petrografía convencional para determinar la eficacia del método. Las principales metas a lograr son:

- Estudio petrográfico
- Estudio de imágenes de catodoluminiscencia y backscattering
- Determinar la cantidad de cemento de cuarzo por catodoluminiscencia y compararlo con los datos petrográficos.
- Determinar las etapas de cementación del cuarzo por catodoluminiscencia y compararlas con los datos de inclusiones de fluidos.
- Procesos diagenético
- Secuencias paragenéticas

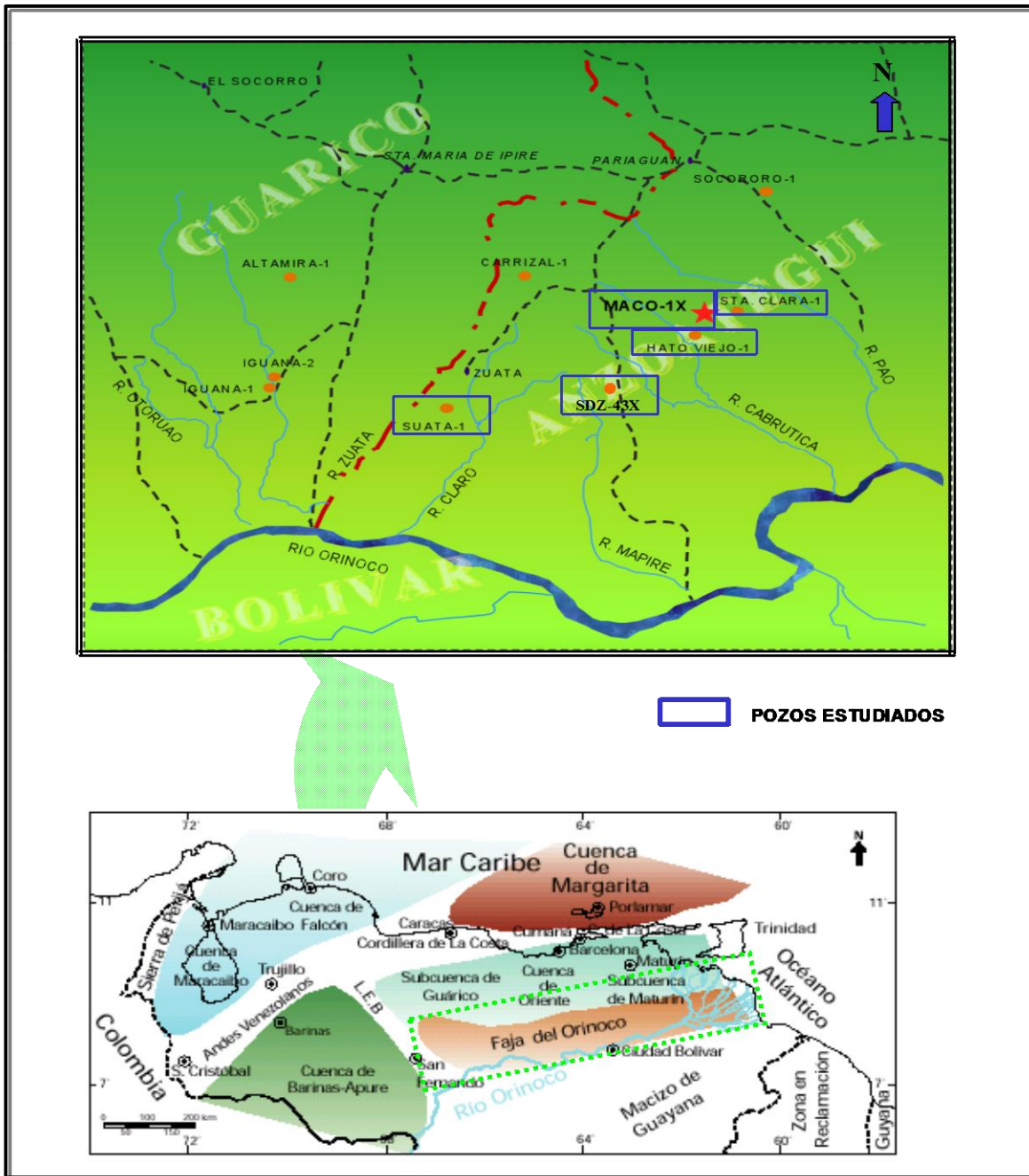


Figura 2. Ubicación de los pozos del área de estudio.

2. Metodología

La metodología del presente trabajo se describe en 7 etapas: recopilación bibliográfica, toma de muestras de núcleo, preparación de secciones finas, preparación de secciones pulidas, análisis de secciones finas, adquisición de imágenes de catodoluminiscencia y backscattering, análisis e interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia, integración de resultados.

2.1 Recopilación bibliográfica

En esta etapa se realizó la búsqueda, la recolección y estudio de la documentación existente referida al área de estudio, específicamente para los pozos involucrados en el estudio. Para ello se consultó en el Centro de Información Técnica (CIT) de PDVSA Intevep sobre los informes técnicos de los pozos incluidos en este estudio, así como también se revisó la información del Paleozoico en Venezuela localizada en la base de datos del proyecto Pre-Cretácico de PDVSA Intevep.

2.2 Toma de muestra de los núcleos

Se procedió a tomar muestras de núcleos en el intervalo correspondiente a la Formación Hato Viejo de los pozos del área de estudio, con la finalidad de procesarla en el laboratorio de secciones finas de PDVSA Intevep. Estas muestras fueron recopiladas en la nucleoteca el Chaure de PDVSA Oriente.

2.3 Preparación de secciones finas

Las secciones finas se procesaron en el laboratorio de preparación de secciones finas de PDVSA Intevep mediante técnicas convencionales, con la finalidad de ser estudiadas en el microscopio petrográfico.

Las muestras se impregnaron con epoxy azul para destacar la porosidad. De igual manera, fueron teñidas con cobalto - nitrato de sodio y cloruro de bario para identificar los feldspatos y con alizarina roja y ferrocianuro de potasio para diferenciar los carbonatos cuando era necesario.

2.4 Preparación de secciones pulidas

Se elaboraron secciones pulidas en el laboratorio de preparación de secciones finas de PDVSA Intevep, con la finalidad de tomar imágenes de catodoluminiscencia y backscattering en el microscopio electrónico.

2.5 Adquisición de imágenes de catodoluminiscencia y Backscattering

Una vez preparadas las secciones pulidas se procedió con la adquisición de las imágenes de catodoluminiscencia utilizando para ello el microscopio electrónico modelo 58002v a 20KV marca Joel. Cada imagen de catodoluminiscencia posee su respectiva imagen de backscattering. También se utilizó un analizador de rayos x de energía dispersiva, para facilitar la determinación cualitativa de la composición química elemental de las fases minerales observadas. Estas imágenes permitirán observar y estudiar el cemento de cuarzo de las muestras.

2.6 Análisis de secciones finas

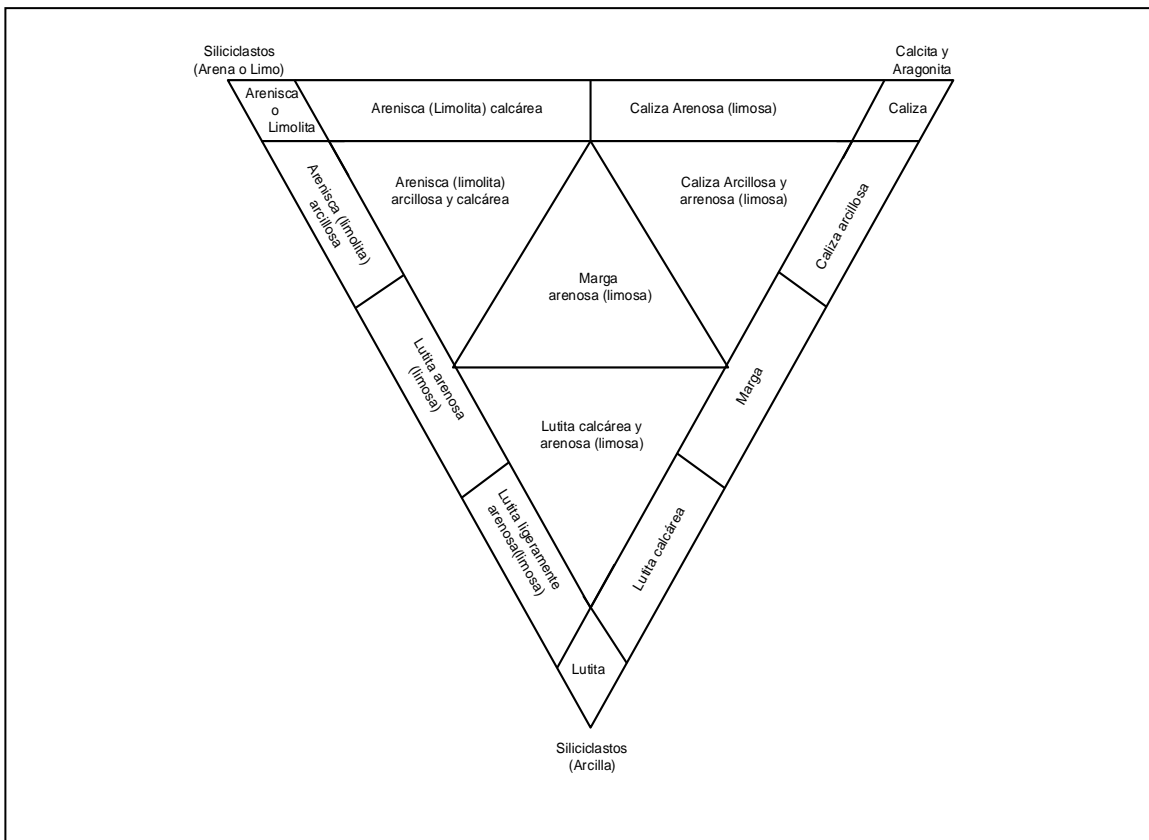
Las secciones finas fueron analizadas con el microscopio de luz polarizante. Se realizó el análisis modal para determinar los porcentajes de los componentes detríticos, componentes autigénicos, cementos, matriz, y porosidad. Así mismo, se determinaron los parámetros texturales tales como escogimiento, esfericidad, redondez y tamaño de los granos (promedio y máximo). Este análisis también permitió estudiar las evidencias diagenéticas en las rocas.

Las rocas fueron clasificadas según Hussin (1991), modificado. (Pilloud et al (1998)). (Figura 2).

2.7 Análisis de imágenes de catodoluminiscencia

Las imágenes de catodoluminiscencia permiten observar y cuantificar cantidades reales de cemento de sílice en las muestras, así como también, estimar las diferentes etapas de cementación del cuarzo y definir si el cuarzo es de origen autigénico o detrítico.

Figura 2. Clasificación y nomenclatura según Hussin (1991) modificado por Pilloud et al. (1998).



3. Marco teórico

3.1 Parámetros para interpretar imágenes de catodoluminiscencia (Thomas L. Dunn, 1995)

Texturas: (cuarzo detrítico, cuarzo autigénico, granos fracturados y sellados, cuarzo detrítico secundario)

a) Cuarzo detrítico

Se distingue por sus formas no luminiscentes con colores blanco brillante hasta colores cercanos al negro. Las formas luminiscentes muy bajas provienen de rocas metasedimentarias de bajo grado. Los fragmentos detríticos son distinguidos por su forma angular a redondeada, si los granos detríticos están en contacto uno con otro indica que el sobrecrecimiento de cuarzo ocurrió después de la depositación de los granos detríticos.

b) Cuarzo autigénico

Los sobrecrecimientos autigénicos pueden variar en intensidad en las imágenes de catodoluminiscencia pero no tanto como el cuarzo detrítico.

Los primeros sobrecrecimiento son generalmente no luminiscentes, sin embargo los niveles de intensidad gris de los sobrecrecimientos iniciales no es enteramente consistente, sin embargo, las texturas indican que ellos se formaron in situ. En este caso el cuarzo autigénico comúnmente esta zonado, mostrando una fabrica fantasma por el progresivo relleno de los poros por este cuarzo autigénico. El cuarzo autigénico más luminiscente, más negro es el más tardío.

c) Grano fracturado y sellado

Las fracturas que han sido selladas por cuarzo secundario en núcleos detritícos brillantes luminiscente muestran colores oscuros sin luminiscencia o de luminiscencia muy baja. Tanto la extensión y el estilo del grano fracturado y sellado cambia con la profundidad. Las texturas comúnmente observadas son las siguientes:

- Astillamiento de los bordes del grano. Frecuentemente las esquinas de los granos angulares y subangulares son rotas hacia fuera en uno o más fragmentos y estos son rotados en forma contraria del grano original. El solo astillamiento de los granos o fracturas en el grano son características comunes en muestras soterradas someramente.
- El fracturamiento grano a grano, este tipo de fábrica es interpretado como un indicador de formación insitu.
- La rotación de los fragmentos es una rotación común y complica el reconocimiento de los fragmentos del grano fracturado. La rotación de los fragmentos es probablemente una característica principal del empaquetamiento ajustado de los granos. El sellamiento de los fragmentos resulta en múltiples dominios ópticos de diferente orientación produciendo una extinción ondulada o policristalina.
- El desplazamiento de los fragmentos es otra característica del apretado empaquetamiento de los granos.
- Brecha de granos individuales son más comunes en soterramientos más profundos de rocas texturalmente inmadura.

d) Cuarzo secundario detrítico

Los granos de cuarzo pueden contener cuarzo autigénico en la depositación. Este cuarzo secundario autigénico se presenta de dos formas: 1) como sobrecrecimientos normales en los bordes de los granos de cuarzo y 2) sellando fracturas dentro de los granos de cuarzo. La cantidad y tipo del cuarzo secundario detrítico está controlado por el origen de las rocas. La identificación del cuarzo secundario detrítico versus el cuarzo secundario insitu está basado en evidencias texturales usando SECLM el cual indica que las fracturas y los sobrecrecimientos formados insitu por su relación con las adyacencias de los granos de arena. Otra característica es examinar las areniscas que han sido extensamente cementadas por carbonatos tempranos, ya que los carbonatos pueden potencialmente reducir la cantidad de sobrecrecimientos secundarios insitu, estas muestras muestran frecuentemente evidencias claras y concisas de cuanto cuarzo detrítico está presente. Es importante el reconocimiento del cuarzo secundario insitu versus el cuarzo secundario detrítico para la construcción de los modelos de porosidad diagenética predictiva ya que estos modelos requieren medidas precisas del cemento de cuarzo. Si una porción sustancial de cuarzo secundario es detrítico e incorrectamente identificado como insitu el modelo puede ser extremadamente pesimista y poco aplicable.

3.2 Guía general para interpretar data microtermométrica (inclusiones de fluidos)

Los análisis de inclusiones de fluidos fueron realizados en muestras de núcleos de la Formación Carrizal con el propósito de proveer estimaciones de temperaturas y paleofluidos. El estudio de las inclusiones provee paleotemperaturas que confirman la edad de la cementación de cuarzo derivada de estudios diagenéticos previos. Sin embargo es necesario destacar que la reflectancia de vitrinita es superior a los métodos mineralógicos por su menor sensibilidad con la variable tiempo y a otras como la salinidad total, la composición iónica de los fluidos y la presión hidrostática. Sin embargo la aplicación conjunta de varias técnicas aumenta siempre la confiabilidad de los resultados.

Fluid inclusion Technologies, Inc. (2003). Los términos de inclusiones primarias y secundarias generalmente están basados en el criterio textural:

a) Las inclusiones primarias ocurren a lo largo de las zonas de crecimiento de los cementos o están localizadas en porciones restringidas en el tiempo de los cementos indicando que ellas fueron atrapadas durante el crecimiento de ese cristal.

b) Las inclusiones secundarias generalmente ocurren en fracturas selladas que cortan las zonas de crecimiento y pueden haberse formado en un tiempo posterior a la precipitación del cristal que las contiene.

c) Las inclusiones pseudosecundarias son aquellas que ocurren a lo largo de las microfracturas selladas, pero están restringidas a la parte del cemento. En estos casos se infiere que el fracturamiento ocurrió durante la formación del cemento y que la cementación continúa después de la fracturación. Cuando la población de inclusiones tiene la designación pr?, esto implica que las inclusiones son texturalmente primarias, pero cuando la población de inclusiones tienen geometrías complejas ellas pueden ser secundarias escondidas. Eso

igualmente sucede con inclusiones texturalmente secundaria en fracturas cementadas por cemento que en realidad son pseudosecundarias.

d) La temperatura de homogenización (T_h) es siempre un mínimo estimado de la temperatura de atrapamiento (T_t). La magnitud de la corrección necesaria para convertir T_h a T_t depende de la baja saturación del gas y es potencialmente más grande a altas temperaturas y soterramientos para fluidos acuosos con bajo contenido de gas disuelto. Las experiencias indican que las inclusiones acuosas que son atrapadas con las inclusiones de petróleo tienden a dar mejores estimados de temperaturas de formación de las inclusiones de petróleo y mejor estimación de temperaturas absolutas porque los fluidos acuosos tienen baja compresibilidad y contienen gas disuelto extraído desde la fase de petróleo contemporáneo. Nuestra experiencia ha sido que las T_h de las inclusiones acuosas son buenas para estimar las temperaturas de T_t en regiones diagenéticas.

e) El re-equilibrio de inclusiones, las inclusiones pueden ser modificadas después que ocurre el atrapamiento por soterramiento. Hay varios factores que determinan si las inclusiones pueden ser modificadas, tales como, tamaño de la inclusión, forma, tipo y fuerza del fluido huésped. El re - equilibrio de las inclusiones puede ser inferido desde análisis microtermométrico donde la data de T_h son variablemente altas, sin embargo, otros procesos también pueden crear esta distribución. Investigaciones han mostrado que inclusiones huéspedes en el borde de los granos tienden a re - equilibrarse cerca de la temperatura de soterramiento máxima después del atrapamiento o también por estiramiento o continuos rellenos. Las inclusiones (primarias o a lo largo de las fracturas) en los sobrecrecimientos tienden a indicar temperaturas de cementación (posiblemente requieren correcciones por baja saturación de gas).

R. Marfil et al. (2000). Las temperaturas de homogenización que ocurren a lo largo del límite entre el grano de cuarzo detrítico y su sobrecrecimiento indican que el cemento de cuarzo comenzó a crecer a esa temperatura. Las temperaturas de homogenización de las inclusiones de fluidos han sido usadas para estimar temperaturas mínimas de precipitación de sobrecrecimiento de cuarzo y composición de paleofluidos en areniscas (e.g., Roedder 1984; Burley et al., 1989; Walderhaug, 1990 y 1994a). La mayoría de las inclusiones de fluidos reportadas en cemento de cuarzo ocurren a lo largo del límite entre el grano detrítico y su sobrecrecimiento, por lo tanto, su temperatura de homogenización podría ser indicativa de las temperaturas mínimas del comienzo de la cementación de cuarzo (Walderhaug, 1994a; Wilson y Staton, 1994).

Ramm et al. (1997). La validez de las temperaturas de homogenización (T_h) de las inclusiones de fluidos como una herramienta para señalar con precisión las temperaturas de precipitación de cuarzo ha sido cuestionada por Osborn y Hazeldine (1993) quienes sugirieron que comúnmente el estiramiento y encogimiento de las temperaturas de homogenización hacia el equilibrio con las temperaturas de hueco abierto. Una correlación entre las temperaturas máximas y las temperaturas de homogenización no necesariamente reflejan (resetting) encogimiento, pero pueden reflejar historias de temperaturas y soterramiento de areniscas (Walderhaug 1994 a). De acuerdo al modelo de Walderhaug la correlación entre las temperaturas de homogenización en areniscas y la temperatura presente del reservorio puede venir después de la historia de calentamiento que del reducimiento de las inclusiones.

Si areniscas de diferentes edades son soterradas a diferentes profundidades en estructuras vecinas, entonces las areniscas en la estructura más profundamente soterrada puede haber entrado en la ventana de cementación de cuarzo primero que las areniscas del yacimiento más somero. Por lo tanto, las temperaturas de homogenización en las inclusiones acuosas pueden reflejar la verdadera temperatura de atrapamiento, sin embargo, una corrección significativa de presión es requerida para las inclusiones de petróleo.

T, Dunn (1998). En la Formación Gobernador existe una relación entre la profundidad y las temperaturas de homogenización localizadas en el borde de los granos de cuarzo (dust rim). Estas temperaturas aumentan con la profundidad de soterramiento, en consecuencia ocurre un progresivo re-equilibrio de estas inclusiones con los fluidos de poros, sin embargo, esto no aplica para las inclusiones encontradas en el sobrecrecimiento de cuarzo debido a la falta de cambios progresivos en las temperaturas de homogenización, por lo tanto, las temperaturas de comienzo de formación de cemento de cuarzo están basadas en las medidas obtenidas en el sobrecrecimiento de cuarzo.

3.3 Diagénesis de rocas clásticas

La mayoría de los autores coincide en que el límite de la diagenesis se encuentra en el comienzo del metamorfismo (alrededor de 350°C-375°C a 10 kilómetros de profundidad Turner, 1981). Sin embargo, antes del metamorfismo verdadero existen otros estados previos, tales como, el metamorfismo incipiente o metamorfismo de bajo grado. Sin embargo, otros autores (Quartino 1987) opinan que no existe transición gradual entre diagenesis y metamorfismo. En general y como convención se acepta que el límite entre el metamorfismo y la diagenesis se encuentra a los 200°C. En **este trabajo adoptaremos la clasificación de diagénesis que se basa en criterios seguidos por varios autores (Choquette y Pray, 1970; Schmidt y Macdonald, 1979; Burley et al., 1985)** dividiendo la diagénesis en eogénesis, mesogénesis, telogénesis.

a) Eogénesis o diagénesis temprana (hasta 75C)

Las soluciones porales se conectarán fácilmente con las aguas superficiales, por lo tanto, el sistema será abierto y los fluidos circularán con libertad a través de los poros de la roca y se intercambiarán con las aguas marinas o dulces de la superficie. En términos de profundidad y temperatura, la eogénesis abarcaría a las reacciones que ocurren desde el momento en que el sedimento se deposita hasta que abandona la zona de fermentación o sea alrededor **de 75°C y 1650 m de profundidad** para gradientes geotérmicos promedios.

a.1 Ambientes marinos

Zona aeróbica:

Los organismos consumen materia orgánica. Oxidación de la materia orgánica en su totalidad. Oxidación y disolución de los minerales detríticos con hierro o magnesio.

Excepcionalmente puede ocurrir la oxidación de hidrocarburos (especialmente metano) y formación de cementos de carbonato isotópico. Formación autigénica de glauconita.

Zona anaeróbica:

Reducción de nitratos. La ausencia de oxígeno se debe a un gran influjo de materia orgánica que se descompone o a la lenta renovación del oxígeno por circulación restringida de las aguas. Presencia de pirita framboidal como agregados de cristales muy pequeños (necesita hierro para formarse). Preservación de pellets fecales, "burrows", etc. Los carbonatos están libres de hierro y por lo tanto aumenta la concentración de HCO_3^{-1} . Precipitación de carbonatos autigénicos debido al aumento de la concentración del bicarbonato.

Zona de fermentación:

La fermentación bacteriana puede extenderse hasta temperaturas de 75°C - 80°C y menos de 2 kilómetros de profundidad pero que puede ser mayor si el gradiente geotérmico es bajo. En este estadio es dominante el rol de los microorganismos metanogénicos en sedimentos y fluidos de la zona biogeoquímica metánica y por lo tanto el principal producto es el metano (Berner, 1981; Maynard, 1988).

En conclusión las reacciones de la eogenesis en sedimentos marinos está caracterizada por disolución de componentes inestables de grano fino y la formación de nuevos minerales como la pirita. Este mineral se genera en la zona de reducción del sulfato debido a la reacción del H_2S con minerales ricos en hierro, tales como, clorita, biotita, anfíboles y piroxenos. En ocasiones puede observarse una completa redistribución química y mineralógica de los componentes originales (Scasso y Bausch, 1995), mediante distintas reacciones que lleva a la formación de Arcillas autigénicas, como la clorita, chamosita,

glaucónita, esmectita-ilita o analcína, crecimientos secundarios de cuarzo y feldespatos y cementos carbonatitos (Burley et al., 1985). Cuando existe cementación carbonática en sedimentos marinos la diagenesis química de los aluminosilicatos parece ser parcialmente impedida.

a.2 Eogénesis en sedimentos no marinos

Presenta inicialmente aguas porales dulces, ácidas o alcalinas oxicas o ligeramente anóxicas. El bicarbonato puede ser abundante, pero los sulfatos son muy escasos. Se inhibe la formación de pirita (si bien puede formarse pequeñas cantidades), en climas cálidos y húmedos puede precipitar clorita cuando las aguas porales son anoxicas, o caolinita con aguas porales oxigenadas. Estas reacciones suelen ser seguidas por la formación de crecimiento secundario de cuarzo y eventualmente siderita si los ambientes son anóxicos, o calcita si son óxidos. La composición isotópica de los carbonatos formados en estos ámbitos reflejara la presencia de aguas meteóricas en el sistema y puede utilizarse como indicador paleoambiental (Baker et al., 1995). En estos ambientes puede prevalecer las condiciones oxidantes y la materia orgánica es rápidamente oxidada cerca de la interfase agua sedimento y eliminada del sistema. En estas condiciones puede producirse un gran número de reacciones que incluye disolución parcial o completa de minerales pesados inestables, feldespatos, fragmentos líticos y silicatos, precipitación de feldespato autigenico, cuarzo, zeolitas, minerales de arcilla, óxidos de hierro y calcita (Walter et al., 1978).

En la eogénesis pueden ocurrir las siguientes reacciones diagenéticas relacionadas con minerales de arcilla en areniscas y pelitas (modificado de Boggs, 1992):

Formación de la caolinita producto de la disolución de feldespato alcalino (<~25C), plagioclasa calcica (<~25C) y agua poral (<~25C).

Formación de la glauconita producto del sustrato más el agua poral (<~25C).

Formación de esmectita sodica debido a la presencia de vidrio volcánico (<~25C a 150 C).

Formación de illita debido a la presencia de esmectita (55C a 200C).

Formación de clorita debido a la presencia de esmectita (55C – 200C).

b) Mesogénesis

La mesogénesis abarcara todas las reacciones que ocurren a mayor profundidad y entre temperaturas de 75°C - 200°C. El sedimento se encuentra aislado de aguas superficiales. Se extiende hasta el comienzo del campo del metamorfismo. Las fases minerales estables en la eogénesis se vuelven inestables. Reemplazo o disolución de componentes inestables de los sedimentos. Precipitación de pirita, cuarzo, feldspatos, minerales de arcilla, zeolitas y carbonatos. Aumentan las temperaturas y presiones geoestáticas acompañadas por mayor soterramiento y cambios en la composición de aguas porales y en el Ph. El aumento de temperatura favorece la formación minerales más denso y menos hidratados y aumenta la solubilidad de los minerales más comunes a excepción de los carbonatos. Formación de los carbonatos ricos en hierro y magnesio como la dolomita, ankerita y siderita. El incremento de la presión geoestática con el soterramiento aumenta la solubilidad de los minerales debido a la presión de los granos entre si en los puntos de contacto (principio de Riecke), en consecuencia aumenta el contenido de sílice en solución en las areniscas que puede a su vez migrar o ser precipitada localmente. La salinidad de las aguas del subsuelo aumenta con la profundidad. La composición de las aguas porales influye notablemente en las reacciones de precipitación y disolución por ejemplo transformación de esmectita a illita, la alteración del ópalo a Chert y la disolución de minerales solubles tales como evaporitas.

El régimen mesogénético es de tipo abiótico. El Kerogeno contiene grupos funcionales carboxílicos y fenólicoso. Estos grupos pueden sufrir craqueo térmico u oxidación a temperaturas de alrededor de 80°C para formar ácidos orgánicos

solubles, por ejemplo ácido carboxílico y fenólicos en rocas madres de hidrocarburos (Carother y Kharaka, 1979). Estos ácidos orgánicos son, posiblemente, expelidos de las rocas madres durante la pérdida de agua correspondiente a la transición esmectita - illita y transportado a las rocas reservorios. Entre 80°C -120°C los ácidos orgánicos predominan en las aguas porales de las areniscas. Entre 120°C - 200°C los aniones de los ácidos carboxílicos son destruidos por descarboxilación térmica liberando CO₂ e incrementando la presión parcial de CO₂. Los resultados de estas reacciones orgánicas afectan fuertemente la solubilidad de los carbonatos y de los aluminosilicatos. A temperaturas entre 80°C - 120°C la alta concentración de aniones de ácidos carboxílicos actúa como buffer externo para el sistema de aguas porales (Carothers y Kharaka, 1978; Surdam et al, 1989) esto produce una alta solubilidad del carbonato y, por lo tanto, disolución o no precipitación de carbonato. También producirá una significativa disolución del aluminio (Surdam et al, 1984), por ejemplo la plagioclasa se disuelve y crea porosidad secundaria o sufre alteración a caolinita. En conclusión los carbonatos y feldespatos se disuelven entre 80°C - 120°C. Debido al aumento de CO₂ total, la concentración de las especies carbonáticas en solución aumentará y los minerales de carbonato se volverán más estables a temperaturas entre 120°C - 160°C. La descarboxilación eliminará todo el ácido carboxílico hasta el punto en que el sistema no puede mantenerse a Ph constante (Surdam et al, 1898) cuando esto ocurra otro episodio de disolución carbonática. En síntesis, a medida que la temperatura se incrementa durante la mesogénesis ocurrirán 2 episodios de disolución de carbonato y un episodio de disolución de aluminosilicatos como resultado de la interacción entre sustancias orgánicas e inorgánicas.

En la mesogenesis pueden ocurrir las siguientes reacciones diagenéticas relacionadas con minerales de arcilla en areniscas y pelitas (modificado de Bogas, 1992):

Formación de esmectita sódica debido a la presencia de vidrio volcánico (<~25C a 150 C).

Formación de illita debido a la presencia de esmectita (55C a 200C).

Formación de la clorita debido a la presencia de esmectita (55C – 200C).

Precipitación de plagioclasa calcica y feldespato potasico producto de la alteración de la caolinita (<~150C).

Formación de la illita por la presencia de la caolinita (~120C – 150C).

Formación de cuarzo mas illita por la presencia de caolinita más feldespato potasico (~120C – 150C).

Formación de feldespato sódico debido a la presencia de esmectita NaAl (<~150C).

Formación de moscovita por la presencia de illita (>150).

c) Telogénesis

Se desarrollan todos los procesos que ocurren bajo la influencia directa de aguas meteóricas debido a un levantamiento tectónico y exhumación de capas que se encontraban a mayor profundidad. El sedimento es levantado y llevado a la superficie o cerca de ella. Las asociaciones minerales de la parte remanente son llevadas a un ambiente de menores temperaturas y presiones. Las aguas porales pueden ser expulsadas y reemplazadas por aguas meteóricas de baja salinidad, oxidantes y ácidas. Las asociaciones minerales formadas durante la mesogénesis en consecuencia resultan inestables y sufren alteración o disolución. Precipitación de cementos carbonáticos en la zona vadosa por bombeo evaporítico es un fenómeno frecuente. Oxidación y destrucción de la materia orgánica. La oxidación de carbonatos de hierros forma óxidos y eventualmente hematita. La oxidación de sulfuros forma sulfatos como por ejemplo el yeso. Durante la meteorización ocurre la disolución de piroxenos y anfíboles y otros minerales pesados. Alteración de feldespatos detríticos a caolinita. Alteración de clorita a vermiculita. Disolución de óxidos de hierro y carbonatos. Aumenta o disminuye la porosidad en las rocas.

En la telogenesis pueden ocurrir las siguientes reacciones diagenéticas relacionadas con minerales de arcilla en areniscas y pelitas (modificado de Bogas, 1992):

Formación de la caolinita producto de la disolución de feldespato alcalino, plagioclasa calcica y agua poral (<~25C).

Formación de la glauconita producto del sustrato mas el agua poral (<~25C).

Tabla 1. Resumen de procesos diagenéticos.

PROCESOS DIAGENETICOS		
EOGENESIS TEMPERATURA 0-75°C	MESOGENESIS TEMPERATURAS 75°C - 200°C	TELOGENESIS
<p>Ambiente marino:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oxidación de la materia orgánica • Oxidación y disolución de los minerales detríticos con hierro o magnesio • Oxidación de hidrocarburo (excepcionalmente) • Formación de cementos de carbonatos isotópico • Formación autigénica de glauconita • Pirita framboidal • Preservación de pellets fecales, "burrows", etc. • Formación de carbonatos libre de hierro. • Formación de Carbonatos autigénicos • Generación de gas metano. <p>Ambientes no marino:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inhibición de formación de pirita (solo pequeñas cantidades). • Precipitación de clorita • Precipitación de caolinita. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de dolomita, ankerita y siderita • Mayor contenido de sílice • La salinidad de las aguas del subsuelo aumenta • Transformación de esmectita a illita • Alteración de ópalo a chert • Disolución de evaporitas • Craqueo térmico u oxidación (80°C) • Disolución de carbonato 2 episodios (80°C - 120°C) • Precipitación de carbonato (120°C - 160°C) • Disolución de feldespatos • Alteración de feldespatos a caolinita • Formación de esmectita sodica debido a la presencia de vidrio volcánico. • Formación de illita debido a la presencia de esmectita. • Formación de la clorita debido a la presencia de esmectita. • Precipitación de plagioclasa calcica y feldespato potasico producto de la alteración de la caolinita. • Formación de la illita por la presencia de la caolinita. 	<ul style="list-style-type: none"> • Minerales inestables sufren alteración o disolución • Precipitación de cemento carbonatico • Oxidación y destrucción de la materia orgánica • Oxidación de carbonatos de hierro • Formación de hematita • Formación de yeso • Alteración de feldespatos detríticos a caolinita • Alteración de clorita a vermiculita • Disolución de óxidos de hierro • Disolución de carbonatos <p>Formación de la caolinita producto de la disolución de feldespato alcalino, plagioclasa calcica y agua poral</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formación de la glauconita.

<ul style="list-style-type: none"> • crecimientos secundarios de cuarzo. • Formación de siderita • Formación de calcita. • Presencia de aguas meteóricas • Materia orgánica oxidada y eliminada del sistema. • Disolución parcial o completa de minerales pesados, feldespatos y fragmentos líticos • Argilitización de líticos y silicatos. • Precipitación de feldespato autigenico, cuarzo, zeolitas, minerales de arcillas, óxidos de hierro y calcita. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de cuarzo más ilita por la presencia de caolinita más feldespato potasico • Formación de feldespato sodico debido a la presencia de esmectita NaAl. • Formación de moscovita por la presencia de ilita. 	
---	---	--

4. Geología del área de estudio

4.1 Geología regional

La cuenca Oriental de Venezuela tiene aproximadamente una longitud de 800 kilómetros en sentido Oeste – Este y un ancho de aproximadamente de 200 kilómetros de norte a sur, con un área total aproximadamente de 164 Km² de superficie y comprende los estados Guárico, Anzoategui, Monagas y Delta Amacuro. Estas medidas la definen como la primera cuenca en extensión superficial en Venezuela, sin embargo es la segunda en orden de importancia y magnitud en América del Sur en cuanto a sus reservas petrolíferas. Por esta razón ha sido objeto de diversos estudios geológicos que han contribuido en la identificación de las fuentes generadoras de hidrocarburos y su posterior migración.

La Cuenca es asimétrica con el Flanco sur buzando suavemente hacia el norte. Mientras que el flanco norte esta tectonizado y con mayores buzamientos conectados a una zona plegada y fallada que representa el flanco meridional de las cordilleras que limitan la cuenca hacia el norte. La cuenca Oriental de Venezuela ha sido subdividida en dos subcuencas, la subcuenca de Guárico y la subcuenca de Maturín, ambas con características sedimentológicas, tectónicas y estratigráficas bien diferenciadas, siendo la subcuenca de Maturín donde esta ubicada el área de estudio (González de Juana, 1980).

4.2 Geología local – Faja Petrolífera del Orinoco, área de Zuata

La Faja petrolífera del Orinoco está ubicada entre los estados Guárico, Anzoategui, Monagas, sin embargo, este estudio se centrara específicamente en el área de Zuata (Junín).

En el subsuelo del área de Zuata se observa la presencia de la Falla de Carrizal y la Falla de Hato Viejo. El Alto de Altamira y la Depresión de Carrizal también forman parte de los rasgos estructurales presentes en el área de Zuata.

Cabrera E. (1985). Entre los rasgos estructurales más resaltantes en la región sur central de los llanos venezolanos, destaca un sistemas de fallas normales en dirección este- noreste y buzamiento general al noreste conocidas como las fallas de Altamira, Hato Viejo, Carrizal, Quebradón y Machete y la falla de Sabán al este de Valle la Pascua que tiene su buzamiento al sureste.

Solórzano et al. (2003). La presencia de esmectita en muestras de la Formación Carrizal, Hato Viejo y basamento en el pozo Maco-1x sugiere la presencia de dos grandes discordancias localizadas entre la Formación Carrizal y la Formación Hato Viejo y entre la Formación Hato Viejo y el basamento.

4.3 Estratigrafía local – área Zuata, Estado Anzoátegui

El énfasis del presente trabajo se centra en el estudio de las areniscas de la Formación Hato Viejo, en la Faja Petrolífera del Orinoco específicamente en el área de Zuata, estado Anzoátegui. La Figura 3 resume la estratigrafía del área de estudio. En el subsuelo del estado Anzoátegui, a través del estudio de núcleos, se observa la presencia de sedimentos rojos denominados “capas rojas, así como también, la presencia de la suprayacente Formación Carrizal y la infrayacente Formación Hato Viejo, además del basamento del escudo de Guayana.

4.3.1. Basamento

El basamento esta localizado en el subsuelo de los estados Anzoátegui y Guárico, es un basamento ígneo metamórfico de edad Proterozoico.

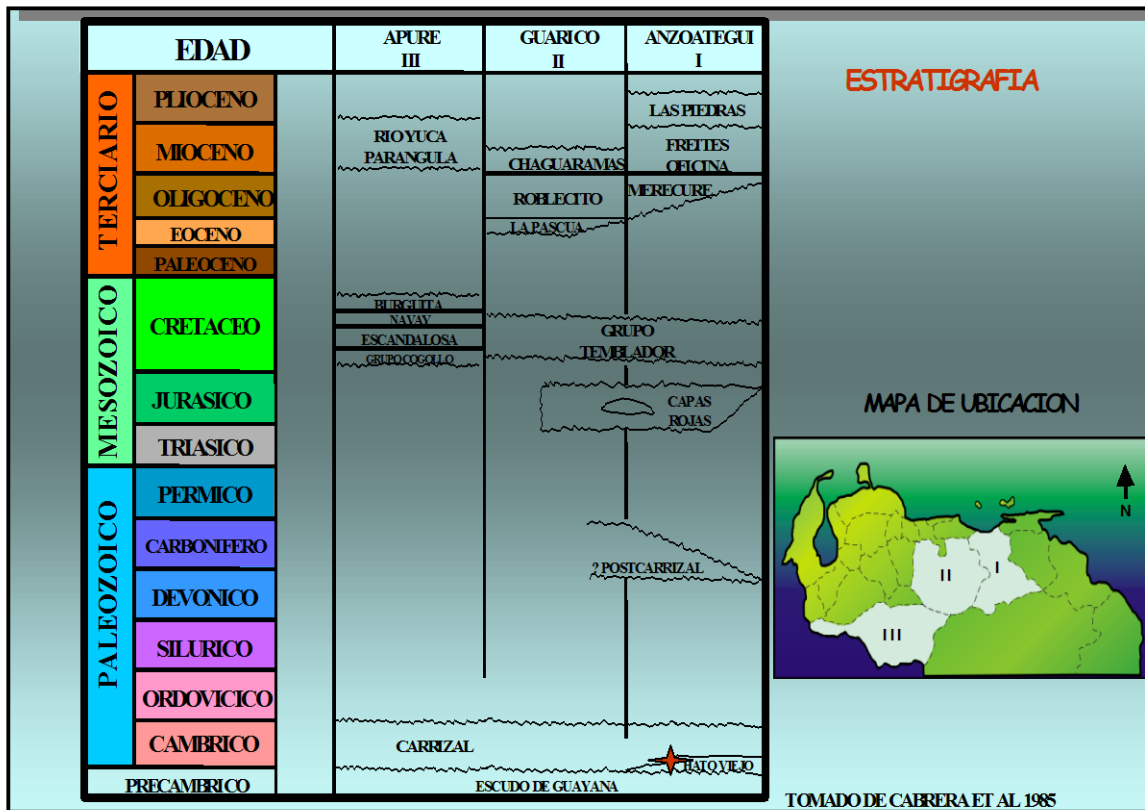


Figura 3. Estratigrafía del área de estudio.

En el área de estudio, el basamento ha sido alcanzado por tres pozos (Maco-1x, Santa Clara-1, Hato Viejo N° 1) y la edad es Proterozoico, la cual, fue determinada por datación radiométrica. Generalmente estas rocas provienen de la provincia Pastora y Cuchivero del Escudo de Guayana.

Solórzano et al. (2003). El basamento del pozo Maco-1x fue datado por el método de K/Ar en 1435.4 ± 37 (Proterozoico Medio). Estudios petrográficos determinan que en este basamento se observan anfibolitas de afinidad máfica, granitos potásicos intrusivos de afinidad intermedia (metatobas), rocas graníticas epi-mesozonales, porfídicas y pertíticas, caracterizado por granitos potásicos, orogénicos, anatecticos y peraluminicos, con presencia de biotita y desarrollo de muscovita, todos estas rocas pertenecen a la provincia pastora.

Solórzano et al. (2004). El basamento del pozo Hato Viejo N° 1 fue datado por el método de K/Ar en 1167 ± 30 (Proterozoico Medio). El basamento del pozo Santa Clara-1 fue datado por el método de K/Ar en 1125.9 ± 29 (Proterozoico Medio). Estudios petrográficos determinan que el basamento del pozo Santa Clara-1 está formado por rocas metatobáceas de afinidad intermedia a félsica (metatobas), gran abundancia de material pelítico, es decir, micas tales como biotita, muscovita y clorita esto permite sospechar que se pueda tratar de material tobáceo retrabajado y mezclado con material arcilloso, es decir, pueden ser metasedimentos volcanoclásticos o epiclástico. Las muestras presentan evidencias claras de cataclasis incipiente a moderada, quizás producto de su emplazamiento tectónico en una zona cuyo estilo estructural se caracteriza por napas de corrimiento imbricadas. Algunas de estas metatobas son protomilonitas y presentan textura “ augen “, todas estas muestras son características de la provincia Cuchivero.

4.3.2. Paleozoico

Los sedimentos paleozoicos están representados por las Formaciones Carrizal y Hato Viejo y por sedimentos post - Carrizal.

4.3.2.1. Formación Carrizal

Hedberg (1942) publicó la primera referencia a la Formación Carrizal, reconocida en el pozo Carrizal N° 1, en el subsuelo de Anzoátegui en la Faja petrolífera del Orinoco. Funes (1985) la mencionó en los pozos al norte de Hamaca en la misma Faja.

La localización tipo de la Formación Carrizal está en el pozo Carrizal-1, situado en el distrito Monagas del Estado Anzoátegui, a unos 65 km. Al sur de Pariaguan y a unos 40 kilómetros al sureste de Santa María de Ipire (hoja 7141, escala 1:100.000, Cartografía Nacional) entre la profundidad de 1.111 m (3.645 pies) y el fondo del pozo a 1598 m (3.645 pies). Esta sección corresponde a la parte superior de la unidad. Una sección de referencia representando la parte inferior, está en el pozo Zuata N° 1, aproximadamente 40 kilómetros al suroeste del Carrizal-1, entre las profundidades de 458 metros (1503 pies) y 777 metros (2.550 pies).

La Formación Carrizal típicamente compuesta de lutitas de color gris claro a marrón, ligeramente glauconítica, con pequeñas intercalaciones de areniscas, la Formación Carrizal es de edad Cámbrico temprano parte más tardía y está suprayacente a la Formación Hato Viejo.

Solórzano et al. (2001 a, b, c; 2003 a, b). Con base a la información suministrada por los pozos Carrizal-1, NZZ-154X, Hato Viejo N° 1, Iguana N° 1, Maco-1x, Suata-1, la Formación Carrizal suprayacente a la Formación Hato Viejo

en la Faja Petrolífera del Orinoco está caracterizada generalmente por lutitas de color gris claro a marrón con tonalidades verdosas. Esta Formación alcanza hasta 376 metros de espesor, con algunas intercalaciones de delgadas capas de arenas en las lutitas. Esta Formación es de edad Cámbrico parte más tardía debido a la presencia y abundancia de las especies de acritarcos *Archeodiscina umbonulata*, *Skiagia ornata*, *skiagia ciliosa*, *gorgonisphaeridium sp.* y *Timofeevia spp.*. El ambiente de sedimentación es marino, probablemente marino marginal. El contenido de carbono orgánico total es menor de 1%.

Paredes et al (2001 a, b, c). Con base a la información suministrada por núcleos de los pozos SDZ-43X, SDZ-3X, SDZ-62X, la formación Carrizal está compuesta de lutitas limosas de color gris oscuro a claro, edad Cámbrico Temprano.

Cabrera et al (2002). El pozo Socororo-1 contiene sedimentos de la Formación Carrizal, las cuales, son lutitas, de color marrón a verde oscuro, moderadamente friable a duras, con micas, de edad Cámbrico temprano. Stover (1967) postuló una edad Devonico – Carbonífero para la Formación Carrizal, basándose en estudios palinológicos. Di Giacomo (1985) y Sinanoglu (1986) establecieron la edad Cámbrico Temprano, a partir de estudios de acritarcos en núcleos de pozos del sector Zuata, de la Faja Petrolífera del Orinoco.

4.3.2.2 Formación Hato Viejo

Este trabajo se basa específicamente en el estudio de las areniscas de la Formación Hato Viejo. El termino Hato Viejo fue publicado originalmente por Hedberg (1942), siendo el autor del nombre M.W. Hass (1939, citado por Hedberg 1950). Feo-Codecido (L.E.V.I, 1956) resumió lo publicado sobre la unidad por Liddle (1946), Bucher (1952) y Feo – Codecido (1953-54). Su ubicación geográfica es en el estado Anzoategui.

La localidad tipo es el pozo Hato Viejo en el intervalo 835 metros (2740 pies) a 869 metros (2850 pies). El pozo está ubicado a unos 50 kilómetros al sur de Pariaguan, en el distrito Monagas del estado Anzoátegui (Hoja 7240, escala 1:100.000, Cartografía Nacional).

La Formación Hato Viejo está compuesta de arenisca de grano fino a muy grueso, la edad sugerida para esta formación esta comprendida entre el Proterozoico medio y el Cámbrico Temprano parte más tardía. En algunos pozos, las areniscas de la Formación Hato Viejo están impregnadas de hidrocarburos, estos hidrocarburos son de origen Cretácico. La Formación Hato Viejo infrayace a la Formación Carrizal y suprayace al basamento del Escudo de Guayana.

Solórzano et al (2001,2002, 2003). Con base a la información suministrada por los pozos Hato Viejo N° 1, Maco-1x, Suata-1, la Formación Hato Viejo suprayacente al basamento del escudo de Guayana, en la Faja Petrolífera del Orinoco, está compuesta de areniscas de grano fino a muy grueso, con estratificación cruzada, de moderada a pobremente escogida, con porosidad promedio de 7%. Esta formación alcanza hasta 75 metros de espesor. La presencia del mineral de arcilla esmectita sugiere que la Formación Hato Viejo estuvo expuesta. El ambiente de sedimentación posiblemente corresponda a ambientes fluviales de canales entrelazados. Las areniscas de la Formación Hato Viejo resultaron estériles en palinomorfos, se sugiere una edad para la Formación Hato Viejo entre el Cámbrico temprano parte más tardía y el Proterozoico medio.

Paredes et al (2001). En el pozo SDZ-43X las areniscas localizadas en los intervalos de núcleo 2666'-2669'7" pertenece a la Formación Hato Viejo (1,22 metros de espesor), son de color rosado pálido, duras, con estratificación cruzada y laminaciones paralelas. El análisis petrográfico determinó que estas areniscas muestran un tamaño de grano promedio medio y un tamaño de grano máximo muy grueso.

La redondez de los granos varía de angular a redondeado, la esfericidad de los granos es baja y el escogimiento de los granos varía de moderadamente escogidos a bien escogidos. El cuarzo es el principal componente detrítico de estas areniscas. La porosidad promedio es de 4%, esta porosidad es de tipo intergranular y por disolución (feldespatos y sobrecrecimiento de cuarzo). También se denota la presencia de cemento de sílice como sobrecrecimientos entre 24% y 27%.

Biomarker Technology (2003). El análisis de los marcadores biológicos de las fracciones saturadas y aromáticas de las impregnaciones, determinó que el crudo entrampado en las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Hato Viejo N° 1 es de edad Cretácico tardío, es decir, Mesozoico superior, lo cual indica que el crudo fue originado a distancia, y que su presencia en las areniscas obedece a procesos esencialmente migratorios.

4.3.2.4 Sedimentos Post – Carrizal

E, Cabrera (1985). La presencia de sedimentos Post – Carrizal en los llanos venezolanos es sugerida por Smith (1980); algunos pozos en el área de las Mercedes, Estado Guárico, han penetrado rocas Pre-Cretácicas, en su mayoría no metamorfizadas. La litología descrita a partir de núcleos incluyen limolitas, conglomerados, areniscas y lutitas piritizadas (pozos GD-1, GD-2, GD-3); calizas arcillosas, dolomíticas, metamorfizadas (GD-5); areniscas, arcilitas con siderita, lignitos ocasionales y lutita gris oscuro a negro, dura (La Pascua, muestra de canal).

