



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**ALGUNAS TÉCNICAS UTILIZADAS COMÚNMENTE
EN LA CARACTERIZACIÓN DE YACIMIENTOS**



Tesis

Para obtener el título de:

INGENIERO GEOLOGO

Presenta:

MARTÍN TRÁPALA VÁZQUEZ

Director de tesis:

MIGUEL I. VERA OCAMPO

Ciudad Universitaria, México D. F., Septiembre 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mis padres por su ejemplo, por guiarme y apoyarme siempre de manera incondicional pues gracias a ello pude abrirme camino en la vida.

A mi esposa Dulce por ser mi inspiración para seguir adelante y a mis hijos que hoy en día son una valiosa razón para culminar este proceso.

A mis hermanos

Daniel

Laura

Gabriel

A mis primos

Francisco

Eduardo

A los ingenieros

Miguel I. Vera

German Arriaga

Alberto Herrera

Luis Arturo Tapia

Fernando Rosique

Benjamín Márquez.

Guadalupe Villaseñor

Héctor Macías

Alfredo Victoria

Por su valiosa aportación a mi formación y a todos aquellos profesores, que contribuyeron directa e indirectamente a este logro personal.

A mis amigos y compañeros

Arnulfo

Andrés

Horacio

Santiago

Edith

Marco

Cereza

Jorge

Mónica A

German

Mónica R.

Por su amistad y ayuda desinteresada.

A mi alma mater la UNAM, pues mi paso por esta enriqueció enormemente mi vida.

A la Facultad de Ingeniería de la cual me siento muy orgulloso, por haberme dado las bases profesionales que me han permitido salir adelante.

Índice

Objetivos.	4
Introducción.	4
Capítulo 1	
Caracterización de yacimientos.	5
Capítulo 2	
Algunas técnicas comunes de análisis de calidad de yacimiento.	9
Aplicaciones y limitaciones.	38
Capítulo 3	
Aplicación a la evaluación de formaciones.	45
Capítulo 4	
Aplicación en un pozo exploratorio de hidrocarburos.	65
Conclusiones.	77
Bibliografía.	80
ANEXOS.	84

Objetivos

1. Este trabajo tiene el propósito de presentar las técnicas usadas comúnmente en el conocimiento y cuantificación de las propiedades que permiten evaluar la calidad de roca almacén y así lograr un amplio entendimiento de las interacciones roca-fluido en un yacimiento de hidrocarburos.
2. Otro objetivo de este trabajo es informar sobre algunas de las técnicas y tecnologías desarrolladas por la industria petrolera para lograr la caracterización de yacimientos petroleros.

Introducción

Para finales del siglo XX, la industria del petróleo había desarrollado un gran número de sofisticadas tecnologías para entender, medir y modelar los variados procesos en el subsuelo.

Un yacimiento de hidrocarburos se define como un medio poroso y permeable compuesto de roca y fluidos (agua, petróleo y gas) que interactúan entre si; por consiguiente, la caracterización de un yacimiento define cuantitativamente la información necesaria para realizar modelos y predecir el flujo a través del medio poroso, según los profesionales involucrados en la exploración y explotación petrolera, encargados de las evaluaciones en las formaciones almacenadoras de hidrocarburos, sean estos ingenieros geólogos o ingenieros petroleros.

Capítulo 1: Caracterización de yacimientos

La caracterización de yacimientos es un conjunto de procesos y procedimientos (Fig. 1.1) realizados durante el análisis de un campo o prospecto petrolero a partir del modelo geológico conceptual de un yacimiento; en ésta se utilizan todas las fuentes de análisis disponibles como lo son la estática (núcleos, registros de pozo y sísmica) e información dinámica (pruebas de pozo e historia de producción) para desarrollar un modelo tridimensional de las principales propiedades petrofísicas del yacimiento, para definir atributos espaciales claramente diferenciables que conduzcan a pruebas de flujo distinguibles, a partir de los datos obtenidos de núcleos y/o registros de pozo.

La caracterización de un yacimiento es de gran importancia dentro del proceso de evaluación de yacimientos y es esencial para determinar las propiedades dinámicas del sistema pozo-yacimiento. Se basan en el análisis e interpretación de pruebas realizadas a los pozos de un yacimiento. Dentro de sus mayores beneficios está el obtener el modelo tridimensional de la geología del subsuelo. Así mismo para conocer las interacciones de la roca con los fluidos de interés presentes en un yacimiento, lo que ayuda a lograr un mejor conocimiento del mismo para fines relacionados con la extracción de hidrocarburos y los problemas que se derivan de su extracción. Este proceso tiene la finalidad de obtener el máximo aprovechamiento en la obtención de estos recursos no renovables.

También ayuda a: diseñar soluciones a los problemas que se generan en los yacimientos al momento de ser explotados; a conocer la mejor manera de estimular los pozos cuando esto es necesario; a apreciar las dimensiones y geometría de un yacimiento; a estimar las reservas del mismo y en ocasiones a determinar la incorporación de reservas de hidrocarburos

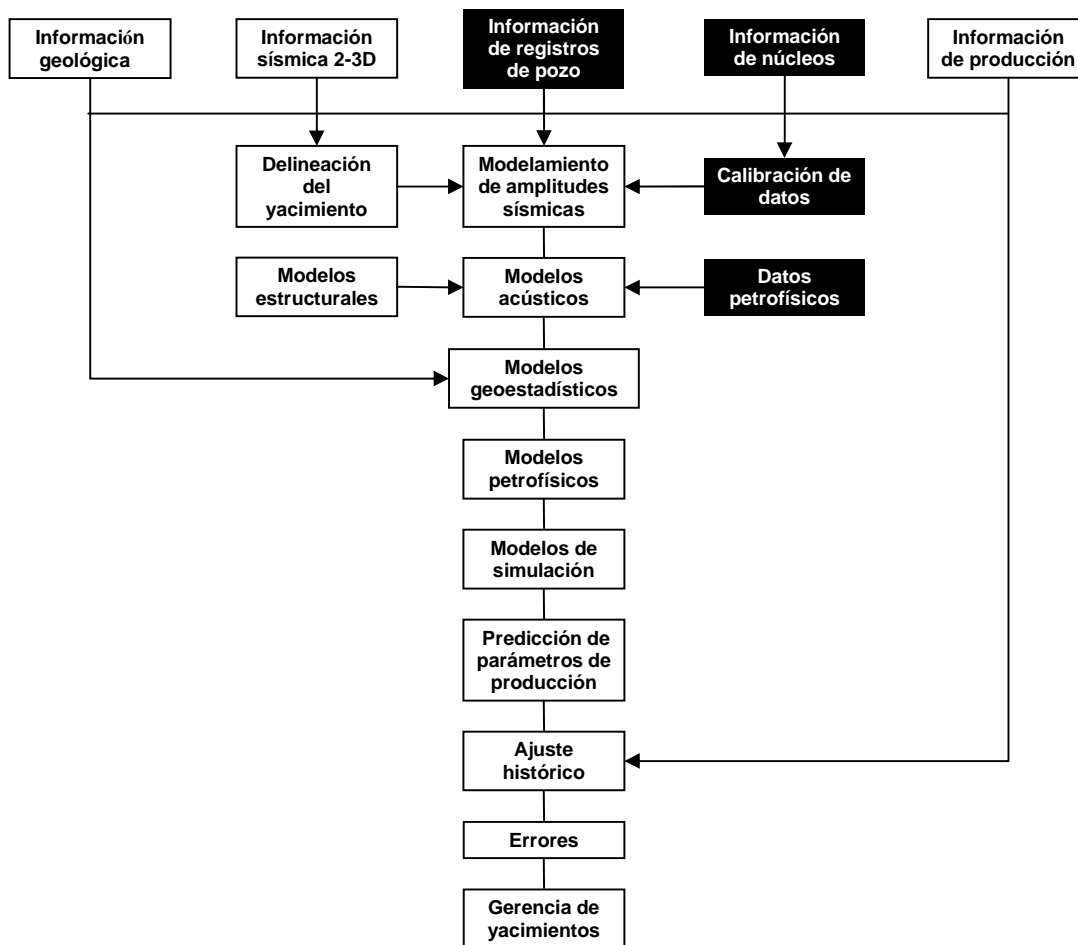


Fig. 1.1 Proceso de caracterización de un yacimiento

La evaluación de la calidad de un yacimiento depende de factores tales como la textura, la distribución mineralógica, la presencia de minerales diagenéticos, la porosidad, la permeabilidad, la saturación de agua y las sensibilidad a los fluidos. A su vez, la calidad del yacimiento es determinada por factores, tales como; los rasgos depositacionales primarios y los factores postdepositacionales.

Dentro de los rasgos depositacionales primarios se considera la composición de los granos, la cantidad, distribución y composición de las arcillas de la matriz; también se considera la selección y el tamaño de los granos, lo cual determina la madurez textural de un sedimento, en el caso de rocas clásticas.

Los factores postdeposicionales que tienen influencia en los yacimientos son la compactación mecánica, la disolución y la precipitación de minerales autógenos, tales como el cuarzo, glauconita y colófano entre otros.

La evaluación de la calidad del yacimiento debe comprender la descripción básica de núcleos y el análisis de facies; en los núcleos se debe llevar a cabo el análisis granulométrico; asimismo, se debe emplear el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB), la difracción de rayos X y la catodoluminiscencia para tener un mejor entendimiento del sistema poroso. Así como su conectividad, la interacción de la porosidad con los minerales potencialmente dañinos para ésta y su influencia en el flujo de fluidos.

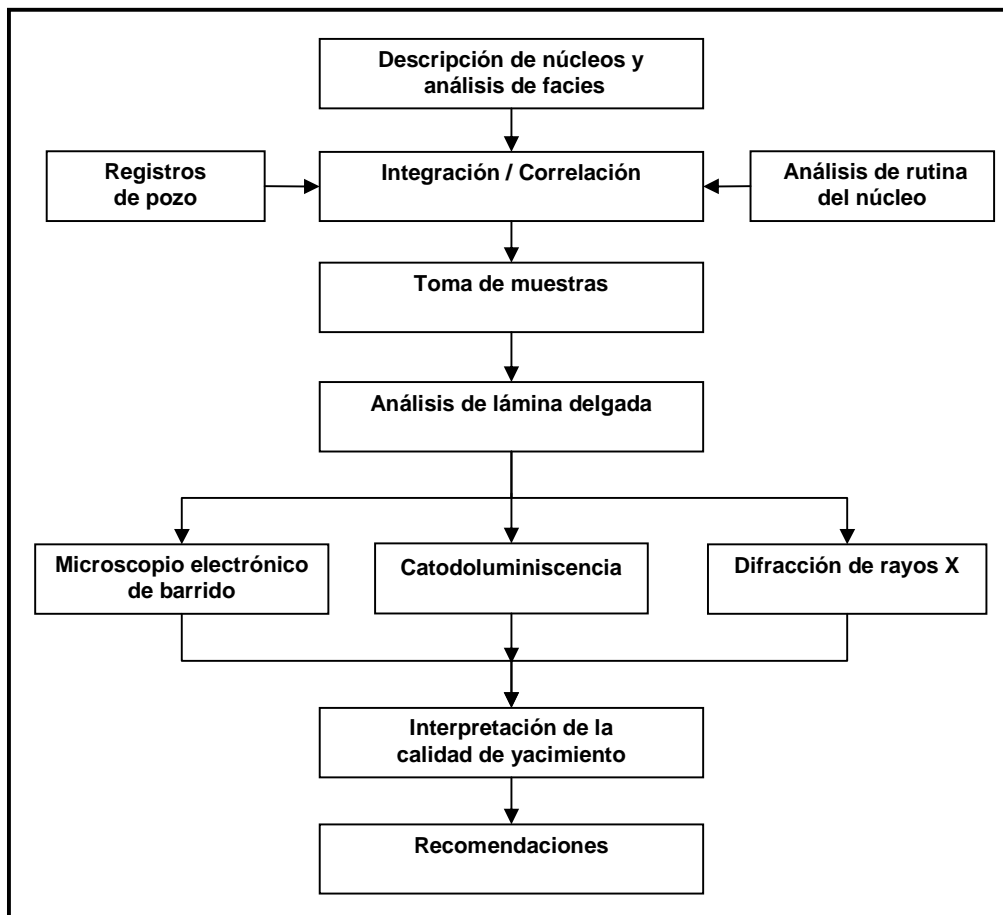


Fig. 1.2 Diagrama del flujo de información para la caracterización de un yacimiento.

La herramienta más importante para lograr este objetivo es la descripción de núcleos (Fig. 1.2) con el fin de identificar y describir las diferentes facies sedimentarias. Sin este paso el valor de la toma de muestras para estudios más detallados disminuye considerablemente.

Propiedades petrofísicas: Las propiedades petrofísicas de un yacimiento son una función directa de las propiedades texturales y estructurales de las rocas de yacimiento, las cuales a su vez están controladas por el proceso sedimentario. A continuación se relaciona el conjunto de propiedades físicas de la fase roca-fluido que ejerce control sobre los fluidos del yacimiento durante la migración, almacenamiento y producción de hidrocarburos; estas propiedades deben ser analizadas y estudiadas detalladamente para realizar la correcta evaluación de un yacimiento, como se muestra en el cuadro siguiente.

PROPIEDADES FÍSICAS ROCA - FLUIDO
• Porosidad
• Permeabilidad
• Densidad de grano
• Agua irreductible
• Aceite residual
• Mojabilidad
• Presión capilar
• Permeabilidad relativa

La calidad de un yacimiento y la predicción de cómo se comportará cuando se ponga en producción, al tratarse con fluidos de terminación, o se ponga bajo recuperación mejorada, pueden ser evaluadas con el uso de técnicas básicas para la caracterización del mismo. El propósito de este trabajo es proporcionar un documento que cubra el proceso de análisis de la calidad de yacimiento para

obtener una caracterización confiable del mismo. Los tópicos cubiertos incluyen la petrografía de lámina delgada, la microscopía electrónica de barrido, el análisis de difracción de rayos X y los problemas potenciales en la calidad de yacimiento. El capítulo tres muestra el uso de las varias herramientas en evaluación de formaciones. Si se aplican los procedimientos de análisis de calidad de yacimiento antes del tratamiento de este último, los problemas potenciales podrían ser evitados.

Capítulo 2: Algunas técnicas comunes de análisis de calidad de yacimiento

La aplicación de ciertas técnicas de análisis, es para entender la importancia de los procesos diagenéticos que influyen en la calidad de un yacimiento en rocas clásticas y calcáreas. Así como su influencia en las propiedades petrofísicas para así conocer la calidad del yacimiento y sus problemas relacionados, lo cual ayudara a comprender y evaluar los problemas que controlan la calidad de este mismo.

El uso de la tecnología, ayuda a conocer los principios científicos básicos, así como a advertir las cualidades de las diferentes técnicas petrográficas que se utilizan en la evaluación de la calidad del yacimiento.

Dentro de los parámetros básicos que deben ser considerados en la evaluación de un yacimiento, se tienen la geometría de los cuerpos de roca y las propiedades de la roca como son las variaciones texturales y las características

petrofísicas. A esto se une la aplicación de un método geoestadístico para poblar con datos el modelo geológico.

Esto conlleva a conocer la estructura del yacimiento y las propiedades del mismo; Además permite realizar su modelado y simulación, lo que requiere la integración de disciplinas para realizar la descripción del yacimiento y la colección de datos para obtener modelados eficientes.

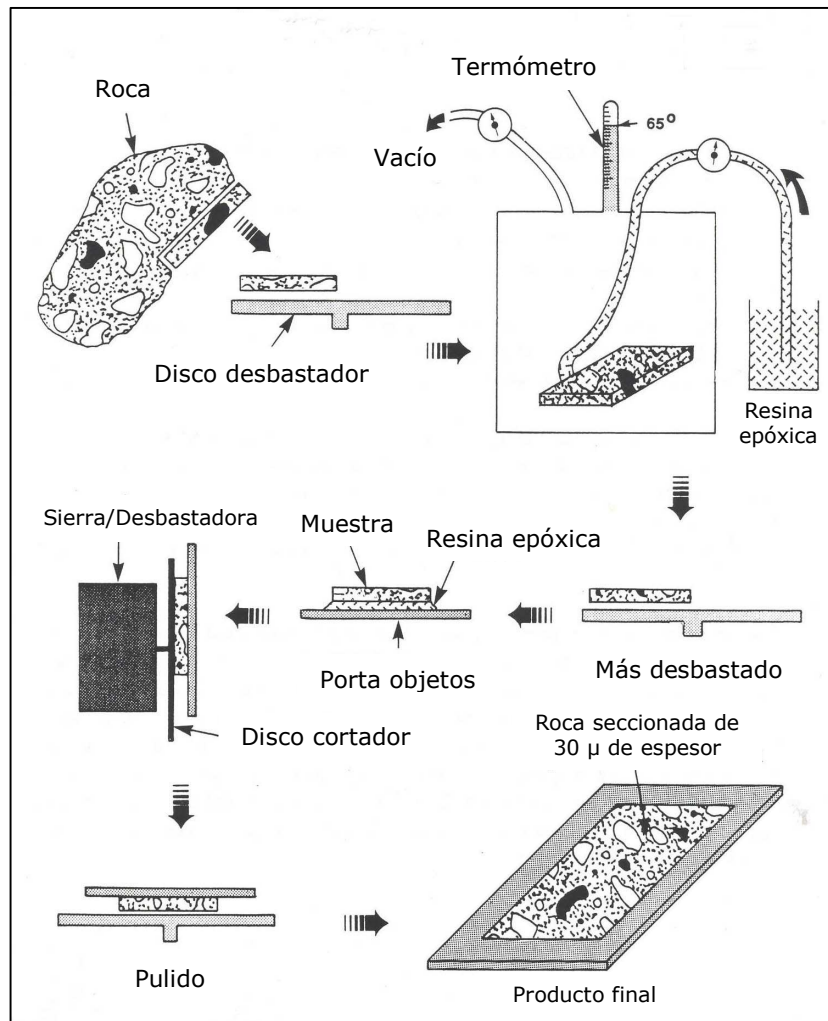
Estas técnicas no deben utilizarse solas, sino deben ser integradas con otras técnicas como las usadas en geofísica y la petrofísica en el proceso de evaluación del yacimiento.

Técnica: Petrografía de lámina delgada

La lámina delgada (Fig. 2.1) es una pieza de roca lo suficientemente delgada (en promedio 20μ) que permite ser observada con un microscopio de luz polarizada, el cual puede estar equipado con accesorios de epifluorescencia o catodoluminiscencia.