4.3.3 Capas Rojas

Mencionadas originalmente en 1984 por Feo-Codecido et al., con el nombre provisional de Formación La Quinta, estas capas rojas fueron estudiadas y redefinidas por Moticska (1985), asignándole el nombre de Formación Ipire. La redefinición se hizo necesaria, debido a que los sedimentos descritos en informes inéditos bajo el nombre de Formación Espino, incluían, además de las capas rojas una secuencia de areniscas grises y blancas halladas en el área de Machete, estado Guárico, de características litológicas, de ambiente sedimentario y de edad distinta a la de las capas rojas. Van Erve (1985) estudio la palinoflora de estos sedimentos rojos, y corroboró su edad Jurásico medio – superior y su paleoambiente. La localidad tipo es el pozo exploratorio NZZ-88X perforado por Maraven, a 7,5 kilómetros al suroeste del poblado de Santa María de Ipire, distrito Zaraza, estado Guárico, desde los 6559' hasta 14709'8" de profundidad, este pozo esta localizado en el área del Graben de Espino. Las capas rojas abarcan el subsuelo del sector centro – occidental de la Faja Petrolífera del Orinoco. También se le ha perforado en el área de Machete a 65 kilómetros al oeste de Santa María de Ipire. Las capas rojas son secuencias irregulares, alternante de areniscas arcosas, limolitas, lutitas y ocasionales intercalaciones conglomeraticas, de persistente color marrón rojizo en diferente tonalidades, con ocasionales horizontes de color gris claro a verdoso. Los estratos arenáceos y arcósicos, frecuentemente presentan un cemento carbonático (esencialmente dolomítico). El detritus es fino a muy fino, y los granos son angulosos a subangulares y moderadamente mal escogidos. La estratigrafía se caracteriza por su heterogeneidad y variabilidad vertical y lateral, con estratificación cruzada, rizaduras, con laminaciones lenticulares onduladas, texturas subflaser y otras perturbaciones, debido a regímenes de corrientes inconsistentes. A corta distancia del tope de esta formación, se halla intercalada una colada de lava de 113 metros de espesor. Se trata del basalto de Altamira, un basalto alcalino de efusión fisural subaerea y de carácter continental anorogénico.

Las “Capas Rojas” han sido reportadas en el Graben Espino, las cuales, resultaron estériles en palinomorfos, según resultados bioestratigráficos. Estas capas rojas consisten de una alternancia de areniscas, lutitas y carbonato de color rojo.

Las “Capas Rojas” han sido reportadas en los pozos NZZ-108X, MCH-8-5X y NZZ-88X. Solórzano et al., (2001) reporta que el pozo NZZ-108X esta compuesto de lutitas limosas, friables, de color marrón, con un pequeño intervalo de dolomía, de color gris claro entre las profundidades 8507’-8507’8”. Estudios bioestratigráficos determinan una edad Mesozoico o más joven.

Solórzano et al., (2003). En el pozo MCH-8-5X el intervalo de núcleo 10409’-10438’ esta compuesto de areniscas intercaladas con lutitas y carbonatos, de color rojo, este pozo resulto estéril en palinomorfos.

Solórzano et al., (2001) reporta en el pozo NZZ-88X la presencia de capas rojas en el intervalo 7283’-7303’9”. Este intervalo está constituido por areniscas y lutitas limosas de color ladrillo, ligeramente calcárea y bioturbadas, este intervalo resulto estéril en palinomorfos.

5. Resultados

El capítulo de resultados tiene como objetivo mostrar en detalle los resultados obtenidos, por pozo, en las areniscas de la Formación Hato Viejo, esta formación suprayace al basamento e infrayace a las lutitas de la Formación Carrizal. Los pozos involucrados en este trabajo están localizados en la faja petrolífera del Orinoco, específicamente en el área de Zuata. Los pozos son Maco-1x, Hato Viejo N° 1, Suata-1, Santa Clara-1 y SDZ-43X (Figura 4). Cada uno de los pozos mostrara la siguiente información:

1. Breve descripción sedimentológica de los núcleos de los pozos.
2. Estudio petrográfico de las areniscas de la Formación Hato Viejo: Características texturales y clasificación de las areniscas (componentes detríticos, porosidad, componentes autigénicos y matriz).
3. Interpretación de datos de inclusiones de fluidos: etapas de cementación de cuarzo y sus temperaturas de precipitación.
4. Estudio de microscopía electrónica: interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia con su respectiva imagen de backscattering con la finalidad de estudiar la cantidad real y diferentes etapas de cementación de cuarzo.
5. Diagénesis de las areniscas de la Formación Hato Viejo: Procesos diagenéticos y secuencias paragenéticas.

La información utilizada para la interpretación de la imágenes de catodoluminiscencia e inclusiones de fluidos puede ser localizada en el capítulo marco teórico.

Figura N° 4. Correlación estratigráfica con los pozos del área de estudio.

5.1. Pozo maco-1x

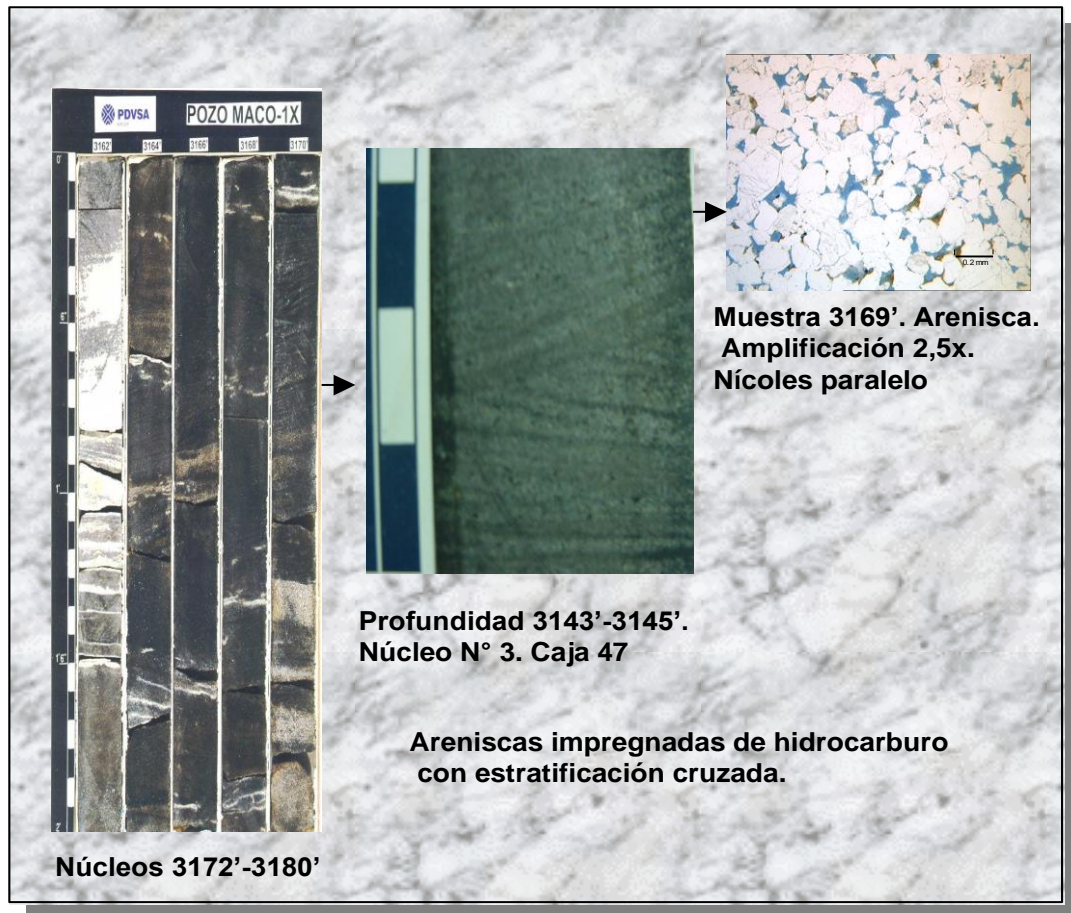
En este capítulo se mostrará una breve descripción sedimentológica de los núcleos de arenisca de la Formación Hato Viejo en el pozo Maco-1x, así como también, el estudio petrográfico, la interpretación de los datos de inclusiones de fluidos, la interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia con su respectiva imagen de backscattering, los procesos diagenéticos y la secuencia paragenética de estas areniscas.

5.1.1 Breve descripción sedimentológica de los núcleos Paleozoicos del pozo Maco-1x

El pozo Maco-1x contiene dentro de su secuencia sedimentaria las formaciones paleozoicas de Carrizal y Hato Viejo, así como también, el basamento. Solórzano et al., (2003). El pozo Maco-1x en los intervalos de núcleos 3143'-3154'4" y 3156'-3186', correspondientes a la formación Hato Viejo (12,50 m de espesor), está compuesto de areniscas, las cuales, están suprayacentes al basamento e infrayacentes a la Formación Carrizal. Las areniscas son de color marrón con tonalidades negras, con estratificación cruzada (festoon) y están impregnadas de hidrocarburo. Además, se observan fracturas abiertas y cementadas en las areniscas. Las fracturas abiertas muestran evidencias de presencia de hidrocarburos y las fracturas cerradas están cementadas por cuarzo y siderita. Es necesario resaltar que hacia el tope de esta secuencia de areniscas, se observan niveles de lutitas, específicamente entre las profundidades 3149'-3150' y 3150'6"-3151', estas lutitas resultaron estériles por palinología. Así como también se observa la presencia de paleosuelos localizados entre las profundidades 3160'3"-3161'6" y 3162'-3163'6". posibles trazas de oleanano.

Los extractos de crudo proveniente de estas muestras son de edad Mesozoico o más joven, proveniente de una roca madre de edad Cretácica, aunque fuentes Jurásicas y triásicas no pueden ser completamente excluidas. A continuación fotos de la Formación Hato Viejo en el pozo Hato Viejo N° 1 (Figura N° 5)

Figura N° 5. Foto de los núcleos de la Formación Hato Viejo en el pozo Maco-1x.



5.1.2 Estudio petrográfico de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Maco-1x

En este capítulo se presentan los resultados del estudio petrográfico realizado a las muestras de arenisca (3146'7", 3148', 3152', 3157'11", 3160', 3160'4", 3161'6", 3162'6", 3168', 3168'9", 3169', 3172', 3173'3", 3173'11", 3176'6", 3180'5", 3183', 3183'8", 3184') del pozo Maco-1x. Los datos petrográficos se presentan en una tabla en Excel (Anexo 1).

5.1.2.1 Características texturales y clasificación de las areniscas del pozo Maco-1x

El análisis modal en las areniscas permitió la determinación de los porcentajes de los componentes detríticos, componentes autigénicos, cementos, matriz y porosidad. Así mismo, se determinaron los parámetros texturales como el tamaño de los granos, el escogimiento y la redondez. Las muestras fueron clasificadas según Hussin (1991) modificado por Pilloud et al. (1998) (Figura N° 1). Se analizaron 19 muestras de areniscas. El análisis petrográfico revela que el tamaño de grano promedio en las areniscas generalmente es medio. La textura en las areniscas es la siguiente: el escogimiento de los granos generalmente varía, de bien a mal escogidos, aunque en algunas areniscas se observa buen escogimiento; La redondez de los granos oscila de subangular a subredondeado. Los contactos son de tipo longitudinal, cóncavo - convexo, suturado y grano cemento.

a) Componentes detríticos

Como minerales detríticos se presentan el cuarzo monocristalino, el cuarzo policristalino, los feldespatos (microclino y plagioclasas), el chert, los fragmentos de rocas, las micas y los minerales pesados. El cuarzo monocristalino es el principal componente detrítico de las areniscas, se presenta con valores entre 47,3% y 81,2%. Seguidamente se muestra el cuarzo policristalino con valores entre 1% y 25%. En menor proporción se presentan los feldespatos, el chert, las micas, los fragmentos de roca y los minerales pesados (circón). El chert, las micas y los minerales pesados se presentan desde cantidades trazas hasta valores que no sobrepasan el 1%. Los fragmentos de roca se muestran desde cantidades trazas hasta 1,6%. Los fragmentos de roca (Figuras N° 6 y 7) y las micas (Figura N° 8) en algunos casos se observan transformándose en minerales de arcillas, también se observa deformación de micas por compactación mecánica (Figura N° 9). Los feldespatos se muestran desde cantidades trazas hasta 3%. Entre los feldespatos se presenta la plagioclasa con la típica macla polisintética, también se presenta el microclino exhibiendo la macla de enrejado, en algunos casos se observan feldespatos alterándose a minerales de arcilla (Figuras N° 10 y 11), lo cual trae como consecuencia, la obstrucción de la porosidad, así como también, la creación de porosidad secundaria debido a la susceptibilidad de ellos a la lixiviación.

Figura N° 6. Muestra 3176'6". Arenisca. Amplificación 10X. Nícoles cruzados. Pozo Maco-1x. Fragmentos de roca transformándose en minerales de arcilla.

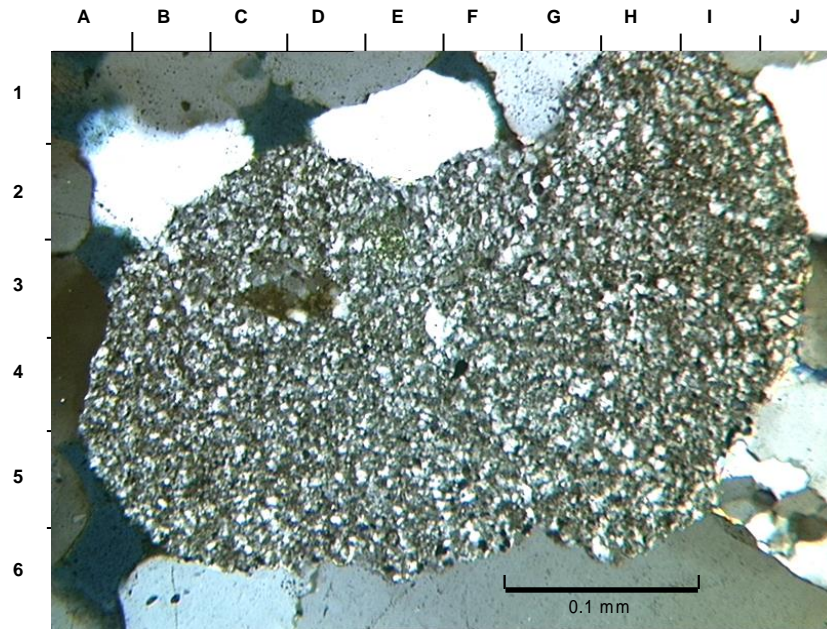


Figura N° 7. Muestra 3176'6". Arenisca. Amplificación 10X. Nícoles paralelos. Pozo Maco-1x. Fragmentos de roca transformándose en minerales de arcilla.

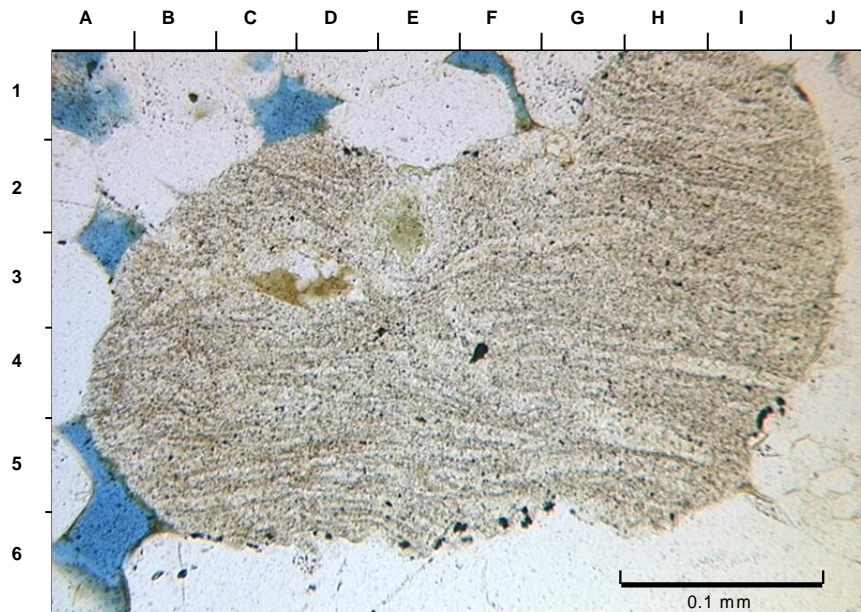


Figura N° 8. Muestra 3161'6". Arenisca. Amplificación 20x. Nícoles paralelos. Pozo Maco-1x. Transformación de micas en minerales de arcilla (F-4, C-5, H-4).

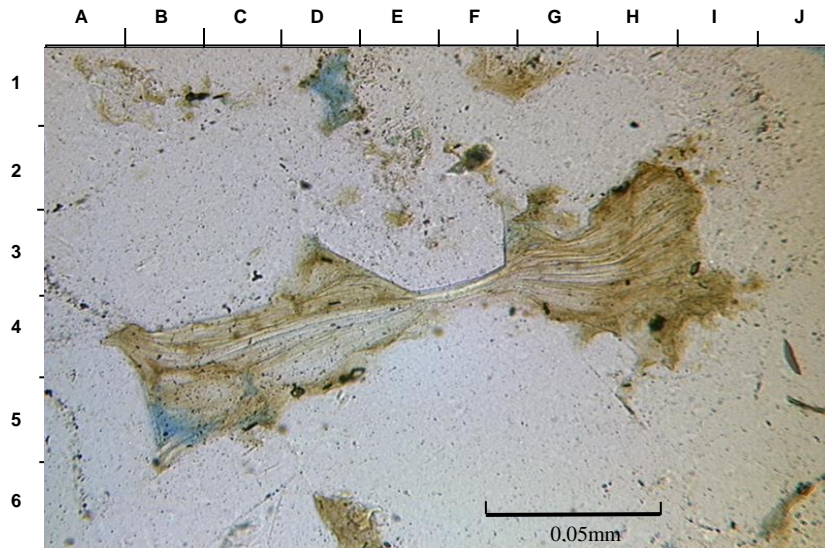


Figura N° 9. Muestra 3161'6". Arenisca. Amplificación 20x. Nícoles cruzados. Pozo Maco-1x. Deformación de micas (F-4, G-3.5).

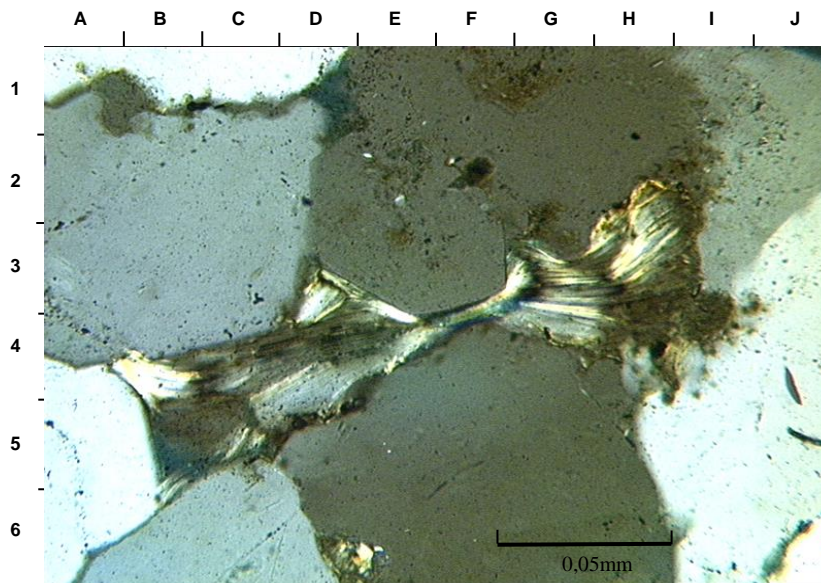


Figura N° 10. Muestra 3161'6". Arenisca. Amplificación 20x. Nícoles cruzados. Pozo Maco-1x. Feldespatos alterándose a minerales de arcilla (D-2, F-3, H-5).

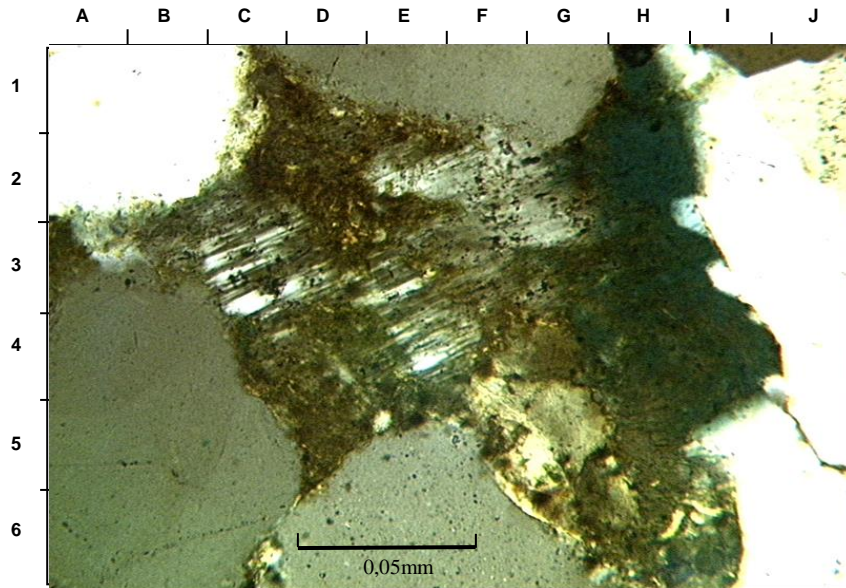
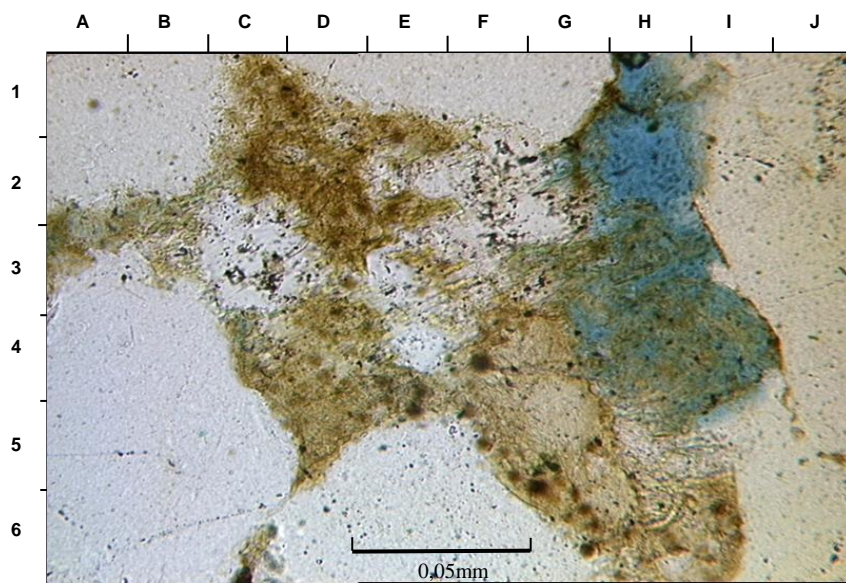


Figura N° 11. Muestra 3161'6". Arenisca. Amplificación 20x. Nícoles paralelos. Pozo Maco-1x. Feldespatos alterándose a minerales de arcilla (D-2, F-3, H-5).



b) Porosidad

La porosidad observada en las areniscas es intergranular y por disolución. La porosidad por disolución se presenta entre 1,3% y 17,6%. La porosidad por disolución es producto de la disolución de feldespatos (Figura N° 12), fragmentos de rocas (Figura N° 13) y matriz arcillosa. La porosidad intergranular (Figura N°14) se presenta entre 1% y 8,6%. También se observa porosidad intragranular en cantidades trazas, además de porosidad moldica con 0,4% en la muestra 3183'. La presencia de estilolitas en la muestra 3148' también genera porosidad secundaria (Figuras N° 15 y 16).

c) Componentes autigénicos

Como minerales autigénicos se presenta la pirita, la caolinita y los cementos de cuarzo, calcita y dolomita. La pirita se muestra con valores que no sobrepasan el 1% y la caolinita desde trazas hasta 6%.

El principal cemento presente en las areniscas es el cemento de sílice, este cemento se presenta en forma de sobrecrecimientos, su abundancia varía desde 3% hasta 31,2%. En algunos casos la intensa recristalización de cuarzo impide ver a través del microscopio la forma original de los granos de cuarzo, es necesario destacar que este cemento inhibe la porosidad primaria (Figura N° 17) y a la vez favorece el desarrollo de la porosidad secundaria, debido a la disolución del mismo (Figuras N° 18 y 19).

También se observa la presencia de cemento de calcita y dolomita. El cemento de calcita solo se presenta en cantidades trazas y el cemento de dolomita, solo se observa en la muestra 3152', con 8,6% (Figura N° 20).

Figura N° 12. Muestra 3169'. Arenisca. Amplificación 10x. Nícoles cruzados. Pozo Maco-1x. Porosidad secundaria por disolución del feldespato microclino (E-3, E-4, H-3, H-4).

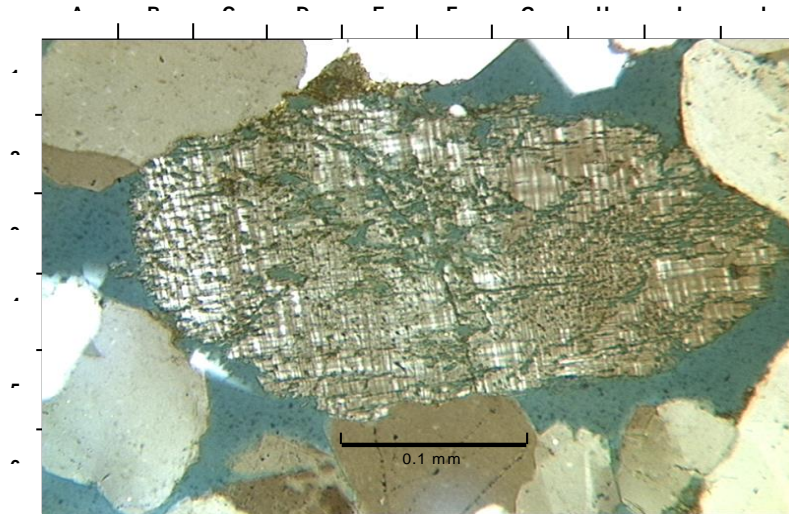


Figura N° 13. Muestra 3148'. Arenisca. Amplificación 10x. Nícoles paralelos. Pozo Maco-1x. Porosidad secundaria por disolución de fragmento de roca (E-2,G-3).

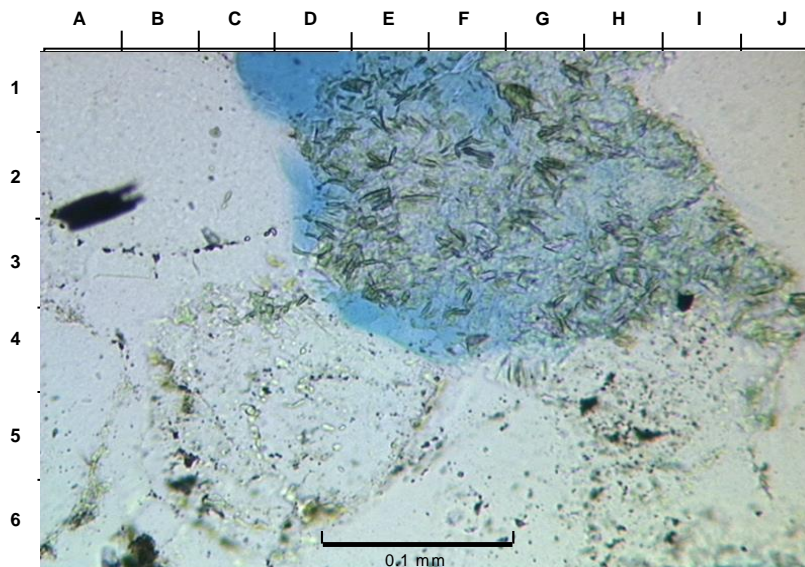


Figura N° 14. Muestra 3168'. Arenisca. Amplificación 10x. Nícoles paralelos. Pozo Maco-1x. Porosidad intergranular (C-3.5, F-1, D-5.5).

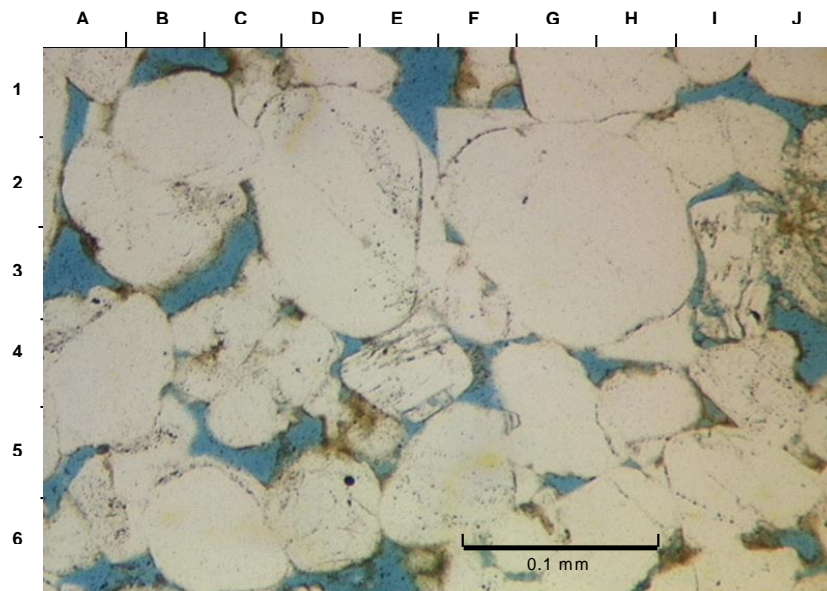


Figura N° 15. Muestra 3148'. Arenisca. Amplificación 2,5x. Nícoles paralelos. Pozo Maco-1x. Estilolita (I-2, G-3.5, C-5).

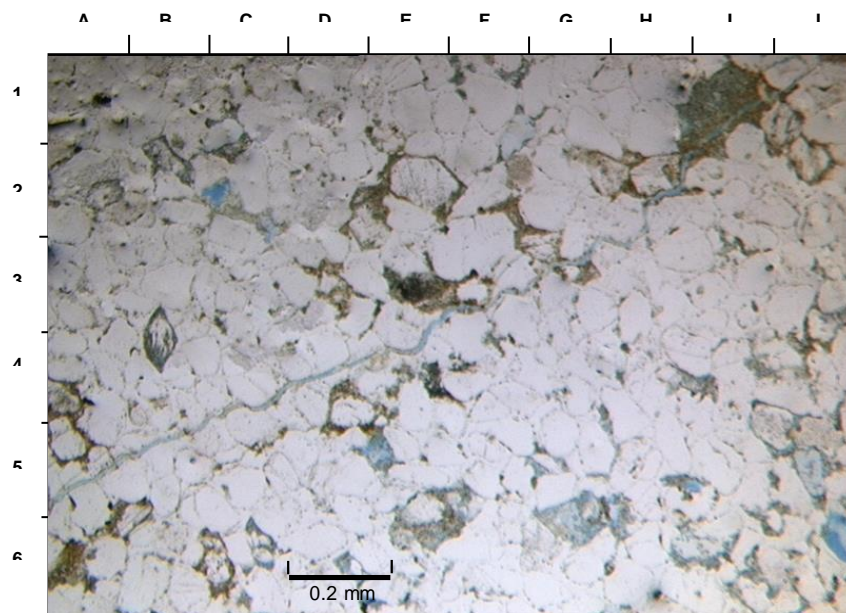


Figura N°16. Muestra 3148'. Arenisca. Amplificación 10x. Nícoles paralelos. Pozo Maco-1x. Detalle ampliado de la estilolita de la figura 11 (D-4.5, I-2).

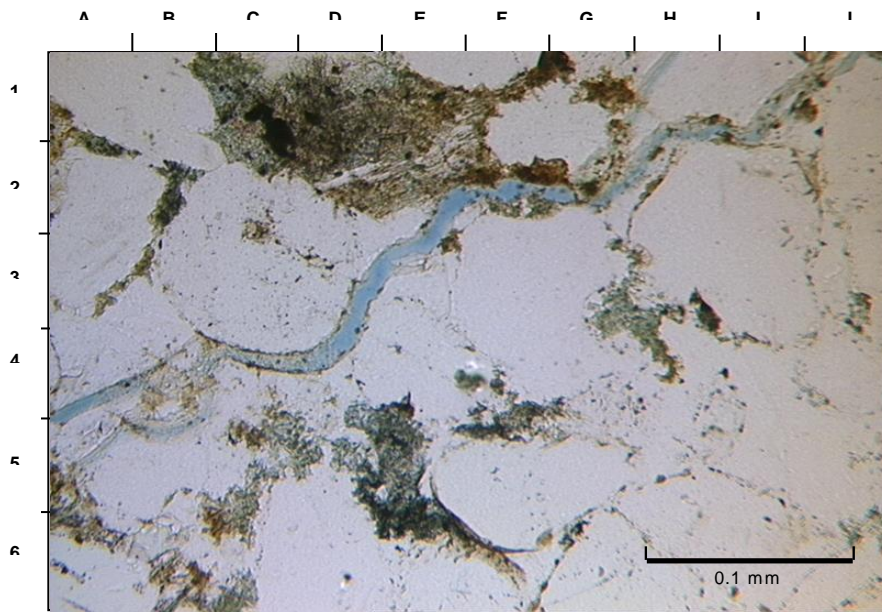


Figura N° 17. Muestra 3148'. Arenisca. Amplificación 2,5x. Nícoles paralelos. Pozo Maco-1x. Cemento de cuarzo inhibiendo la porosidad (E-3.5, E-1.5).

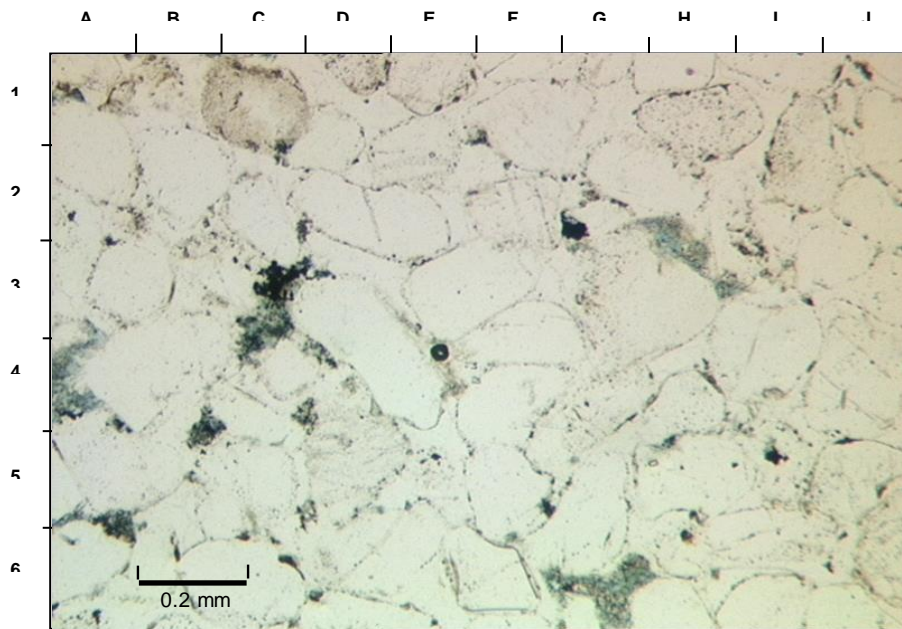


Figura N° 18. Muestra 3146'7". Arenisca. Amplificación 2,5x. Nícoles paralelos. Pozo Maco-1x. Porosidad secundaria por disolución del cemento de cuarzo.

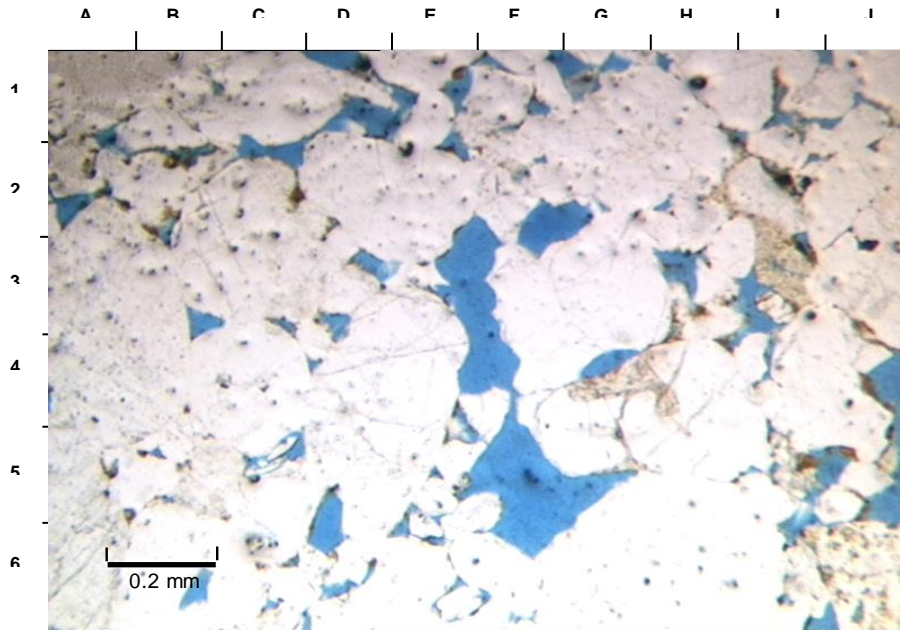


Figura N° 19. Muestra 3146'7". Arenisca. Amplificación 10x. Nícoles paralelos. Pozo Maco-1x. Detalle ampliado de la figura N° 24 sobre la disolución del cemento de cuarzo.

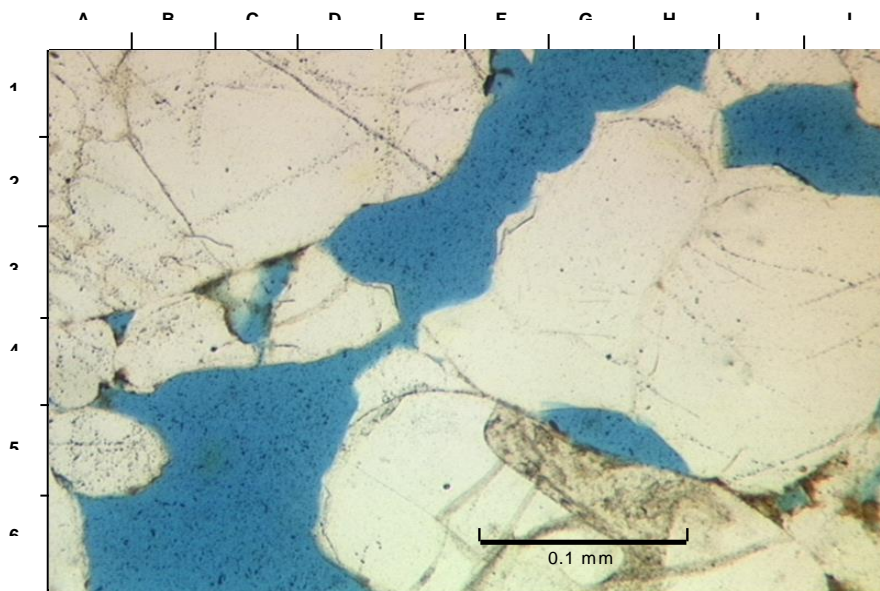
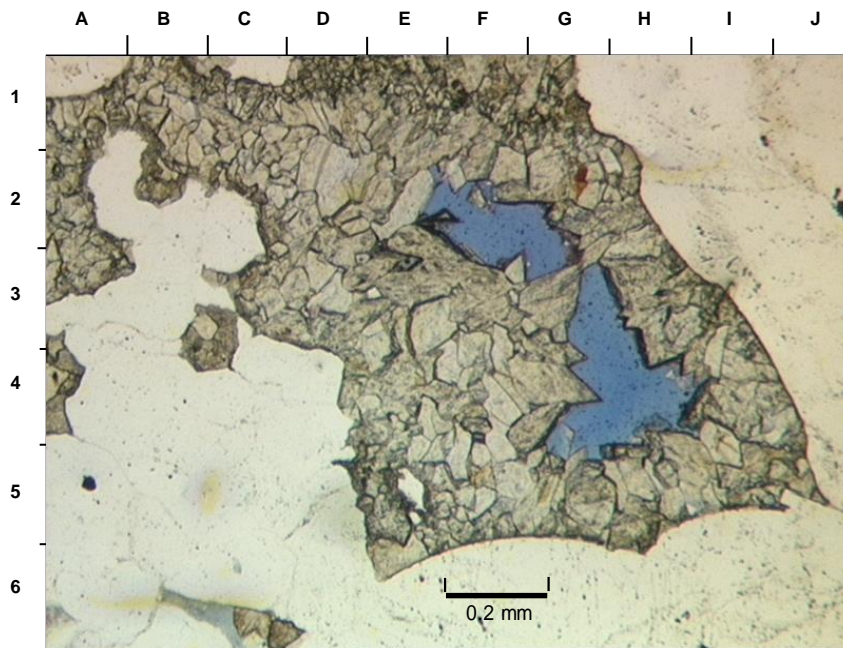


Figura N°20. Muestra 3152'. Arenisca. Amplificación 2,5x. Nícoles paralelos. Pozo Maco-1x. Cemento de dolomita disminuyendo porosidad (G-3, F-2.5, H-4).



d) Matriz

La matriz es arcillosa se observa con valores entre 0,3% y 7%. La arcilla se presenta en algunos casos obstruyendo la porosidad (Figura N° 21) y el desarrollo del sobrecrecimiento de cuarzo (Figura N° 22).

Figura N° 21. Muestra 3173'11". Arenisca. Amplificación 10X. Nícoles paralelos. Pozo Maco-1x. Arcilla obstruyendo porosidad.

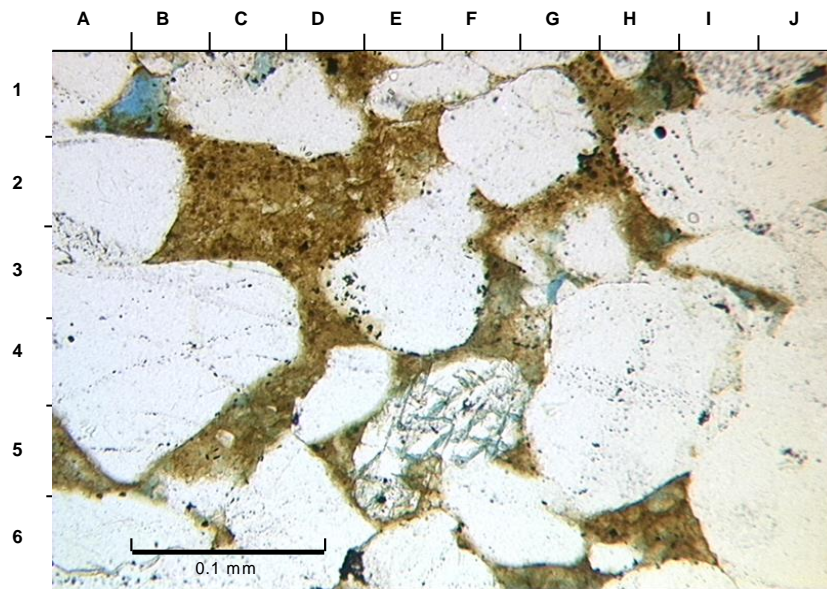
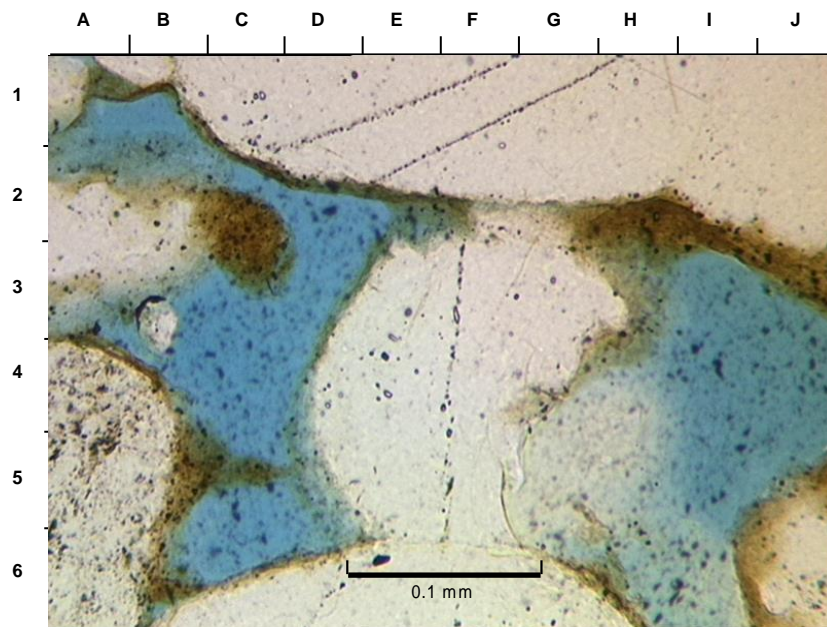


Figura N° 22. Muestra 3168'. Arenisca. Amplificación 10X. Nícoles paralelos. Pozo Maco-1x. Arcilla inhibiendo el sobrecrecimiento de cuarzo.



5.1.3 Inclusiones de fluidos

Con base en la información recopilada en la literatura y los datos de temperaturas de homogenización (Tabla 2) de soluciones acuosas de inclusiones primarias y secundarias se sugieren las siguientes etapas de cementación. En el **pozo Maco-1x** la precipitación de cemento de cuarzo comenzó entre 59°C – 68°C según datos de inclusiones de fluidos primarias localizadas en el sobrecrecimiento. Posterior a esta primera precipitación ocurre una segunda etapa de precipitación de cuarzo entre 75°C – 78°C según datos de inclusiones de fluidos secundarias localizadas en los granos de cuarzo detríticos y feldespatos. La tercera etapa de cementación de cuarzo ocurre entre 78°C – 80°C según datos de inclusiones de fluidos secundarias localizadas en los sobrecrecimientos de cuarzo.

Tabla. Datos de inclusiones de fluidos del pozo Maco-1x. Tomado de Fluid Inclusion Technologies, Inc (2003).

POZO	MUESTRA	NUMERO DE MEDIDAD	Th (°C)	ORIGEN	OBSERVATION
MACO-1X	3148'	1	67	primaria	borde de grano cuarzo
	3148'	1	68	primaria	sobrecrecimiento
	3148'	1	68	primaria	borde de grano cuarzo
	3148'	1	71	primaria	borde de grano cuarzo
	3148'	1	72	primaria	borde de grano cuarzo
	3148'	1	73	primaria	borde de grano cuarzo
	3148'	1	78	secundaria	grano detrítico
	3148'	3	78-80	secundaria	sobrecrecimiento
	3148'	1	75	secundaria	feldespatos
	3148'	1	115	secundaria	feldespatos, TH alto?
	3162'6"	1	80	primaria	pr; borde de grano cuarzo
	3162'6"	1	69	primaria	pr; borde de grano cuarzo
	3162'6"	1	78	primaria	pr; borde de grano cuarzo
	3162'6"	1	75	primaria	pr; borde de grano cuarzo
	3162'6"	3	55-65	primaria	pr; borde de grano cuarzo
	3184'	1	76	primaria	pr; borde de grano cuarzo
	3184'	1	78	primaria	pr; borde de grano cuarzo
	3184'	1	60	primaria	pr; borde de grano cuarzo
	3184'	1	59	primaria	pr; sobrecrecimiento

5.1.4 Estudio de imágenes de catodoluminiscencia de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Maco-1x

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos del estudio e interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia con sus respectivas imágenes de backscattering tomadas a tres muestras 3173', 3148', 3162'6". En total se procesaron 24 imágenes de catodoluminiscencia con su respectiva imagen de backscattering. A continuación se mostrarán los mosaicos de catodoluminiscencia con sus respectivos mosaicos de backscattering de las muestras 3173' (Figura N° 23 y N° 24), 3148' (Figura N° 25 y N° 26), 3162'6".