Observaciones: Cuidados en la preparación de muestras

- Si se presenta crudo en la roca, éste debe ser primeramente removido utilizando un aparato de fase de vapor o Dean-Stark.



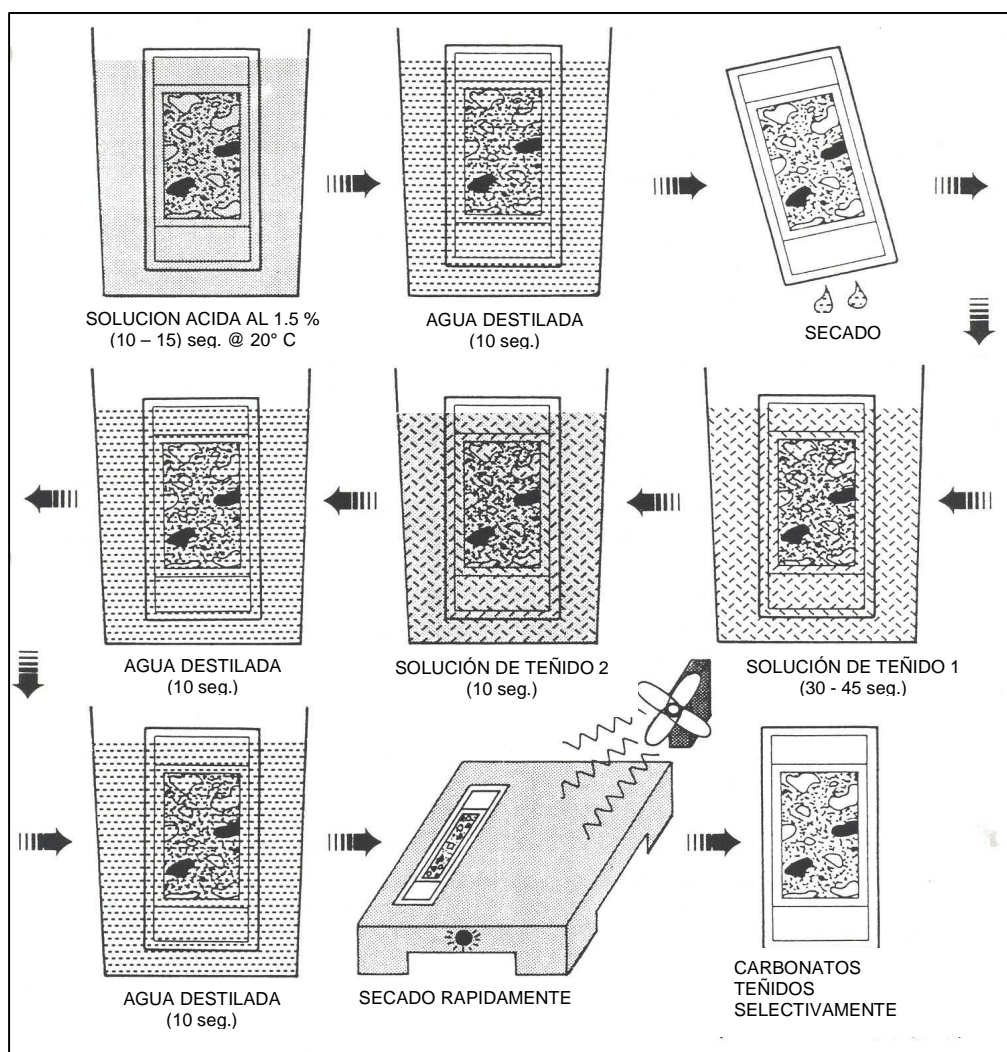
Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989

Fig. 2.1 Preparación de una lámina delgada.

- Si se presenta esmectita, no se debe usar agua dulce. La muestra se debe cortar en seco y en la reducción de masa se debe utilizar metanol como lubricante.
- La reducción y el corte deben hacerse suavemente, sin aplicar mucha presión sobre la roca para evitar el fracturamiento de los granos.

Para ayudar en la identificación de minerales con propiedades ópticas similares, las láminas delgadas deben ser teñidas (Figs. 2.2 y 2.3) por medio de ciertos químicos (Allman & Lawrence, 1972)

- Carbonatos: Rojo de alizarina
- Feldespatos: Cobaltonitrito de sodio

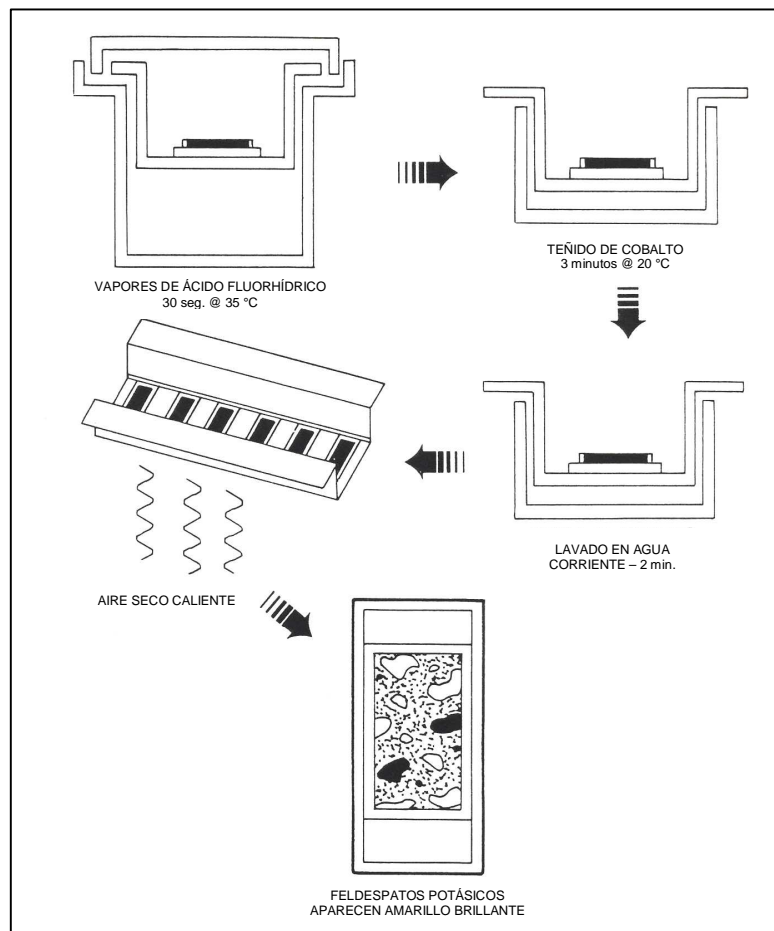


Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989

Fig. 2.2 Teñido de láminas delgadas.

Colores de minerales carbonáticos después del teñido

Minerales	Color después del tratamiento
Calcita	Varía de un rosa muy pálido hasta rojo
Calcita ferrosa	Varía de morado a azul
Dolomita	Sin color
Dolomita ferrosa	Turquesa pálido a profundo



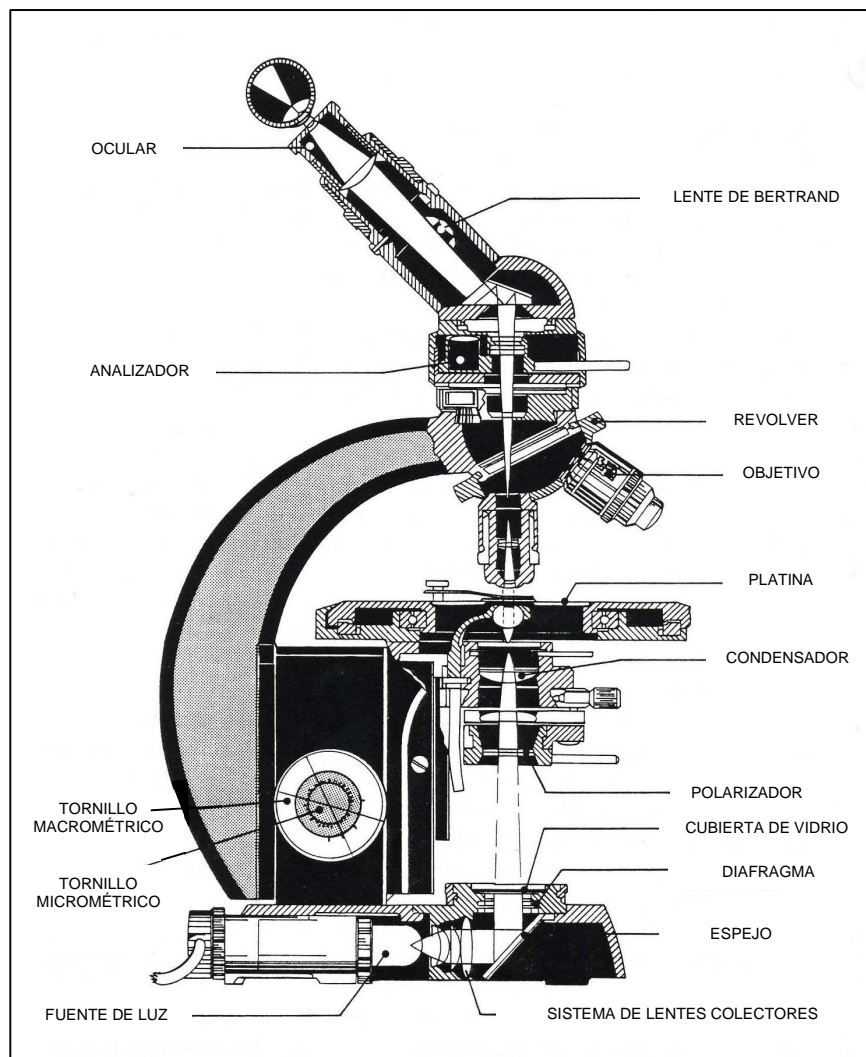
Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989

Fig. 2.3. Teñido de feldespatos.

Minerales	Color después del tratamiento
<i>Feldespatos potásicos</i>	<i>Amarillo pálido</i>

Técnica: Microscopio de polarización

Es la herramienta básica usada por el petrográfo en la evaluación de la calidad de un yacimiento (Fig. 2.4).



Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989

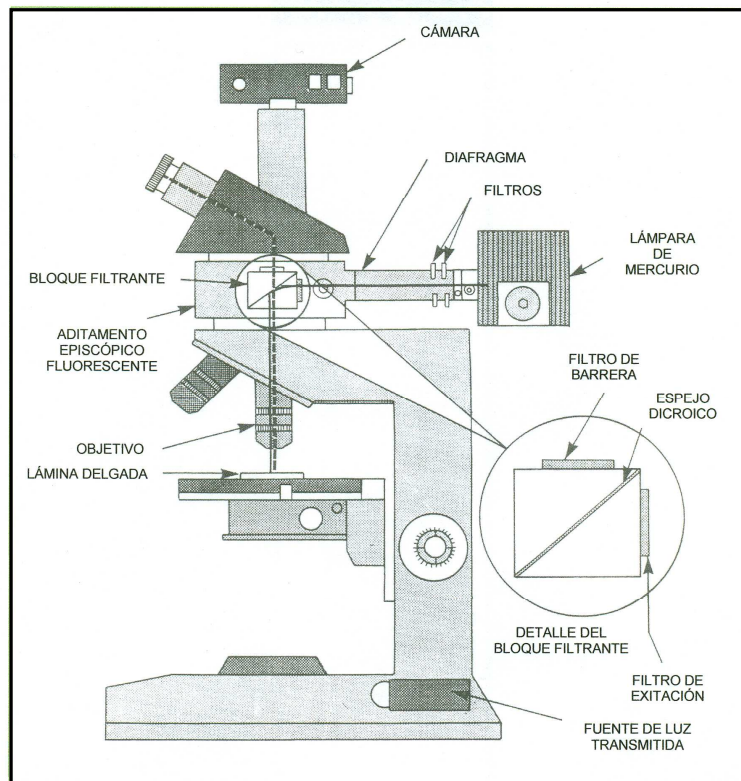
Fig. 2.4 El microscopio de polarización

Observaciones: Algunos de los accesorios y rasgos más sobresalientes de esta técnica son los siguientes:

- Polarizador
- Analizador
- Platina giratoria de 360°
- La luz es transmitida del sistema de lentes colectores y a través del polarizador hacia la muestra en la platina.
- Después de pasar la muestra, la luz pasa a través del objetivo y el analizador hacia el ocular.

Técnica: Microscopio de fluorescencia

Microscopio de polarización con un accesorio episcópico - fluorescente (Fig. 2.5)



Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989

Fig. 2.5 Microscopio de fluorescencia.

- La luz usada para examinar las muestras es incidente en vez de transmitida. La luz de una fuente de mercurio (alta intensidad) que pasa a través del bloque de filtro, a través del objetivo a la muestra en la platina y se devuelve al ocular.

Observaciones: Consideraciones en la preparación de la muestra

- Factores críticos, como la impregnación de petróleo, consolidación de la muestra entre otros.
- Es necesario usar resina epóxica para impregnar la muestra. Ésta debe ser fluorescente bajo un rayo de luz incidente.
- Se tiñe con rodamina B.

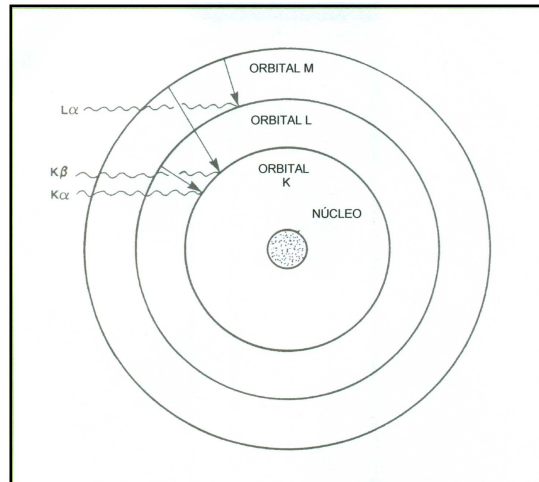
Aplicaciones

Se usan filtros azul violeta y verde. Se observa la porosidad ya que es la única parte de la muestra invadida con resina epóxica fluorescente.

Técnica: Microscopio de catodoluminiscencia

Las láminas delgadas pueden ser examinadas con un microscopio equipado con un luminoscopio para observar texturas de minerales y roca no reconocidas por luz transmitida en un microscopio de petrografía

- De acuerdo con Nickel (1978): “La luminiscencia se origina por perturbaciones moleculares de los materiales cristalinos, durante el proceso de luminiscencia los materiales generan radiación no termal debido a la excitación de los electrones característicos del material emisor (Fig. 2.6).
- El proceso incluye excitación, acumulación termal de energía y emisión.



Orbitales

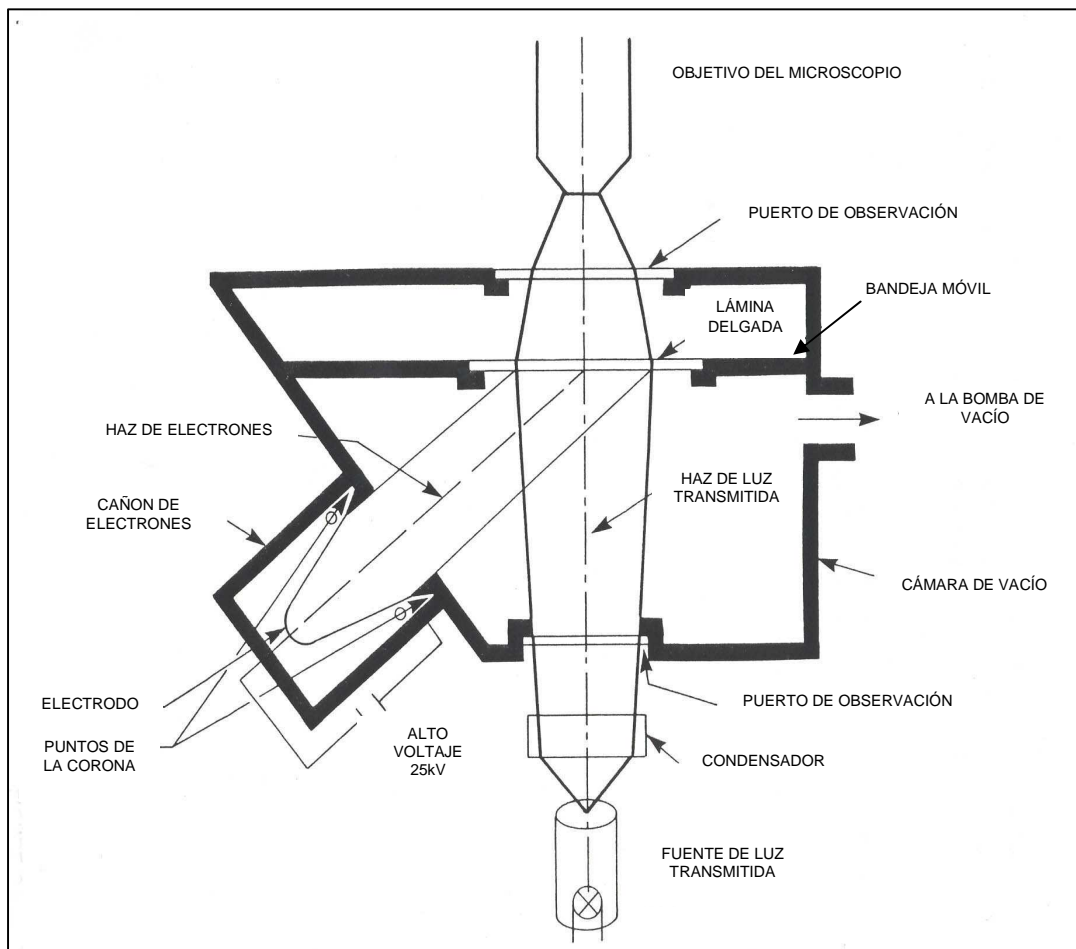
Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989

Fig. 2.6 Radiación X en orbitales.

- La luminiscencia se produce con un rayo catódico. Para examinar los minerales se usa una combinación de luz transmitida y catodoluminiscente. El luminoscopio se fija entre el objetivo y la fuente de luz transmitida del microscopio de petrografía (Fig. 2.7)
- La lámina delgada se monta en una bandeja en una cámara de vacío. Se genera un rayo de electrones de la pistola y se dirige a la lámina delgada, cuando el rayo de electrones golpea los minerales estos son luminiscentes.
- Las láminas delgadas se preparan de la manera estándar a excepción que se dejan sin cubrir y con la superficie expuesta finamente pulida.