Figura N° 23. Muestra 3173'. Mosaico de catodoluminiscencia (CL). Pozo Maco-1x

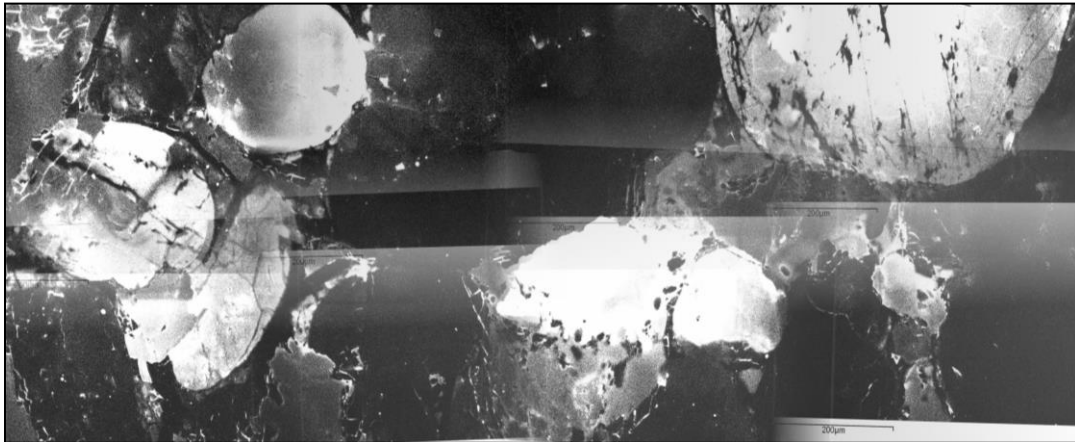
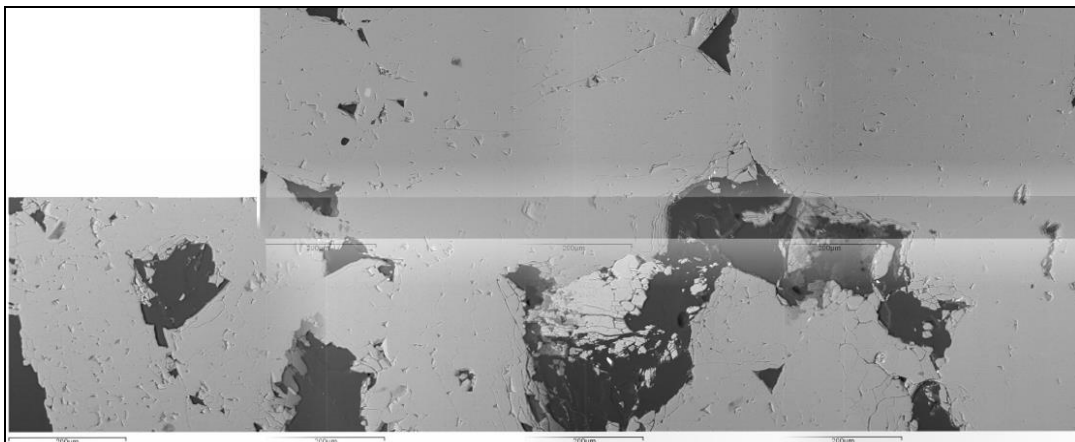


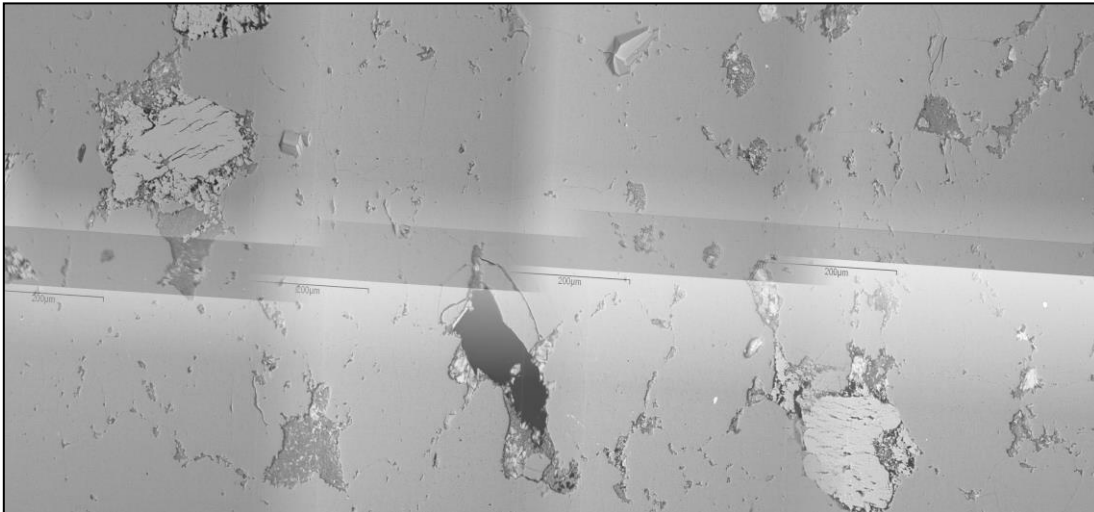
Figura N° 24. Muestra 3173'. Mosaico de backscattering (BS). Pozo Maco-1x



**Figura 25. Muestra 3148'. Mosaico de catodoluminiscencia (CL).
Pozo Maco-1x**



Figura 26. Muestra 3148'. Mosaico de backscattering (BS). Pozo Maco-1x



A continuación y con base en la interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia se presentaran las características texturales y mineralógicas de las muestras

5.1.4.1 Características Texturales y mineralógicas de las muestras a través del estudio e interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia del pozo Maco-1x

a) Variaciones detríticas

El cuarzo detrítico se presenta en colores tales como blanco brillante, gris oscuro y tonalidades oscuras (Figura N° 27 y N° 28). Los granos detríticos muestran formas desde angular a redondeada. Los granos detríticos están en contacto uno con otro indicando que el cemento de cuarzo es posterior a la depositación de los granos detríticos (Figura N° 27 y N° 29). También se observa la presencia de feldespato en colores blancos, sin embargo su presencia es confirmada con la imagen de backscattering (Figura N° 29 y N° 30).

Figura N° 27. Muestra 3148'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Maco-1x. Cuarzo detrítico en colores blanco (C-2), gris oscuro (B-3) y tonalidades oscuras (F-3). Contacto entre los granos detríticos (B-2/1, G-2/2). Cemento de cuarzo (G-5, I-2). Probablemente dos etapas de cementación de cuarzo (C-4.5, G-5)

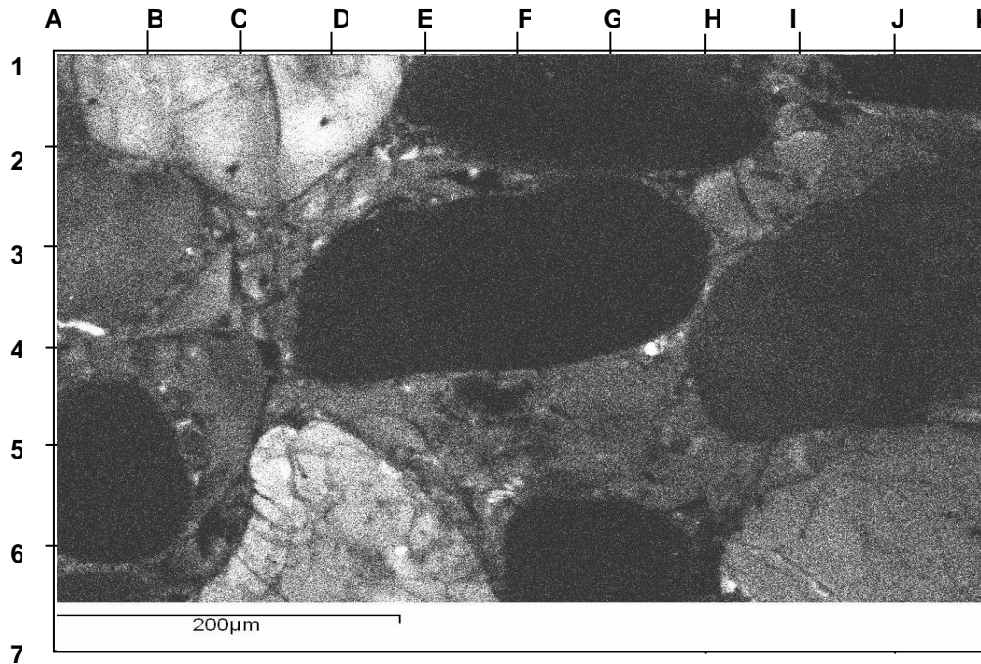


Figura N° 28. Muestra 3148'. Imagen de backscattering. Pozo Maco-1x

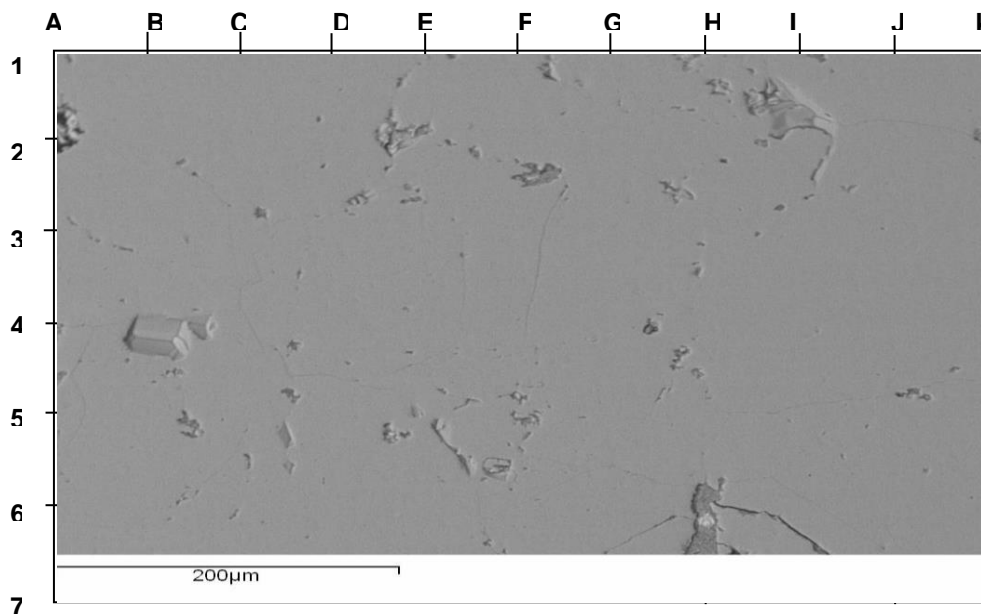


Figura 29. Muestra 3148'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Maco-1x. Cuarzo detrítico en colores blanco (B-2), gris oscuro (C-4) y tonalidades oscuras (G-3). Contacto entre los granos detríticos (E/5-3/2). Feldespato (J-5). Porosidad por disolución de arcillas (A-4) y feldespatos (I-4). Cemento de cuarzo (E-1.5, F-6). Fracturas cementadas por cuarzo autigénico (D-4).

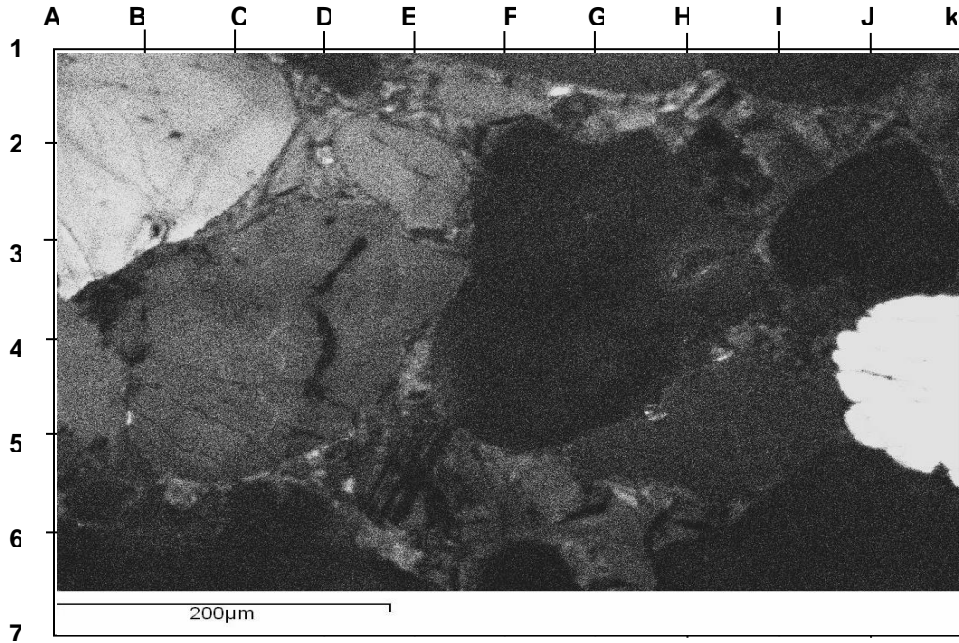
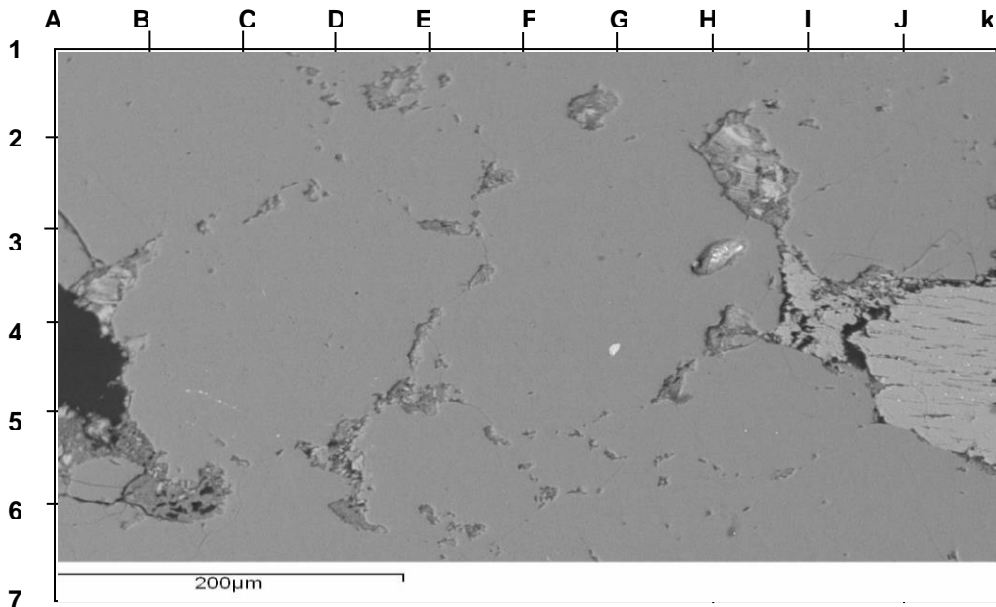


Figura 30. Muestra 3148'. Imagen de Backscattering. Pozo Maco-1x.



b) Variaciones autigénicas

El cemento de cuarzo autigénico se muestra en colores gris y negro y es posterior a la depositación de los granos detríticos, ya que los granos detríticos están en contacto uno con otro (Figura N° 31 y N° 32). Es necesario destacar que a través de las imágenes de catodoluminiscencia el cemento de cuarzo debe mostrarse en color negro, sin embargo, el cemento de cuarzo de color gris según la espectrometría de rayos X, por dispersión de energía (EDX) también es de sílice al igual que el cemento de cuarzo de color negro. Con base en las imágenes de catodoluminiscencia probablemente se tienen tres etapas de cementación de cuarzo la primera evidenciado por el sobrecrecimiento que se encuentra alrededor del grano de cuarzo, la segunda es la que se observa en las fracturas de los granos de cuarzo detrítico y la tercera es la que se observa ocupando el espacio poroso (Figura N° 31 y N° 32).

Figura N° 31. Muestra 3148'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Maco-1x. Cuarzo detrítico (D-2, H-4B-6). Contacto entre los granos detríticos (D-3E-4.5). Probablemente 2 etapas de Cementación de cuarzo (B-2; C-3).

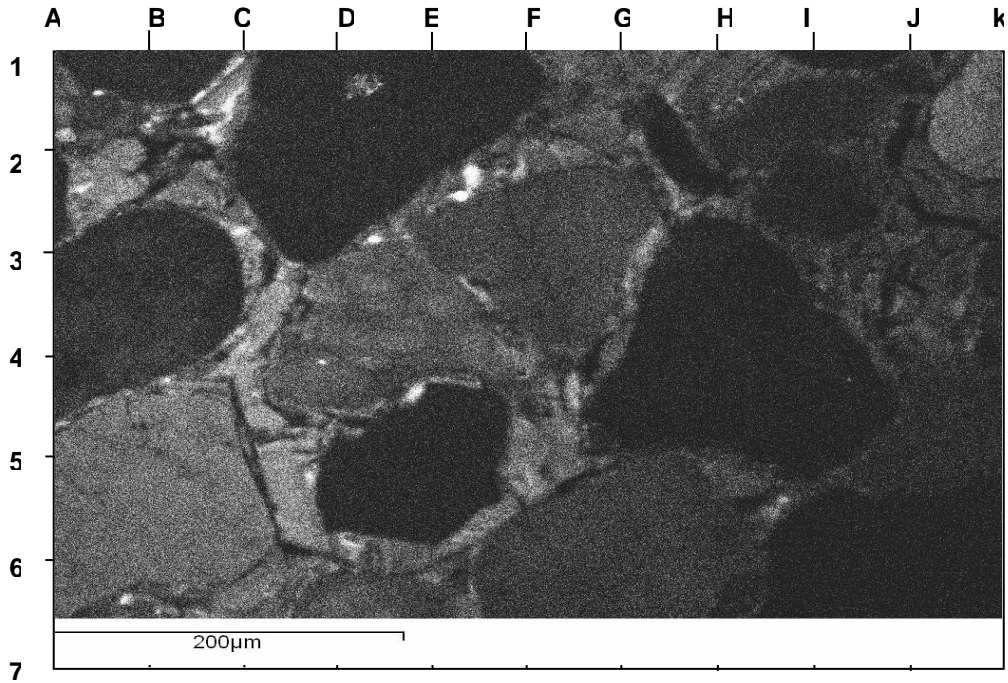
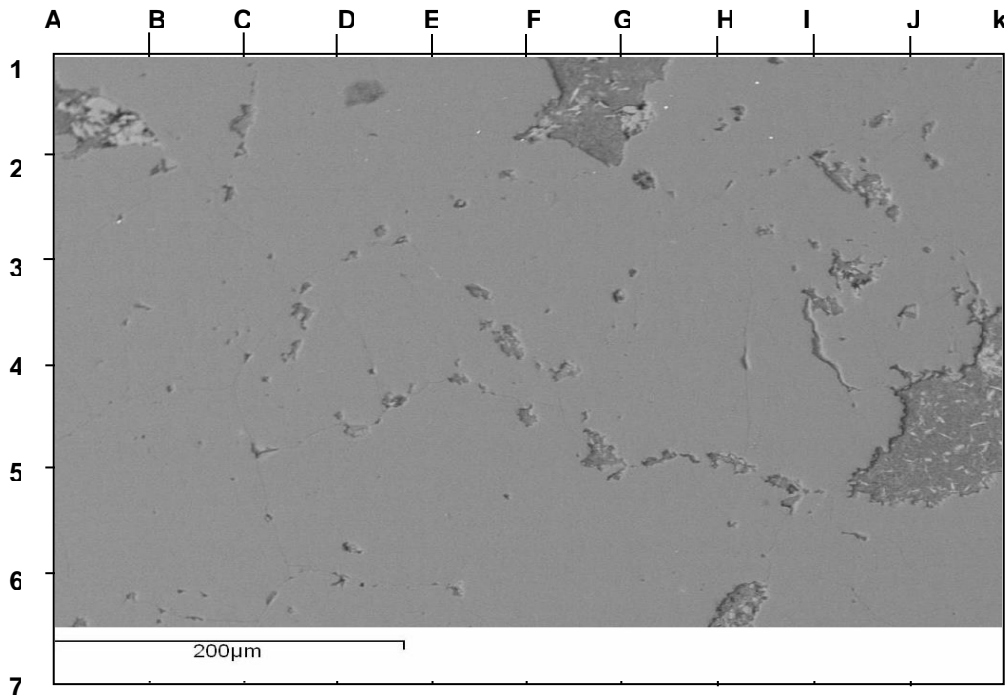


Figura N° 32. Muestra 3148'. Imagen de Backscattering. Pozo Maco-1x.



C) Fracturamiento del grano y sellamiento

Se observa la presencia de fracturas en los granos detríticos que han sido selladas por cemento de cuarzo de color negro (Figura N ° 33, N° 34, N° 36) algunas de las fracturas son insitu producto del contacto entre los granos. También se observan fracturas pero en color blanco, probablemente esto es indicativo de que están abiertas. Generalmente la cantidad de cemento de cuarzo que sella las fracturas es insignificante. Es necesario resaltar que las fracturas en los granos detríticos no se observan por petrografía convencional y tampoco en las imágenes de backscattering solamente se observan en las imágenes de catodoluminiscencia.

Figura N° 33. Muestra 3173'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Maco-1x. Fracturas(E-5) en granos de cuarzo detríticos (J-2, G-2) cementadas por cuarzo autigénico de color negro.

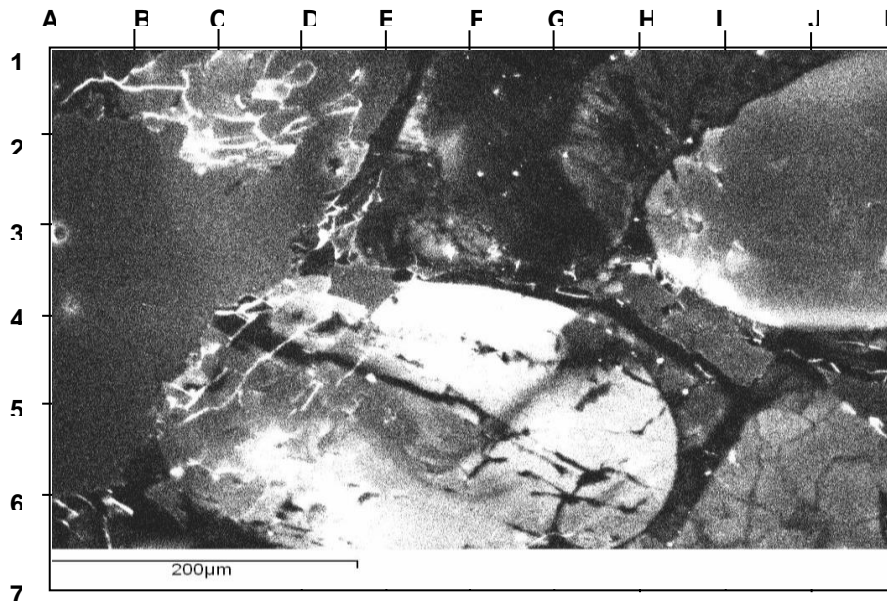


Figura N° 34. Muestra 3173'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Maco-1x.
Fracturas (I-3) en granos de cuarzo detríticos (J-2, F-1.5, F-3) cementadas por cuarzo autigénico de color negro

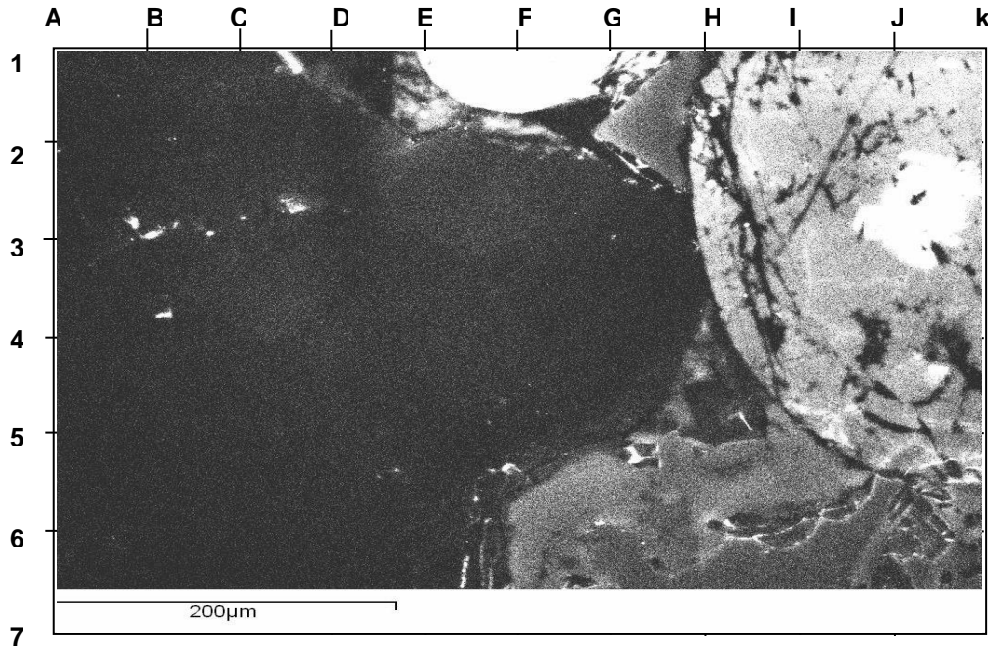


Figura N° 35. Muestra 3148'. Imagen de Backscattering. Pozo Maco-1x

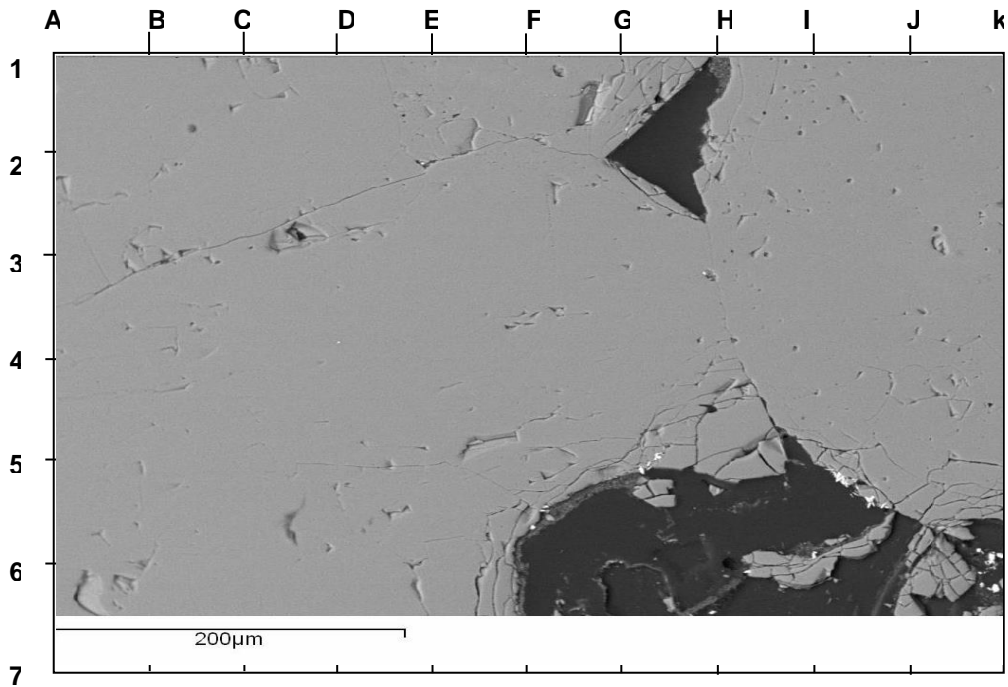


Figura N° 36. Muestra 3148'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Maco-1x. Fracturamiento del grano de cuarzo detrítico y cementación de esta fractura por sílice (C.5-2), cemento de cuarzo (J-3.5), feldespatos (G-4), cuarzo detrítico (C-6, E-6, J-5)

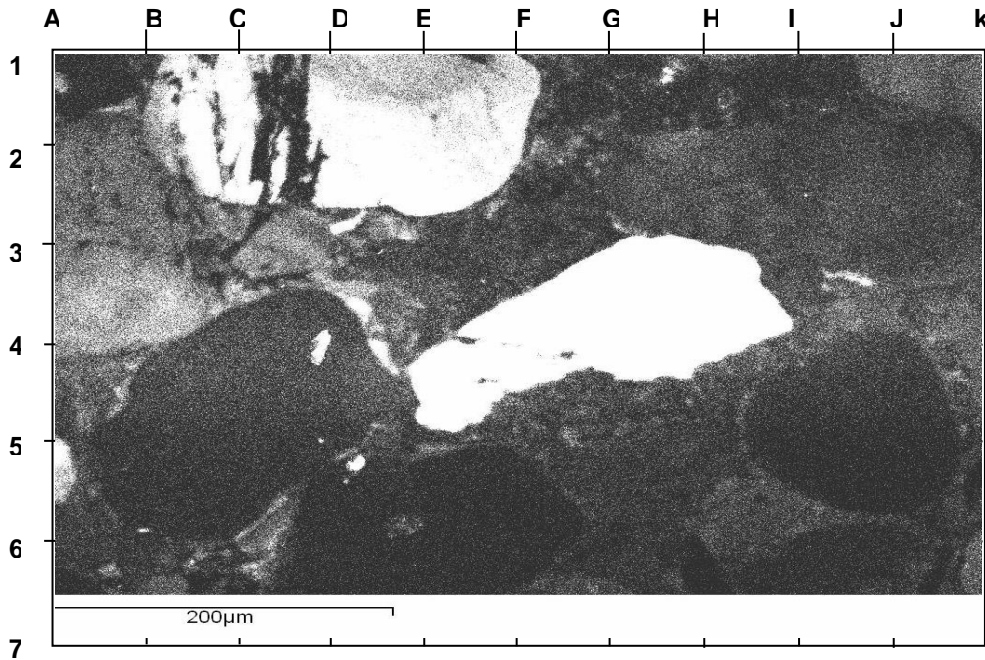
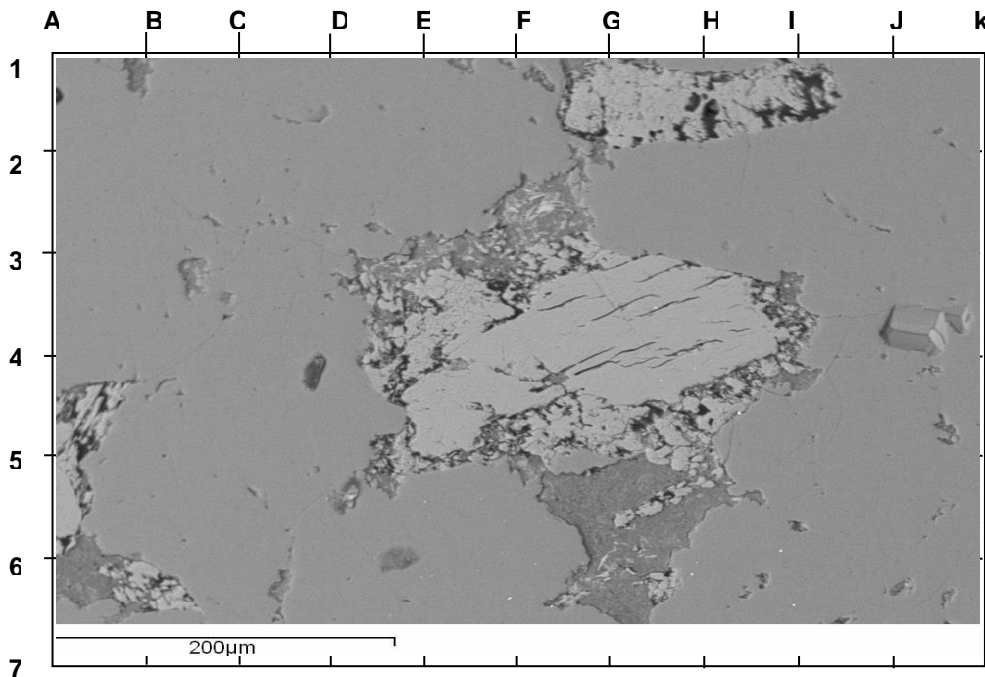


Figura N° 37. Muestra 3148'. Imagen de Backscattering



d) Porosidad

Evidentemente la extensiva cementación de cuarzo autigénico en las muestras influyo notablemente en la reducción de la porosidad primaria y a su vez favorece el desarrollo de la porosidad secundaria debido a la disolución del mismo (Figura N° 38 y N° 39). También se observa a través de las imágenes de backscattering porosidad secundaria por disolución de feldespatos.

Figura N° 38. Muestra 3148'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Maco-1x. Cuarzo detrítico (A.5-2). Cemento de cuarzo autigénico de color negro (B-4, F-6, G-3). Porosidad secundaria por disolución de cemento de cuarzo (C-6, I-6) y feldespatos (J-4)

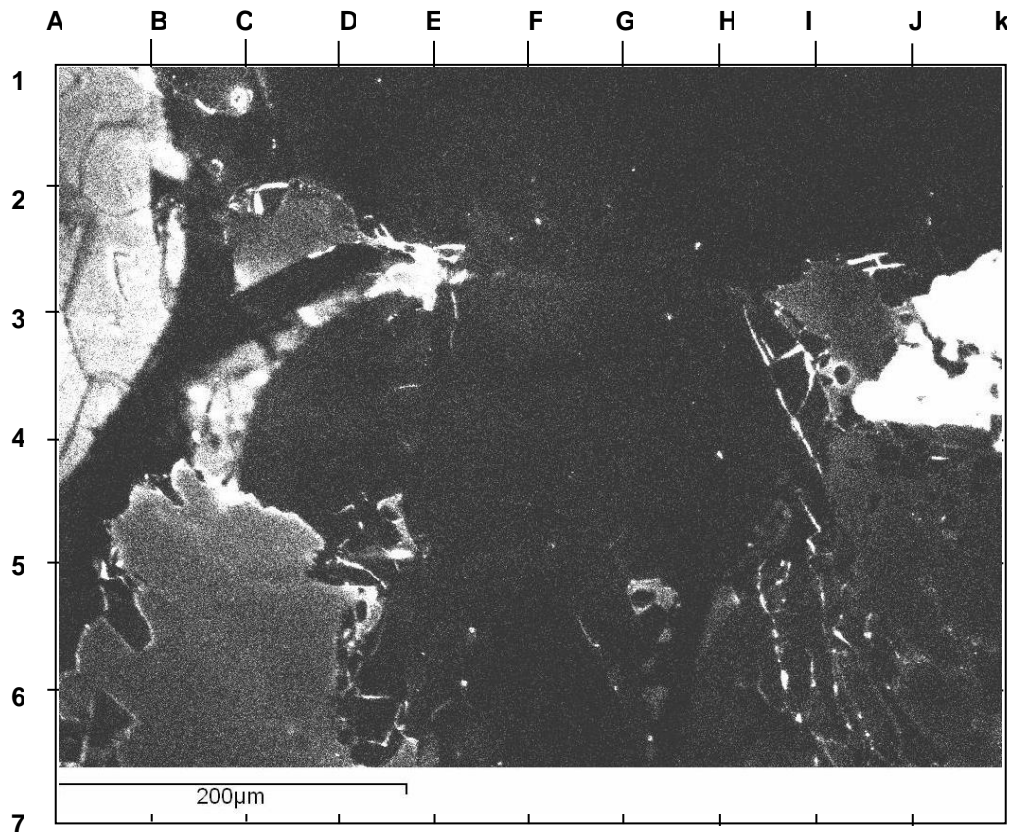
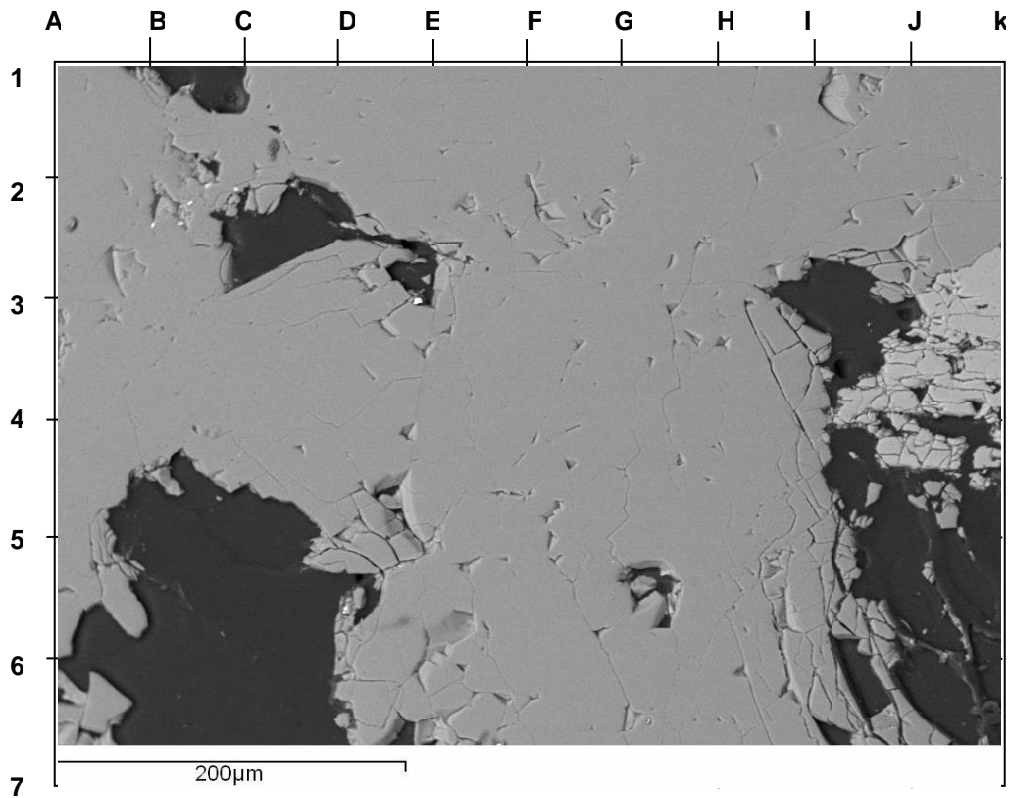


Figura N° 39. Muestra 3148'. Imagen de Backscattering. Pozo Maco-1x.



Después de interpretar las imágenes de catodoluminiscencia se procedió a contabilizar los minerales presentes en especial el cemento de cuarzo (anexo 2)

5.1.5. Diagenesis de las areniscas de la formación Hato Viejo en el pozo Maco-1x

A través del análisis petrográfico, microscopía electrónica de barrido, difracción de Rayos-X e inclusiones de fluidos se identificaron los siguientes procesos diagenéticos en las areniscas de la Formación Hato Viejo del pozo Maco-1x:

5.1.5.1 Procesos diagénéticos

- Compactación mecánica y química
- Alteración de aluminosilicatos a arcillas
- Transformación de la caolinita en illita
- Mineral de arcilla interestratificado illita/esmectita
- Arcilla autigénica clorita
- Arcilla autigénica illita
- Cementación de cuarzo
- Reemplazamiento de feldespato de potasio por cuarzo
- Disolución de feldespatos y fragmentos de roca.
- Disolución de cemento de cuarzo
- Cemento de dolomita

Compactación mecánica y química

La compactación química solo se observa en la muestra 3148' debido a la presencia de estilolitas. La compactación mecánica está presente en los sedimentos por el reacomodo de los granos en un empaquetamiento mas compacto y por la deformación dúctil de las micas entre los granos de cuarzo.

Alteración de aluminosilicatos a arcillas

Las principales alteraciones de aluminosilicatos que se observaron fueron la alteración de micas y feldespatos de potasio (microclino y plagioclasa) a minerales de arcilla (Figuras N° 8, 9, 10, 11). Solórzano et al. (2003). Los minerales de arcilla son tipo caolinita y esmectita.

Mineral de arcilla interestratificado illita/esmectita

Son de gran importancia en la diagénesis, ya que estudios estadísticos demuestran que el porcentaje de illita en los interestratificados se incrementa con el grado de diagénesis. Solórzano et al. (2003). Los análisis de mineralogía de arcilla reportan porcentajes entre 5% y 30% de illita/esmectita.

Cementación y disolución de cuarzo

El proceso de cementación de cuarzo es un proceso que inhibe la porosidad (Figuras N° 14, 17). Es necesario destacar la disolución del cemento de cuarzo, lo cual, es sumamente importante ya que genera porosidad secundaria (Figuras N° 18, 19). Probablemente existan tres etapas:

1.-La primera etapa ocurre en forma de sobrecrecimiento con temperaturas entre 59°C - 68°C.

2. Posterior a esta primera precipitación ocurre una segunda etapa de precipitación de cuarzo entre 75°C – 78°C localizadas en los granos de cuarzo detríticos y feldespatos.

3. La tercera etapa de cementación de cuarzo ocurre entre 78°C – 80°C según datos de inclusiones de fluidos secundarias localizadas en los sobrecrecimientos de cuarzo.

Disolución de feldespatos y fragmentos de roca

Mediante análisis petrográficos e imágenes de microscopía electrónica, se observó disolución de feldespatos (Figuras N° 12, 30) y fragmentos de roca (Figura N° 13), lo cual, trae como consecuencia la generación de porosidad secundaria.

Cemento de dolomita

El cemento de dolomita (Figura N° 20) solo se presenta en la muestra 3152' con 8,6%, este cemento se observa inhibiendo el sobrecrecimiento de cuarzo y a la vez obstruyendo la porosidad.

Arcilla autigénica ilita

Solórzano et al. (2003). Los análisis de difracción de Rayos X, para la fracción menor de 2 micras determinaron la presencia de ilita en todas las muestras de arenisca. La imagen de electrones secundarios de la muestra 3148', muestra el habito fibroso "pore bridging" de la ilita, esta textura es característica de diagénesis tardía

Transformación de caolinita en ilita

Solórzano et al. (2003). A través de imágenes de electrones secundarios, en la muestra 3160', se observa transformación de caolinita en ilita.

Arcilla autigénica Clorita

Mediante microscopía electrónica de barrido en el modo de electrones secundario, se observó clorita en forma de hojuelas pseudo hexagonales en la muestra 3160', esta textura es característica de diagénesis tardía. Cabe destacar que los análisis de mineralogía de arcilla también determinaron la presencia de clorita en las muestras más someras.

Reemplazamiento de feldespato de potasio por cuarzo

El reemplazamiento del feldespato de potasio por cuarzo, es un proceso que fue observado en la muestra 3173'3".

5.1.5.2 Secuencia paragenética del pozo Maco-1x

La secuencia paragenética de las areniscas del intervalo 3143'-3186' de la Formación Hato Viejo del pozo Maco-1x es la siguiente:

PROCESOS	EOGENESIS HASTA 75°C	MESOGENESIS 75°C – 200°C
COMPACTACION MECANICA		
CEMENTACION DE CUARZO (1) 59C – 68C		
CEMENTACION DE CUARZO (2) 75C – 78C		
CEMENTACION DE CUARZO (3) 78C – 80C		
DISOLUCION DE FELDESPATOS		
REEMPLAZO DE FELDESPATOS DE POTASIO POR CUARZO		
ALTERACION DE FELDESPATOS Y MICAS A CAOLINITA Y ESMECTITA		
FORMACION DE ILITA POR LA PRESENCIA DE CAOLINITA		
TRANSFORMACION DE ESMECTITA EN ILITA		
CLORITA		
DISOLUCION DE CEMENTO DE CUARZO		
CEMENTO DE DOLOMITA		



Profundidad

5.5.6 Resumen de los resultados petrográficos, de catodoluminiscencia e inclusiones de fluidos de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Maco-1x

Las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Maco-1x presentan un tamaño de grano promedio de fino a medio. La textura en las areniscas es la siguiente: el escogimiento de los granos generalmente varía, de bueno a malo, aunque en algunas areniscas se observa buen escogimiento; La redondez de los granos oscila de subangular a subredondeado. Los contactos son de tipo longitudinal, cóncavo - convexo, suturado y grano cemento. El cuarzo monocristalino es el principal componente detrítico de las areniscas.

La porosidad es de tipo intergranular y por disolución. La porosidad por disolución es producto de la disolución de feldespatos, fragmentos de rocas y matriz arcillosa. La matriz es arcillosa y obstruye el espacio poroso y el desarrollo del sobrecrecimiento de cuarzo. Como minerales autigénicos se presenta la piritita, la caolinita y los cementos de cuarzo, calcita y dolomita. El principal cemento presente en las areniscas es el cemento de sílice. En algunos casos la intensa recristalización de cuarzo impide ver a través del microscopio la forma original de los granos de cuarzo, es necesario destacar que este cemento inhibe la porosidad primaria y a la vez favorece el desarrollo de la porosidad secundaria, debido a la disolución del mismo.

El cemento de cuarzo autigénico es de color negro y se encuentra ocupando espacio poroso, este cemento es posterior a la depositación de los granos de cuarzo detríticos porque estos granos están en contacto uno con otro, sin embargo el cemento de cuarzo se disuelve y crea porosidad secundaria.

Se observa la presencia de fracturas en los granos detríticos que han sido selladas por cemento de cuarzo de color negro, algunas de las fracturas son insitu producto del contacto entre los granos. También se observan fracturas pero en

color blanco, probablemente esto es indicativo de que están abiertas. Generalmente la cantidad de cemento de cuarzo que sella las fracturas es insignificante. Es necesario resaltar que las fracturas en los granos detríticos no se observan por petrografía convencional y tampoco en las imágenes de backscattering solamente se observan en las imágenes de catodoluminiscencia.

Se sugiere la existencia de tres etapas de cementación de cuarzo:

1.-La primera etapa ocurre en forma de sobrecrecimiento con temperaturas entre 59°C - 68°C.

2. Posterior a esta primera precipitación ocurre una segunda etapa de precipitación de cuarzo entre 75°C – 78°C localizadas en los granos de cuarzo detríticos y feldespatos.

3. La tercera etapa de cementación de cuarzo ocurre entre 78°C – 80°C según datos de inclusiones de fluidos secundarias localizadas en los sobrecrecimientos de cuarzo.

Los procesos diagenéticos característicos son los siguientes:

- Compactación mecánica y química
- Alteración de aluminosilicatos a arcillas
- Transformación de la caolinita en illita
- Mineral de arcilla interestratificado illita/esmectita
- Arcilla autigénica clorita
- Arcilla autigénica illita
- Cementación de cuarzo
- Reemplazamiento de feldespato de potasio por cuarzo
- Disolución de feldespatos y fragmentos de roca.
- Disolución de cemento de cuarzo
- Cemento de dolomita

A través de las imágenes de catodoluminiscencia se pudo determinar mayor cantidad de cemento de cuarzo que por petrografía convencional, en 2 de las 3 muestras analizadas (Gráfico 1).

Gráfico 1 . Comparación resultados de petrografía vs. Catodoluminiscencia del pozo Maco-1x.

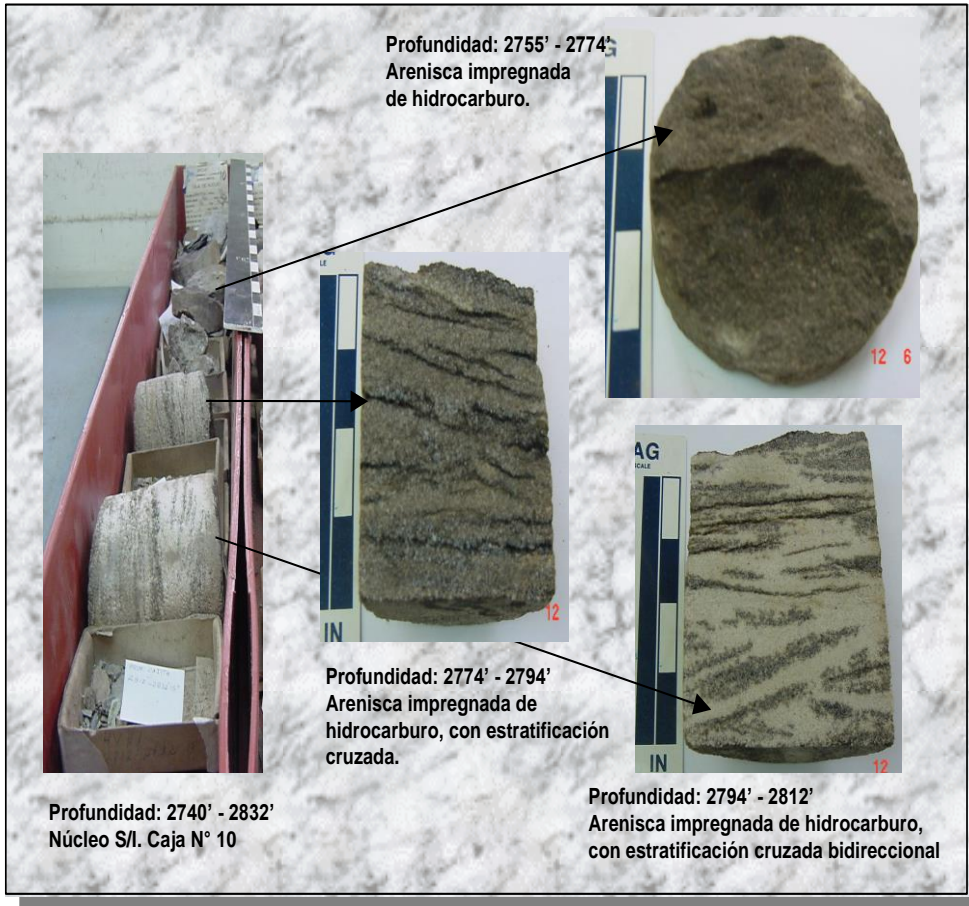
5.2 Pozo Hato Viejo N° 1

En este capítulo se mostrará una breve descripción sedimentológica de los núcleos de arenisca de la Formación Hato Viejo en el pozo Hato Viejo N° 1, así como también, el estudio petrográfico, la interpretación de los datos de inclusiones de fluidos, la interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia con su respectiva imagen de backscattering, los procesos diagenéticos y la secuencia paragenética de estas areniscas.

5.2.1 Breve descripción sedimentológica de los núcleos Paleozoicos del pozo Hato Viejo N° 1

El pozo Hato Viejo N° 1 contienen dentro de su secuencia sedimentaria las formaciones paleozoicas de Carrizal y Hato Viejo así como también el basamento. Solórzano et al (2001) indica que la Formación Hato Viejo en los intervalos de núcleos 2740'-2864' esta compuesto de areniscas, las cuales, están suprayacentes al basamento e infrayacentes a la Formación Carrizal. Estas areniscas son de color beige, muy duras, con estratificación cruzada e impregnadas de crudo, este crudo es de edad Mesozoico superior proveniente de una roca madre de edad Cretácico tardío. A continuación fotos de la Formación Hato Viejo en el pozo Hato Viejo N° 1 (Figura N° 40)

Figura N° 40. Foto de los núcleos de la Formación Hato Viejo en el pozo Hato Viejo N° 1



5.2.2 Estudio petrográfico de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Hato Viejo N° 1

En este capítulo se presentan los resultados del estudio petrográfico realizado a las muestras de areniscas (2755'-2774', 2774'-2794', 2794'-2812', 2850'-2864') de la Formación Hato Viejo en el pozo Hato Viejo N° 1. Los datos petrográficos se presentan en una tabla en Excel (Anexo 3).