Aplicaciones

- Esta técnica permite observar texturas internas de minerales específicos. Se usa para estudios diagenéticos donde es posible diferenciar granos clásticos de cementos posteriores y los estados de precipitación y disolución de estos minerales.



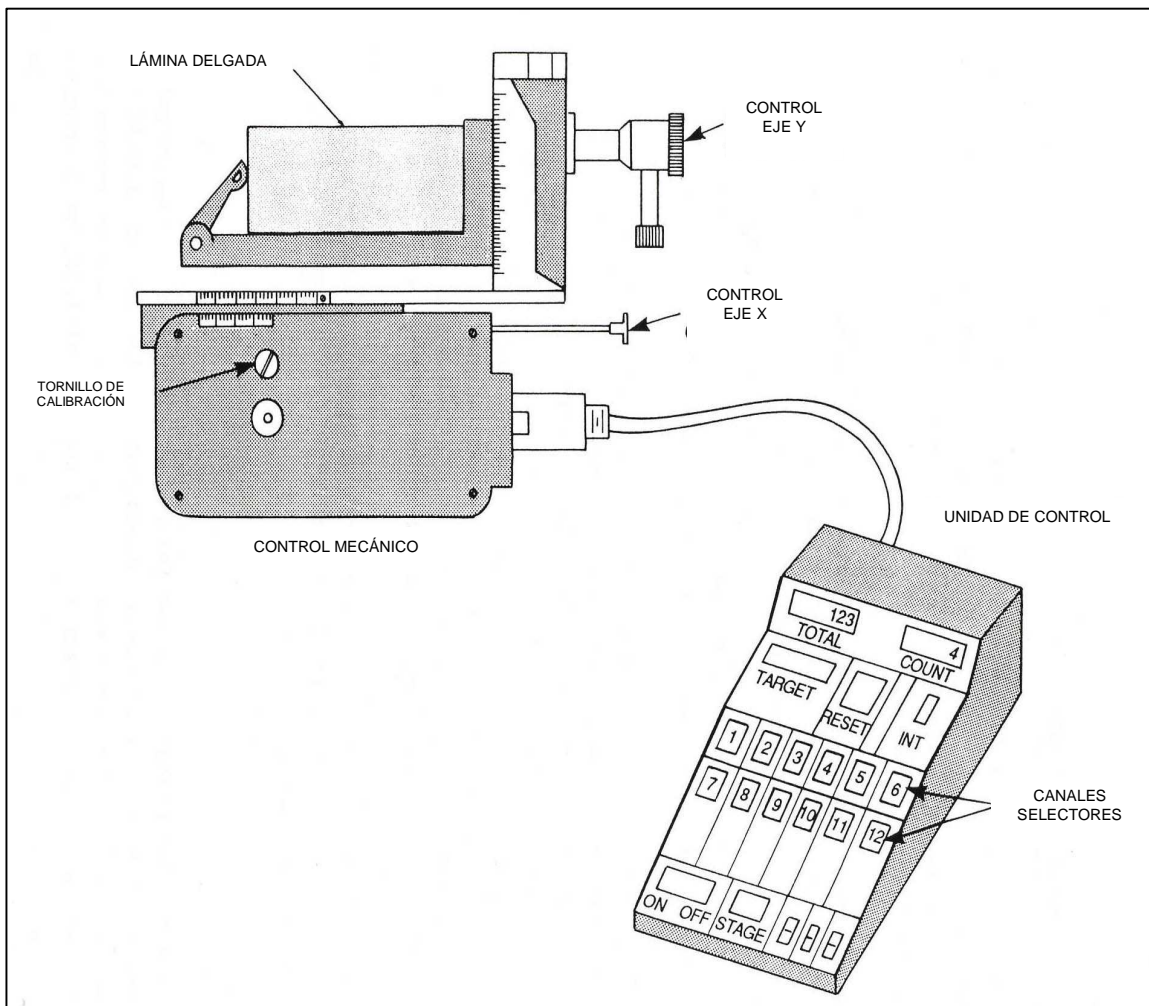
Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989

Fig. 2.7. Microscopio de catodoluminiscencia.

Técnica: Conteo de puntos

- El conteo de puntos permite la cuantificación de la porosidad y de los tipos de granos minerales presentes en la lámina delgada. Este análisis se realiza con un aparato de conteo de puntos (Fig. 2.8) y el microscopio de polarización.
- El aparato de conteo de puntos consta de una caja de control (contador) y una platina mecánica.
- La platina mecánica se coloca al lado de la platina del microscopio y esta última se fija para que no gire.

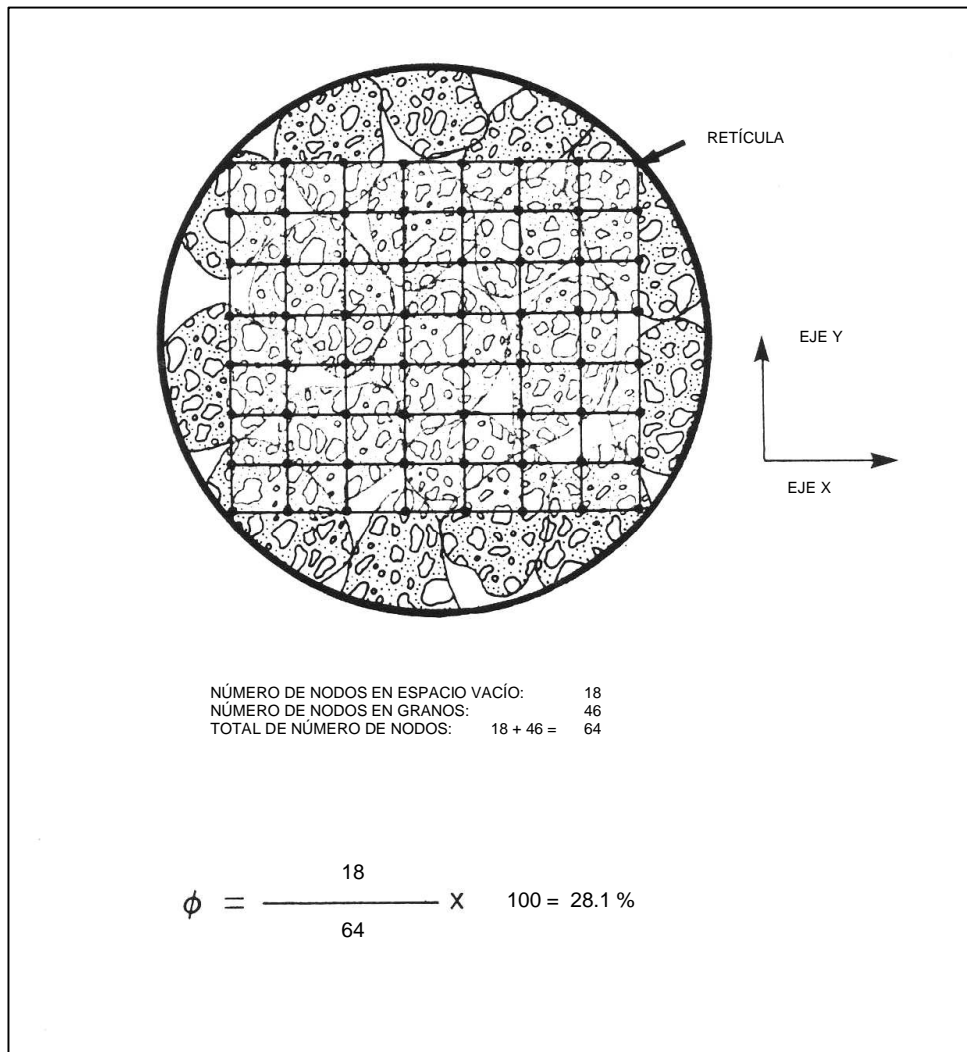
- La lámina delgada se coloca en la platina mecánica y se ajusta al eje Y.
- Se selecciona un intervalo de espaciamiento apropiado para mover a lo largo del eje X cada vez que se realice el conteo.
- En el contador, a cada selector de canales se le asigna un mineral específico o porosidad.



Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989

Fig. 2.8 Análisis de conteo de puntos.

- El grano o poro que se observa en el retículo del microscopio es “contado” presionado el canal apropiado (Fig. 2.9).
- La platina avanza automáticamente en el eje X en el intervalo específico.
- El proceso se repite hasta contar unos 300 o 400 puntos.



Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989

Fig. 2.9 Análisis de conteo de puntos

Observaciones: Precisión

La precisión del método es de más o menos 1% del total del conteo. El error en la observación (precisión) para 300 puntos, es:

$$\Phi = \pm 1/300 \times 100$$

$$\Phi = \pm 0.33 \%$$

Muestra	Conteos	Espacio	Conteo Porosidad	(%) Porosidad
1	930	1	163	17.5
1	300	3	61	20.3
1	180	5	39	21.7
Promedio	470	-	88	18.7

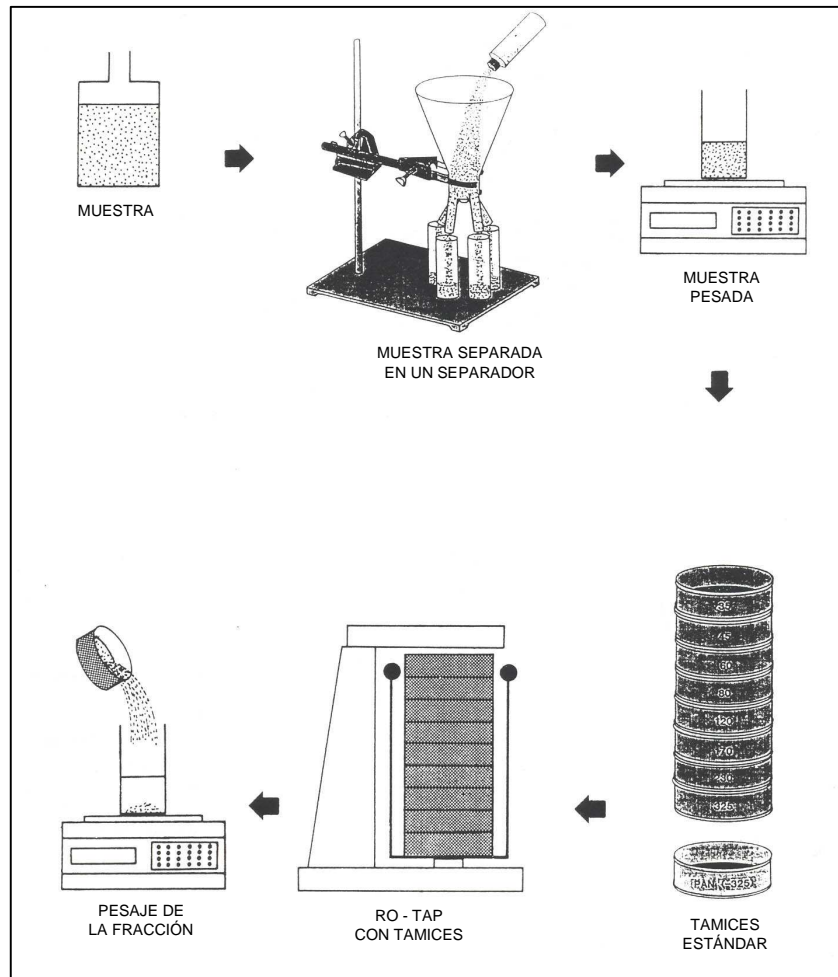
- Varía con el número de puntos usados. Esto es por la naturaleza aleatoria de la muestra y el intervalo de espaciamiento.
- Con este método se miden los porcentajes de los granos y de los minerales presentes en la roca.

Técnica: Análisis granulométrico

- Tamices
- Analizador de tamaño de partículas.

Tamizado (Fig. 2.10)

- Este método requiere de muestras no consolidadas.
- Se utilizan tamices con tamaños de mallas conocidas (US standard sieves).
- La muestra es dividida en varias sub-muestras de 100 gr de peso.
- La muestra pasa a través de una serie de tamices apilados por efecto vibratorio.
- El sedimento retenido en cada malla es pesado y se determina el porcentaje de la fracción.



Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989.

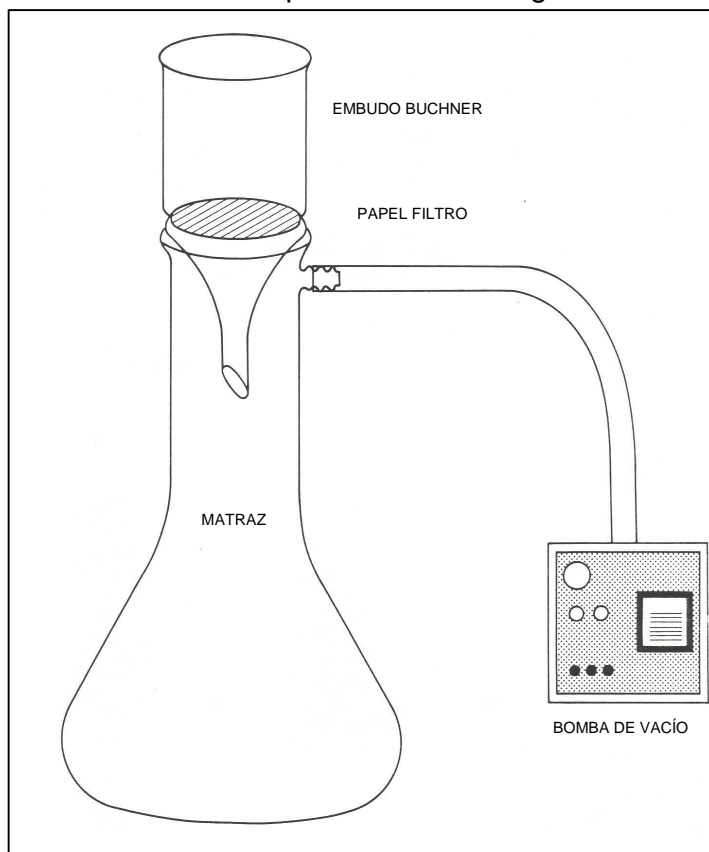
Fig. 2.10 Tamizado.

Tamices

$$\% \text{ Fracción} = \frac{\text{Peso de la fracción} \times 100}{\text{Peso muestra total}}$$

Tamiz húmedo

- A veces se utiliza remover la fracción -325 con las técnicas de análisis de tamiz húmedo.
- 100 gr. de muestra son sumergidos en agua y colocados en un embudo Buchner (Fig. 2.11) que contiene un papel filtro que ha sido pesado.
- Se utiliza una cámara de vacío para remover el agua.



Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989.

Fig. 2.11 Tamiz húmedo.

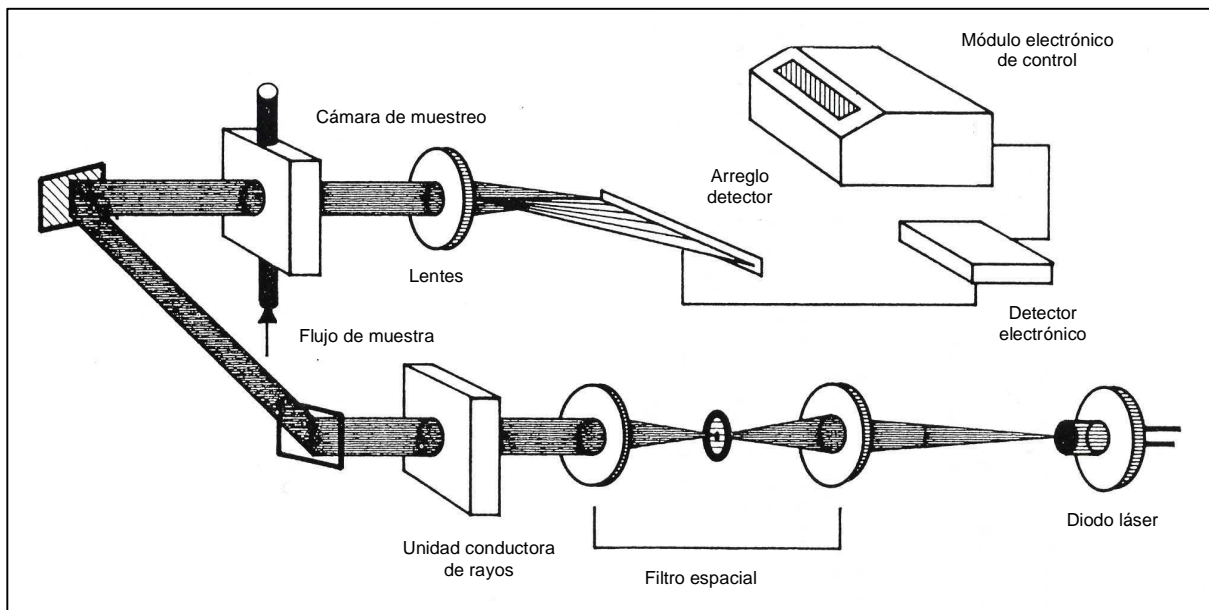
- El papel filtro es secado y pesado. El proceso se repite para la fracción –325

Peso neto fracción –325 = (Filtro + peso fracción –325 - peso papel filtro)

$$\% \text{ Fracción } -325 = \frac{\text{Peso neto fracción } -325 \times 100}{\text{Peso muestra total}}$$

Técnica: Analizador de tamaño de partículas

- Equipo con tecnología láser (Fig. 2.12)
- Partículas sumergidas en una solución a través de una cámara
- Rayo láser dirigido a la cámara