5.2.2.1 Características texturales y clasificación de las areniscas del pozo Hato Viejo N° 1

El análisis modal en las areniscas permitió la determinación de los porcentajes de los componentes detríticos, componentes autigénicos, cementos, matriz y porosidad. Así mismo, se determinaron los parámetros texturales como el tamaño de los granos, el escogimiento y la redondez. Las muestras fueron clasificadas según Hussin (1991) modificado por Pilloud et al (1998). Se analizaron 5 muestras las cuales son areniscas.

El análisis petrográfico revela que el tamaño de grano promedio es de fino a medio (Figura N° 41) y el tamaño de grano máximo de muy grueso (Figura N° 42). La textura de las areniscas es la siguiente: Los granos varían desde subangulares hasta subredondeados y presentan una esfericidad generalmente baja, el escogimiento de estos granos varía de muy malo a moderadamente bueno. Los contactos son de tipo longitudinal, cóncavo - convexo, tangencial y suturado.

Figura N° 41. Muestra 2794'-2812'. Arenisca. Amplificación 2,5. Nícoles paralelos. Pozo Hato Viejo N° 1. Tamaño de grano.

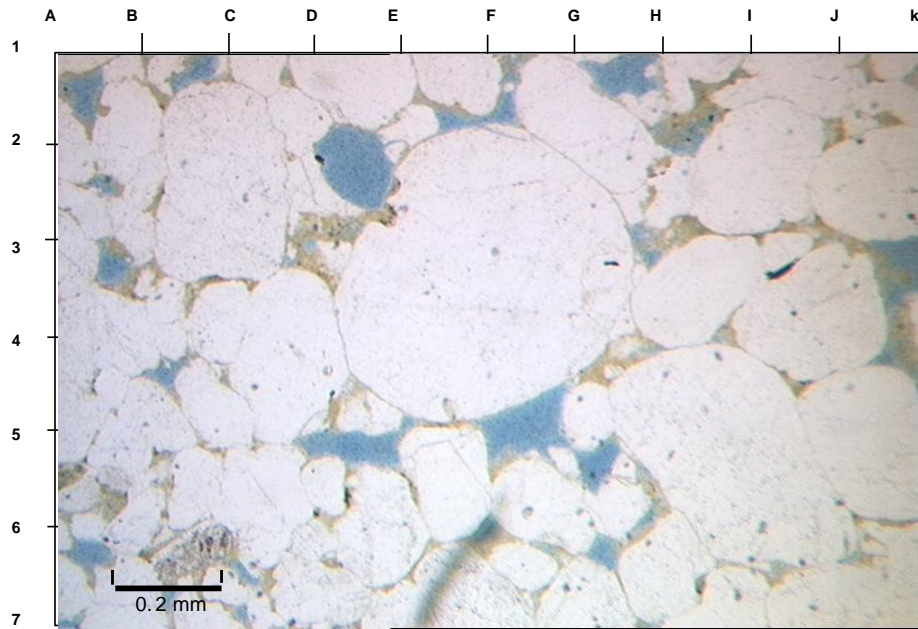
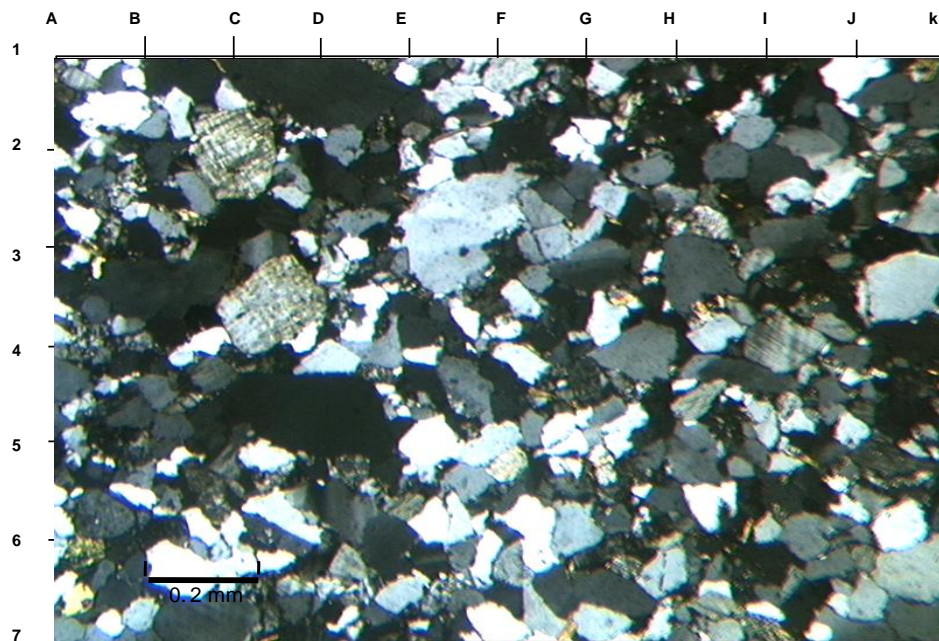


Figura 42. Muestra 2755'-2774'. Arenisca. Amplificación 2,5. Nícoles cruzados. Pozo Hato Viejo N° 1. Tamaño de grano.



a) Componentes detríticos

Como minerales detríticos se presentan el cuarzo monocristalino, el cuarzo policristalino, los feldespatos (microclino y plagioclasa), los fragmentos de roca, las micas y los minerales pesados.

El cuarzo monocristalino es el principal componente detrítico de las areniscas con valores entre 29% y 62,4%. Seguidamente se muestra el cuarzo policristalino con valores entre 12,5% y 42%. Los feldespatos alcanza valores de hasta 8,8%, entre los feldespatos se observan los de tipo microclino y plagioclasa. Los feldespatos están alterándose a minerales de arcilla (Figura N° 43)

Las micas muestran deformación y a la vez se observa transformación de micas en minerales de arcilla, se presenta con valores entre 0,8% y 15%. Los minerales pesados se observan en cantidades trazas y los fragmentos de roca entre 0,8% y 4,8%.

b) Porosidad

Las areniscas presentan porosidad promedio de 5%. Generalmente, la porosidad es de tipo intergranular y por disolución (feldespatos y arcillas). La porosidad intergranular se muestra con valores entre 2,5% y 3% y la porosidad por disolución desde cantidades trazas hasta 6%. Sin embargo la porosidad se ve afectada por la presencia de arcilla (Figura N° 44).

Figura N° 43. Muestra 2774'-2794'. Arenisca. Amplificación 2,5. Nícoles paralelos. Pozo Hato Viejo N° 1. Feldespatos alterándose a minerales de arcilla (H-3.5; K-6.5; B.5-6.5)

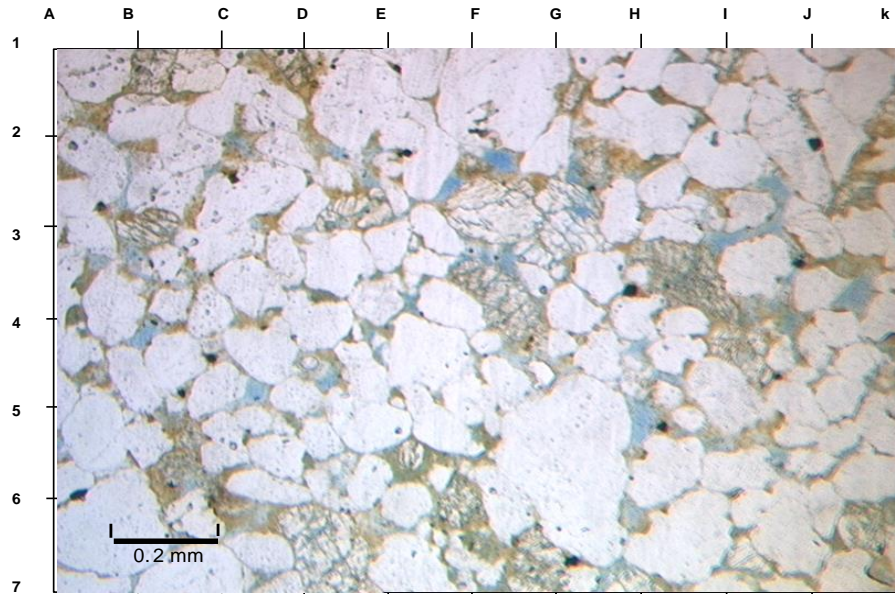
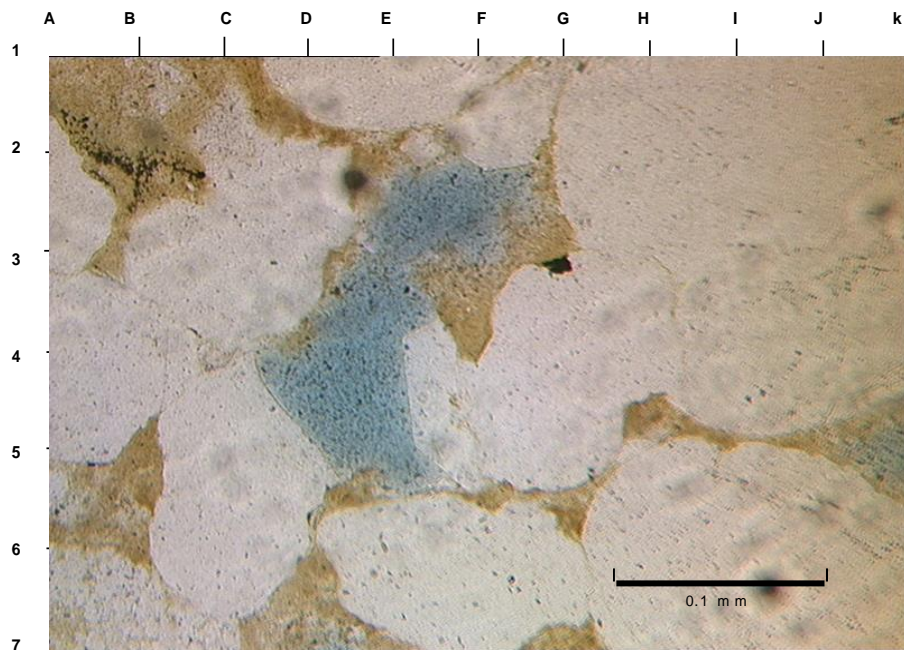


Figura N° 44. Muestra 2794'-2812'. Arenisca. Amplificación 10x. Nícoles paralelos. Pozo Hato Viejo N° 1. Obstrucción de la porosidad por minerales de arcilla (B-5.5, F-3).



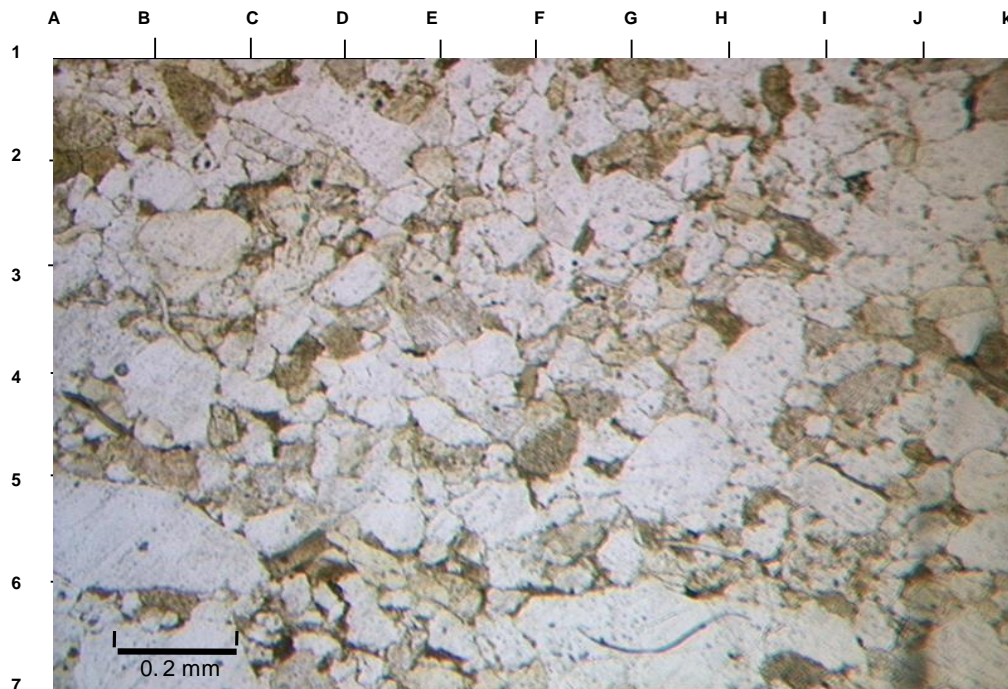
c) Componentes autigénicos

Como minerales autigénicos se presenta la pirita, el óxido de hierro y el cemento de sílice. La pirita se observa desde cantidades trazas hasta 1,5%, el óxido de hierro con 0,5% y el cemento de sílice con valores que oscilan desde 2% hasta 5%.

c) Matriz

La matriz es arcillosa se observa con valores entre 4,4% 20,4%, (Figura N° 45) en algunos casos se observa porosidad secundaria debido a la disolución de las arcillas. Solórzano et al. (2001). Los análisis de difracción de rayos x determinan la presencia de arcilla entre 6% y 44% de tipo clorita e illita.

Figura N° 45. Muestra 2755'-2774'. Arenisca. Amplificación 2,5x. Nícoles paralelos. Pozo Hato Viejo N° 1. Matriz arcillosa.



5.2.3 Inclusiones de fluidos

Con base en la información recopilada en la literatura y los datos de temperaturas de homogenización (Tabla 3) de soluciones acuosas de inclusiones primarias y secundaria se sugiere las siguientes etapas de cementación.

En el **pozo Hato Viejo N°1** las inclusiones primarias localizadas en el borde de los granos de cuarzo son predominantemente monofases sugiriendo que las temperaturas de comienzo de precipitación de cemento de cuarzo están por debajo de los 65°C. Según datos de inclusiones de fluidos secundarias localizadas en los granos de cuarzo detríticos y feldespatos existe una etapa de cementación de cuarzo posterior a la primera que ocurre entre 107°C – 118°C.

Tabla 3. Datos de inclusiones de fluidos del pozo Maco-1x. Tomado de Fluid Inclusion Technologies, Inc (2003).

POZO	MUESTRA	NUMERO DE MEDIDAD	Th (°C)	ORIGEN	OBSERVATION
Hato Viejo N° 1	2774'-2794'	1	107	secundaria	cuarzo detrítico
	2774'-2794'	1	118	secundaria	cuarzo detrítico
	2774'-2794'	1	114	secundaria	feldespat detrítico
	2774'-2794'	5	< 65	primarias	borde de grano de cuarzo
	2794'-2812'	7	< 65	primarias	borde de grano de cuarzo

5.2.4 Estudio de imágenes de catodoluminiscencia de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Hato Viejo N° 1

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos de la interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia con su respectiva imagen de backscattering de las muestras 2755'-2774' y 2794'-2812'. A continuación se mostrarán los mosaicos de catodoluminiscencia con su respectivo mosaico en backscattering de las muestras 2755'-2774' (Figura N° 46, N° 47) y 2794'-2812' (Figura N° 48, N° 49).

Figura N° 46. Muestra 2755'-2774'. Mosaico de catodoluminiscencia (CL). Pozo Hato Viejo N° 1

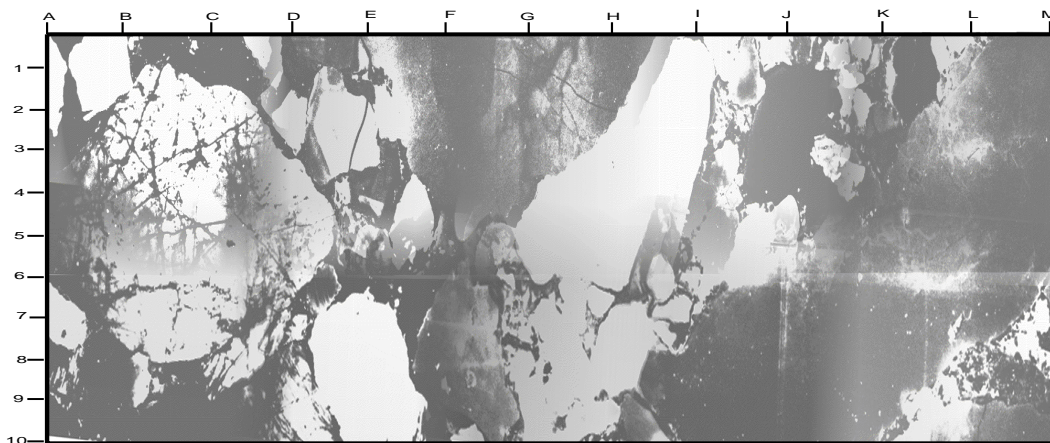
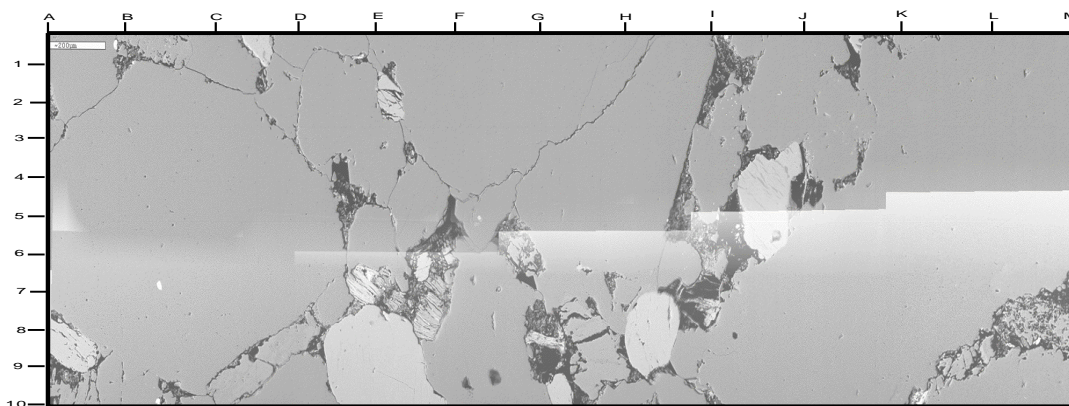
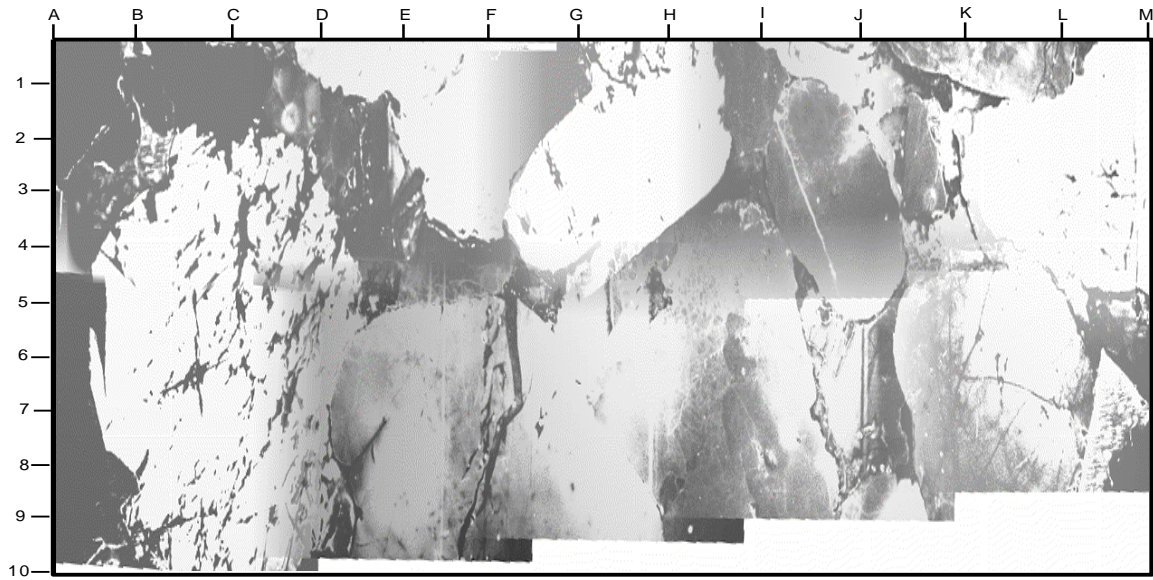


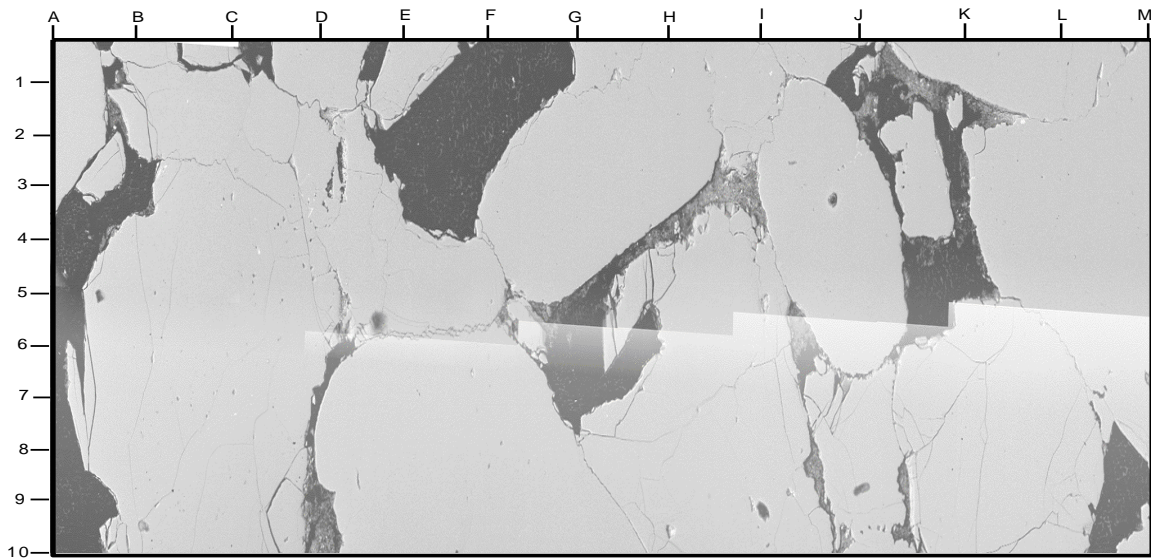
Figura N° 47. Muestra 2755'-2774'. Mosaico backscattering (BS). Pozo Hato Viejo N° 1.



**Figura N° 48. Muestra 2794'-2812'. Mosaico de catodoluminiscencia (CL).
Pozo Hato Viejo N° 1.**



**Figura N° 49. Muestra 2794'-2812'. Mosaico backscattering.
Pozo Hato Viejo N° 1.**



5.2.4.1 Características Texturales y mineralógicas de las muestras a través del estudio e interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia del pozo Hato Viejo N° 1.

a) Variaciones detríticas

El cuarzo detrítico desde blanco brillante hasta gris oscuro (Figura N° 50, N° 51). Los granos detríticos muestran forma angular a subredondeada. Los granos detríticos están en contacto uno con otro indicando que el cemento de cuarzo es autigénico y posterior a la depositación de los granos detríticos. También se observa la presencia de feldespatos en colores blancos, sin embargo su presencia es confirmada con la imagen de backscattering los feldespatos se disuelven y crean porosidad secundaria.

b) Variaciones autigénicas

El cemento de cuarzo autigénico es de color negro (Figura N° 52, N° 53) y es posterior a la depositación de los granos detríticos, porque los granos detríticos están en contacto uno con otro. El cemento de cuarzo autigénico se encuentra ocupando espacio poroso, así como también, cementando las fracturas que se observan en los granos de cuarzo (Figura N° 50, N° 51).

Figura N° 50. Muestra 2755'-2774'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Hato Viejo N° 1. Cuarzo detrítico en colores blanco (D-1) y gris oscuro, fracturado (H-5). Contacto entre los granos detríticos (E.5-2.5). Feldespato (K-1). Cemento de cuarzo (B-4, L.5-1, J-2).

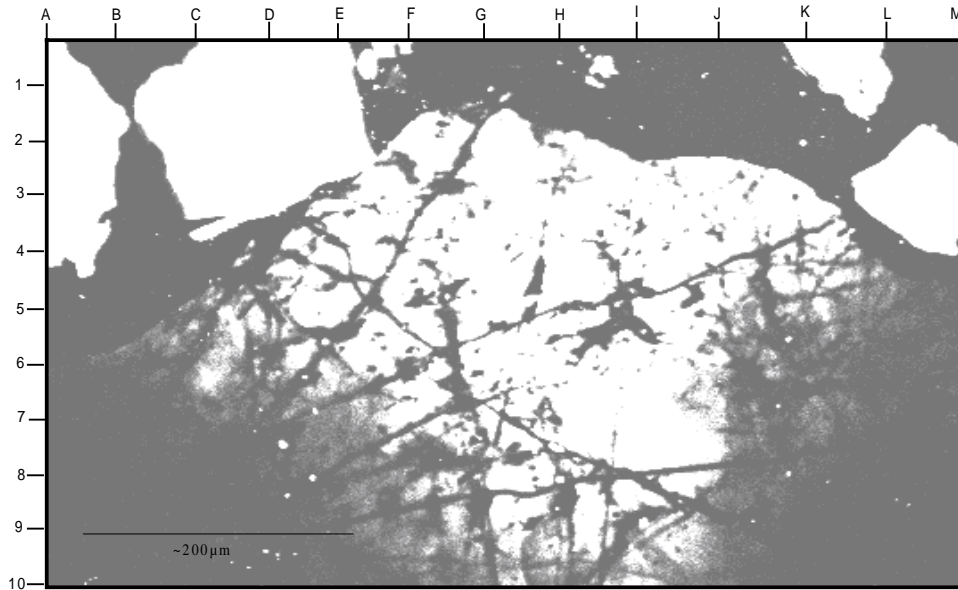


Figura N° 51. Muestra 2755'-2774'. Imagen de Backscattering. Pozo Hato Viejo N° 1

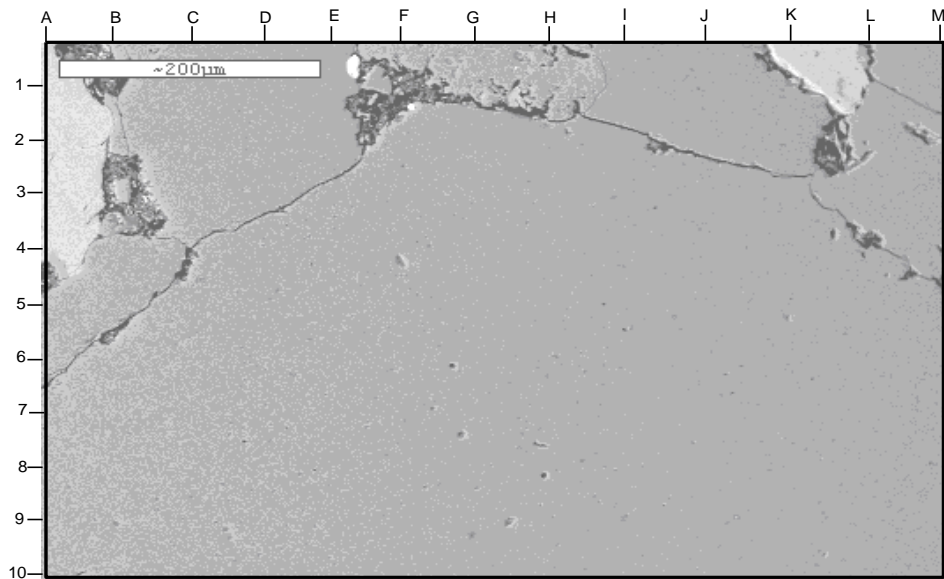


Figura N° 52. Muestra 2755'-2774'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Hato Viejo N° 1. Cuarzo detrítico (D-2, G-1). Cemento de cuarzo autigénico de color negro (L-4, B-9). Porosidad por disolución de arcillas (J-2). Feldespatos (G-7)

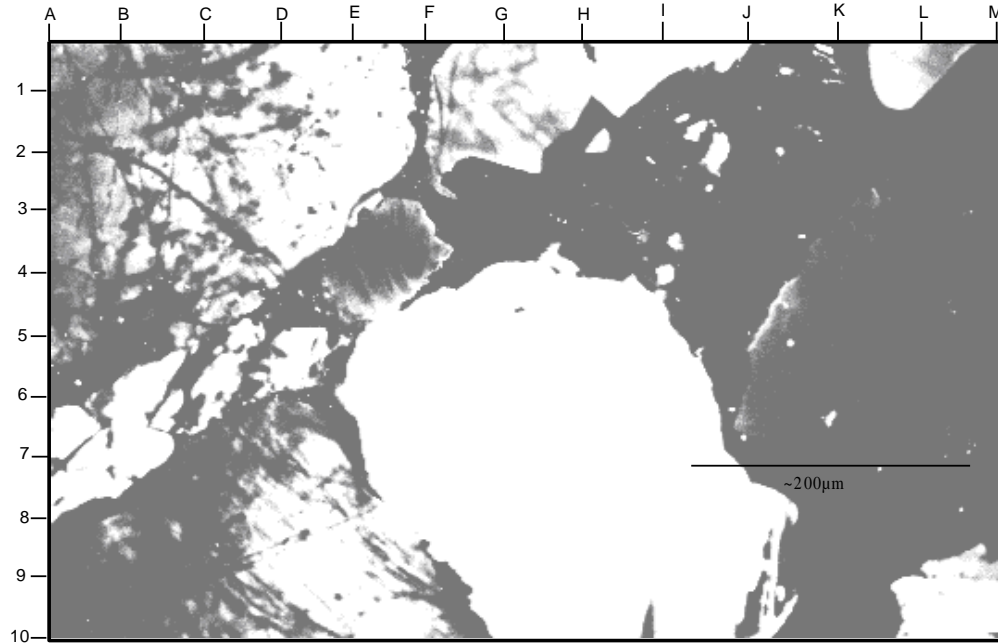
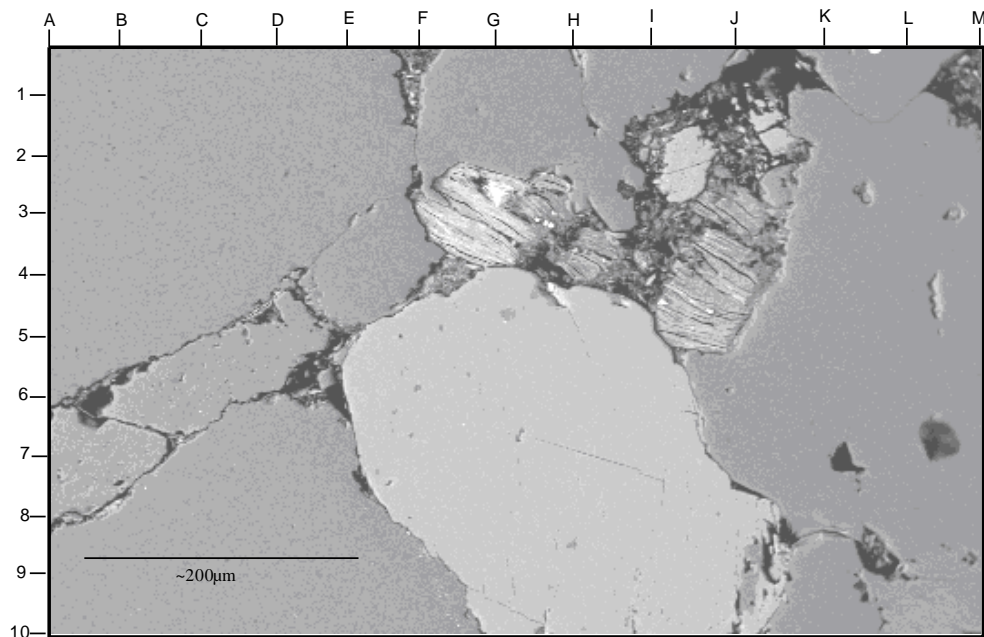


Figura 53. Muestra 2755'-2774'. Imagen de Backscattering. Pozo Hato Viejo N° 1



C) Fracturamiento del grano y sellamiento

Se observa la presencia de fracturas en los granos detríticos que han sido selladas por cemento de cuarzo de color negro, estas fracturas son insitu producto del contacto entre los granos (Figura N° 54, N° 55). Generalmente la cantidad de cemento de cuarzo que sella las fracturas es insignificante.

d) Porosidad

La porosidad observada en las imágenes de catodoluminiscencia y backscattering es secundaria producto de la disolución de arcillas.

Figura N° 54. Muestra 2794'-2812'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Hato Viejo N° 1. Fracturamiento (L-2,4; C-2) de grano de cuarzo detrítico (H-4, C-6), cemento de cuarzo (L.5-1).

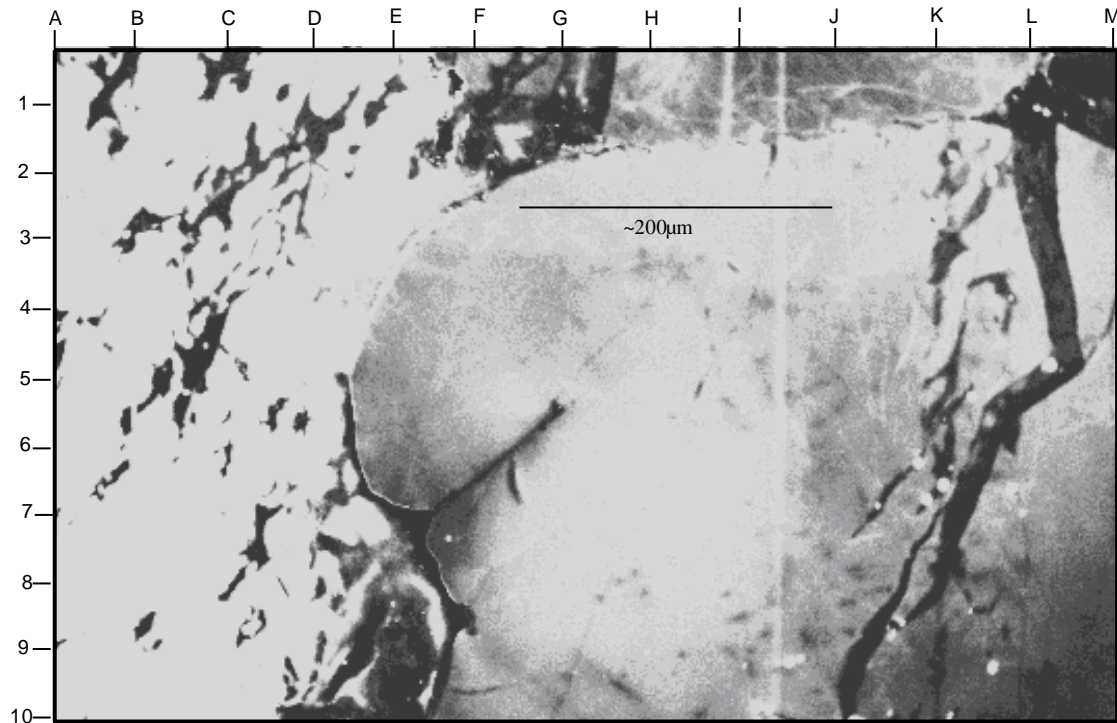
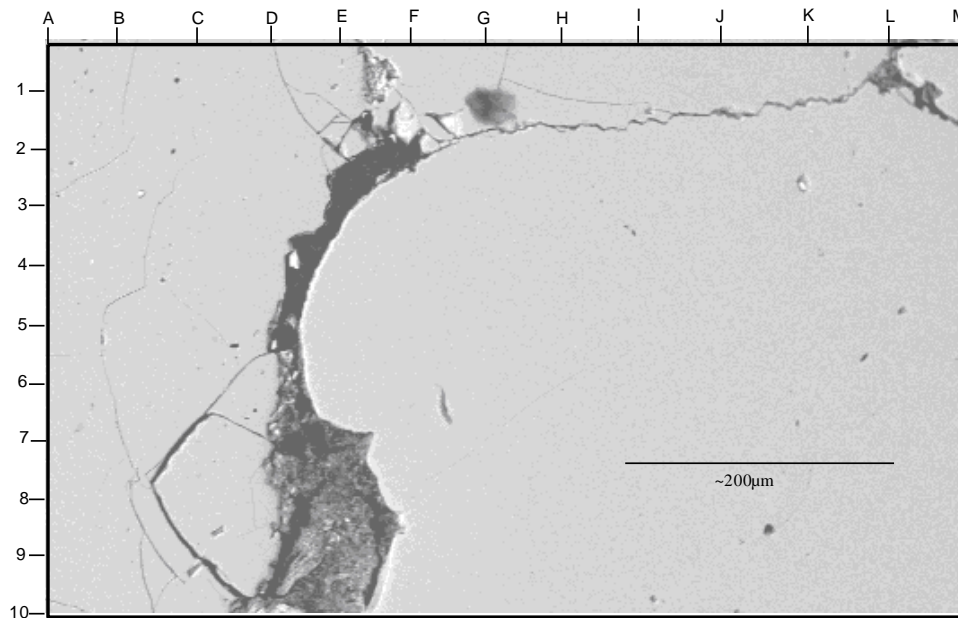


Figura N° 55. Muestra 2794'-2812'. Imagen de Backscattering

Después de analizar las imágenes de catodoluminiscencia se procedió a contabilizar los minerales presentes en especial el cemento de cuarzo en el pozo Hato Viejo N° 1 (Anexo 4).

5.2.5 Diagenesis de las areniscas de la formación Hato Viejo en el pozo Hato Viejo N° 1

A través del análisis petrográfico, inclusiones de fluidos y difracción de Rayos-X se identificaron los procesos diagenéticos y secuencia paragenética en las areniscas de la Formación Hato Viejo del pozo Hato Viejo N° 1.

5.2.5.1 Procesos diagenéticos

- Compactación mecánica
- Alteración de aluminosilicatos a arcillas
- Mineral de arcilla interestratificado Iilita/esmectita
- Arcilla autigénica clorita
- Arcilla autigénica Iilita
- Cementación de cuarzo
- Disolución de feldspatos y arcillas.

Compactación mecánica

La compactación mecánica está presente en los sedimentos por el reacomodo de los granos en un empaquetamiento mas compacto y por la deformación dúctil de las micas entre los granos de cuarzo y fracturamiento de los granos.

Alteración de aluminosilicatos a arcillas

Las principales alteraciones de los aluminosilicatos son las micas a minerales de arcilla. Solórzano et al. (2001). Los análisis de mineralogía de arcillas determinaron la presencia de I/S, Iilita y clorita.

Mineral de arcilla interestratificado illita/esmectita

Solórzano et al. (2001). Los análisis de mineralogía de arcilla reportan 100% de illita/esmectita de tipo ordenado.

Cementación de cuarzo

El proceso de cementación de cuarzo es un proceso que inhibe la porosidad, este es obstruido por la presencia de arcillas y es escaso. Probablemente existen dos etapas de cementación de cuarzo:

1.- La primera etapa en forma de sobrecrecimiento de cuarzo con temperaturas por debajo de los 65°C.

2.- la segunda etapa localizada en los granos de cuarzo y feldespatos con temperaturas entre 107°C – 118°C.

Disolución de feldespatos y arcillas

Mediante análisis petrográficos, se observó disolución de feldespatos y arcillas (Figura N° 44), lo cual, trae como consecuencia la generación de porosidad secundaria.

Arcilla autigénica illita








Solórzano et al. (2001). Los análisis de difracción de Rayos X, para la fracción menor de 2 micras determinaron la presencia de illita en las muestras de arenisca. Con porcentajes entre 52-26.

Arcilla autigénica Clorita

Solórzano et al. (2001). Los análisis de difracción de Rayos X, para la fracción menor de 2 micras determinaron la presencia de clorita en las muestras de arenisca con porcentajes entre 48 y 74.

5.2.5.2 Secuencia paragenética del pozo Hato Viejo N° 1

La secuencia paragenética de las areniscas del intervalo 2755'-2864' de la Formación Hato Viejo en el pozo Hato Viejo N° 1 es la siguiente:

PROCESOS	EOGENESIS HASTA 75°C	MESOGENESIS 75°C – 200°C
COMPACTACION MECANICA		
CEMENTACION DE CUARZO (1) <65C CEMENTACION DE CUARZO (2) 107C– 118C		
DISOLUCION DE FELDESPATOS Y ARCILLAS		
ALTERACION DE MICAS A ARCILLAS		
TRANSFORMACION DE ESMECTITA EN ILITA		
CLORITA		

→
Profundidad

5.5.6 Resumen de los resultados petrográficos, de catodoluminiscencia e inclusiones de fluidos de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Hato Viejo N° 1

El análisis petrográfico revela que el tamaño de grano promedio es de fino a medio (Figura N° 41) y el tamaño de grano máximo de muy grueso (Figura N° 42). La textura de las areniscas es la siguiente: Los granos varían desde subangulares hasta subredondeados y presentan una esfericidad generalmente baja, el escogimiento de estos granos varía de muy malo a moderadamente bueno. Los contactos son de tipo longitudinal, cóncavo - convexo, tangencial y suturado. El cuarzo monocristalino es el principal componente detrítico de las areniscas. La porosidad es de tipo intergranular y por disolución (feldespatos y arcillas).

El cemento de cuarzo autigénico es de color negro y es posterior a la depositación de los granos detríticos, porque los granos detríticos están en contacto uno con otro. El cemento de cuarzo autigénico se encuentra ocupando espacio poroso, así como también, cementando las fracturas que se observan en los granos de cuarzo. Se observa la presencia de fracturas en los granos detríticos que han sido selladas por cemento de cuarzo de color negro, estas fracturas son insitu producto del contacto entre los granos. Generalmente la cantidad de cemento de cuarzo que sella las fracturas es insignificante.

Los procesos diagenéticos característicos son los siguientes:

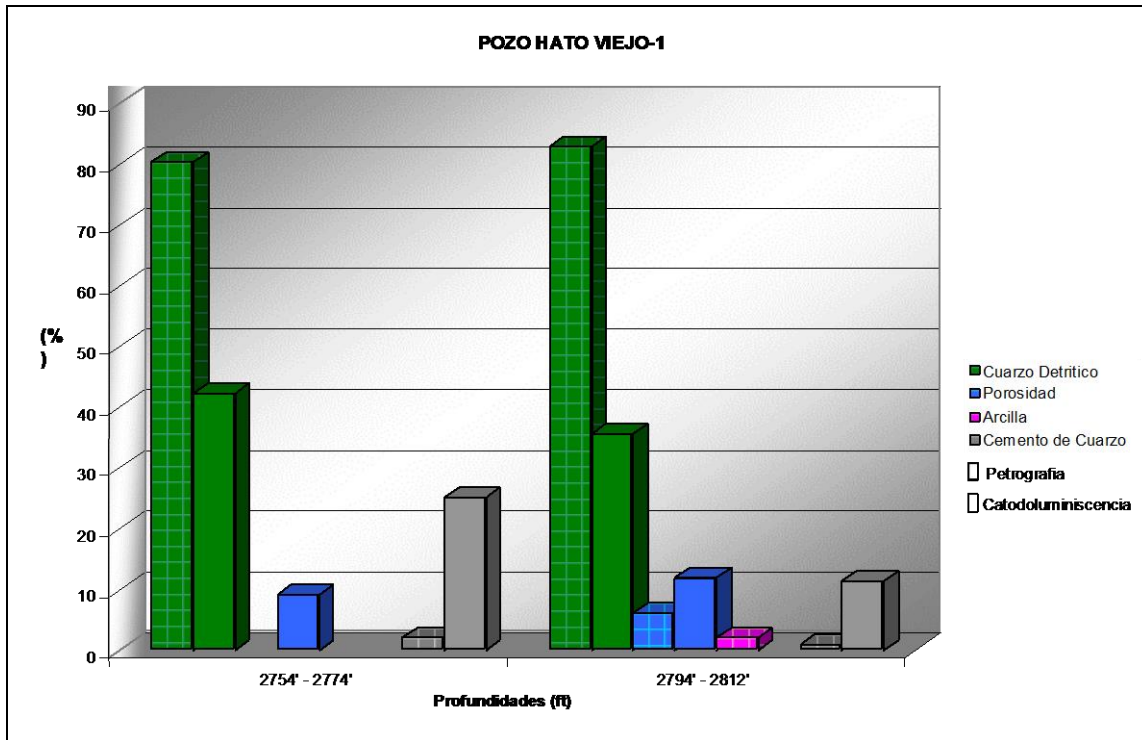
- Compactación mecánica
- Alteración de aluminosilicatos a arcillas
- Mineral de arcilla interestratificado Ilita/esmectita
- Arcilla autigénica clorita,
- Arcilla autigénica ilita
- Cementación de cuarzo
- Disolución de feldespatos y arcillas.

Se sugiere la existencia de 2 etapas de cementación de cuarzo:

- 1.- La primera etapa en forma de sobrecrecimiento de cuarzo con temperaturas por debajo de los 65°C.
- 2.- la segunda etapa localizada en los granos de cuarzo y feldespatos con temperaturas entre 107°C – 118°C.

A través de las imágenes de catodoluminiscencia se pudo determinar mayor cantidad de cemento de cuarzo, que por petrografía convencional (Gráfico 2).

Gráfico 2. Comparación resultados de petrografía vs. Catodoluminiscencia del pozo Hato Viejo N° 1



5.3 Pozo Suata-1

En capítulo se mostrara una breve descripción sedimentológica de los núcleos de arenisca de la Formación Hato Viejo en el pozo Suata-1, así como también, el estudio petrográfico, la interpretación de los datos de inclusiones de fluidos, la interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia con su respectiva imagen de backscattering, los procesos diagenéticos y la secuencia paragenética de estas areniscas.

5. 3.1. Breve descripción sedimentológica de los núcleos Paleozoicos del pozo Suata-1

El pozo Suata-1 contienen dentro de su secuencia sedimentaria las formaciones paleozoicas de Carrizal y Hato Viejo. Solórzano et al. (2003). El pozo Suata-1 presenta areniscas de la Formación Hato Viejo (54,86 m de espesor), localizadas en los intervalos de núcleos 2741'-2561", son de color beige, muy duras y muestran la presencia de óxido de hierro. A continuación fotos de la Formación Hato Viejo en el pozo Suata-1x (Figura N° 56)

Figura N° 56. Foto de los núcleos de la Formación Hato Viejo en el pozo Suata-1



5.3.2. Estudio petrográfico de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Suata-1

En este capítulo se presentan los resultados del estudio petrográfico realizado a las muestras 2655'-2659', 2575'-2580', 2620'-2624', 2561'-2568' del pozo Suata-1. Los datos petrográficos se presentan en una tabla, generada con el programa de computación Excel (Anexo 5).

5.3.2.1 Características texturales y clasificación de las areniscas del pozo Suata-1.

El análisis modal en las areniscas permitió la determinación de los porcentajes de los componentes detríticos, componentes autigénicos, cementos, matriz y porosidad. Así mismo, se determinaron los parámetros texturales como el tamaño de los granos, el escogimiento y la redondez. Las muestras fueron clasificadas según Hussin (1991) modificado por Pilloud et al. (1998) (Figura N° 2). Según esta clasificación las 4 muestras analizadas son areniscas (Anexo 5). El análisis petrográfico revela, que en las areniscas el tamaño de grano promedio es de medio a grueso, y el tamaño de grano máximo varía de grueso a muy grueso. El escogimiento de los granos varía de moderado a bueno. La redondez de los granos oscila de angular a subredondeado, escasamente se presentan granos redondeados.

a) Componentes detríticos

Como minerales detríticos se presentan el cuarzo monocristalino, el cuarzo policristalino, los feldespatos potásicos (microclina y ortosa) y los feldespatos calcosódicos como la plagioclasa tipo albita, también se observa el chert, los fragmentos de rocas, las micas y los minerales pesados. El cuarzo monocristalino es el principal componente detrítico de las areniscas, se presenta con valores entre 28,3% y 49,8%, en algunos casos se observa sustitución de feldespato de potasio por cuarzo (Figura N° 57, N° 58).

Figura N° 57. Muestra 2655'-2659'. Arenisca. Nícoles cruzados. Amplificación 10x. Pozo Suata-1. Sustitución de feldespato de potasio por cuarzo (burbujitas), la zona demarcada con una línea de color rojo es donde se observa el proceso de reemplazamiento.

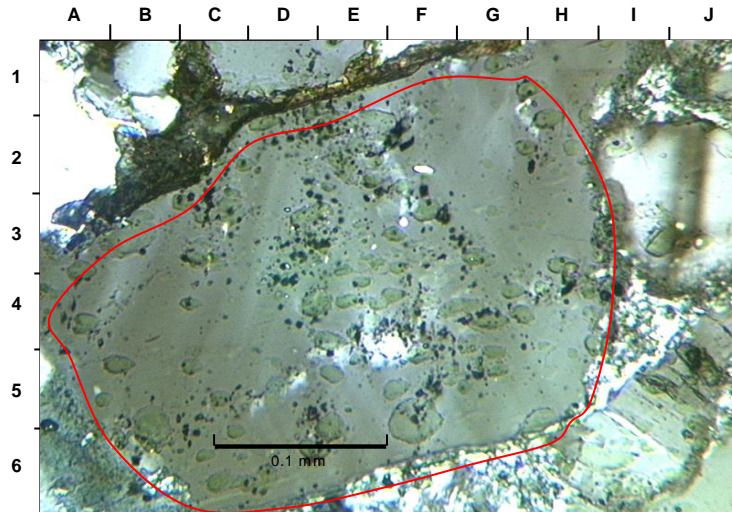
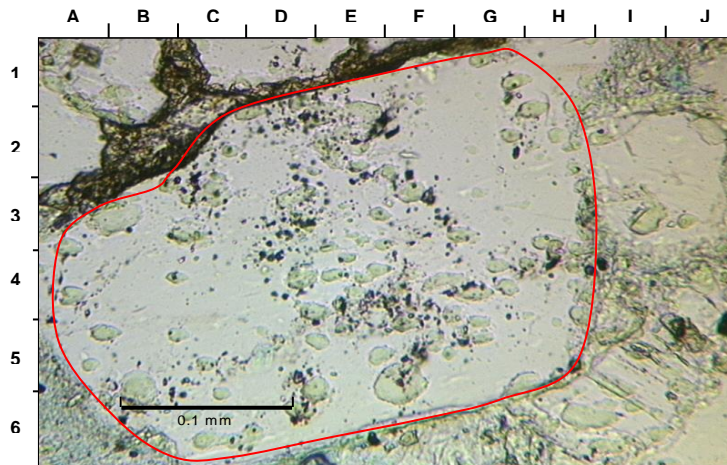


Figura N° 58. Muestra 2655'-2659'. Arenisca. Nícoles paralelos. Amplificación 10x. Pozo Suata-1. Sustitución de feldespato de potasio por cuarzo (burbujitas) la zona demarcada con una línea de color rojo es donde se observa el proceso de reemplazamiento.



Seguidamente se observa mayor proporción de feldespatos, se presenta el feldespato potásico tipo microclino con valores que oscilan entre 0,6% y 2%, el feldespato potásico tipo ortosa entre 8,6% y 20%, las plagioclasas tipo albita con valores entre 2,6% y 10%. En general los feldespatos varían entre 11,8% y 32% y en algunos casos están alterándose a minerales tipo arcilla (Figura N° 60) o disolviéndose creando porosidad secundaria (Figura N° 59)

Figura N° 59. Muestra 2561'-2568'. Arenisca. Nícoles paralelos. Amplificación 10x. Pozo Suata-1. Porosidad secundaria (F-3.5, C-3)

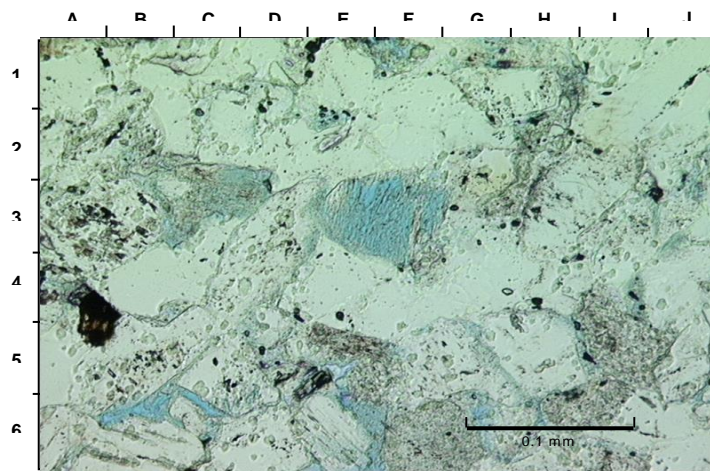
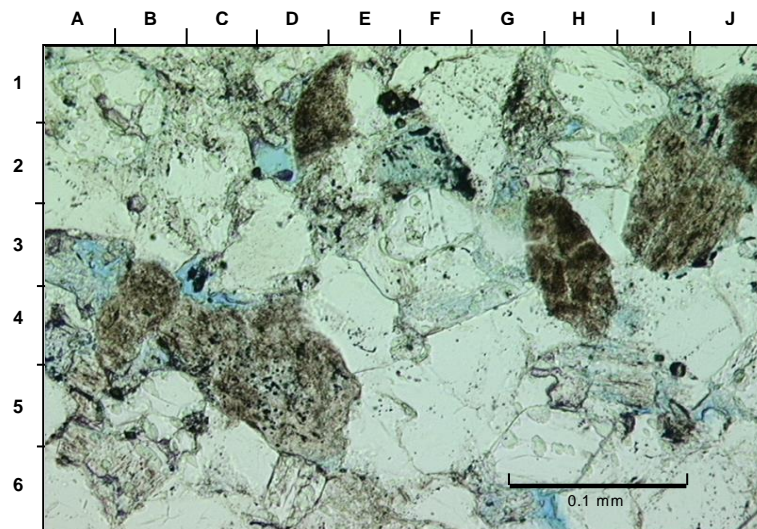


Figura N° 60. Muestra 2561'-2568'. Arenisca. Nícoles paralelos. Amplificación 10x. Pozo Suata-1. Transformación de feldespatos en minerales de arcilla (J-3, C-4.5, H-4)



En menor proporción se presentan, el cuarzo policristalino, el chert, las micas, los fragmentos de roca y los minerales pesados (circón). El cuarzo policristalino se presenta en menor proporción con valores que oscilan entre 1% y 4,6%. El chert se muestra desde cantidades trazas hasta 0,6%. Los fragmentos de roca tanto sedimentarios como ígneos se presentan entre 1% y 3,6%, estos fragmentos también se disuelven y crean porosidad secundaria (Figura N° 61 y N° 62). Los minerales pesados (circón) solo se presentan en cantidades trazas (Figura N° 63). Las micas se muestran desde trazas hasta 2,3%, en algunos casos las micas están deformadas (Figura N° 64) y también están alterándose a minerales de arcilla.

Figura N° 61. Muestra 2620'-2624'. Arenisca. Nícoles cruzados. Amplificación 10x. Pozo Suata-1. Porosidad secundaria producto de la disolución de fragmentos de roca (E-3, F-4)

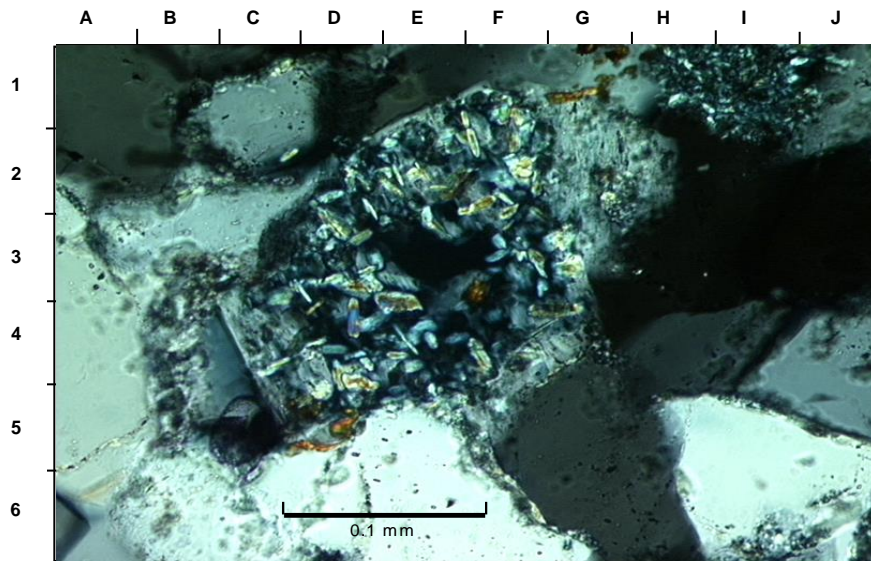


Figura N° 62. Muestra 2620'-2624'. Arenisca. Nícoles cruzados. Amplificación 10x. Pozo Suata-1. Porosidad secundaria producto de la disolución de fragmentos de roca (E-3, F-4).

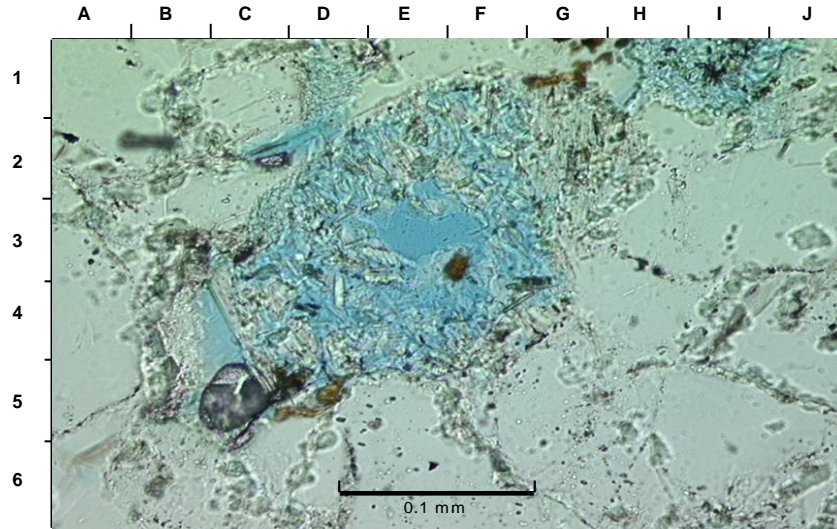


Figura N° 63. Muestra 2655'-2659'. Arenisca. Nícoles paralelos. Amplificación 10x. Pozo Suata-1. Circón (F-5).

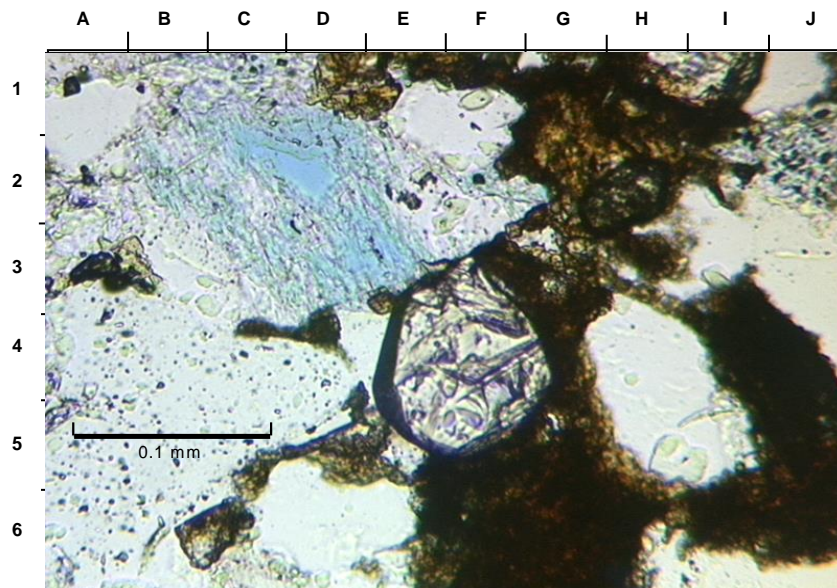
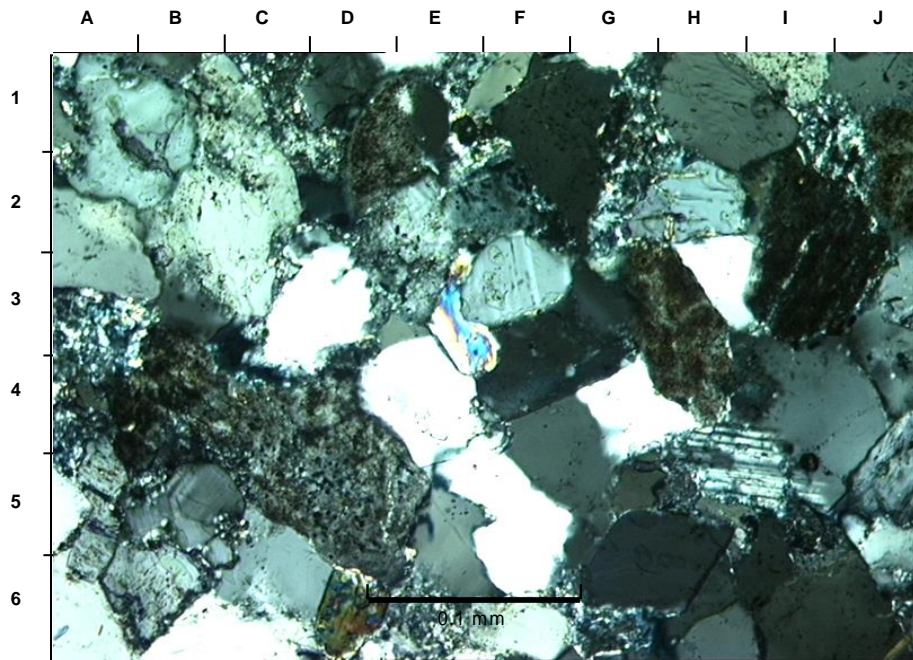


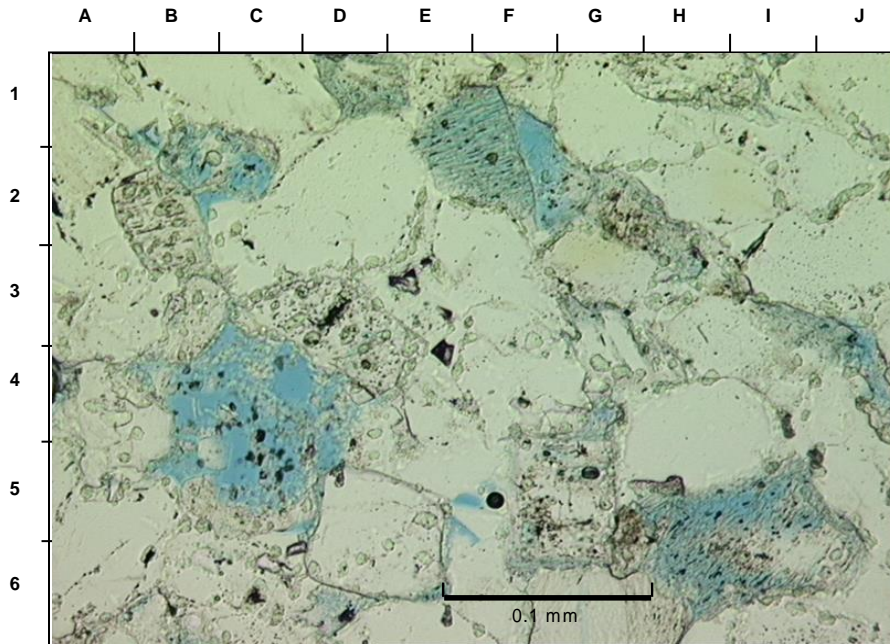
Figura N° 64. Muestra 2561'-2568'. Arenisca. Nícoles cruzados. Amplificación 10x. Pozo Suata-1. Mica deformada (F-4)



e) Porosidad

La porosidad observada en las areniscas generalmente es secundaria, producto de la disolución de feldspatos y fragmentos de roca, aunque también se observan restos de porosidad intergranular con 1% y 0,6%. La porosidad por disolución varía desde cantidades trazas hasta 12,6% (Figura N° 65).

Figura N° 65. Muestra 2620'-2624'. Arenisca. Nícoles paralelos. Amplificación 10x. Pozo Suata-1. Porosidad por disolución de feldespatos (E-1, F-2, I-6), porosidad por disolución de fragmento de roca (c-4.5).



c) Componentes autigénicos

Como minerales autigénicos se presenta el óxido de hierro, cemento de sílice, cemento de dolomita y siderita. El principal cemento de las areniscas es el cemento de sílice (sobrecrecimientos), su abundancia varía desde 15,6% hasta 29%. En algunos casos la intensa recristalización de cuarzo impide ver a través del microscopio la forma original de los granos de cuarzo (Figura N° 66 y 67), También se observa la presencia de cemento de dolomita (Figura N° 68,69,70,71) y óxido de hierro desde cantidades trazas hasta 3%.

d) Matriz

La arcilla es escasa se presenta desde cantidades trazas hasta 3%.

Figura N° 66. Muestra 2575'-2580'. Arenisca. Nícoles cruzados. Amplificación 20x. Pozo Suata-1. Cemento de sílice (I-4, F-2.5, D-3).

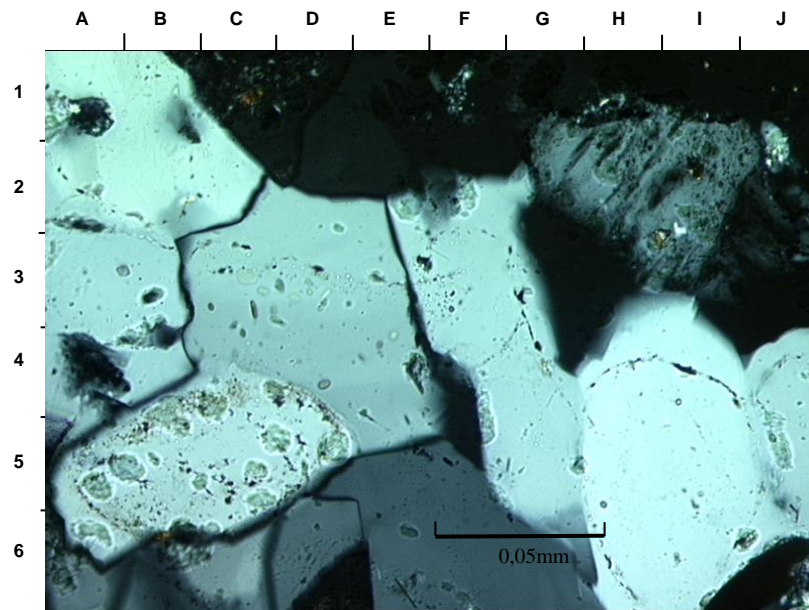


Figura N° 67. Muestra 2575'-2580'. Arenisca. Nícoles paralelos. Amplificación 20x. Pozo Suata-1. Cemento de sílice (I-4, F-2.5, D-3)

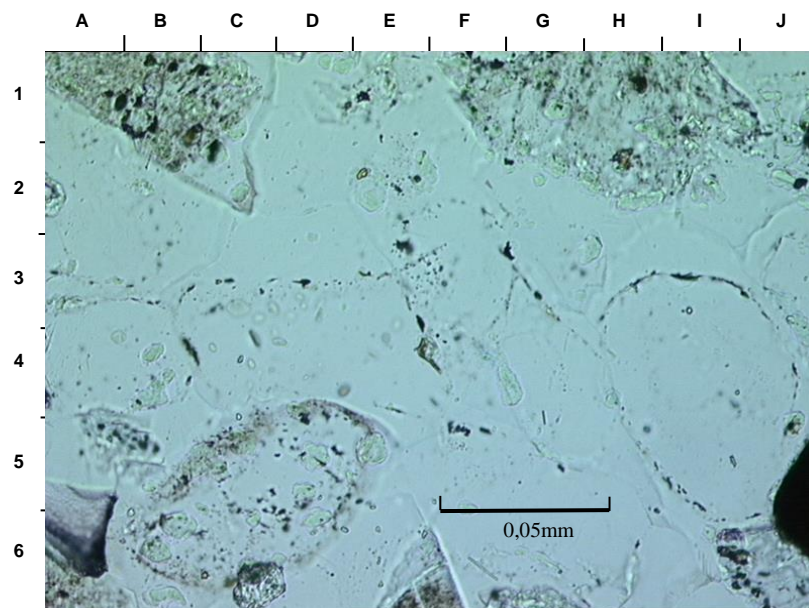


Figura N° 68. Muestra 2575'-2580'. Arenisca. Nícoles cruzados. Amplificación 10x. Pozo Suata-1. Cemento de dolomita (H-4, C-1.5, A-5)

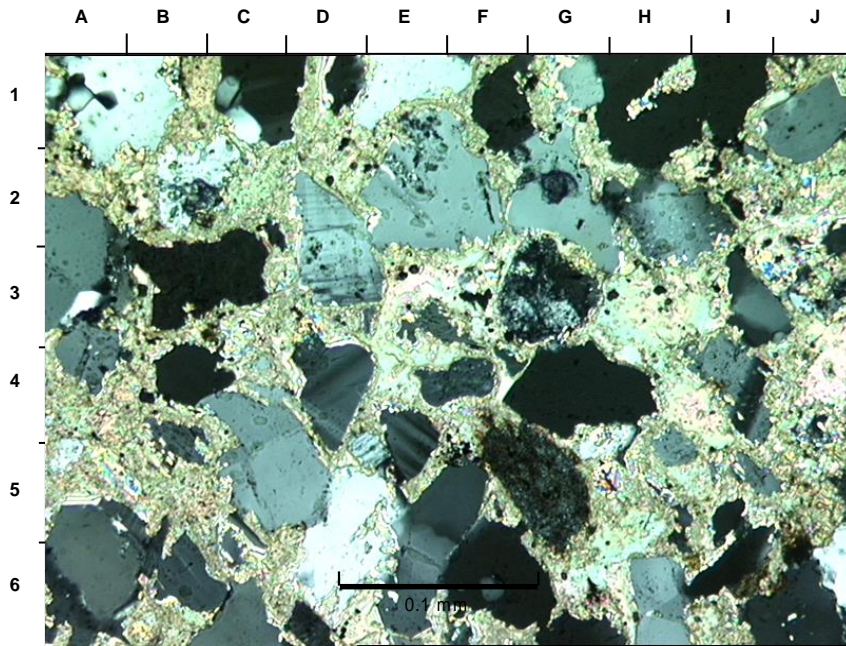


Figura N° 69. Muestra 2575'-2580'. Arenisca. Nícoles paralelos. Amplificación 10x. Pozo Suata-1. Cemento de dolomita (I-2, B-3.5, B-6.5)

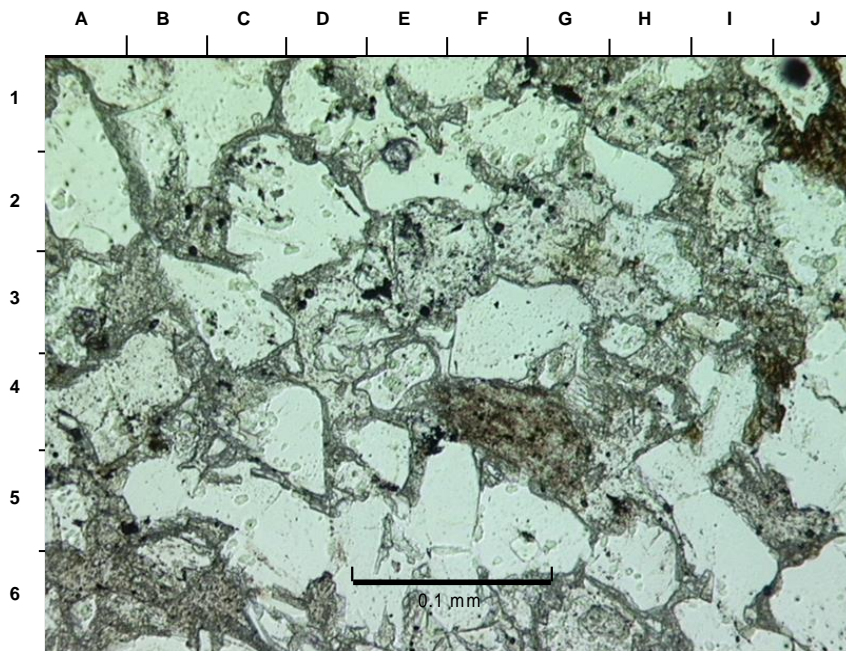


Figura N° 70. Muestra 2655'-2659'. Nícoles paralelos. Amplificación 10x. Pozo Suata-1. Rombos de dolomita posterior a la disolución de feldespato (I-3.5, D-2.5).

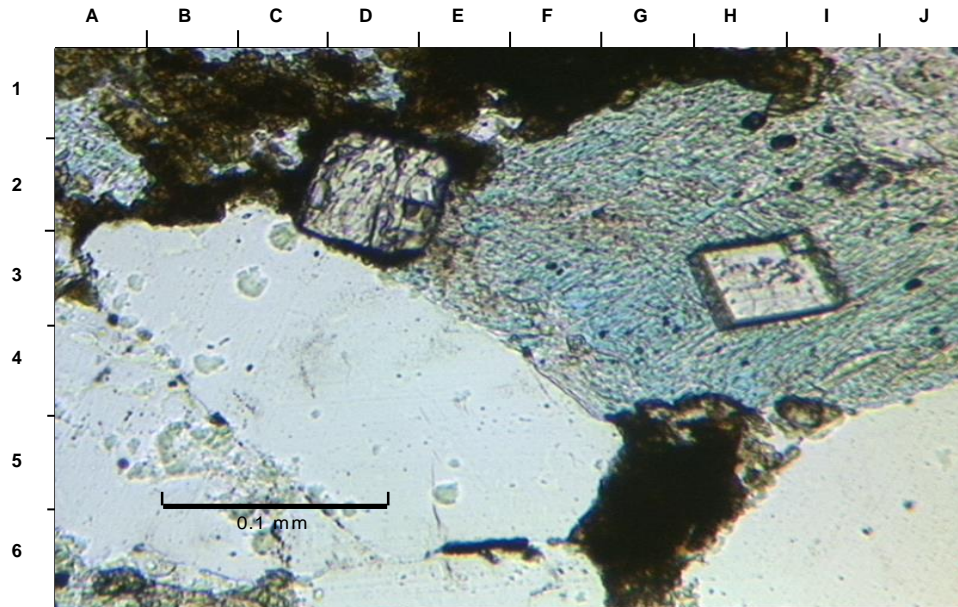
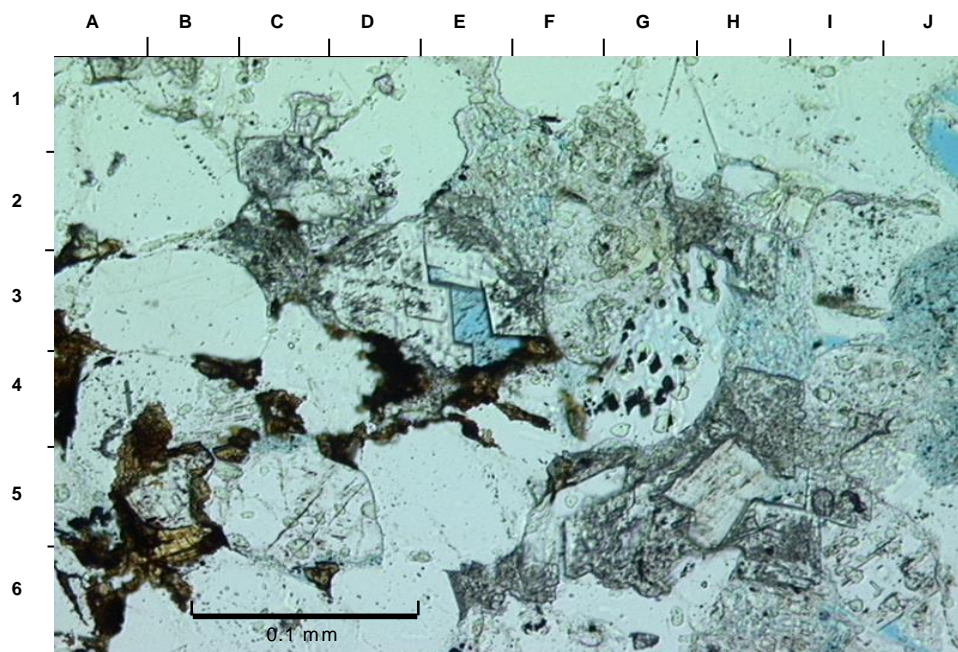


Figura N° 71. Muestra 2620'-2624'. Nícoles paralelos. Amplificación 10x. Pozo Suata-1. Cemento de dolomita obstruyendo la porosidad (E-3).



5.2.3 Inclusiones de fluidos

Con base en la información recopilada en la literatura y los datos de temperaturas de homogenización (Tabla 4) de soluciones acuosas de inclusiones primarias y secundaria se sugiere las siguientes etapas de cementación.

En **el pozo Suata -1** con base en los datos de inclusiones de fluidos primarias localizadas en el sobrecrecimiento de cuarzo la precipitación de cemento de cuarzo comenzó entre 60°C – 80°C. Posterior a esta etapa y con base en los datos de inclusiones secundarias localizadas en el sobrecrecimiento de cuarzo existe una segunda precipitación de cuarzo que comienza entre 100°C – 115°C. La temperatura máxima de soterramiento es de 115°C.

Tabla 4. Datos de inclusiones de fluidos del pozo Suata-1. Tomado de Fluid Inclusion Technologies, Inc (2003).

POZO	MUESTRA	NUMERO DE MEDIDAD	Th (°C)	ORIGEN	OBSERVATION
Suata-1	2575'-2580'	1	91	primaria	borde de grano de cuarzo
	2575'-2580'	1	117	primaria	borde de grano de cuarzo, Th alto?
	2575'-2580'	3	60-70	primaria ?	Sobrecrecimiento
	2575'-2580'	4	70-80	primaria ?	Sobrecrecimiento
	2575'-2580'	1	102	primaria	borde de grano de cuarzo
	2575'-2580'	1	109	primaria	borde de grano de cuarzo
	2575'-2580'	1	77	primaria	borde de grano de cuarzo
	2575'-2580'	5	70-80	primaria	borde de grano de cuarzo
	2620-2624	1	95	primaria	borde de grano de cuarzo
	2620-2625	1	98	primaria	borde de grano de cuarzo
	2620-2626	2	100-110	secundaria	sobrecrecimiento
	2620-2627	1	62	primaria	borde de grano de cuarzo
	2620-2628	1	116	primaria ?	sobrecrecimiento
	2620-2629	2	105-115	secundaria	sobrecrecimiento
	2620-2630	1	69	secundaria	cuarzo detrítico

5.3.4 Estudio de las imágenes de catodoluminiscencia de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Suata-1

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del estudio e interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia tomada a cuatro muestras de areniscas 2561'-2568', 2575'-2580', 2655'-2659' de la Formación Hato Viejo en el pozo Suata-1. En total se procesaron 4 imágenes de catodoluminiscencia con su respectiva imágenes de backscattering.

5.3.4.1 Características texturales y mineralógicas de las muestras a través del estudio e interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia del pozo Suata-1

a) Variaciones detríticas

El cuarzo detrítico desde blanco brillante hasta gris oscuro. Los granos detríticos muestran forma angular a subredondeada. Los granos detríticos están en contacto uno con otro indicando que el sobrecrecimiento es posterior e insitu (Figura N° 72, N° 73). También se observa la presencia de feldespatos en colores blancos, sin embargo su presencia es confirmada con la imagen de backscattering.

b) Variaciones autigénicas

El cemento de cuarzo autigénico es de color negro y es posterior e insitu a la depositación de los granos detríticos (Figura 74, 75), porque los granos detríticos están en contacto uno con otro. Con base a los datos de inclusiones de fluidos y las imágenes de catodoluminiscencia probablemente existan dos etapas de cementación de cuarzo, la primera en forma de sobrecrecimiento de cuarzo ocupando espacio poroso y cementando las fracturas, la segunda reemplazando los feldespatos, y ocupando el resto del espacio poroso. La cantidad de cemento de cuarzo esta entre 17,068% - 73,43%.

Figura N° 72. Muestra 2561'-2568'. Imagen de catodoluminiscencia (CL). Pozo Suata-1. El cuarzo detrítico en colores blanco brillante y gris oscuro (H-4, F-3, E-2) con formas angular a subangulares, están en contacto uno con otro (E-4, F.5-5, B-4.5) indicando que el cemento de cuarzo (B-6, I-4, E-6.5). es negro, posterior e insitu. Se observan feldespatos (F-3,B-5) reemplazados por cuarzo y porosidad por disolución de feldespatos (F-1.5, A.5-1.5). Probablemente dos etapas de cementación de cuarzo, la primera como sobrecrecimiento ocupando espacio poroso y cementando las fracturas, la segunda reemplazando los feldespatos, y ocupando el resto del espacio poroso.

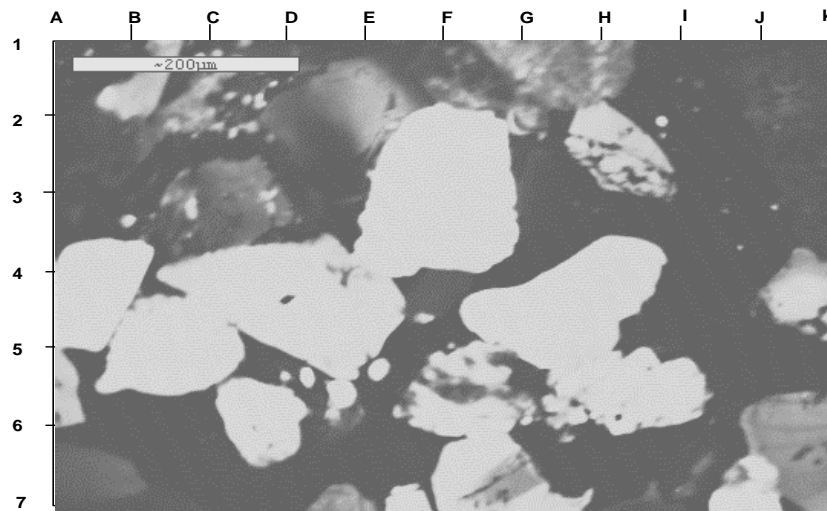


Figura N° 73. Muestra 2561'-2568' Imagen de backscattering. Pozo Suata-1

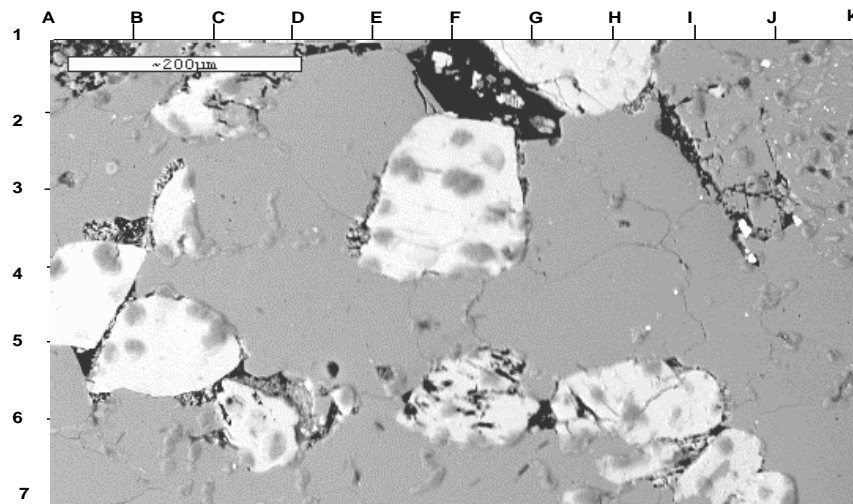


Figura N° 74. Muestra 2575'-2580'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Suata-1. Cuarzo detrítico en colores blanco brillante y tonalidades oscuras (F-6, E-4) el contacto entre los granos detríticos (D.5-4.5) sugiere que el cemento de cuarzo (B-2, I-3, D-6, J-5) es posterior a su depositación. Grano de cuarzo detrítico (F-6) con fracturas cementadas por cuarzo. Feldespatos (G-5, J-7, D-4). Probablemente dos etapas de cementación de cuarzo, la primera como sobrecrecimiento ocupando espacio poroso y cementando las fracturas, la segunda reemplazando los feldespatos y ocupando el resto del espacio poroso.

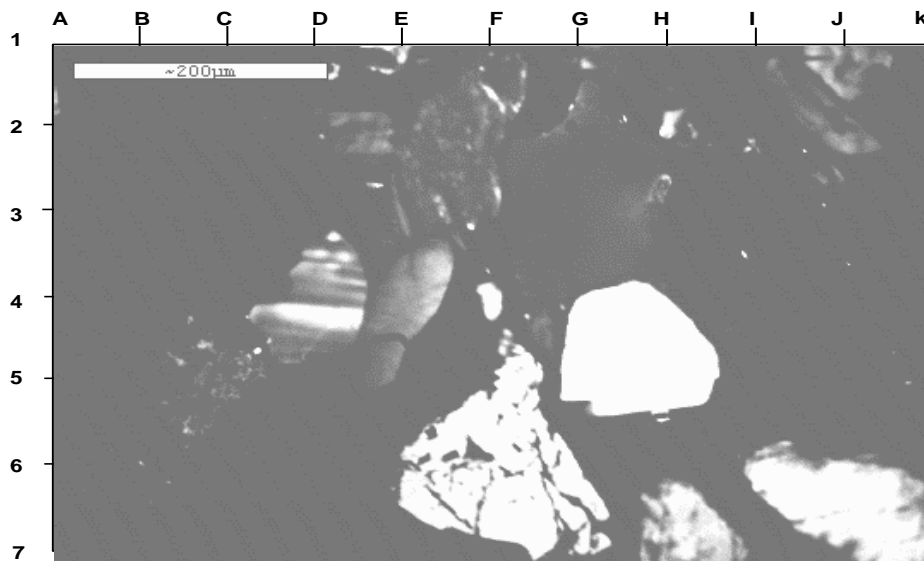
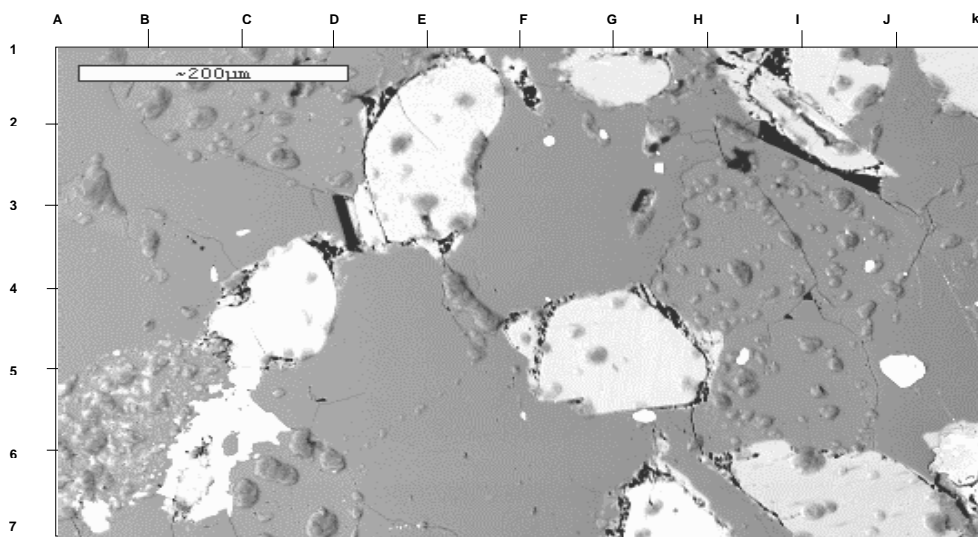


Figura n° 75. Muestra 2575'-2580'. Imagen de backscattering. Pozo Suata-1



c) Fracturamiento del grano y sellamiento

Se observa la presencia de fracturas en los granos detríticos que han sido selladas por cemento de cuarzo, estas fracturas son insitu producto del contacto entre los granos (Figura N° 74, N° 75). También se observan fracturas pero en color blanco, (Figura N° 76, N° 77) probablemente esto es indicativo de que están abiertas. La cantidad de cemento de cuarzo que sella las fracturas es insignificante.

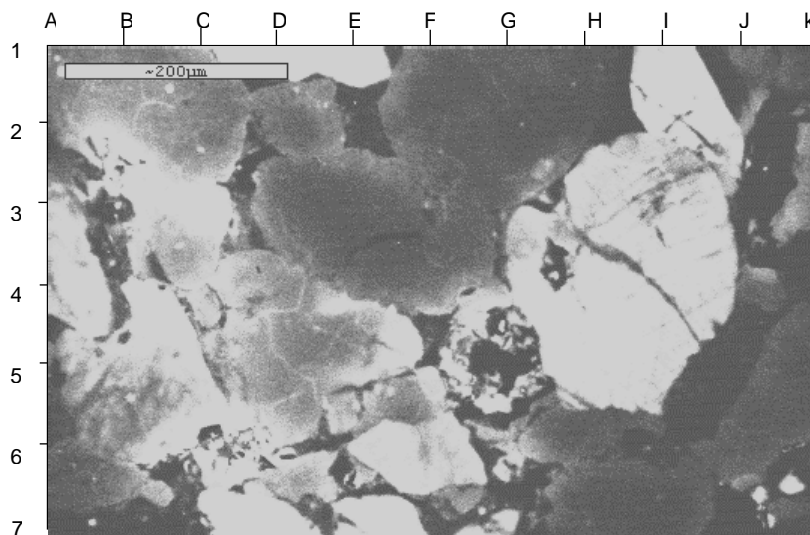
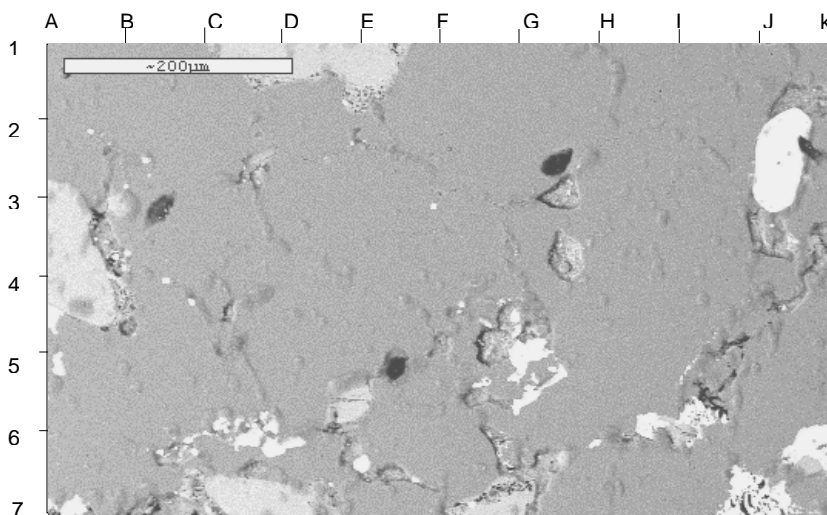
d) Porosidad

Evidentemente la extensiva cementación de cuarzo autigénico en las muestras influyo notablemente en la reducción de la porosidad. Sin embargo, las imágenes de backscattering muestran porosidad por disolución de feldespatos.

Después de analizar las imágenes de catodoluminiscencia se procedió a contabilizar los minerales presentes en especial el cemento de cuarzo en el pozo Suata-1 (Anexo 6)

Figura 76. Muestra 2655'-2659'. Imagen catodoluminiscencia. Pozo Suata-1.

Cuarzo detrítico en colores blanco y gris oscuro (G-2,I-3, D-5, B-1.5) con formas subangulares y están en contacto uno con otro, por lo tanto, el cemento de cuarzo (E-2, J-5, G-6.5) es posterior e insitu a la depositación de estos granos. Presencia de feldespatos (D-1, A-3) reemplazados por cuarzo. Probablemente existan dos etapas de cementación de cuarzo, la primera ocupando el espacio poroso y cementando las fracturas y la segunda reemplazando los feldespatos, y ocupando el resto del espacio poroso.

**Figura N° 77. Muestra 2655'-2659'. Imagen backscattering. Pozo Suata-1.**

5.3.5 Diagenesis de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Suata-1

5.3.5.1 Procesos diagenéticos

A través del análisis petrográfico, inclusiones de fluidos, microscopía electrónica de barrido y difracción de Rayos-X se identificaron los siguientes procesos diagenéticos en las areniscas del pozo Suata-1:

- Compactación mecánica
- Alteración de aluminosilicatos a arcillas
- Cementación de cuarzo
- Reemplazamiento de feldespato de potasio por cuarzo
- Disolución de feldespatos y fragmentos de roca
- Cemento de dolomita

Compactación mecánica

Evidenciado por la presencia de micas deformadas (Figura N° 64) y microfracturas en los granos de cuarzo detrítico.

Alteración de aluminosilicatos a arcillas

Las principales alteraciones de aluminosilicatos que se observaron fueron la alteración de micas y feldespatos (Figura N° 60) a minerales de arcilla.

Reemplazamiento de feldespato de potasio por cuarzo

En todas las muestras estudiadas se observa este proceso reemplazamiento (Figura N° 57, 58)

Cementación de cuarzo

La cementación de cuarzo elimino la porosidad primaria. Se observa dos etapas de cementación de cuarzo:

1.- La primera etapa en forma de sobrecrecimientos de cuarzo con temperaturas entre 60°C - 80°C











2.- La segunda etapa en forma de sobrecrecimiento de cuarzo con temperaturas entre 100°C - 115°C.

Disolución de feldespato y fragmentos de roca

La disolución de feldespato (Figura N° 59) y fragmento de roca es producto de la intensa lixiviación de los granos, lo cual, trae como consecuencia la generación de porosidad secundaria.

5.3.5.2 Secuencia paragenética del pozo Suata-1.

La secuencia paragenética para las arenas del intervalo 2561'-2659' del pozo Suata-1 es la siguiente:

PROCESOS	EOGENESIS HASTA 75°C	MESOGENESIS 75°C - 200°C
Compactación mecánica		
Cementación de cuarzo (1) 60C – 80C		
Cementación de cuarzo (2) 100C – 115C		
Reemplazo de feldespato de Potasio por cuarzo		
Alteración de feldespatos de potasio y micas a arcillas tipo caolinita		
Disolución de feldespato		
Transformación de esmectita en illita		
dolomita ferrosa		

5.3.6 Resumen de los resultados petrográficos, de catodoluminiscencia e inclusiones de fluidos de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Suata-1

El análisis petrográfico revela, que en las areniscas el tamaño de grano promedio es de medio a grueso, y el tamaño de grano máximo varía de grueso a muy grueso. El escogimiento de los granos varía de moderado a bueno. La redondez de los granos oscila de angular a subredondeado, escasamente se presentan granos redondeados. El cuarzo monocristalino es el principal componente detrítico de las areniscas.

La porosidad observada en las areniscas generalmente es secundaria, producto de la disolución de feldspatos y fragmentos de roca, aunque también se observan restos de porosidad.

El principal cemento de las areniscas es el cemento de sílice. En algunos casos la intensa recristalización de cuarzo impide ver a través del microscopio la forma original de los granos de cuarzo. El cemento de cuarzo autigénico es de color negro y es posterior e insitu a la depositación de los granos detríticos, porque los granos detríticos están en contacto uno con otro.

Se observa la presencia de fracturas en los granos detríticos que han sido selladas por cemento de cuarzo, estas fracturas son insitu producto del contacto entre los granos. También se observan fracturas pero en color blanco, probablemente esto es indicativo de que están abiertas. La cantidad de cemento de cuarzo que sella las fracturas esta entre 0,36% - 1,15% .

Los procesos diagenéticos característicos son los siguientes:

- Compactación mecánica
- Alteración de aluminosilicatos a arcillas

- Cementación de cuarzo
- Reemplazamiento de feldespato de potasio por cuarzo
- Disolución de feldespatos y fragmentos de roca
- Cemento de dolomita

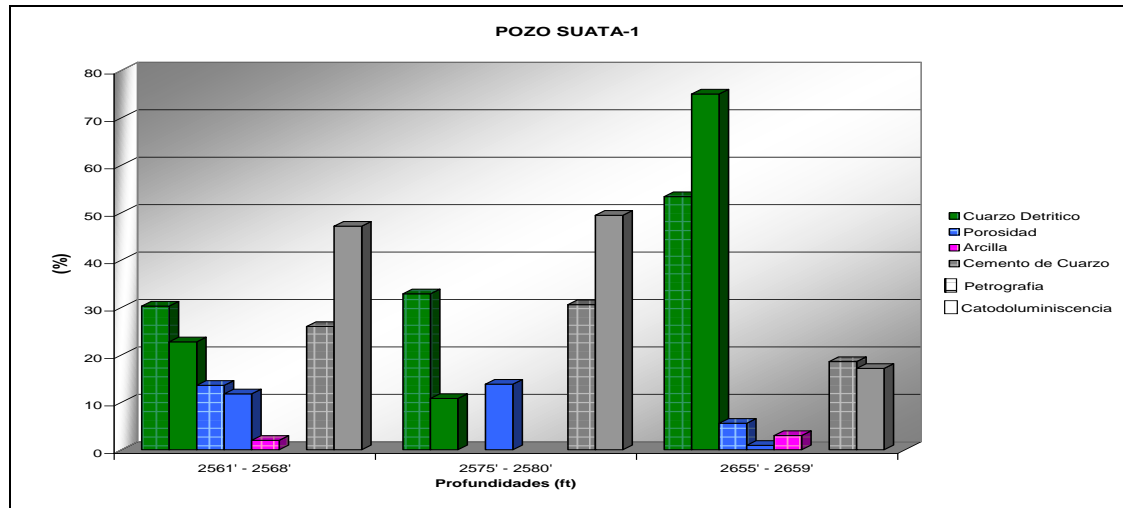
Se sugiere la existencia de dos etapas de cementación de cuarzo:

1.- La primera etapa en forma de sobrecrecimientos de cuarzo con temperaturas entre 60°C - 80°C

2.- La segunda etapa en forma de sobrecrecimientos de cuarzo con temperaturas entre 100°C - 115°C.

A través de las imágenes de catodoluminiscencia se pudo determinar mayor cantidad de cemento de cuarzo que por petrografía convencional, en 2 de las 3 muestras analizadas (Gráfico 3).

Gráfico 3. Comparación resultados de petrografía vs. Catodoluminiscencia del pozo Suata-1.