Tomado de D.W. Lewis, Analytical Sedimentology, Kluner Academic Publishers

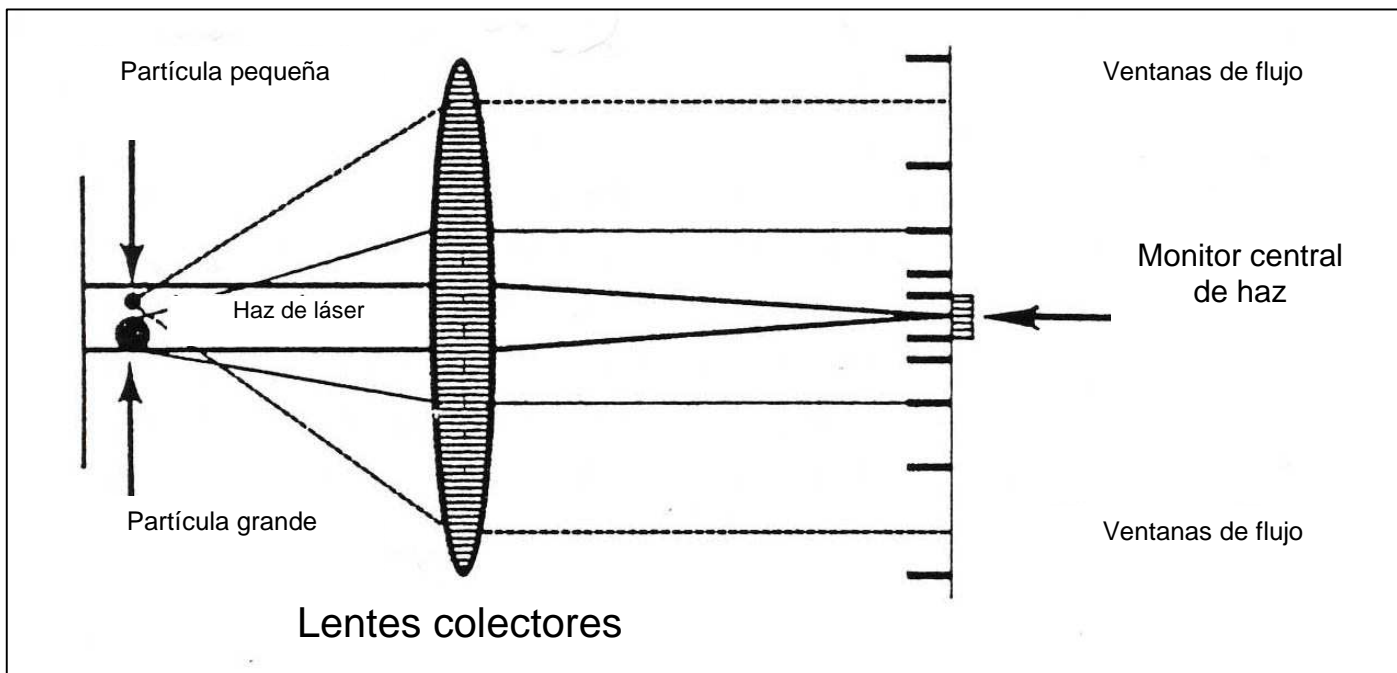
Fig. 2.12 Analizador de tamaño de partículas.

Analizador de tamaño de partículas

- El rayo láser golpea las partículas y se dispersa.
- Partículas más grandes dispersan más luz que las partículas pequeñas, pero con ángulos menores.

Detalles del procedimiento.

- La energía total dispersada por las partículas es proporcional al área de las partículas dentro del rayo (Fig. 2.13)
- La luz dispersada es colectada por un lente y dirigida a un detector de elementos.
- Se efectúa el cálculo de tamaño de partículas.



Tomado de D.W. Lewis, Analytical Sedimentology, Kluner Academic Publishers

Fig. 2.13 Detector de tamaño de partículas.

Técnica: Difracción de rayos X (DRX)

- Utilizado para determinar las composiciones mineralógicas totales de roca y de arcilla.
- Evaluación cualitativa a semi-cuantitativa de la mineralogía.

El análisis de difracción de rayos X se puede realizar en dos tipos de muestras.

- Muestra total
- Muestra de la fracción de arcilla

Muestra total

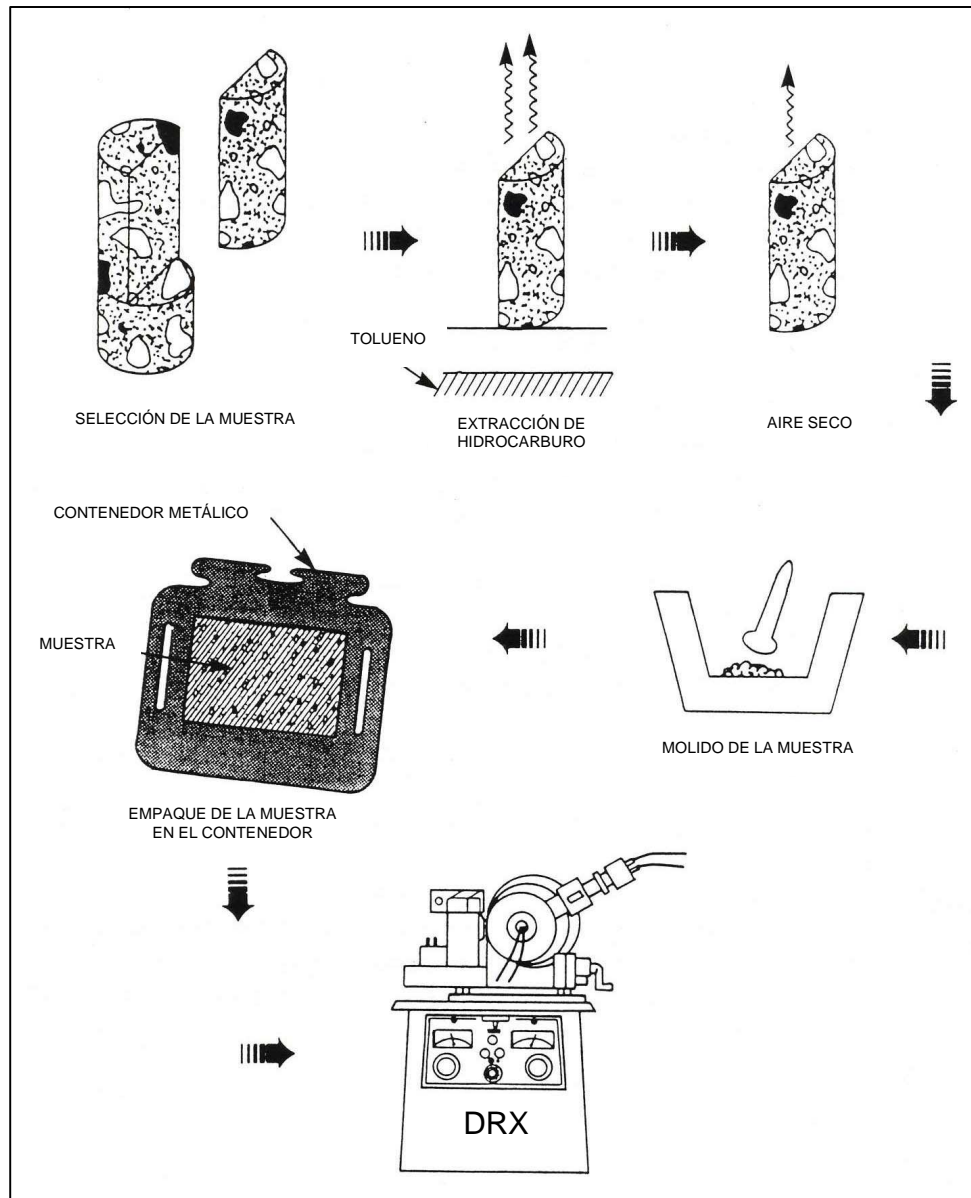
Es necesario prepararla por la trituración de algunos granos de muestra a polvo fino (debe pasar la malla No. 200 tamaño 0.08 mm). El polvo es empacado en un recipiente de aluminio y ya está listo para el análisis (Fig. 2.14).

Muestra de la fracción de arcilla

Se prepara una muestra aparte para evaluar los tipos y abundancia de arcilla y minerales tamaño arcilla. La mayoría de minerales de arcilla tienen una morfología de hojuelas (fracción de micrómetro de espesor de 1 a 20 micrómetros de diámetro). Las arcillas se separan con el fraccionamiento de tamaños por velocidades de asentamiento en una columna de agua (Fig. 2.15).