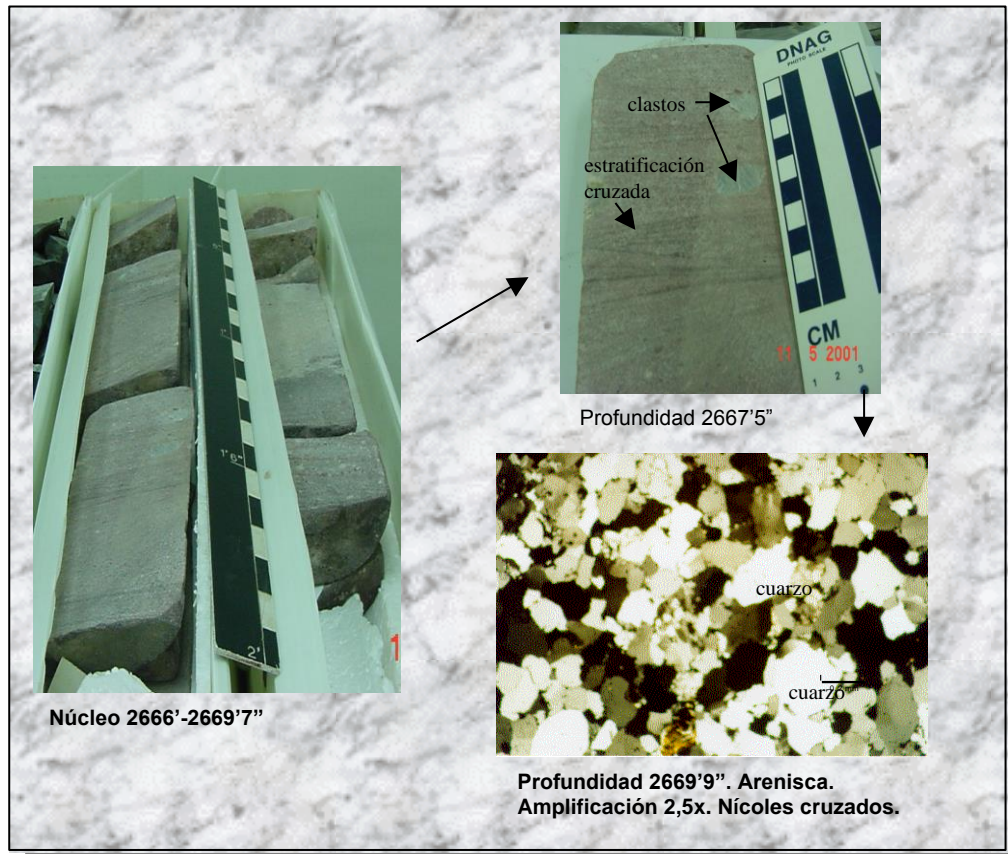
5.4 Pozo SDZ-43X

En capítulo se mostrara una breve descripción sedimentológica de los núcleos de arenisca de la Formación Hato Viejo en el pozo SDZ-43X, así como también, el estudio petrográfico, la interpretación de los datos de inclusiones de fluidos, la interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia con su respectiva imagen de backscattering, los procesos diagenéticos y la secuencia paragenética de estas areniscas.

5.4.1 Breve descripción sedimentológica de los núcleos Paleozoicos del pozo SDZ-43X

El pozo SDZ-43X contienen dentro de su secuencia sedimentaria las formaciones paleozoicas de Carrizal y Hato Viejo. Paredes et al. (2001). Reporta que las areniscas del pozo SDZ-43X localizadas en los intervalos de núcleos 2666'-2669'7" pertenecen a la Formación Hato Viejo (1,22 m de espesor), son de color rosado pálido, duras, con estratificación cruzada y laminaciones paralelas. A continuación fotos de la Formación Hato Viejo en el pozo SDZ-43X (Figura N° 78)

Figura N° 78. Foto de los núcleos de la Formación Hato Viejo en el pozo SDZ-43X.



5.4.2. Estudio petrográfico de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo SDZ-43X

En este capítulo se presentan los resultados del estudio petrográfico realizado a las muestras (2666', 2668', 2669'7") del pozo SDZ-43X. Los datos petrográficos se presentan en una tabla, generada con el programa de computación Excel (Anexo 7)

5.4.2.1 Características texturales y clasificación de las areniscas del pozo SDZ-43X.

El análisis modal en las areniscas permitió la determinación de los porcentajes de los componentes detríticos, componentes autigénicos, cementos, matriz y porosidad. Así mismo, se determinaron los parámetros texturales como el tamaño de los granos, el escogimiento y la redondez. Las muestras fueron clasificadas según Hussin (1991) modificado por Pilloud et al. (1998) (Figura 2). Se analizaron 3 muestras las cuales son areniscas. El análisis petrográfico revela que el tamaño de grano promedio en las areniscas es de medio y el tamaño de grano máximo es muy grueso. Los granos están moderadamente bien escogidos, la esfericidad de los granos es moderada y la redondez de los granos varía de angular a redondeado. Los contactos son de tipo longitudinal, cóncavo - convexo y suturado.

a) Componentes detríticos

Entre los componentes detríticos se observan el cuarzo monocristalino, cuarzo policristalino, chert, fragmentos de roca, micas y minerales pesados. El cuarzo monocristalino es el principal constituyente de las areniscas alcanzando valores de hasta 50,5%. Seguidamente se observa el cuarzo policristalino con valores entre 13% y 14,3%. El chert, los fragmentos de roca, las micas y los minerales pesados se muestran con valores que no sobrepasan el 1%.

b) Porosidad

La porosidad presente es de tipo intergranular y por disolución. La porosidad intergranular se muestra con valores entre 0,5% y 1,3%. La porosidad secundaria es por disolución del cemento de cuarzo (Figura N° 79), arcillas (Figura N° 80, N° 81) y fragmentos de roca, esta porosidad alcanza valores de hasta 7,3%

Figura N° 79. Muestra 2668'. Arenisca. Amplificación 10 x. Nícoles cruzados. Pozo SDZ-43X. Porosidad secundaria por disolución del cemento de cuarzo (F-4, D-5)

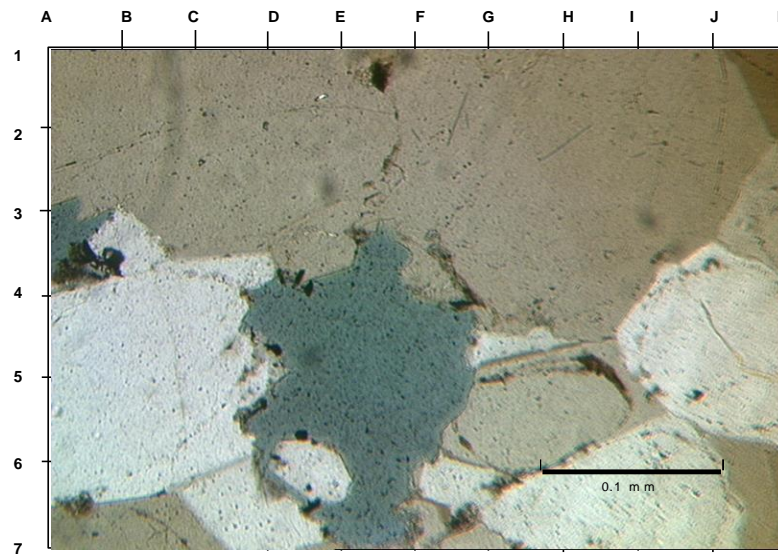


Figura N° 80. Muestra 2668'5". Arenisca. Amplificación 10X. Nícoles cruzados. Pozo SDZ-43X. Porosidad secundaria por disolución de la arcilla (F-2.5, J-3, E-6)

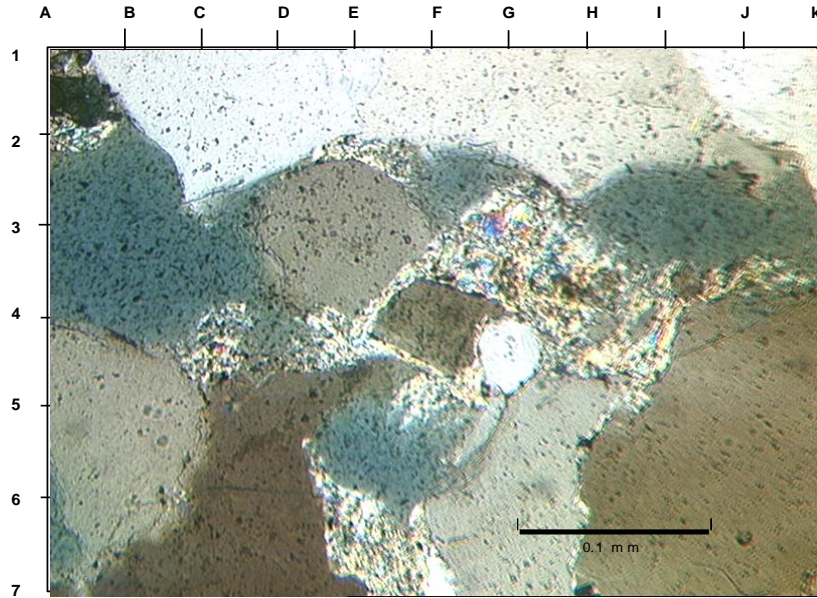
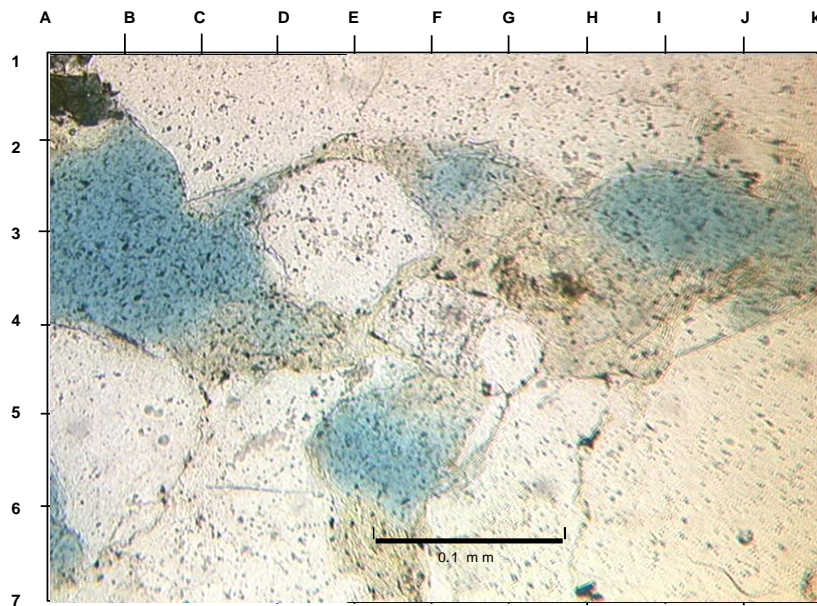


Figura N° 81. Muestra 2668'5". Arenisca. Amplificación 10X. Nícoles paralelos. Pozo SDZ-43X. Porosidad secundaria por disolución de la arcilla (F-2.5, J-3, E-6).



C) Componentes autigénicos

Como componentes autigénicos se presentan la pirita, el óxido de hierro y el cemento de sílice siendo este último de gran abundancia en las muestras. La pirita y el óxido de hierro se muestran en cantidades trazas. El cemento de sílice se presenta con valores entre 24% y 27%.

D) Matriz

Se observa arcilla entre 2,5% y 3,6%, esta arcilla obstaculiza el espacio poroso y a la vez se disuelve creando porosidad secundaria. Paredes et al. (2001). Los análisis de difracción de rayos x determinan 10% y 11% de arcilla en las muestras.

5.4.3 Inclusiones de fluidos

Con base en la información recopilada en la literatura y los datos de temperaturas de homogenización (Tabla 5) de soluciones acuosas de inclusiones primarias y secundarias se sugiere las siguientes etapas de cementación.

En el **pozo SDZ-43X** con base en los datos de inclusiones de fluidos primarias localizadas en el borde del grano de cuarzo detrítico la precipitación de cemento de cuarzo comenzó entre 96°C – 130°C. Posterior a esta etapa y con base en los datos de inclusiones secundarias localizadas en el sobrecrecimiento de cuarzo existe una segunda precipitación de cuarzo que comienza entre 130°C –150°C.

Tabla 5. Datos de inclusiones de fluidos del pozo SDZ-43x. Tomado de Fluid Inclusion Technologies, Inc (2003).

POZO	MUESTRA	NUMERO DE MEDIDAD	Th (°C)	ORIGEN	OBSERVATION
SDZ-43X	2666	1	119	secundaria	sobrecrecimiento
	2666	1	130	primaria	borde de grano de cuarzo
	2666	1	121	primaria	borde de grano de cuarzo
	266'7"	1	96	primaria	borde de grano de cuarzo
	2669'7"	4	140-150	secundaria	sobrecrecimiento
	2669'7"	1	106	secundaria	cuarzo detrítico
	2669'7"	1	96	primaria	borde de grano de cuarzo

5.4.4 Estudio de las imágenes de catodoluminiscencia de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo SDZ-43X

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos del estudio e interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia con sus respectivas imágenes de backscattering tomadas a dos muestras 2666', 2669'. En total se procesaron 16 imágenes de catodoluminiscencia con su respectiva imagen de backscattering. A continuación se mostraran los mosaicos de catodoluminiscencia con sus respectivos mosaicos de backscattering de las muestras 2666' (Figura N° 82, N° 83) y 2669'7" (Figura N° 84, N° 85).

Figura 82. Muestra 2666'. Mosaico de catodoluminiscencia (CL). Pozo SDZ-43X.

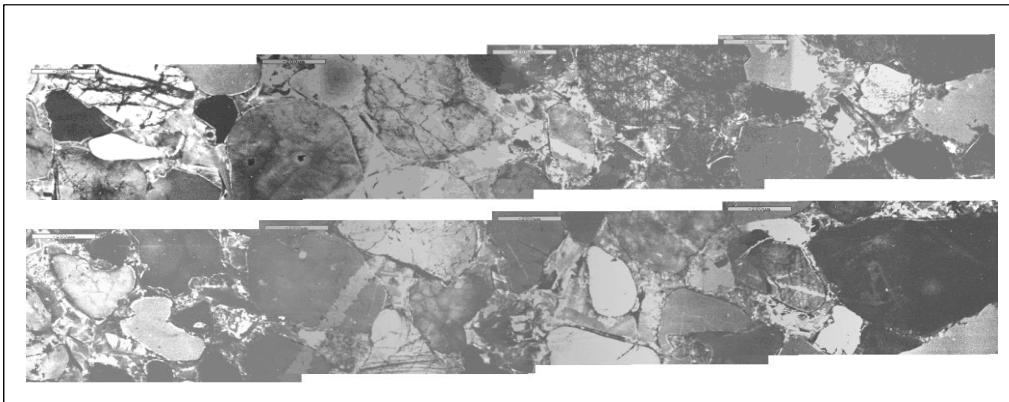
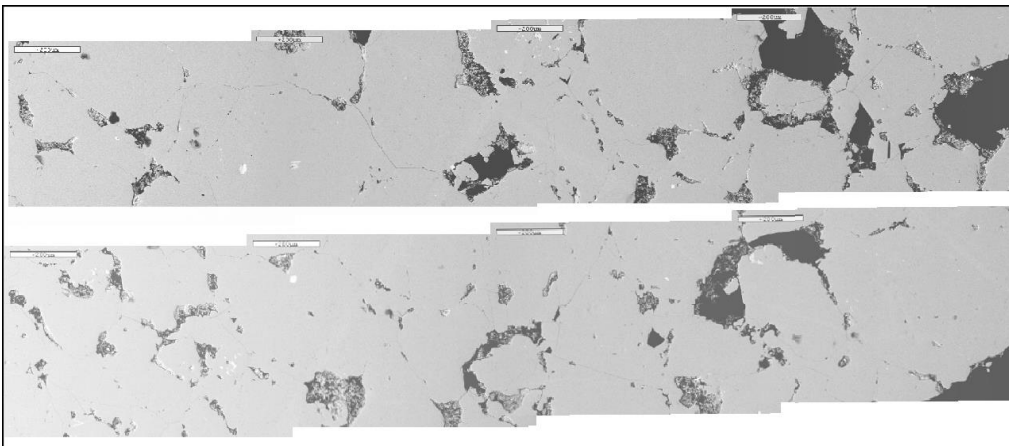


Figura N° 83. Muestra 2666'. Mosaico de backscattering (BS). Pozo SDZ-43X.



**Figura N° 84. Muestra 2669'7". Mosaico de catodoluminiscencia (CL).
Pozo SDZ-43X.**

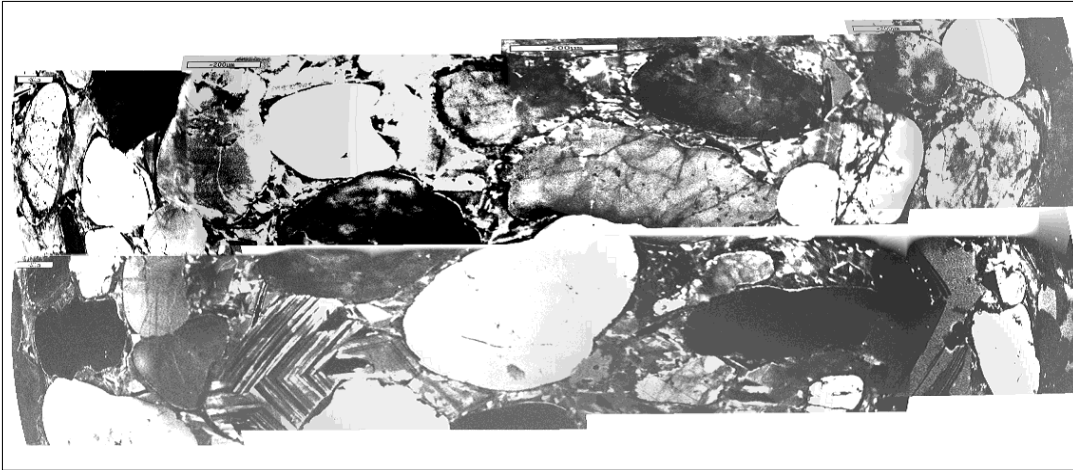
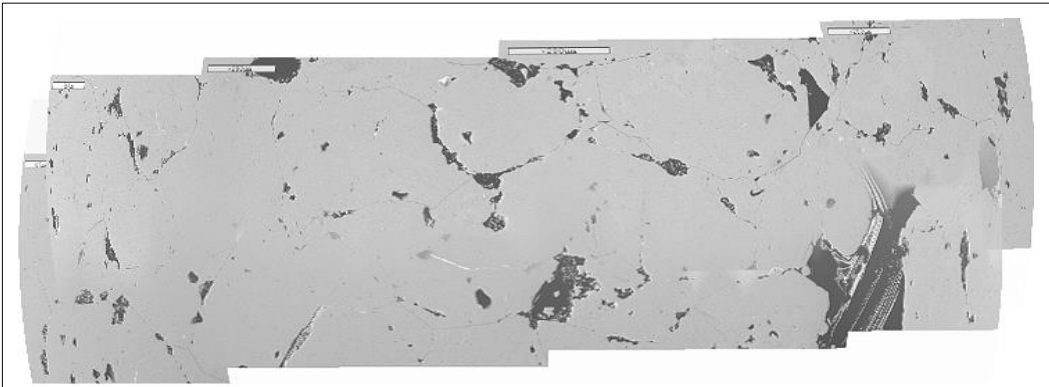


Figura N° 85. Mosaico de backscattering (BS). Muestra 2669'7". Pozo SDZ-43X.



5.4.4.1 Características Texturales y mineralógicas de las muestras a través del estudio e interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia del pozo SDZ-43X.

a) Variaciones detríticas

Se presentan granos de cuarzo de origen detrítico de formas subangulares a subredondeadas, el blanco, el gris claro, el gris oscuro y el negro son los colores característicos de estos granos (Figura 86, 87), generalmente estos granos detríticos están en contacto (Figura 86, 88) sugiriendo que el cemento de cuarzo

es autigénico y posterior a la depositación de los granos detríticos. Inclusive se observa sobrecrecimiento del cuarzo detrítico pero de manera esporádica.

Figura N° 86. Muestra 2666'. Imagen catodoluminiscencia. Pozo SDZ-43X.

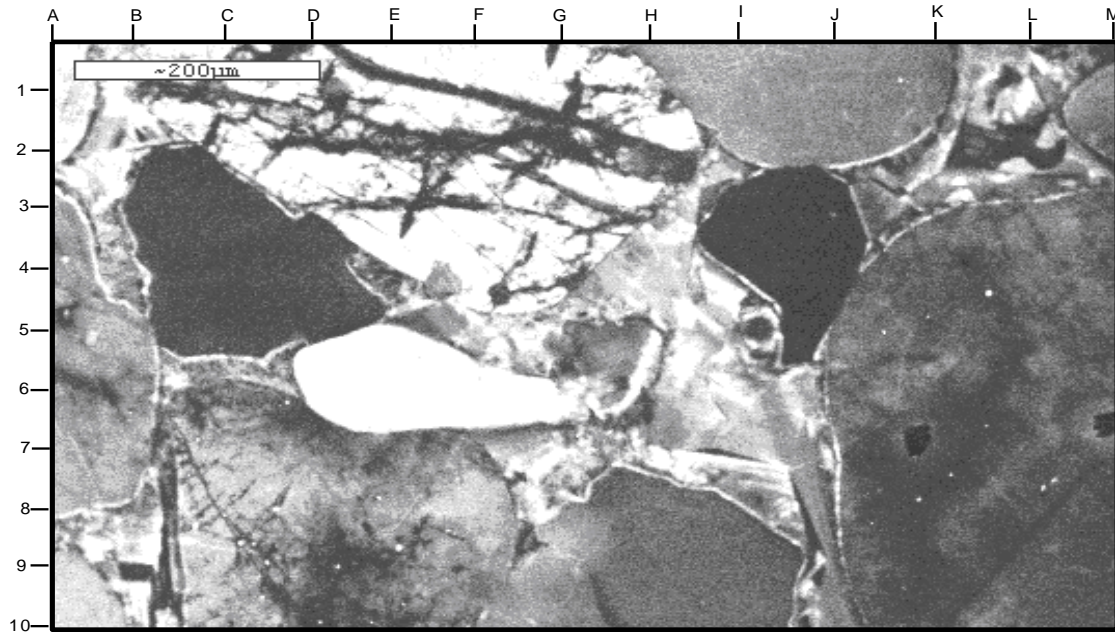


Figura N° 87. Muestra 2666'. Imagen de backscattering. Pozo SDZ-43X

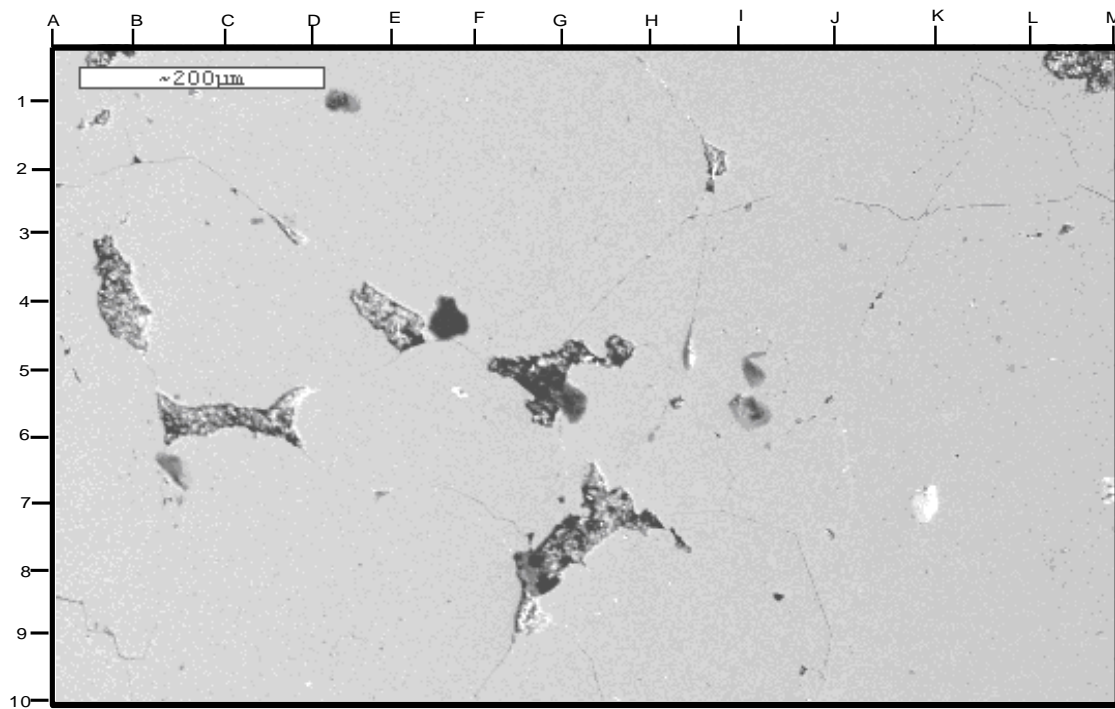
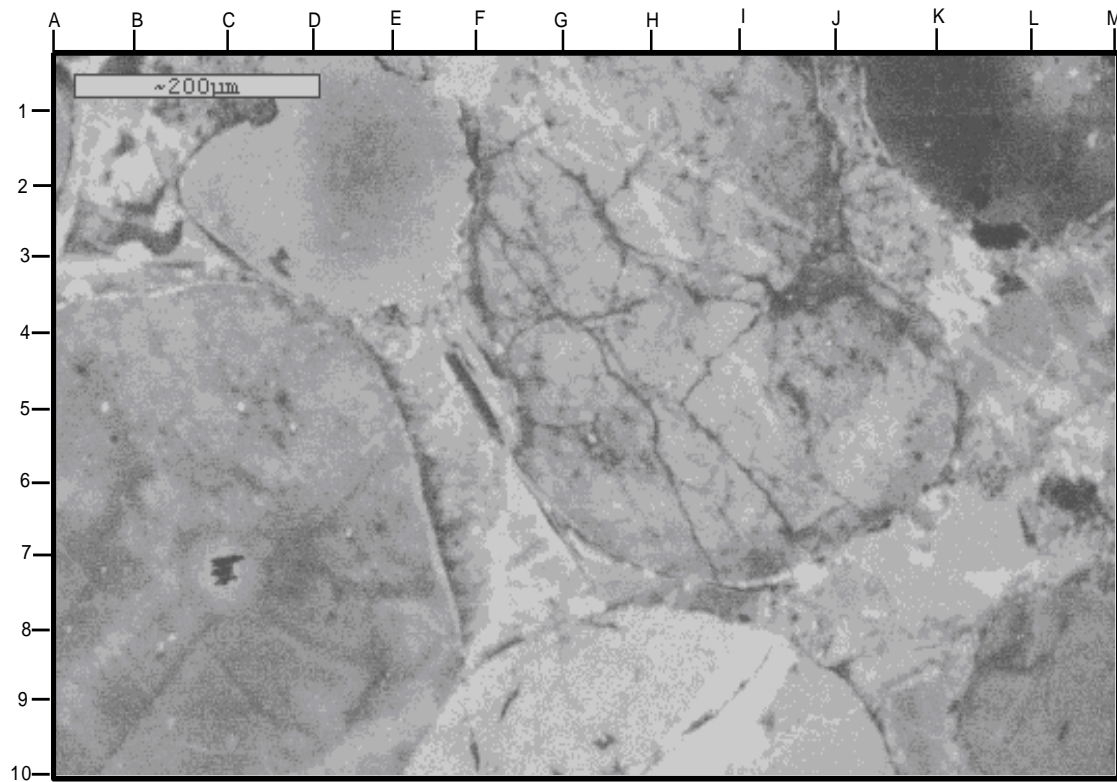


Figura N° 88. Muestra 2666'. Imagen catodoluminiscencia. Pozo SDZ-43X



b) Variaciones autigénicas

El cemento de cuarzo presente entre los granos detríticos es autigénico y posterior a la depositación de los granos detríticos, este cemento no presenta su característico color negro con el cual es identificado en las imágenes de catodoluminiscencia, en su lugar se presenta con un mezcla de colores blanco y negro (Figura N° 89, 90,91, 92), sin embargo los análisis de DRX determinan que la composición química de este cemento es sílice, probablemente este cambio de color se deba a que las muestras no fueron pulidas correctamente y por consiguiente hubo que jugar con la intensidad y brillo de la muestra o simplemente este efecto es debido a que el cemento de cuarzo se está disolviendo y en consecuencia está creando porosidad secundaria (Figura N° 93, N° 94).

Figura N° 89. Imagen catodoluminiscencia. Muestra 2666'. Pozo SDZ-43X.

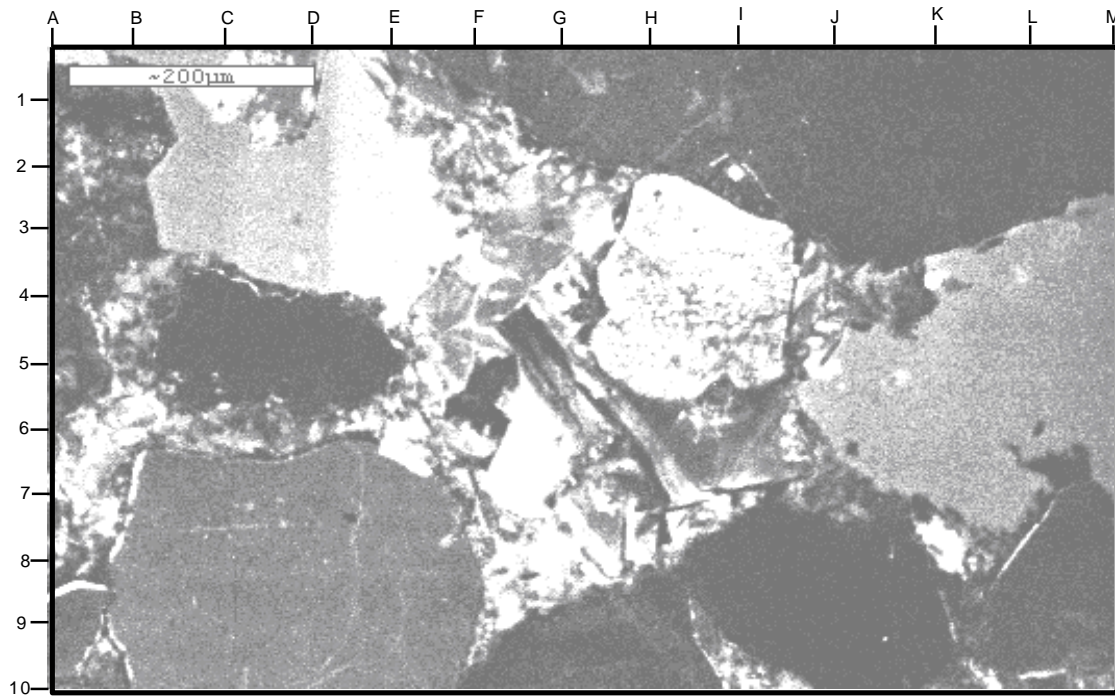
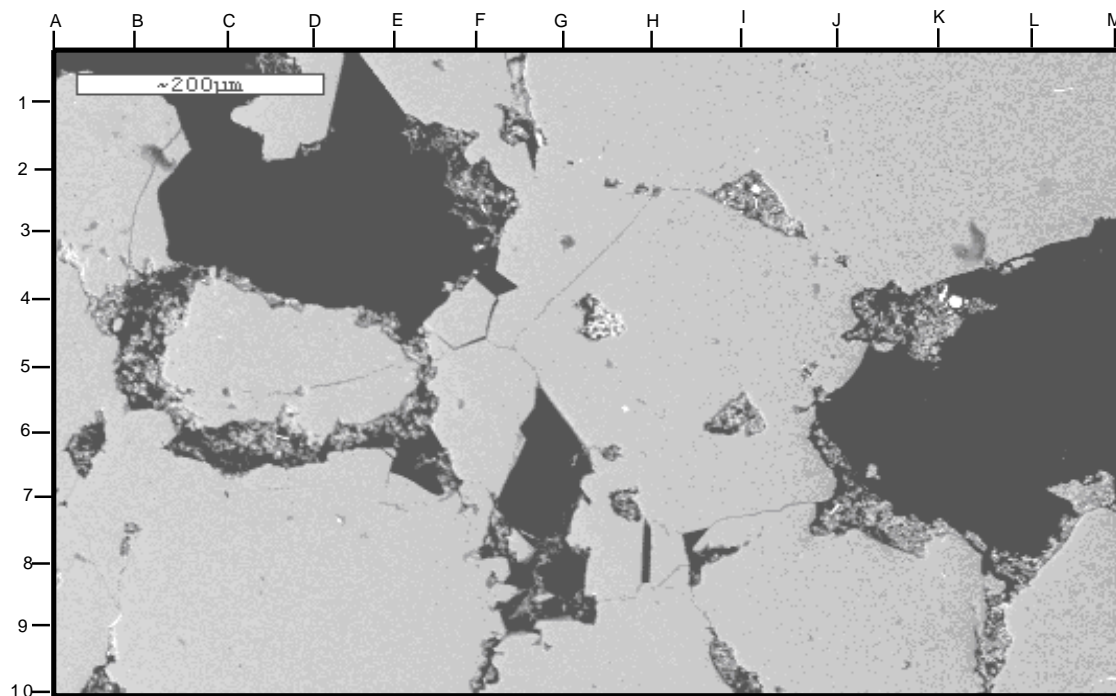


Figura N° 90. Muestra 2666'. Imagen de backscattering. Pozo SDZ-43X.



La catodoluminiscencia como herramienta para estudiar el cemento de cuarzo en rocas paleozoicas

Figura N° 91. Muestra 2666'. Imagen catodoluminiscencia. Pozo SDZ-43X.

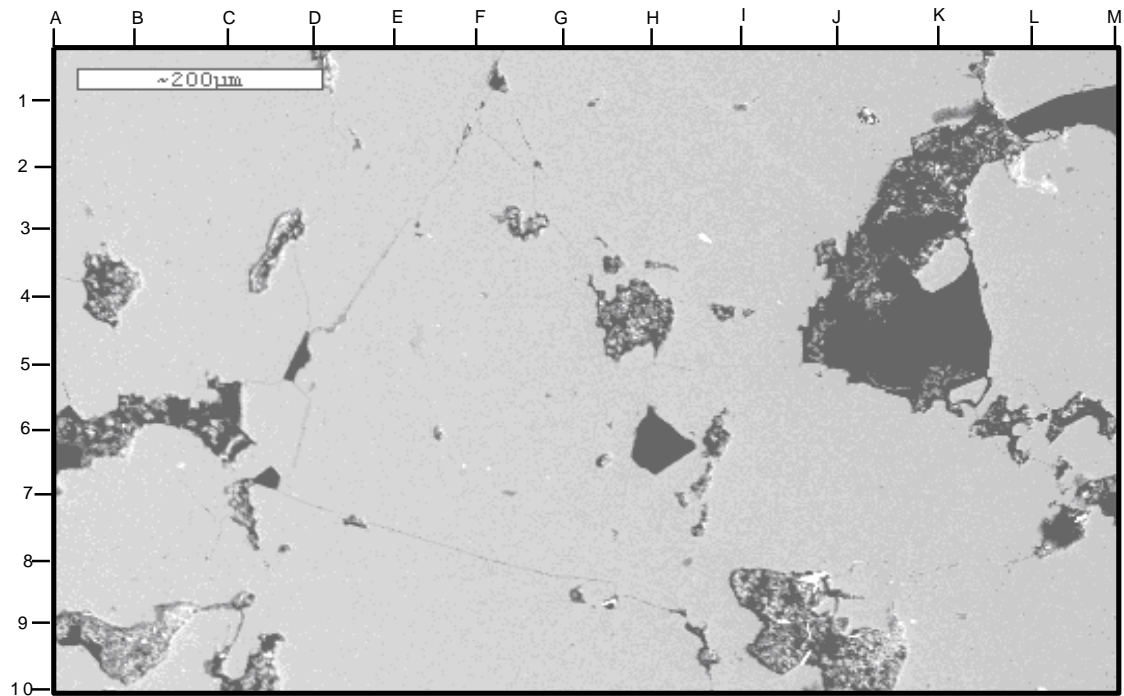


Figura N° 92. Muestra 2666'. Imagen de backscattering. Pozo SDZ-43X.

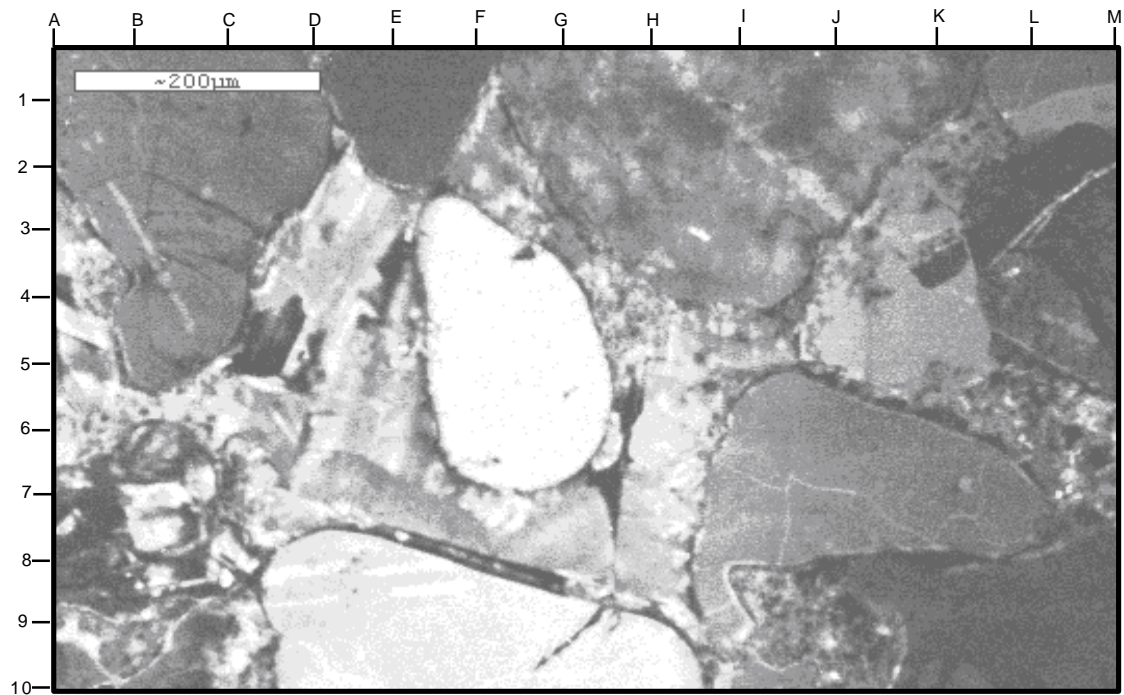


Figura N° 93. Muestra 2669'7". Imagen catodoluminiscencia. Pozo SDZ-43X.

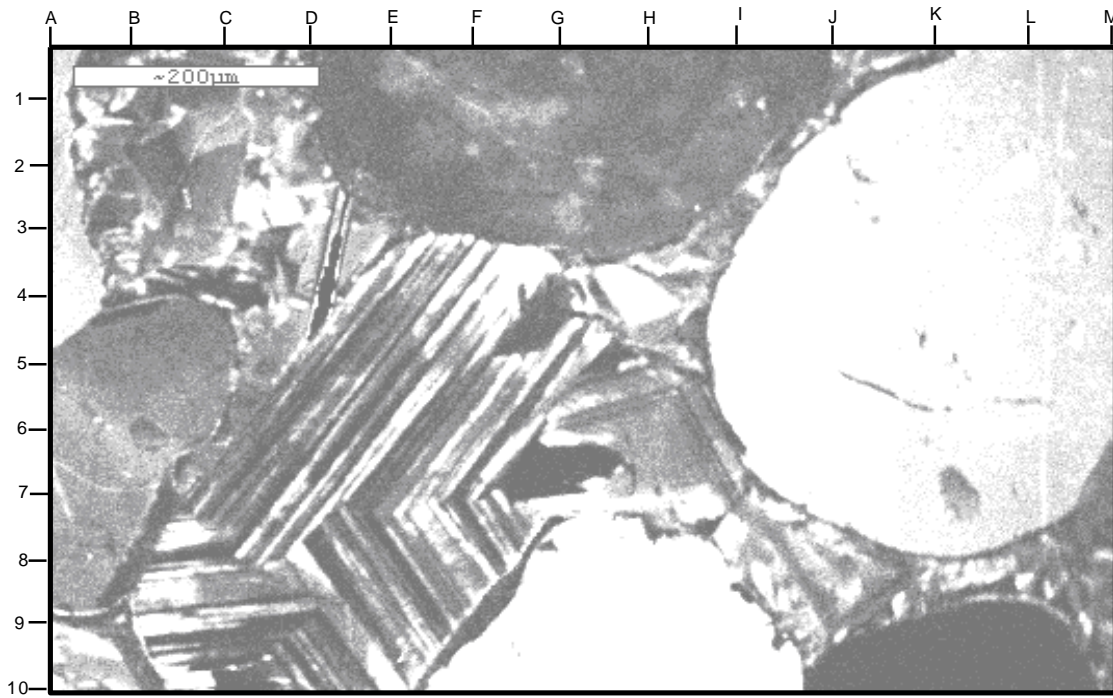
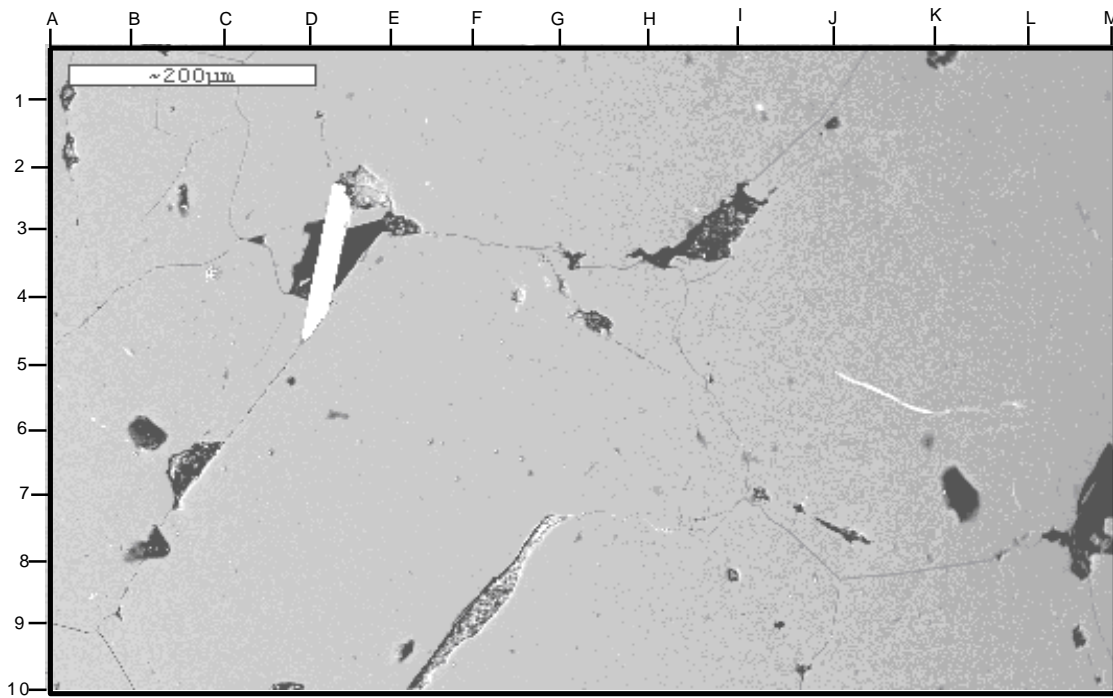


Figura N° 94. Muestra 2669'7". Imagen de backscattering. Pozo SDZ-43X.



c) Fracturamiento del grano y sellamiento

Se observa la presencia de fracturas (Figura N° 95, 96, 97, 98) en los granos detríticos y estas a su vez han sido selladas por cemento de cuarzo, en este caso el cemento de cuarzo si presenta su tradicional color negro, generalmente la cantidad de cemento de cuarzo que sella las fracturas es insignificante en comparación con el que ocupa el espacio poroso.

Figura N° 95. Muestra 2669'7". Imagen catodoluminiscencia. Pozo SDZ-43X

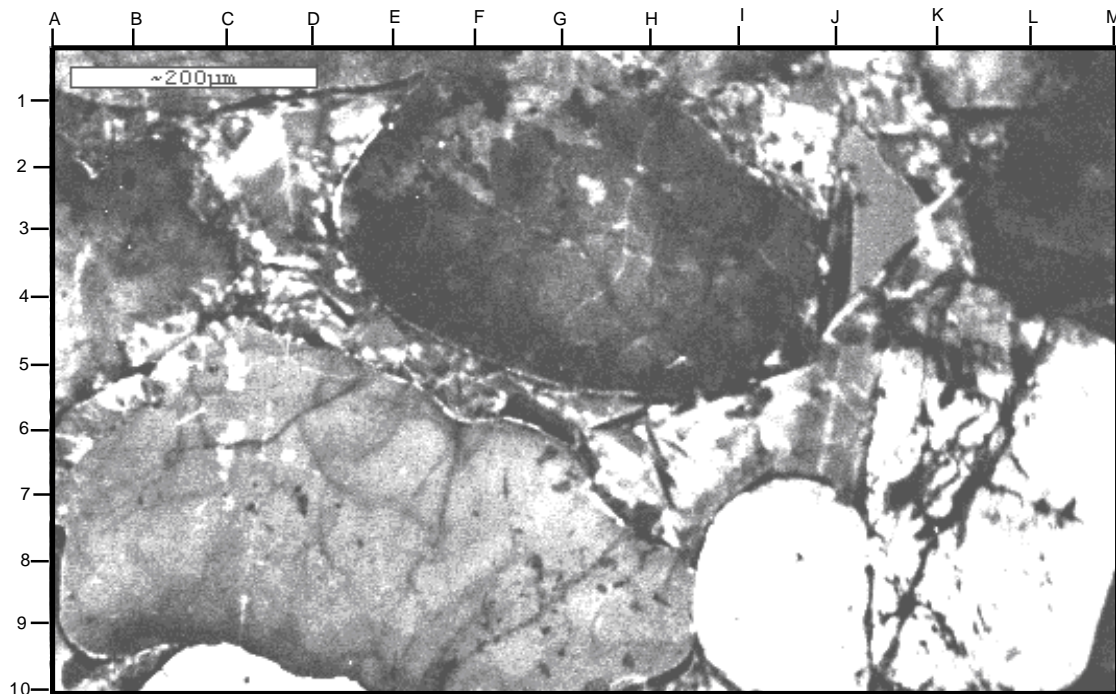


Figura N° 96. Muestra 2669'7". Imagen de backscattering. Pozo SDZ-43X

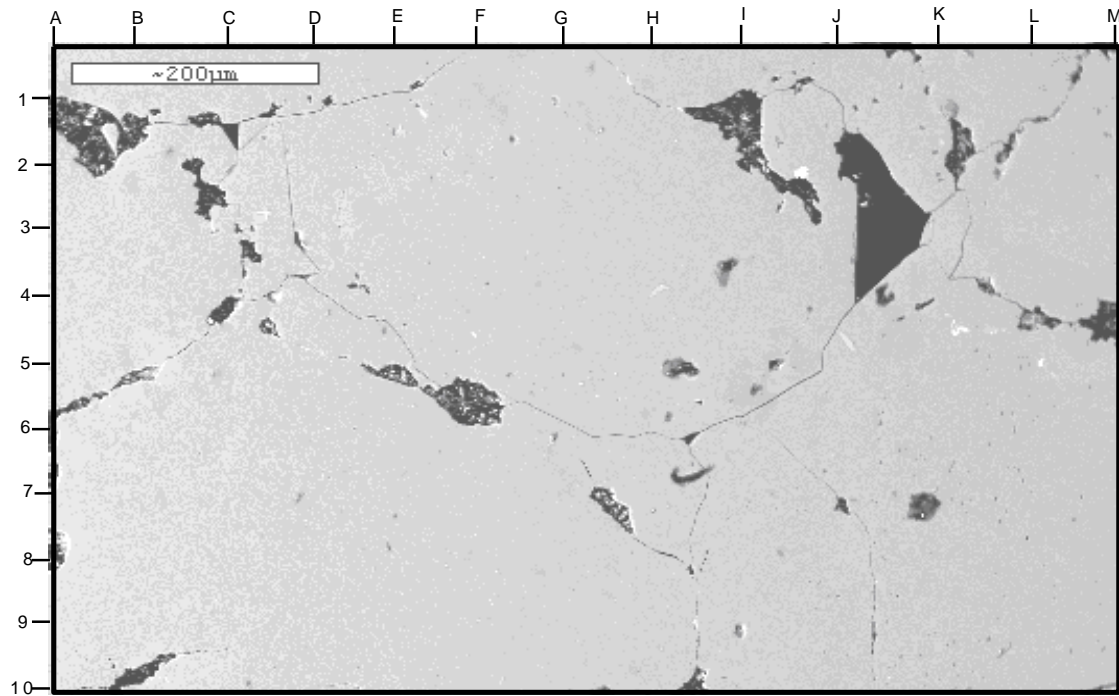
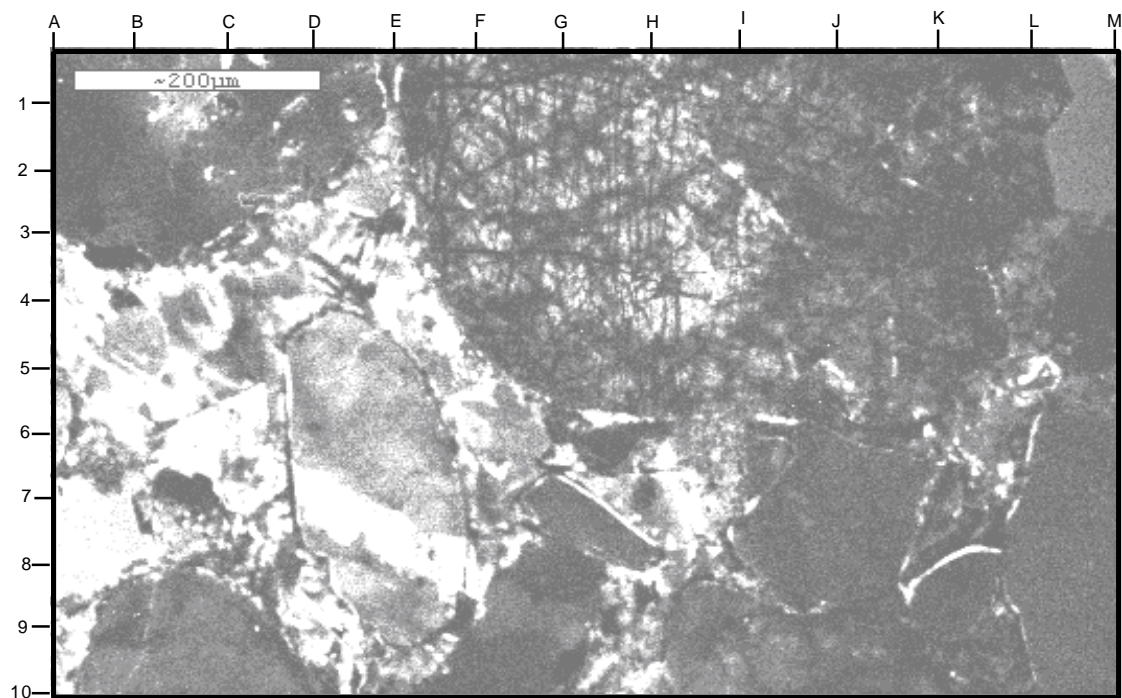
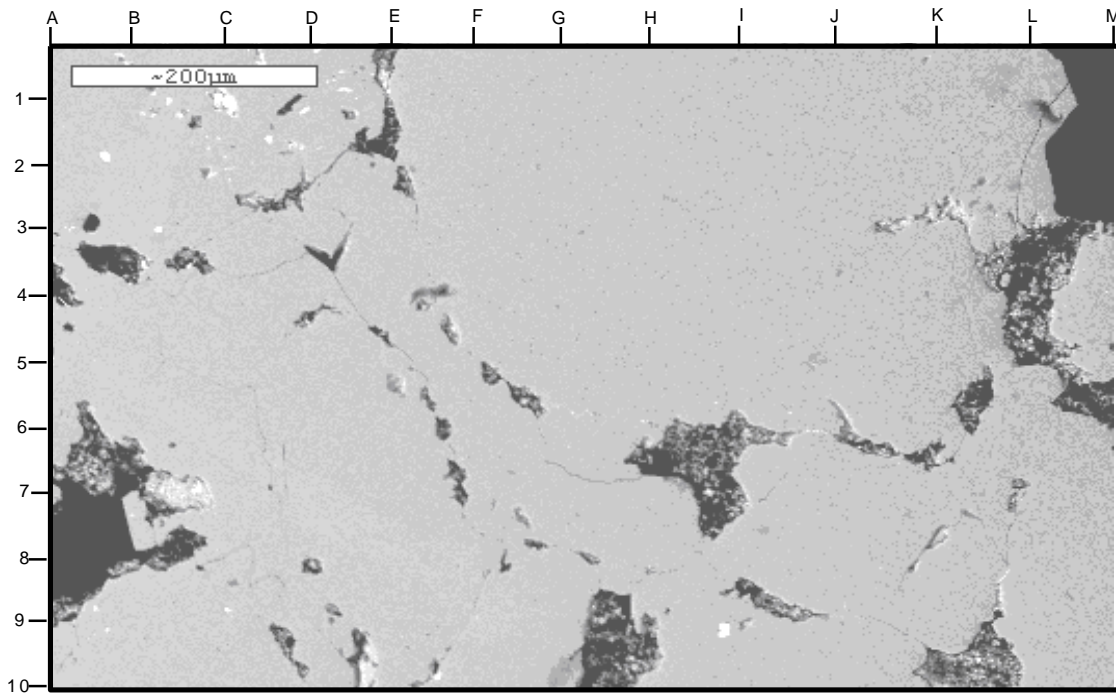


Figura N° 97. Muestra 2666'. Imagen catodoluminiscencia. Pozo SDZ-43X.



La catodoluminiscencia como herramienta para estudiar el cemento de cuarzo en rocas paleozoicas

Figura N° 98. Muestra 2666'. Imagen de backscattering. Pozo SDZ-43X.



Porosidad

El cemento de cuarzo redujo de manera drástica la porosidad primaria en las muestras, sin embargo es necesario resaltar que se observa disolución del cemento de cuarzo (Figura N° 93, N° 94) y como consecuencia generación de porosidad secundaria, inclusive también se observa porosidad secundaria producto de la disolución de micas y arcillas.

Después de analizar las imágenes de catodoluminiscencia se procedió a contabilizar los minerales presentes en especial el cemento de cuarzo en el pozo SDZ-43X (Anexo 8).

5.4.5 Diagenesis de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo SDZ-43X.

A través del análisis petrográfico, inclusiones de fluido y microscopía electrónica de barrido en el modo de catodoluminiscencia se identificaron los siguientes procesos diagenéticos y secuencia paragenética en las areniscas de la Formación Hato Viejo del pozo SDZ-43X:

5.4.5.1 Procesos diagénéticos

- Compactación mecánica
- Alteración de aluminosilicatos a arcillas
- Cementación de cuarzo
- Reemplazamiento de feldespato por cuarzo
- Disolución de arcillas y fragmentos de roca.
- Disolución de cemento de cuarzo

Compactación mecánica

Deformación dúctil de las micas entre los granos de cuarzo y microfisuras en los granos de cuarzo.

Alteración de aluminosilicatos a arcillas

La principal alteración de aluminosilicato que se observó fue la alteración de micas a minerales de arcillas.

Cementación y disolución de cuarzo

Es necesario destacar la disolución del cemento de cuarzo (Figura N° 79), lo cual, es sumamente importante ya que genera porosidad secundaria. Probablemente existan dos etapas de cementación de cuarzo :

1. La primera etapa ocurre con temperaturas de 96°C - 130°C, en el borde de los granos de cuarzo detríticos.
2. La segunda etapa ocurre con temperaturas entre 130°C - 150°C, en el sobrecrecimiento de cuarzo.

Disolución de arcillas y fragmentos de rocas









Mediante análisis petrográficos e imágenes de microscopía electrónica, se observó disolución de arcillas y fragmentos de roca, lo cual, trae como consecuencia la generación de porosidad secundaria.

Reemplazamiento de feldespato por cuarzo

A través de las imágenes de catodoluminiscencia se observó el reemplazamiento del feldespato por cuarzo.

5.4.5.3 Secuencia paragenética del pozo SDZ-43X.

La secuencia paragenética de las areniscas de la Formación Hato Viejo del pozo SDZ-43X es la siguiente:

PROCESOS	EOGENESIS HASTA 75°C	MESOGENESIS 75°C – 200°C
Compactación mecánica		
Disolución de arcillas y fragmentos de roca		
Cementación de cuarzo (1) 96C – 130C		
Cementación de cuarzo (2) 130C – 150C		
Reemplazo de feldespato de Potasio por cuarzo		
Alteración de micas a arcillas		
Disolución de cemento de cuarzo		


Profundidad

5.4.6 Resumen de los resultados petrográficos, de catodoluminiscencia e inclusiones de fluidos de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo SDZ-43

Las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo SDZ-43X presentan un tamaño de grano promedio medio. Los granos están moderadamente bien escogidos, la esfericidad de los granos es moderada y la redondez de los granos varía de angular a redondeado. Los contactos son de tipo longitudinal, cóncavo - convexo y suturado. El cuarzo monocristalino es el principal constituyente de las areniscas. La porosidad es de tipo intergranular y por disolución. La porosidad secundaria es por disolución del cemento de cuarzo, arcillas y fragmentos de roca.

El cemento de cuarzo presente entre los granos detríticos es autigénico y posterior a la depositación de los granos detríticos, porque estos granos están en contacto uno con otro, sin embargo el cemento de cuarzo se disuelve y crea porosidad secundaria. Se observa la presencia de fracturas en los granos detríticos y estas a su vez han sido selladas por cemento de cuarzo, generalmente la cantidad de cemento de cuarzo que sella las fracturas es insignificante en comparación con el que ocupa el espacio poroso.

Los procesos diagenéticos característicos son los siguientes:

- Compactación mecánica
- Alteración de aluminosilicatos a arcillas
- Cementación de cuarzo
- Reemplazamiento de feldespato por cuarzo
- Disolución de arcillas y fragmentos de roca.
- Disolución de cemento de cuarzo

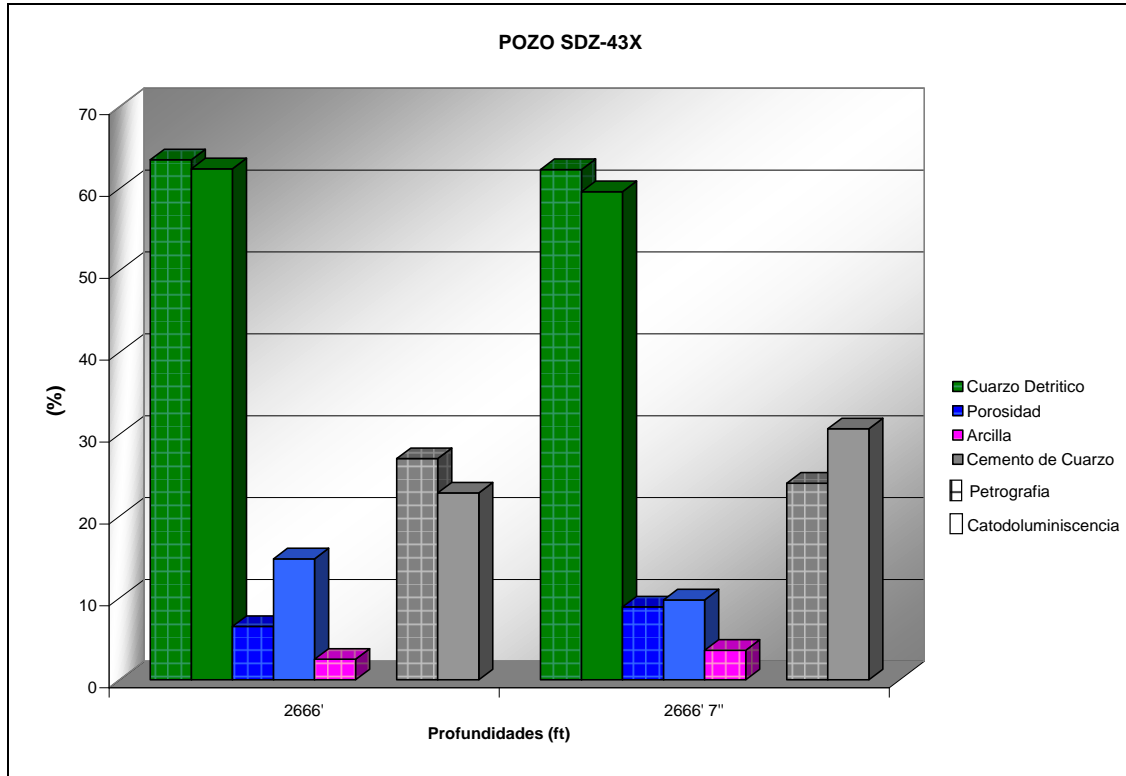
Se sugiere la existencia de dos etapas de cementación de cuarzo:

1.-La primera etapa ocurre con temperaturas de 96°C - 130°C, en el borde de los granos de cuarzo detríticos.

2.-La segunda etapa ocurre con temperaturas entre 130°C - 150°C, en el sobrecrecimiento de cuarzo.

A través de las imágenes de catodoluminiscencia se determinaron porcentajes de cemento de cuarzo y cuando estos fueron comparados con los resultados obtenidos por petrografía convencional, se observó que existe cierta discrepancia, en una muestra existe mayor porcentaje de cuarzo por catodoluminiscencia que por petrografía y en la otra todo lo contrario (Gráfico 4).

Gráfico 4. Comparación resultados de petrografía vs. Catodoluminiscencia del pozo SDZ-43X.



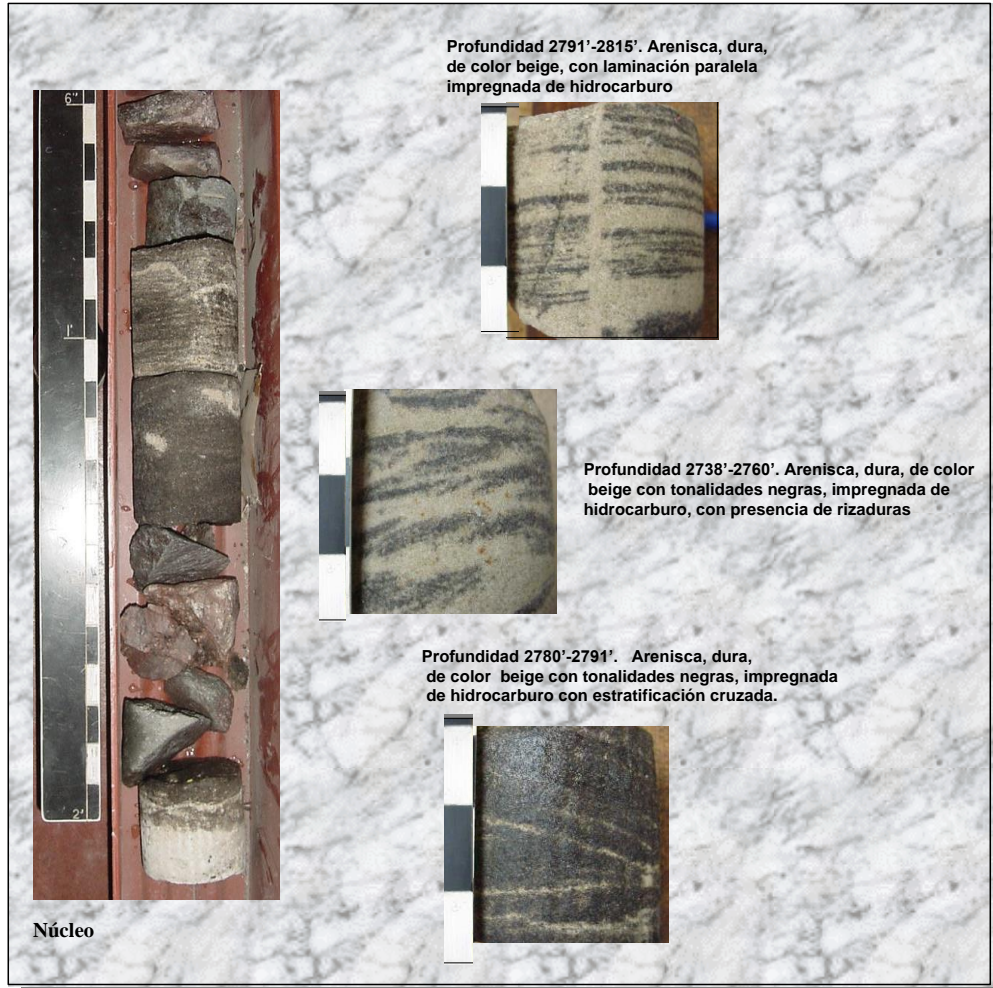
5.5 Pozo Santa clara-1

En este capítulo se mostrara una breve descripción sedimentológica de los núcleos de arenisca de la Formación Hato Viejo en el pozo Santa Clara-1, así como también, el estudio petrográfico, la interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia con su respectiva imagen de backscattering, los procesos diagenéticos y la secuencia paragenética de estas areniscas.

5.5.1 Breve descripción sedimentológica de los núcleos Paleozoicos del pozo Santa Clara-1

En el pozo Santa Clara- 1 la secuencia del Terciario suprayace a la Formación Paleozoica de Hato Viejo y esta a su vez suprayace al basamento. Solórzano et al .(2004). Los núcleos del pozo Santa Clara-1 muestran la presencia de areniscas de color beige, impregnadas de hidrocarburo y muy duras. Estas areniscas corresponden a la Formación Hato Viejo y están localizadas en el intervalo de núcleo 2700'-2797' (Figura N° 99). Los análisis bioestratigráficos y la descripción de los núcleos, determinaron la ausencia de la Formación Carrizal en el pozo Santa Clara-1.

Figura N° 99. Foto de los núcleos de la Formación Hato Viejo en el pozo Santa Clara-1.



5.5.2 Estudio petrográfico de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Santa Clara-1

En este capítulo se presentan los resultados del estudio petrográfico realizado a las muestras de arenisca (2738'-2760', 2760'-2770', 2770'-2780', 2791'-2815) de la Formación Hato Viejo en el pozo Santa Clara-1. Los datos petrográficos se presentan en una tabla en Excel (Anexo 9).

5.2.1 Características texturales y clasificación de las areniscas del pozo Santa Clara-1.

El análisis modal en las areniscas permitió la determinación de los porcentajes de los componentes detríticos, componentes autigénicos, cementos, matriz y porosidad. Así mismo, se determinaron los parámetros texturales como el tamaño de los granos, el escogimiento y la redondez. Las muestras fueron clasificadas según Hussin (1991) modificado por Pilloud et al (1998) (Figura N° 2). Se analizaron 4 muestras las cuales fueron clasificadas como areniscas.

El estudio petrográfico determina que las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Santa Clara-1 presentan un tamaño de grano promedio de fino y el tamaño de grano máximo es grueso. El escogimiento de los granos varía de moderado a malo (Figura N° 100, 101). La esfericidad de los granos generalmente es moderada, sin embargo se observan granos que muestran alta esfericidad. La redondez de los granos oscila entre sub - angular a muy redondeada. Los contactos son generalmente de tipo longitudinal, suturado y cóncavo – convexo.

Figura N° 100. Arenisca. Profundidad 2738'-2760'. Amplificación 2,5x. Nícoles paralelos. Pozo Santa Clara-1. Arenisca, moderadamente escogida, de grano fino a medio.

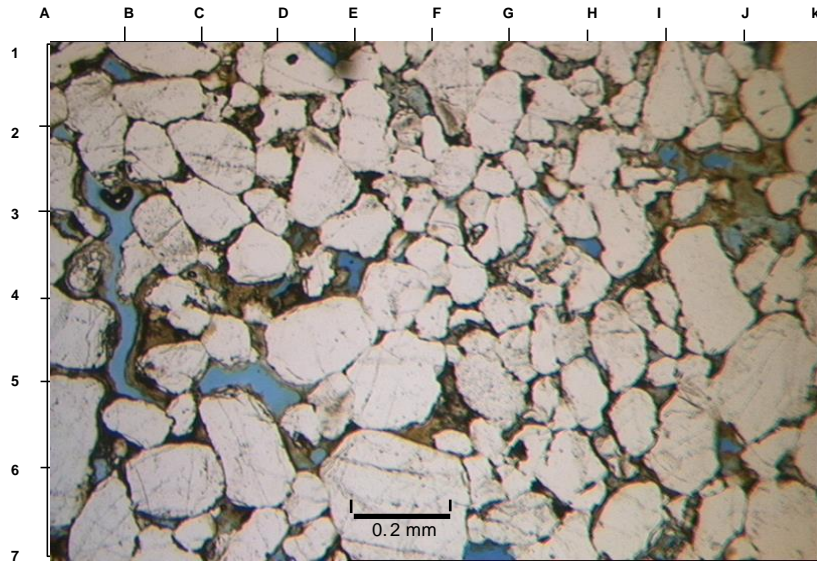
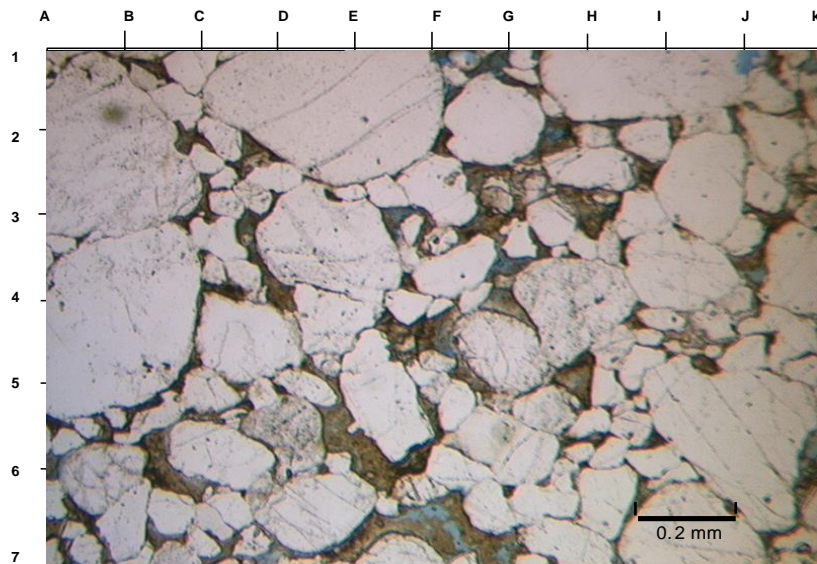


Figura N° 101. Arenisca. Profundidad 2738'-2760'. Amplificación 2,5x. Nícoles paralelos. Pozo Santa Clara-1. Arenisca, mal escogida de grano fino a grueso, con presencia de arcillas ocupando espacio poroso, así mismo, se observa disolución de las arcillas.



a) Componentes detríticos

Entre los componentes detríticos presentes se observan el cuarzo monocristalino, el cuarzo policristalino y minerales pesados (circón). El cuarzo monocristalino es el principal componente detrítico de las areniscas y alcanza valores de hasta 73,6%. El cuarzo policristalino se muestra con valores entre 3,3% y 6,3% y los minerales pesados solo se observan en cantidades trazas.

b) Porosidad

La porosidad en estas muestras es de tipo intergranular y por disolución. La porosidad intergranular se muestra con valores entre 1% y 3%. La porosidad por disolución es producto de la disolución del cemento de sílice y la arcilla, esta porosidad se presenta con valores entre 3,3% y 9%.

c) Componentes autigénicos

Como minerales autigénicos se observa el cemento de sílice con valores que oscilan entre 6,6% y 14%, a través de las imágenes de petrografía se observan dos etapas de cementación de cuarzo (Figura N° 102, 103), así como también, se observa disolución del cemento de cuarzo (Figura N° 104, 105) y en consecuencia generación de porosidad secundaria.

Figura N° 102. Muestra 2738'-2760'. Arenisca. Amplificación 10x. Nícoles cruzados. Pozo Santa Clara-1. Etapas de sobrecrecimiento de cuarzo, probablemente dos etapas

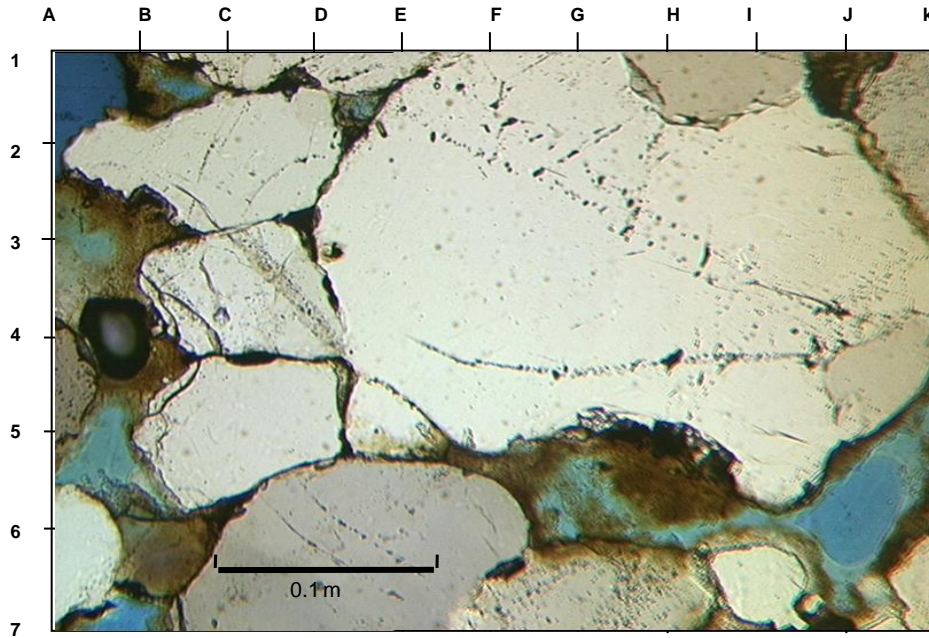


Figura N° 103. Muestra 2760'-2770'. Arenisca. Amplificación 10x. Nícoles cruzados. Pozo Santa Clara-1. Etapas de sobrecrecimiento de cuarzo, probablemente dos etapas.

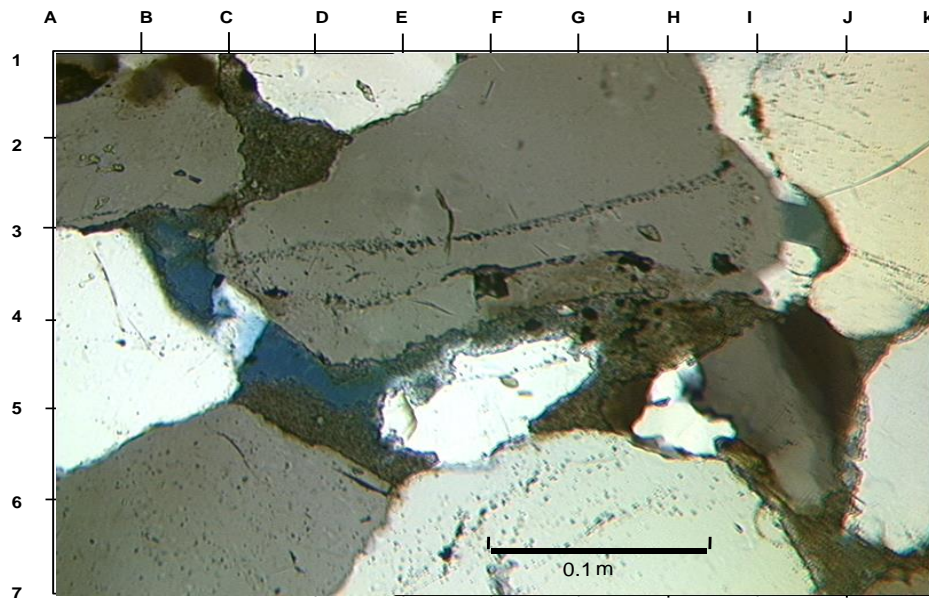


Figura N° 104. Muestra 2738'-2760'. Arenisca. Amplificación 10x. Nícoles cruzados. Pozo Santa Clara-1. Disolución del sobrecrecimiento de cuarzo y posterior precipitación de arcilla y disolución de la misma.

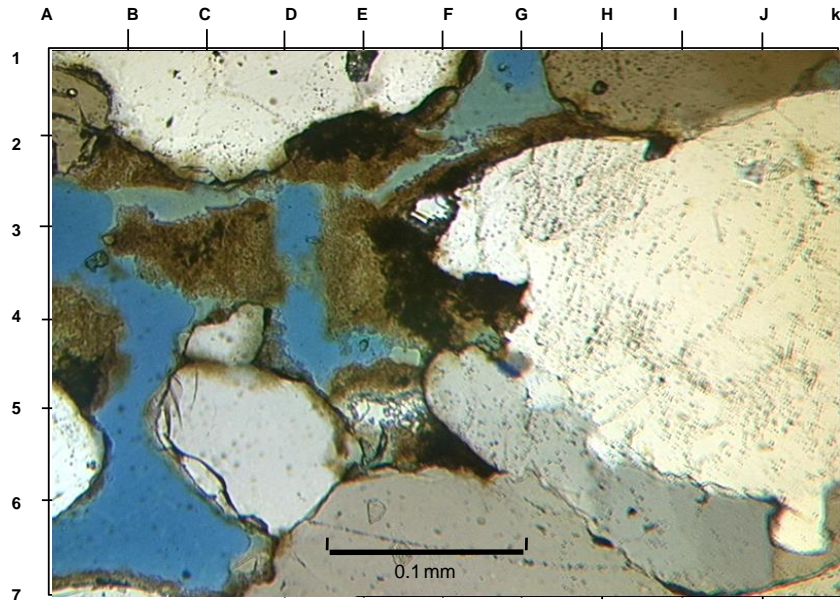
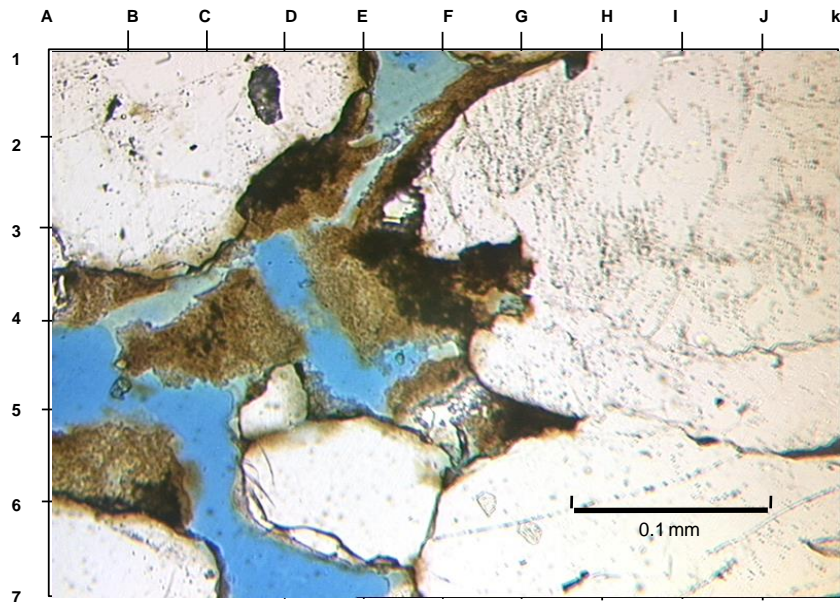


Figura N° 105. Muestra 2738'-2760'. Arenisca. Amplificación 10x. Nícoles paralelos. Pozo Santa Clara-1. Disolución del sobrecrecimiento de cuarzo y posterior precipitación de arcilla y disolución de la misma



d) Matriz

Se observa la presencia de arcillas entre 5,6 % y 12,2 %, en las muestras se observa como la arcilla obstruye el espacio poroso y a la vez se disuelve creando porosidad secundaria, la precipitación de arcillas es posterior a la precipitación del cemento de sílice incluso posterior a la disolución del cemento (Figura N° 105).

5.5.3 Estudio de las imágenes de catodoluminiscencia de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Santa Clara-1

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos del estudio e interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia con sus respectivas imágenes de backscattering tomadas a tres muestras 2738'-2760', 2770'-2780' y 2791'-2815'. En total se procesaron 24 imágenes de catodoluminiscencia con sus respectivas imágenes de backscattering. A continuación se mostrarán los mosaicos de catodoluminiscencia y backscattering de las muestras 2738'-2760', 2770'-2780'.

Figura N° 106. Muestra 2738'-2760'. Mosaico de catodoluminiscencia (CL). Pozo Santa Clara-1.

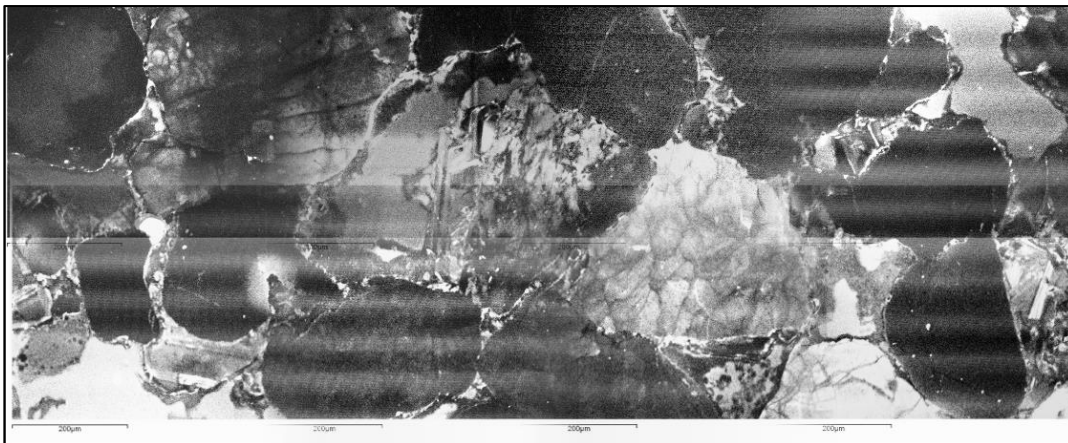


Figura N° 107. Muestra 2738'-2760'. Mosaico de backscattering (BS). Pozo Santa Clara-1.

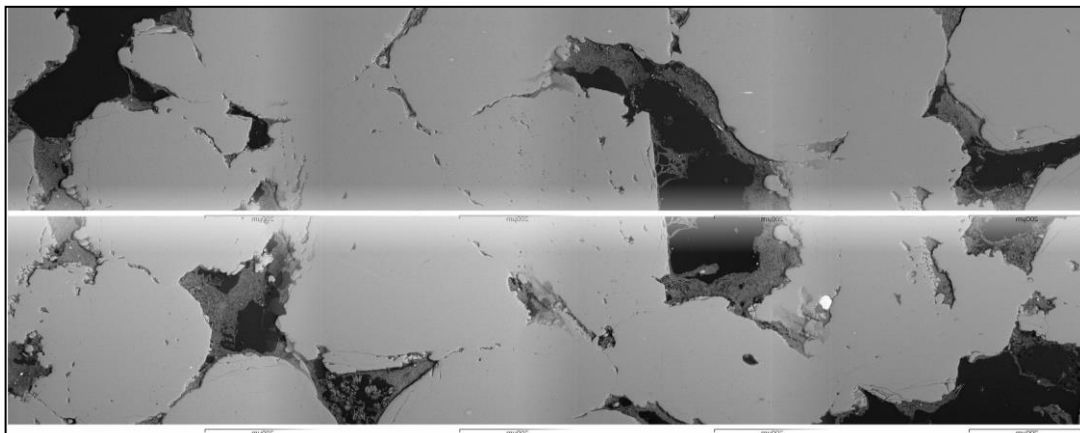


Figura N° 108. Muestra 2770'-2780'. Mosaico de catodoluminiscencia (CL). Pozo Santa Clara-1.

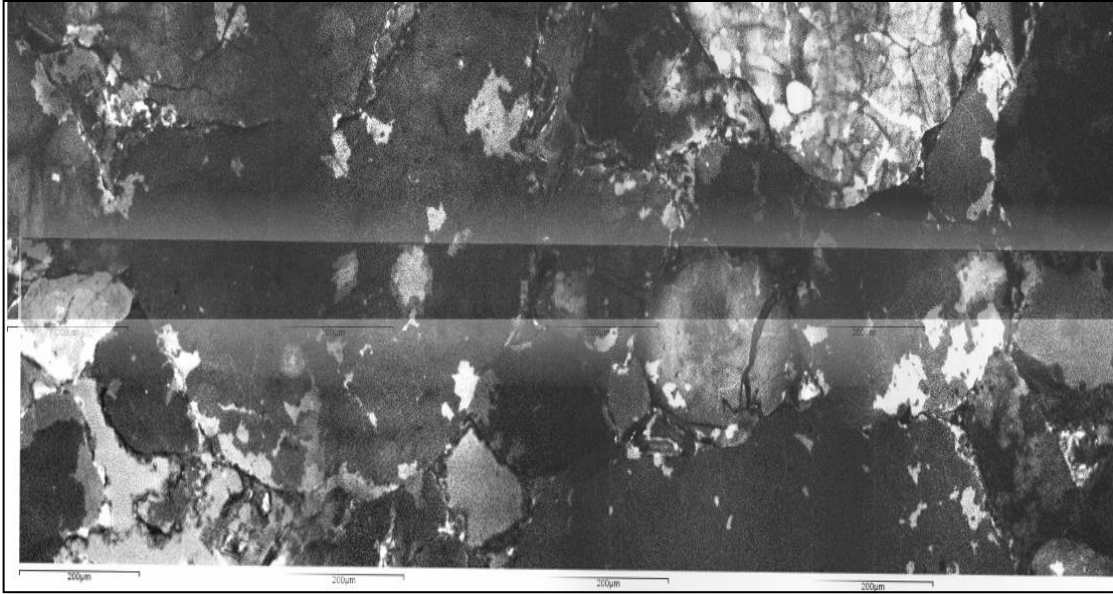


Figura N° 109. Mosaico de backscattering. Muestra 2770'-2780'. Pozo Santa Clara-1.

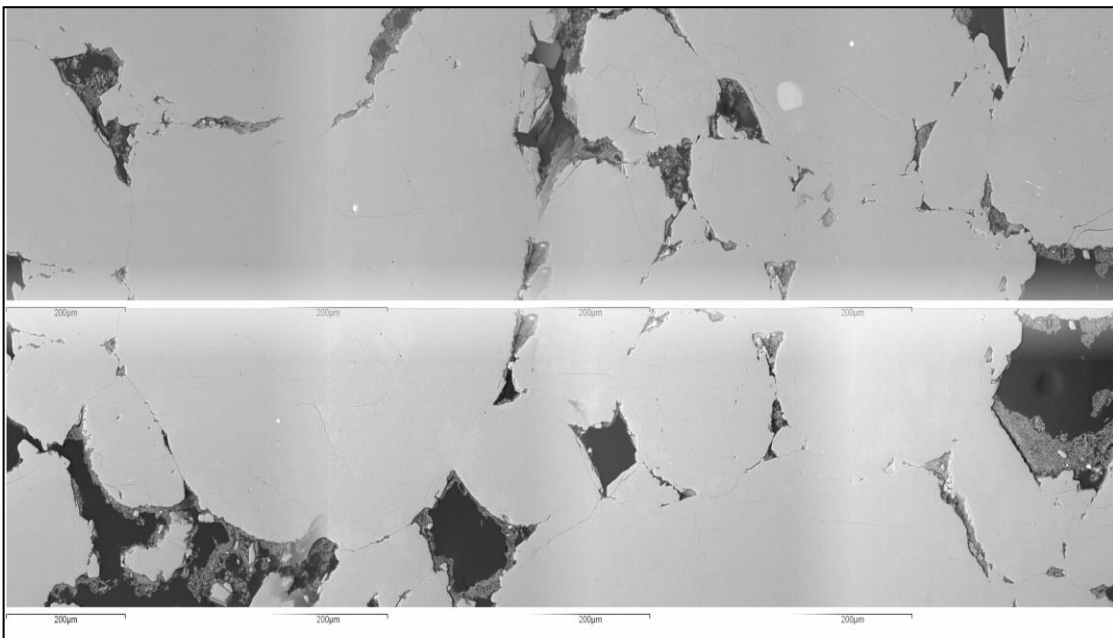


Figura N° 110. Muestra 2791'-2815'. Mosaico de catodoluminiscencia (CL). Pozo Santa Clara-1.

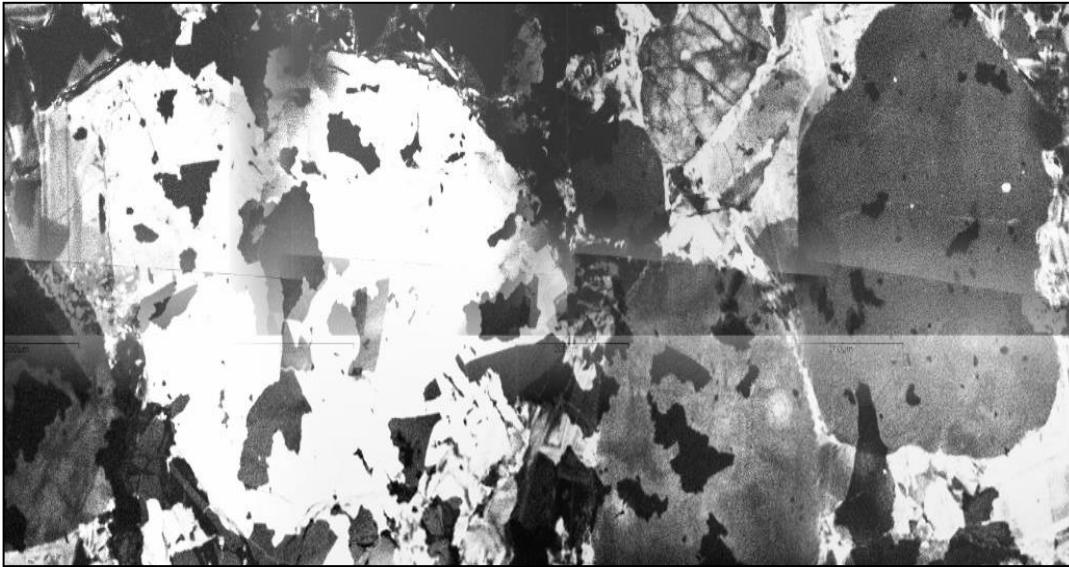
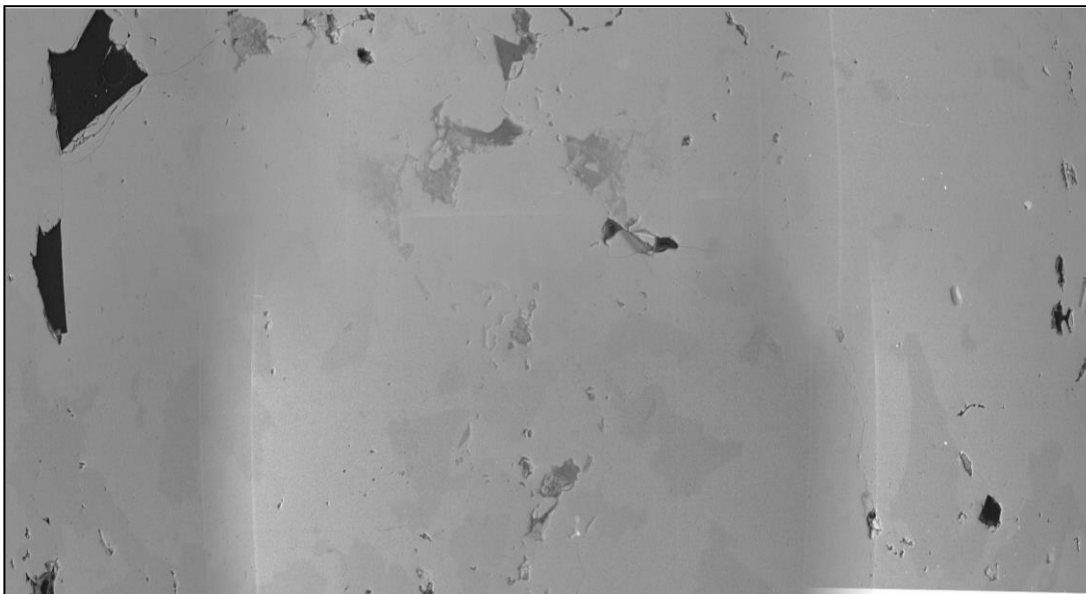


Figura N° 111. Muestra 2791'-2815'. Mosaico de backscattering. Pozo Santa Clara-1.



A continuación y con base en la interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia se presentaran las características texturales y mineralógicas de las muestras.

5.5.3.1 Características Texturales y mineralógicas de las muestras a través del estudio e interpretación de las imágenes de catodoluminiscencia del pozo Santa Clara-1.

a) Variaciones detríticas

El cuarzo detrítico desde blanco brillante hasta gris oscuro (Figura N° 112), con formas desde lo angular a subredondeada. Los granos de cuarzo detrítico están en contacto uno con otro indicando que el cemento de cuarzo es posterior.

Figura N° 112. Muestra 2770'-2780'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Santa Clara-1. Granos de cuarzoes detríticos en colores blanco (C-2) y gris oscuro (F-2). Porosidad por disolución de arcillas (D-7) verificada con imagen de backscattering

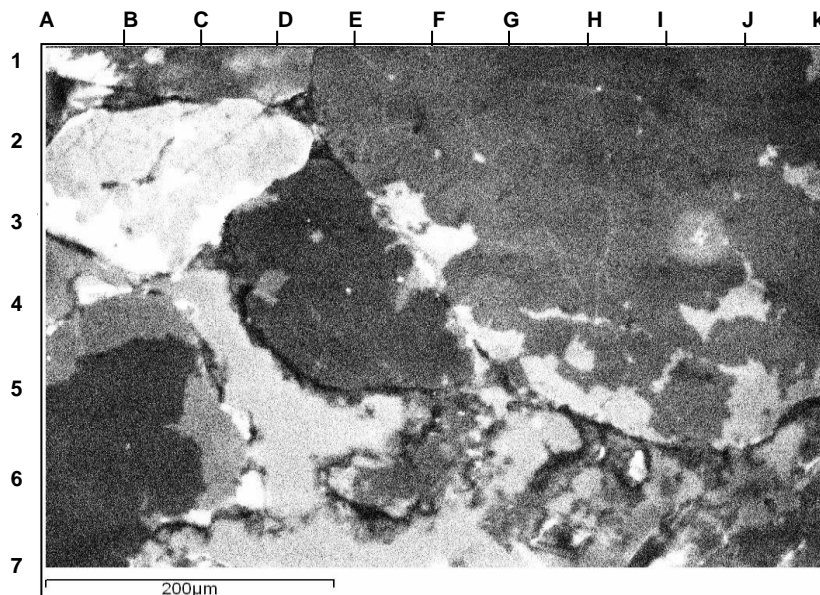
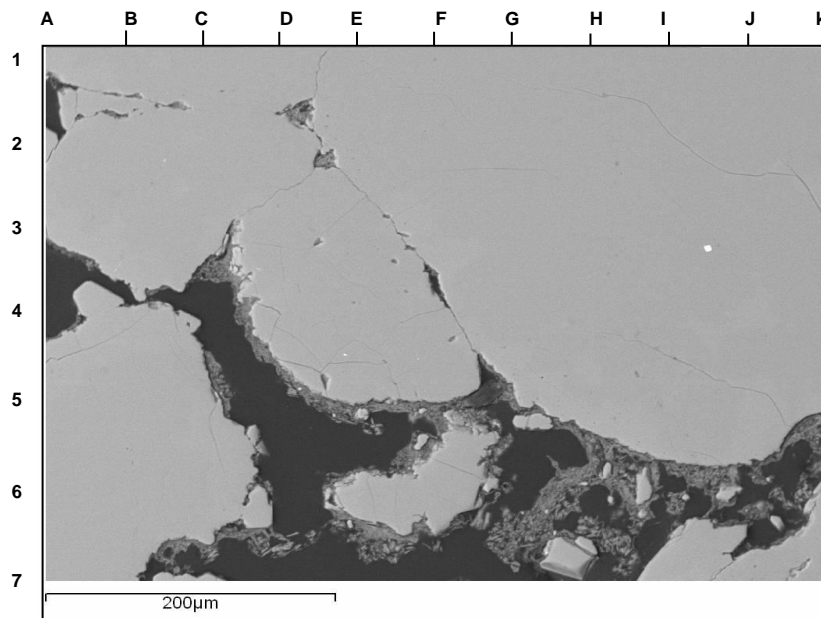


Figura N° 113. Muestra 2770'-2780'. Imagen de backscattering. Pozo Santa Clara-1.



b) Variaciones autigénicas

Probablemente existan tres etapas de cementación de cuarzo (Figura N° 114, 115), la primera como sobrecrecimiento alrededor de los granos detríticos (Figura N° 116, 117), la segunda etapa ocupando el resto del espacio poroso y el tercero sobre los granos de cuarzo detrítico o en las fracturas del grano (Figura N° 114, 118). El cemento de cuarzo autigénico se muestra en colores desde el negro hasta el gris, la primera y segunda etapa de cementación de cuarzo es posterior a la depositación de los granos de cuarzo detríticos porque estos granos están en contacto uno con otro, sin embargo el cemento de cuarzo se disuelve y crea porosidad secundaria.

Figura N° 114. Muestra 2791-2815'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Santa Clara-1. Grano de cuarzo detrítico con presencia de cemento de cuarzo sobre la superficie del grano Probablemente tres etapas de cementación de cuarzo (E-4, C-1, H-4.5). Porosidad

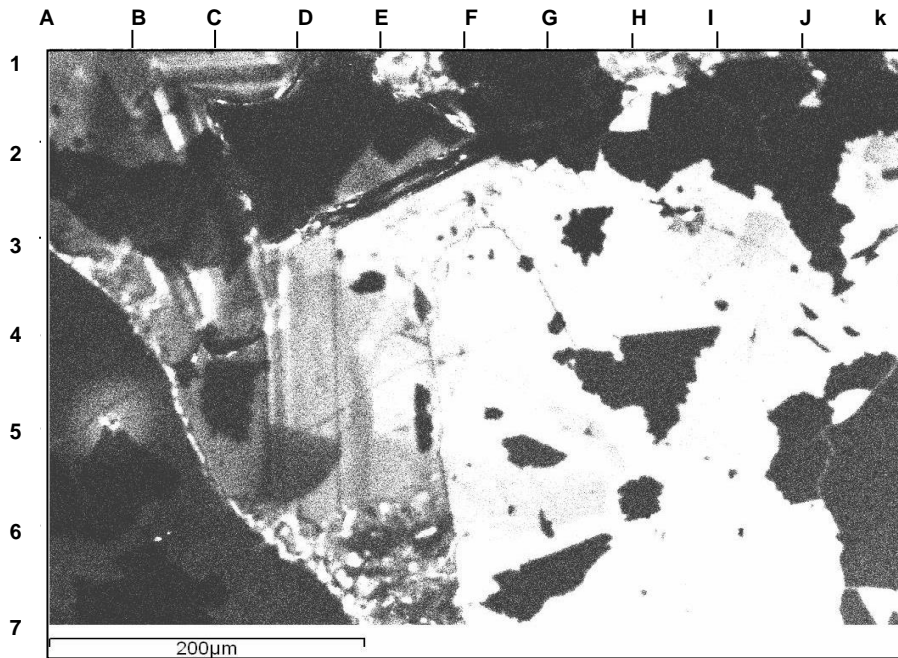


Figura N° 115. Muestra 2791'-2815'. Imagen de backscattering. Pozo Santa Clara-1.

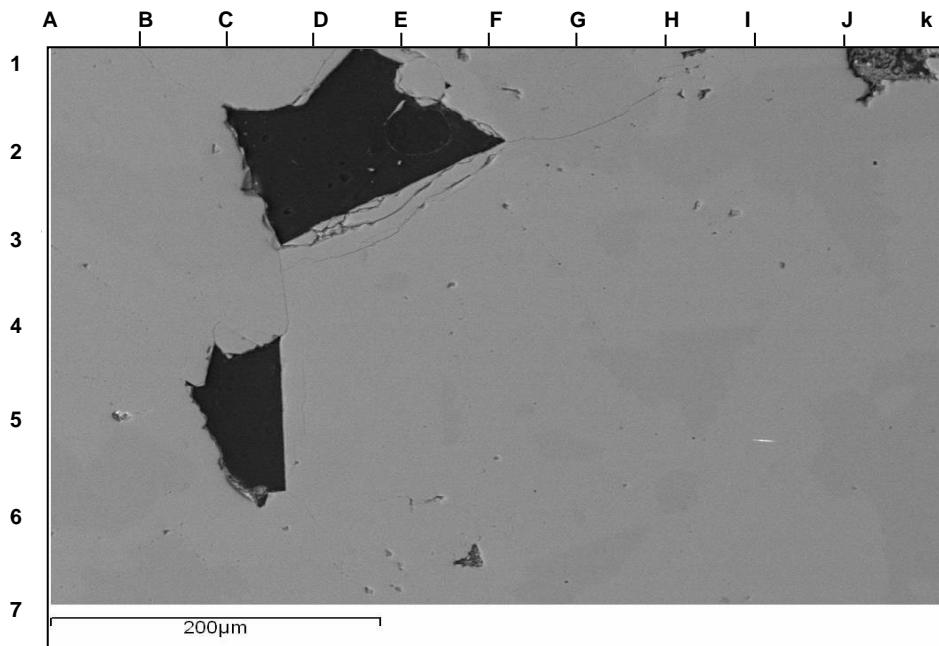


Figura N° 116. Muestra 2770'-2780'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Santa Clara-1. Sobrecrecimiento de cuarzo autigénico (G-6). Porosidad por disolución de arcillas (D-6, H-7) verificada por backscattering

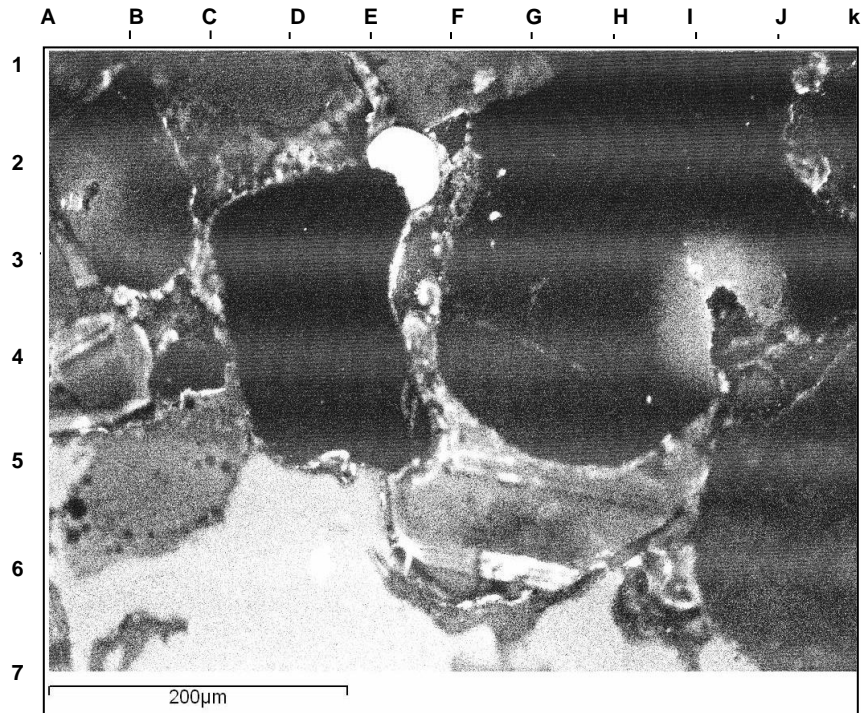
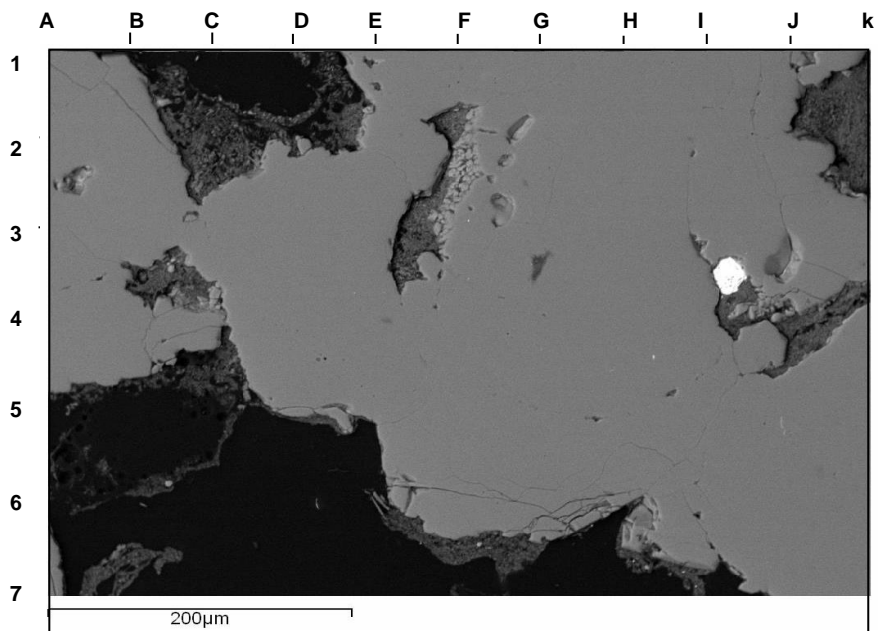


Figura N° 117. Muestra 2770'-2780'. Imagen de backscattering. Pozo Santa Clara-1.



c) Fracturamiento del grano y sellamiento.

Se observa la presencia de fracturas en los granos de cuarzo detríticos estas fracturas han sido selladas por cemento de cuarzo de color negro (Figura 118, 119, 120, 121), estas fracturas son insitu producto del contacto entre los granos. Generalmente la cantidad de cemento de cuarzo que sella las fracturas es insignificante.

Figura N° 118. Muestra 2770'-2780'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Santa Clara-1. Grano de cuarzo detrítico fracturado (G-3) y a su vez cementado por cemento de cuarzo. Cemento de cuarzo (D-4.5).

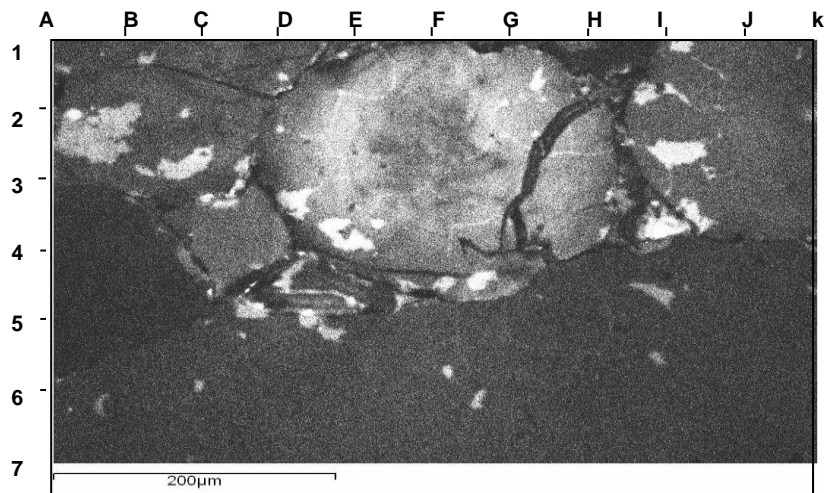


Figura N° 119. Muestra 2770'-2780'. Imagen de backscattering. Pozo Santa Clara-1.

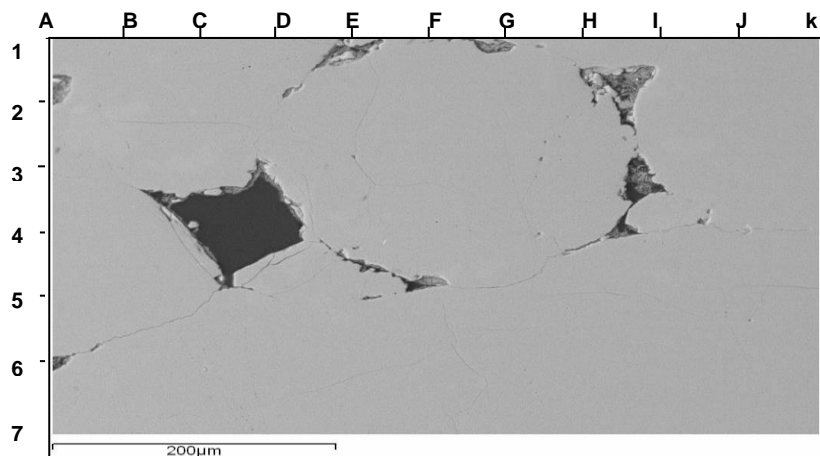


Figura N° 120. Muestra 2770' - 2780' . Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Santa Clara-1. Granos de cuarzo fracturados (C-2) y cementados por cuarzo. Cemento de cuarzo autigénico (D-5). Porosidad por disolución de arcillas (G-1, J-7) verificada por backscattering.

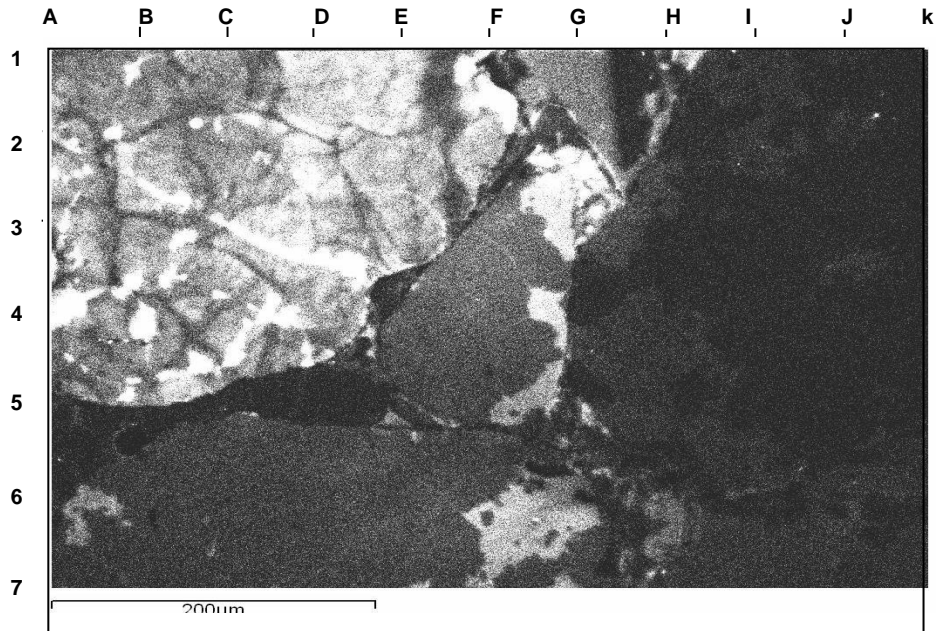


Figura N° 121 Muestra 2770'-2780'. Imagen de backscattering. Pozo Santa Clara-1.

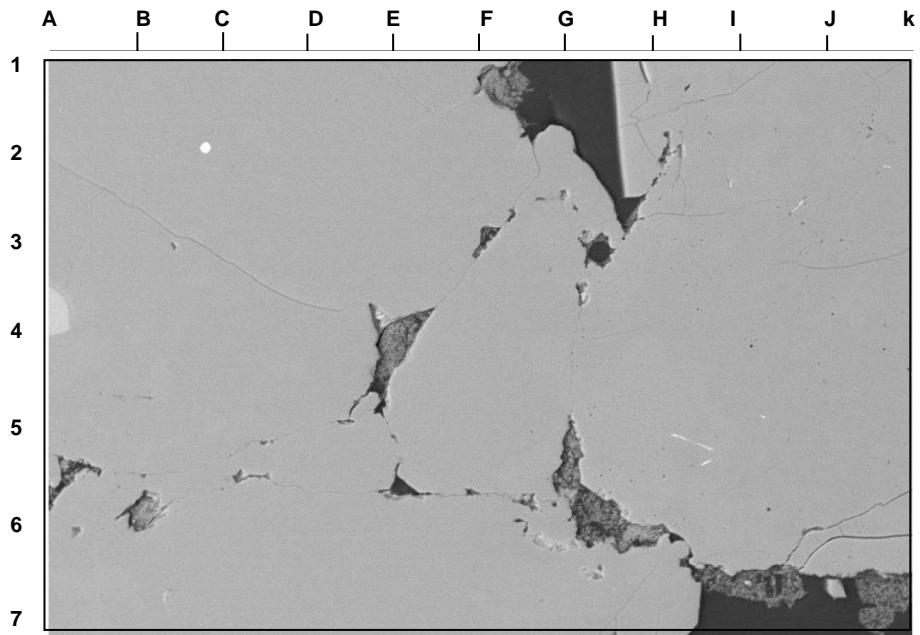


Figura N° 122. Muestra 2738'-2760'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Santa Clara-1. Grano de cuarzo detrítico fracturado (C-6) y a su vez cementado por cemento de cuarzo. Cemento de cuarzo (I-4). Porosidad por disolución de arcillas (C-3, J-6) verificada por backscattering.

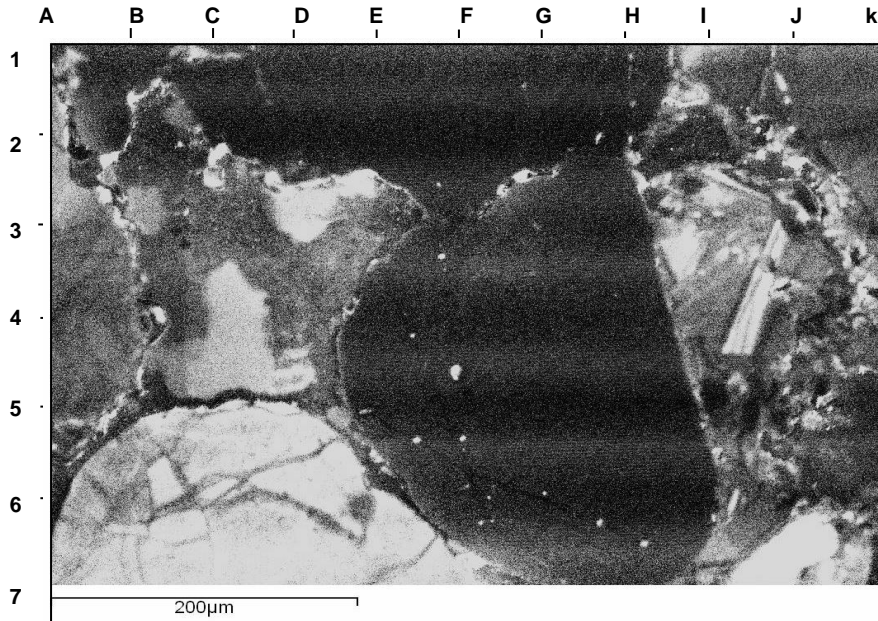


Figura N° 123. Muestra 2738'-2760'. Imagen de backscattering

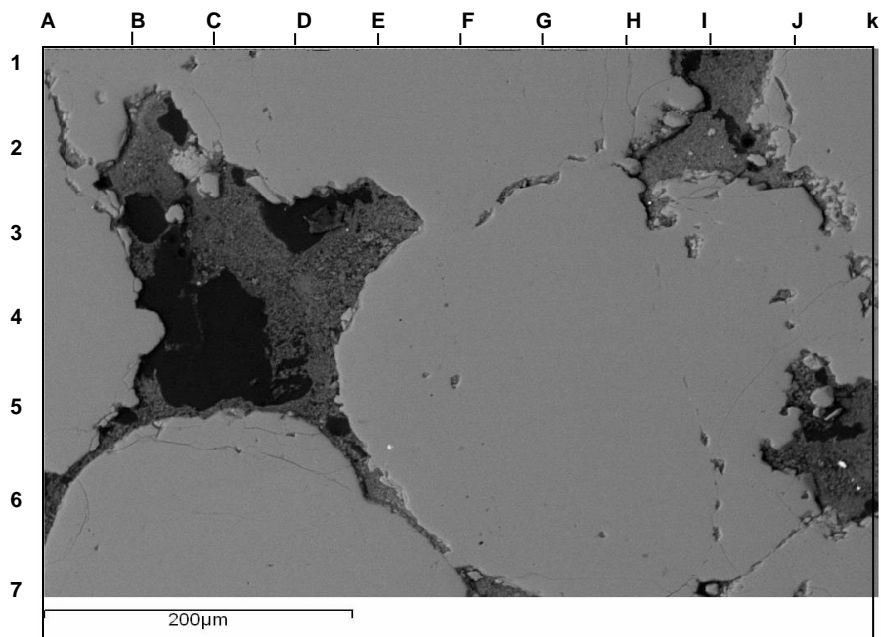


Figura N° 124. Muestra 2738'-2760'. Imagen de catodoluminiscencia. Pozo Santa Clara-1. Grano de cuarzo detrítico fracturado (J-6) y a su vez cementado por cemento de cuarzo. Porosidad por disolución de arcillas (F-4, E-6) verificada por backscattering.

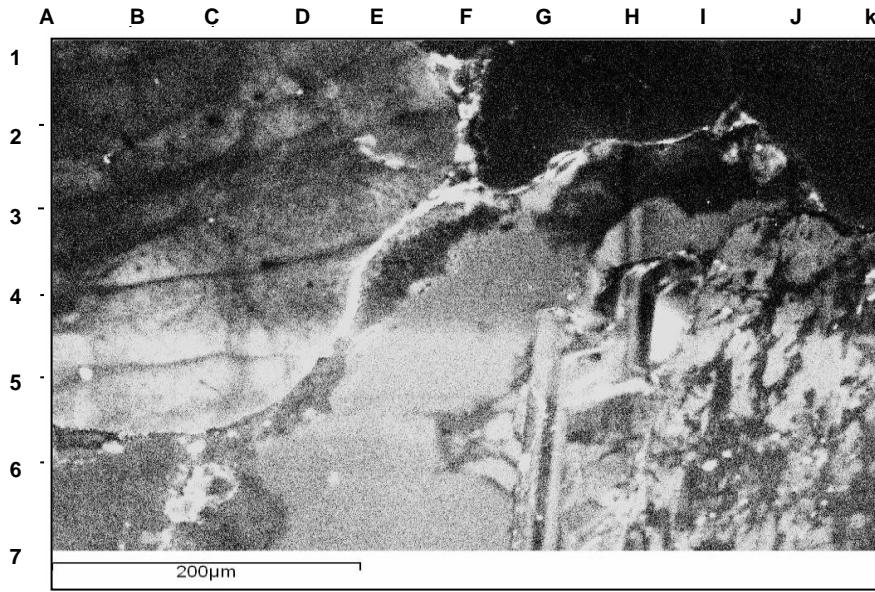
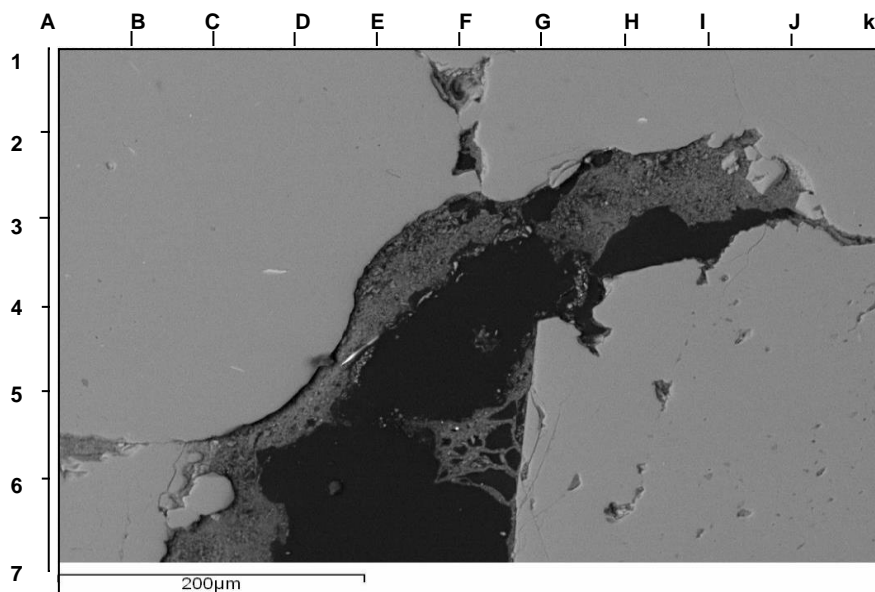


Figura N° 125. Muestra 2738'-2760'. Imagen de backscattering. Pozo Santa Clara-1.



La catodoluminiscencia como herramienta para estudiar el cemento de cuarzo en rocas paleozoicas

d) Porosidad

El cemento de cuarzo y las arcillas afectaron la porosidad, sin embargo la disolución de ambos trajo como consecuencia el desarrollo de porosidad secundaria. (Figura N° 122, 123, 124, 125).

5.5.4 Diagenesis de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Santa Clara-1x

A través del análisis petrográfico, microscopía electrónica de barrido catodoluminiscencia y difracción de Rayos-X se identificaron los siguientes procesos diagenéticos en las areniscas de la Formación Hato Viejo del pozo Santa Clara-1x:

5.5.4.1 Procesos diagénéticos

- Compactación mecánica
- Cementación de cuarzo
- Disolución de cemento de cuarzo
- Mineral de arcilla interestratificado Illita/esmectita
- Disolución de arcilla

Compactación mecánica

Las muestras estudiadas presentan efectos de compactación mecánica debido a la presencia de contactos cóncavo - convexo y suturado, el reacomodo de los granos en un empaquetamiento mas compacto y por la deformación dúctil de las micas entre los granos de cuarzo.

Cementación y disolución de cuarzo

Probablemente se observan tres etapas de cementación (Figura N° 102, 103, 114) y esta afectan directamente la porosidad primaria pero a su vez favorecen el desarrollo de la porosidad secundaria por la disolución del cemento de cuarzo (Figura N° 104, 105).

Alteración de aluminosilicatos a arcillas

Las principales alteraciones de aluminosilicatos que se observaron fueron la alteración de micas a minerales de arcilla.

Mineral de arcilla interestratificado illita/esmectita








Son de gran importancia en la diagénesis, ya que estudios estadísticos demuestran que el porcentaje de illita en los interestratificados se incrementa con el grado de diagénesis. Los análisis de mineralogía de arcilla reportan porcentajes de illita/esmectita entre 8% y 38%.

Precipitación y disolución de arcillas

Se observa la presencia de arcillas posterior a la cementación del cuarzo inclusive a la disolución del cemento de cuarzo (Figura N° 116, 117).

5.5.4.2 Secuencia paragenética del pozo Santa Clara-1.

La secuencia paragenética de las areniscas del intervalo de la Formación Hato Viejo del pozo Santa Clara -1 es la siguiente:

PROCESOS	EOGENESIS HASTA 75C	MESOGENESIS 75C – 200C
Compactación mecánica		
Cementación de cuarzo		
Disolución de arcillas		
Transformación de esmectita en illita		
Disolución de cemento de cuarzo		

5.5.5 Resumen de los resultados petrográficos, de catodoluminiscencia de las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Santa Clara-1

Las areniscas de la Formación Hato Viejo en el pozo Santa Clara-1 presentan un tamaño de grano promedio fino y un tamaño de grano máximo grueso. El escogimiento de los granos varía de moderado a malo. La esfericidad de los granos generalmente es moderada, sin embargo se observan granos que muestran alta esfericidad. La redondez de los granos oscila entre sub - angular a muy redondeada. Los contactos son generalmente de tipo longitudinal, suturado y cóncavo – convexo. Estas areniscas están compuestas mayoritariamente por cuarzo monocristalino.

La porosidad es de tipo intergranular y por disolución. La porosidad por disolución es producto de la disolución del cemento de sílice y la arcilla.

Como cemento característico se observa el cemento de sílice probablemente se presentan tres etapas de cementación de cuarzo, también se observa sobrecrecimientos de cuarzo detrítico

La matriz es arcillosa y obstruye el espacio poroso y a la vez se disuelve creando porosidad secundaria, la precipitación de arcillas es posterior a la precipitación del cemento de sílice incluso posterior a la disolución del cemento.

El cemento de cuarzo autigénico es de color negro y se encuentra ocupando espacio poroso, este cemento es posterior a la depositación de los granos de cuarzo detríticos porque estos granos están en contacto uno con otro, sin embargo el cemento de cuarzo se disuelve y crea porosidad secundaria.

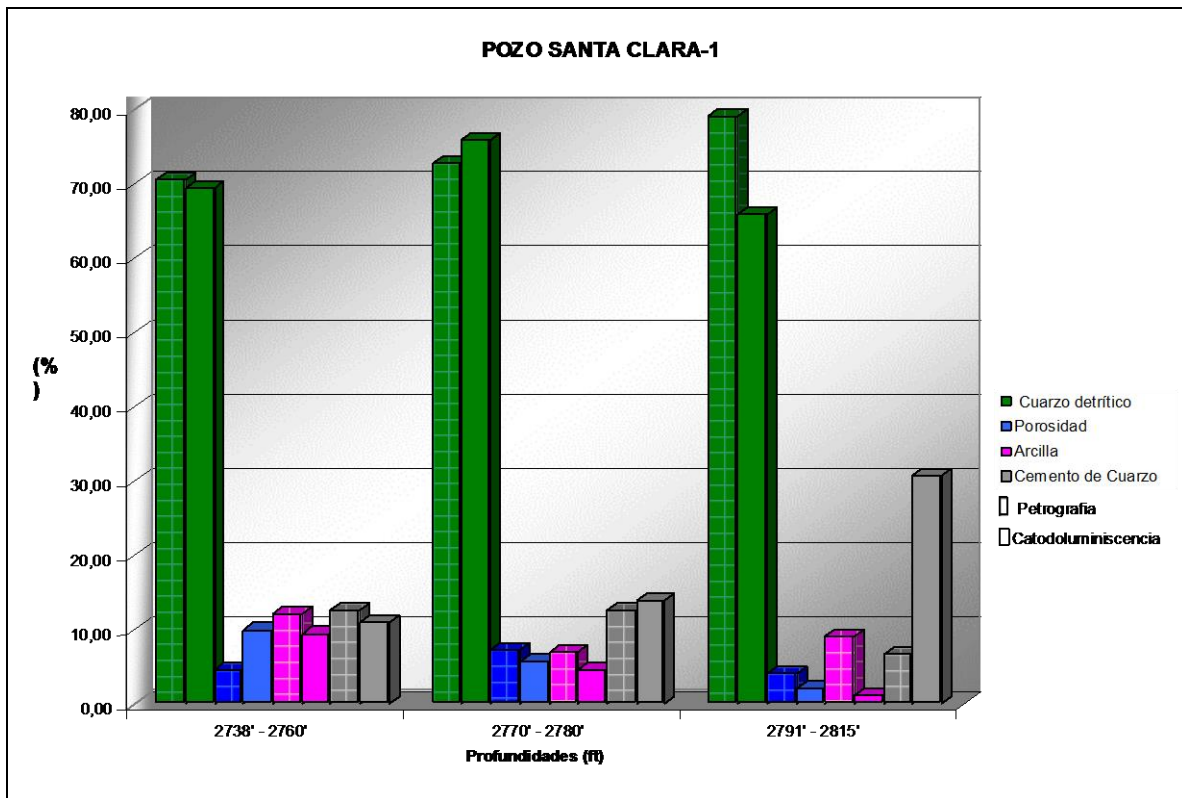
También es importante destacar que en los granos de cuarzo detríticos alguna vez existió porosidad intragranular, esta porosidad a través del estudio petrográfico no pudo ser determinada, sin embargo, las imágenes de

catodoluminiscencia muestran que esta porosidad fue eliminada por el cemento de cuarzo autigénico

Se observa la presencia de sobrecrecimientos de cuarzo detrítico secundario y fracturas en los granos de cuarzo detrítico. Estas fracturas han sido selladas por cemento de cuarzo autigénico de color negro, estas fracturas son insitu producto del contacto entre los granos. Generalmente la cantidad de cemento de cuarzo que sella las fracturas es insignificante.

A través de las imágenes de catodoluminiscencia se pudo determinar mayor cantidad de cemento de cuarzo que por petrografía convencional, en 2 de las 3 muestras analizadas (Gráfico 4).

Gráfico N°4. Comparación resultados de petrografía vs. Catodoluminiscencia del pozo Santa Clara-1x.



La catodoluminiscencia como herramienta para estudiar el cemento de cuarzo en rocas paleozoicas

6. Integración de resultados

Geográficamente, los pozos Hato Viejo N° 1, Maco-1x, Santa Clara-1x, SDZ-43X y Suata-1 están ubicados en el estado Anzoátegui, en el bloque Junín, específicamente en la parte sur, antiguamente conocido como Zuata.

Cuando se comparan los resultados de catodoluminiscencia con los análisis de la petrografía convencional, obviamente, a través de la catodoluminiscencia se obtienen mejores resultados (Gráfico 6).

También se puede observar que las areniscas de la Formación Hato Viejo en los pozos Suata-1, Santa Clara-1 y Maco-1x son los que presentan mayores porcentajes de cemento de cuarzo por catodoluminiscencia.

La catodoluminiscencia es una herramienta muy importante que necesariamente debe ser incorporada en el estudio del cemento de cuarzo ya que éste tiene gran impacto en la calidad de roca yacimiento.

Muchas veces el cemento de cuarzo no puede ser estimado con precisión a través de la petrografía convencional ya que la intensa recristalización del mismo impide ver a través de microscopio la forma original de los granos de cuarzo. Por tal motivo, las imágenes de catodoluminiscencia son una excelente opción, sin embargo, las imágenes de catodoluminiscencia tiene que estar acompañadas por las imágenes de backscattering y estas a su vez tienen que estar respaldadas por un estudio de petrografía convencional.

A través de las imágenes de catodoluminiscencia es posible estimar las diferentes etapas de cementación, sin embargo, es recomendable si se puede tener datos de inclusiones de fluidos para sugerir con mayor precisión las etapas de cementación del cuarzo.

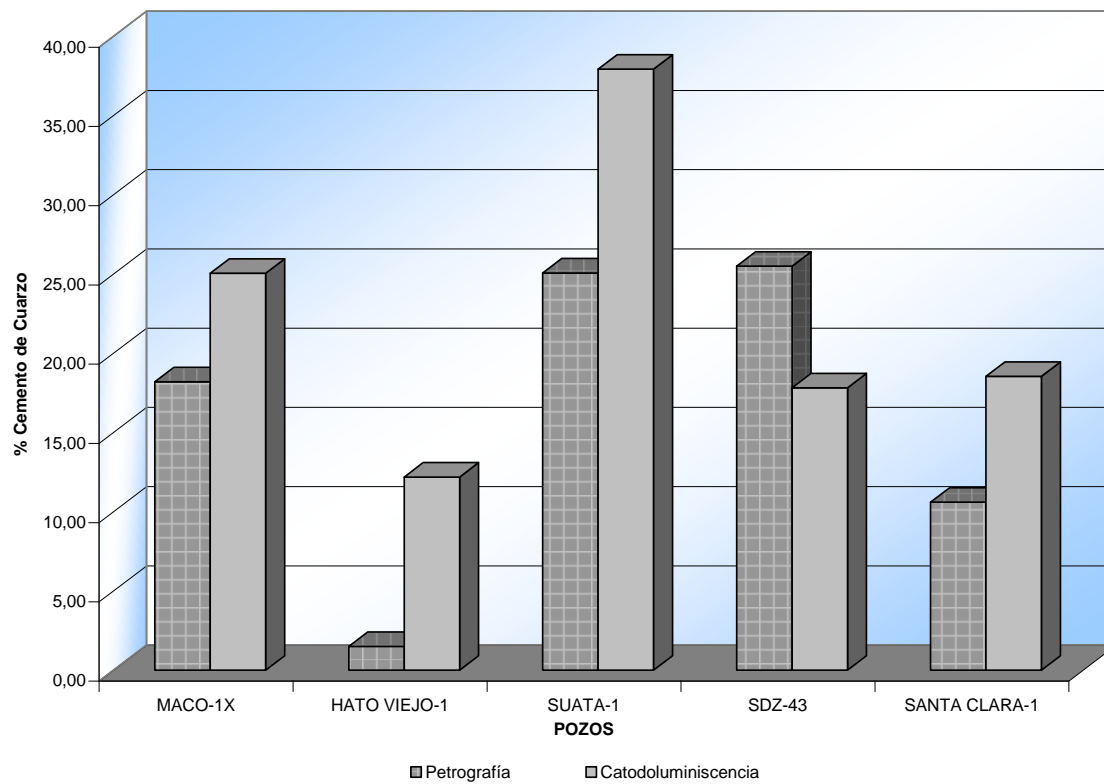


Gráfico 6. Comparación petrografía vs. Catodoluminiscencia en los pozos estudiados.

Con base en los resultados obtenidos de los estudios y análisis de petrografía convencional, microscopia electrónica (especialmente catodoluminiscencia) e inclusiones de fluidos realizadas a las muestras de núcleo de la formación Hato Viejo de los cinco pozos que conforman el área de estudio se sugieren las siguientes características petrográficas y diagenéticas para las areniscas de la formación Hato Viejo.

El tamaño de grano promedio es de fino a grueso. La textura de las areniscas es la siguiente: el escogimiento de los granos es de moderado bueno a muy malo, la redondez de los granos oscila de angular a redondeado, y presentan una esfericidad de baja a moderada, los contactos son de tipo tangencial, longitudinal, cóncavo - convexo, suturado y grano cemento. Los minerales detríticos presentes son cuarzo monocristalino, el cuarzo policristalino, los feldespatos (microclino y plagioclasas), el chert, los fragmentos de rocas, las micas y los minerales pesados. Se observa porosidad primaria de tipo intergranular y porosidad secundaria por disolución de feldespatos, fragmentos de roca, cemento de cuarzo y minerales de arcillas.

Evidentemente ocurrieron al menos tres etapas de cementación de cuarzo en la Formación Hato Viejo en un rango de temperaturas entre menores de 60°C hasta 130°C, estas etapas ocurren tanto en la zona eogénesis como en la zona mesogénesis y hay evidencias diagenéticas de la presencia de estas zonas por la presencia de procesos diagenéticos característicos.

En la zona eogénesis con temperaturas de hasta 75°C, las soluciones porales se conectan fácilmente con las aguas superficiales. Por lo tanto, el sistema será abierto y los fluidos circularán con libertad a través de los poros de la roca y se intercambiarán con las aguas dulces de las superficies, en esta zona se observan procesos diagenéticos, tales como:

- Compactación mecánica
- Cementación de cuarzo
- Disolución de feldespatos y arcillas.

La zona mesogénesis ocurre a mayores profundidades y entre las temperaturas de 75°C y 200°C, el sedimento se encuentra aislado de las aguas superficiales y con el soterramiento aumenta la solubilidad de los minerales y en consecuencia aumenta el contenido de sílice en solución en las areniscas que pueden migrar o precipitar localmente, en esta zona se observan procesos diagenéticos tales como:

- Cementación de cuarzo
- Disolución de feldespatos
- Reemplazo de feldespato de potasio por cuarzo
- Alteración de feldespatos y micas a caolinita y esmectita
- Formación de illita por la presencia de caolinita
- Transformación de esmectita en illita
- Clorita
- Disolución del cemento de cuarzo y cemento de dolomita.

A continuación se muestra la secuencia paragenética generalizada para las areniscas de la Formación Hato Viejo:

PROCESOS	EOGENESIS HASTA 75C	MESOGENESIS 75C – 200C
COMPACTACION MECANICA		
CEMENTACION DE CUARZO ENTRE 60°C < – 130°C		
DISOLUCION DE FELDESPATOS Y ARCILLAS		
REEMPLAZO DE FELDESPATOS DE POTASIO POR CUARZO		
ALTERACION DE FELDESPATOS Y MICAS A CAOLINITA Y ESMECTITA		
FORMACION DE ILITA POR LA PRESENCIA DE CAOLINITA		
TRANSFORMACION DE ESMECTITA EN ILITA		
CLORITA		
DISOLUCION DE CEMENTO DE CUARZO		



Profundidad

A través de las imágenes de catodoluminiscencia se observaron fracturas que mediante petrografía convencional no se habían observado, estas fracturas están presentes en los granos detríticos y han sido selladas por cemento de cuarzo de color negro, algunas de las fracturas son insitu producto del contacto entre los granos. También se observan fracturas pero en color blanco, probablemente esto es indicativo de que están abiertas. Generalmente, la cantidad de cemento de cuarzo que sella las fracturas es insignificante.

7. Conclusiones

- La catodoluminiscencia puede estimar con mayor precisión la cantidad de cemento de cuarzo, las etapas de precipitación de cuarzo y la presencia de microfracturas, los cuales por petrografía convencional no pueden ser determinadas con precisión.
- La catodoluminiscencia es una herramienta muy importante que necesariamente debe ser incorporada en el estudio del cemento de cuarzo ya que este tiene gran impacto en la calidad de roca yacimiento.
- Los procesos diagenéticos presentes en la Formación Hato Viejo son: : Compactación mecánica, cementación de cuarzo, disolución de feldespatos y arcillas, cementación de cuarzo, reemplazo de feldespato de potasio por cuarzo, alteración de feldespatos y micas a caolinita y esmectita, formación de illita por la presencia de caolinita, transformación de esmectita en illita, Clorita, disolución del cemento de cuarzo.
- Evidentemente ocurrieron al menos tres etapas de cementación de cuarzo en la Formación Hato Viejo en un rango de temperaturas entre menores de 60°C hasta 130°C.
- La Formación Hato Viejo presenta las siguientes características petrográficas: El tamaño de grano promedio es de fino a grueso, el escogimiento es de moderado bueno a muy malo, la redondez de angular a redondeado, la esfericidad de baja a moderada, los contactos son de tipo tangencial, longitudinal, cóncavo - convexo, suturado y grano cemento. Los minerales detríticos presentes son cuarzo monocristalino, el cuarzo policristalino, los feldespatos (microclino y plagioclasas), el chert, los fragmentos de rocas, las micas y los minerales pesados. Se observa porosidad primaria de tipo intergranular y porosidad secundaria por disolución de feldespatos, fragmentos de roca, cemento de cuarzo y arcillas.

- La interpretación de imágenes de catodoluminiscencia determina que para la Formación Hato Viejo el cuarzo detrítico se presenta en colores blanco brillante, gris oscuro y tonalidades oscuras. Los granos detríticos muestran formas angulares y redondeadas. Los feldespatos se presentan en color blanco. El cemento de cuarzo se presenta en colores gris y negro. La porosidad se observa en colores negro y blanco.
- Los granos detríticos se encuentran en contacto, indicando que el cemento de cuarzo es posterior a la depositación de los granos detríticos.
- La cementación de cuarzo y las arcillas reducen notablemente la porosidad, sin embargo la disolución de ambos genera porosidad secundaria.

8. Referencias

Baker, J., Fielding, C. (1995). Early diagenetic siderite as an indicator of depositional environment in the Triassic Rewan Group, southern Bowen Basin, eastern Australia. *Sedimentology* 43.

Bucher, W. H. (1952). Geologic structure and orogenic history of Venezuela, *Geol. Soc. Am., Mem.* 49, 113 p.

Biomarker Technology. (2003). Age - related biomarker study of extracts from Venezuela. Reporte interno de PDVSA Intevep.

Boggs, S. Jr. (1992) Petrology of sedimentary rocks. Maxwell Macmillan

Burley et al; (1989). Timing diagenesis in the Tartan reservoir UK, North Sea; Constraints from combined cathodoluminescence microscopy and fluid inclusion studies. *Mar and Petrol. Geol.*, 6.

Burley et al; (1985). Clastic diagenesis. En: *Sedimentology recent developments and applied aspects* (editado por Brenchley, P. Y Williams, B.). Blackwell (Oxford)
Berner, R. A., (1981). A new geochemical classification of sedimentary environments. *Journal of sedimentary petrology* 51.

Cabrera, D., Solórzano, E., Paredes, I., González, M.; Gallango, O., Aguado B. y Berbesi, M. (2002a). Datos Sedimentológicos, Geoquímicos y Bioestratigráficos del pozo Socororo-1 (SPN-1) en los intervalos de núcleos 6794'-7100' y 5764'-6734', Area de Zuata. Informe Técnico INTEVEP INT- INT-9835,2002.

Cabrera, E. (1985). El paleozoico en los llanos Venezolanos. Informe Técnico Corpoven.

Carother, W. W., y Kharaka, Y. K., (1979). Aliphatic acid anions in oil-field water - implications for origin of natural gas. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 62

República de Venezuela, Ministerio de Energía y Minas. (1997). Léxico estratigráfico de Venezuela. Tomo I y II.

Choquette y Pray. (1970). Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. American Association of Petroleum Geologist Bulletin 54.

Di Giacomo, E. (1985) Acrítarcos de la Formación Carrizal, área de Zuata – Faja Petrolífera del Orinoco, Venezuela oriental. VI Congreso Geológico Venezolano: 504–509.

Dunn T. (1995). The catodoluminescence and quartz cementation of the Misoa C6 and C7 sandstones, Bachaquero field area, Lake Maracaibo, Venezuela.

Dunn T. (1998). Diagenesis and Porosity prediction for Escandalosa and Gobernador sandstones Flanco Surandino and Barinas área.

Fluid Inclusion Technologies, Inc. (2003). Fluid Inclusion Petrography and Microthermometry of fifteen core samples from Venezuela. Reporte interno de PDVSA Intevep.

Feo-Codecido et al; (1984). Basement and Paleozoic rocks of the Venezuelan llanos basins. Geol. Soc. Am., Mem., 162:

Feo-Codecido, G. (1953-4). Notas petrológicas sobre formaciones que afloran en la región de El Baúl, Estado Cojedes, *Bol. Geol. (Venezuela)*, 3(8): 109-121.

Feo-Codecido. (1956). Resumen sobre la Formación Hato Viejo. Tomado del Código Geológico. Internet: <http://www.pdv.com/lexico>.

Funes, D. (1985). Tipos de acumulaciones de petróleo en el área de Hamaca. Sociedad Venezolana de Geólogos, Caracas, VI Congreso. *Geol. Venez.*, 6: 3015-3036.

González de Juana et al; (1980) Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Caracas, Venezuela

Hedberg, H. D. (1950). Geology of the eastern Venezuela basin (Anzoátegui-Monagas-Sucre-eastern Guárico portion), *Geol. Soc. Am., Bull.*, 61(11): 1173-1216.

Hedberg, H. D. (1942). Mesozoic stratigraphy of northern South America. 8th. Am. Sci. Cong., U.S.A., 1940, Proc., 4: 195-227

Liddle, R. A. (1946). The geology of Venezuela and Trinidad, (2nd. ed.) Paleont. Res. Inst., Ithaca, New York, 890 p.

Mcbride E. F. (1989). Quartz cement in sandstones: a review. *Earth science reviews*, 26, page 69-112.

Maraven (1983). Faja Petrolífera del Orinoco, Area de Zuata, Evaluación exploratoria. Volumen VII. Figura VII-119. Informe técnico Maraven FP-0206.

Marfil et al; (2000). Quartz cementation in cretaceous and jurassic reservoir sandstones from salam oil field, western desert, Egypt. Constraints on temperature and timing of formation from fluid inclusions

Moticska, P. (1985). Volcanismo Mesozoico en el subsuelo de la Faja Petrolífera del Orinoco, Estado Guárico, Venezuela. VI Congreso Geológico Venezolano: 61929–1943.

Osborne M., y Hazeldine R. S. (1993). Fluid inclusion temperatures in diagenetic quartz reset by burial: implications for oil field cementation. AAPG studies in geology.

Paredes, I., Cabrera, D., Solórzano, E., Gallango, O., González, M., Hochuli, P. (2001a). Informe integrado: Sedimentológico, Bioestratigráfico y Geoquímico del pozo SDZ-43X, Area de zuata. Informe Técnico INTEVEP INT-8526,2001.

Paredes, I., Cabrera, D., Solórzano, E., Gallango, O., González, M., Hochuli, P. (2001b). Informe integrado: Sedimentológico, Bioestratigráfico y Geoquímico del pozo SDZ-3X, Area de zuata. Informe Técnico INTEVEP INT-8534,2001.

Paredes, I., Cabrera, D., Solórzano, E., Gallango, O., González, M., Hochuli, P. (2001c). Informe integrado: Sedimentológico, Bioestratigráfico y Geoquímico del pozo SDZ-62X, Area de zuata. Informe Técnico INTEVEP INT-8616,2001.

Pérez R, and Boles J. (2005). Interpreting fracture development from diagenetic mineralogy and thermoelastic contraction modeling. Science @ Direct, Tectonophysics, P179-207.

Pilloud, A., Paredes, I., Rodriguez, G., Pernía, Tony. (1998). Leyenda Estratigráfica PDVSA 1998. Informe Técnico PDVSA-Intevep. INT-5383, 1998

Quartino, B, J (1987). Deformación y metamorfismo. Anales de la academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Roedder, E. (1984). Fluid inclusions. In: P. H. Ribbe (Ed. Reviews in mineralogy, 12. Mineralogical Society of America.

Ramm et al; (1997). Porosity – depth trends in deeply buried Upper Jurassic reservoirs in the Norwegian Central Graven: an example of porosity preservation beneath the normal economic basement by grain-coating microquartz, in J.A.

Scasso R. A., y Bausch W. M. (1995). Geoquímica y transformaciones mineralógicas en concreciones carbonáticas durante la diagénesis. El caso de la Formación Ameghino en la península Antártica. Asociación Argentina de sedimentología Revista 2.

Solórzano, E., Paredes, I., González. M., Gallango, O. y Aguado, B. (2001a). Datos Sedimentológicos, Bioestratigráficos y Geoquímicos del pozo Carrizal-1. Informe Técnico INTEVEP INT-8766,2001.

Solórzano, E., Paredes, I., González. M., Gallango, O. y Aguado, B. (2001b).Datos Sedimentológicos, Bioestratigráficos y Geoquímicos del pozo NZZ-88X. Informe Técnico INTEVEP INT-8767,2001

Solórzano, E., Paredes, I., González. M., Gallango, O., Aguado, B y Ruggiero, A. (2001c). Datos Sedimentológicos, Bioestratigráficos y Geoquímicos del pozo Hato Viejo N° 1. Informe Técnico INTEVEP INT-8842,2001.

Solórzano, E., Paredes, I., González. M., Gallango, O. y Aguado, B. (2001d). Datos Sedimentológicos, Bioestratigráficos y Geoquímicos del pozo NZZ-108X. Informe Técnico INTEVEP INT-8679,2001

Solórzano, E. , Cabrera, D., Paredes, I., Grande, S., Gallango, O., Campos, A., Rada, O., Berbesi, M. y González. M. (2003a). Datos Sedimentológicos,

Bioestratigráficos y Geoquímicos del Pozo Maco-1x en el Intervalo de núcleo 2710'-3291'6", Area de Zuata. Informe Técnico INTEVEP INT-9545,2002.

Solórzano, E. , Cabrera, D., Paredes, I., Campos, A., Suarez, H., Rada, O., Sánchez, J., González. M. y Berbesi, M. (2003b). Datos Sedimentológicos, Bioestratigráficos y Geoquímicos del Pozo Suata-1 en el Intervalo Pre-Cretácico 1421'-2741', Area de Zuata. Informe Técnico INTEVEP INT-9858,2002.

Solórzano, E., Paredes, I. ,Cabrera, D., Sánchez, J., Gallango, O., González , M., Aguado, B y Berbesi, M. (2003c). Datos Sedimentológicos, Bioestratigráficos y Geoquímicos del Pozo MCH-8-5X en el Intervalo de núcleo 10409'-10438', Area de Machete - Espino. Informe Técnico INTEVEP INT-9557,2002.

Solórzano et al., (2004). Síntesis del Pre-Cretácico en la Faja Petrolífera del Orinoco. Informe Técnico INTEVEP INT-10232,2004.

Stephen E. Laubach (2003). Practical approaches to identifying and open fractures. AAPG, Volumen 87, número 4.

Stover, L.E. (1967). Palynological dating of the Carrizal of Eastern Venezuela. Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo. Boletín informativo. Volumen 10, Número10,288-304.

Sinanoglu E. (1986) Palinoestratigrafía de los sedimentos Pre-Cretácicos (Formación Carrizal) en el área de Zuata, Venezuela Oriental. Rev. Tec. Intevep 6/1: 67-98

Schmidt y Macdonald. (1979b). Texture and recognition of secondary porosity in sandstones. En Scholle, P.A y P.R. Schluger (eds.) Aspects of diagenesis. SEPM Special Publication 26.

Scasso R. A, y Limarino C. O (1997). Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas. Publicación especial N° 1 de la Asociación Argentina de sedimentología.

Surdam et al; (1989). Organic - inorganic interactions and sandstones diagenesis. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 73.

Surdam et al; (1984). The chemistry of secondary porosity. En Mcdonald, D.A., y R. C. Surdam (eds). Clastic diagenesis. American Association of Petroleum Geologists Memoir 37.

Van Erve, A. (1985). Palinoflora del Jurásico del pozo NZZ-108X en el área de Zuata, Faja Petrolífera del Orinoco, Venezuela oriental, Mem. VI Congreso Geológico Venezuela.

Walderhaug, O. (2000). Modeling Quartz cementation and porosity in middle Jurassic Brent Group sandstones of the Kvitebjorn field, northern north sea. AAPG Bulletin, V. 84, N° 9.

Walderhaug, O. (1994a). Temperatures of quartz cementation in Jurassic sandstones from the Norwegian continental shelf. Evidence from fluid inclusions. J. Sedim. Research, A64.

Wilson, M. D, y Staton, P. T. (1994). Diagenetic mechanisms of porosity and permeability reduction and enhancement. In: Reservoir quality assessment and prediction in clastic rocks. (Ed. By Wilson, D) SEPM Short Course, 30.