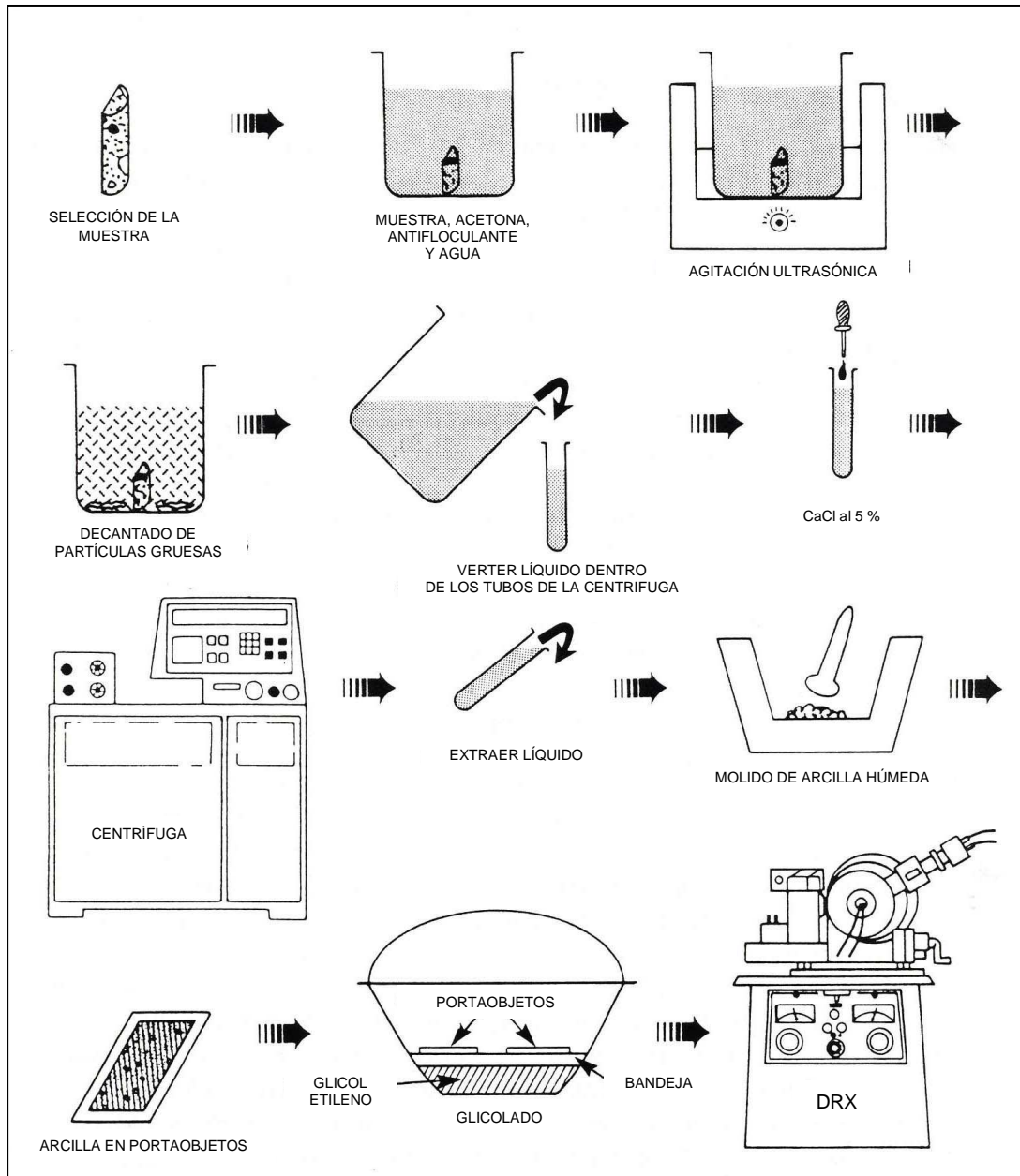
- Se selecciona la fracción mayor de un (1) micrómetro hasta menos de cinco (5) micrómetros.

- Las arcillas en suspensión son llevadas en pipeta a una lámina de vidrio y se deja que el agua se evapore.
- Las arcillas se asientan en la superficie de la lámina con sus lados de dimensiones más largas sub-paralelos a la lámina.



Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989

Fig. 2.14 Difracción de rayos X (DRX).



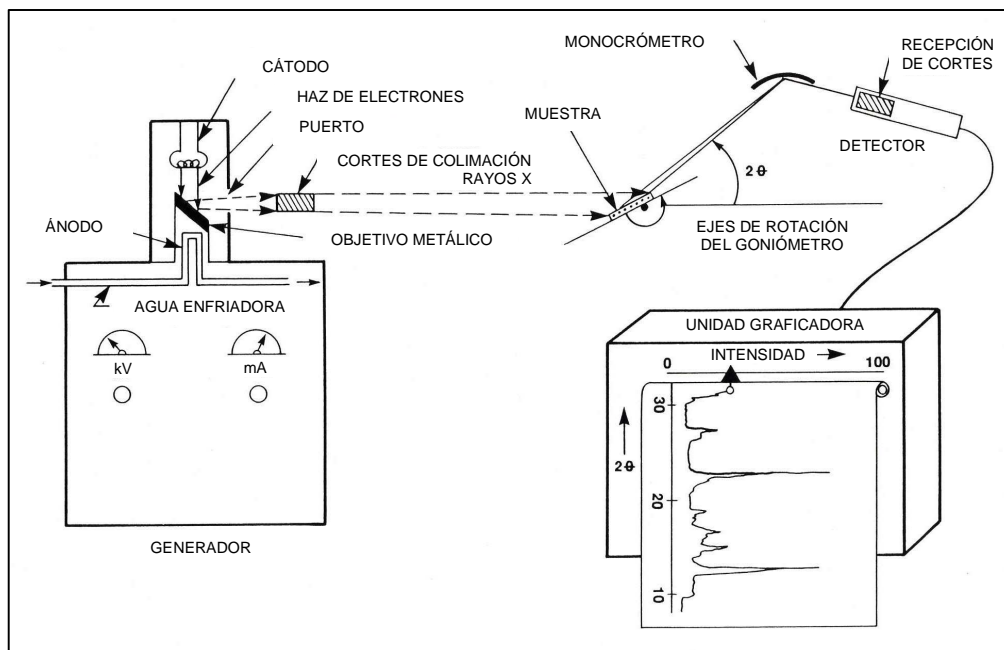
Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989

Fig. 2.15 Preparación muestra de la fracción de arcilla.

Fundamentos de operación

Los rayos X son generados por un haz de electrones emitido desde un filamento del cátodo para golpear un objeto metálico en el ánodo (cobre, hierro, cromo, molibdeno) (Fig. 2.16).

La diferencia de potencial ánodo-cátodo varía de 6 a 20 KV, pero el voltaje normal de operación es de 20 a 50 KW.



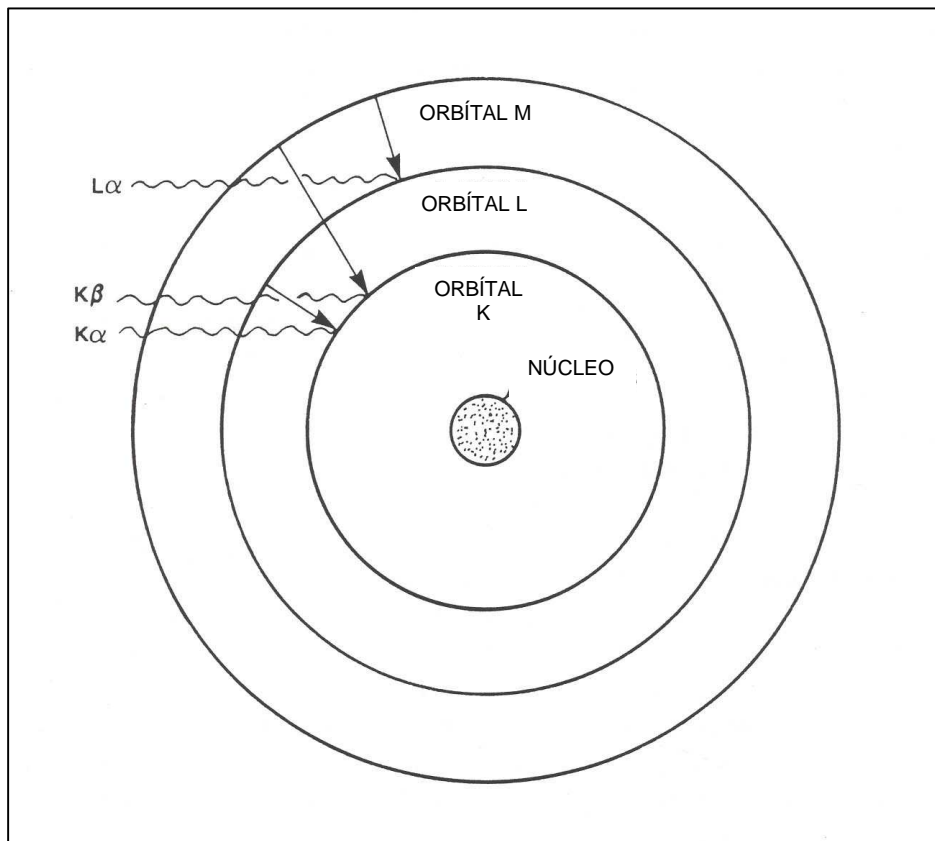
Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989

Fig. 2.16 Difractómetro de rayos X.

El objetivo se enfría con agua.

Los electrones que golpean el metal del objeto pueden dislocar los electrones de las orbitas internas K. Los átomos donde esto ocurre rápidamente restauran el balance primario y atraen electrones de las órbitas externas L o M. (Fig. 2.17)

Cuando un electrón es movido de la órbita externa de alta energía a la interna de baja energía, este emite un fotón de rayos X.



Tomado de C.H. Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity, Elsevier Science 1989

Fig. 2.17 Radiación X en orbitales.

La mayoría de la radiación X es generada por electrones que se mueven de las órbitas L a K y se llama radiación $K\alpha$. Otra cantidad adicional de $K\beta$ se produce por transferencias de las órbitas M a K (Fig. 2.17).

Debido a la presencia de múltiples tipos de rayos X, la mayoría de la radiación $K\beta$ es filtrada pasando el rayo X a través de una película delgada de metal que absorbe rayos X con determinada longitud de onda.

El rayo pasa luego por aberturas colimadoras para limitar la divergencia y mantener el área de exposición de la muestra de rayos X.

Los rayos X golpean la muestra pulverizada y se difractan en varios ángulos dependiendo de los minerales presentes. Los planos reticulados internos de los minerales gobiernan la orientación y fortaleza del haz de rayos X difractado.

Material amorfo (sin estructura interna regular), no permite la difracción de los rayos X.

El rayo difractado pasa a través de aberturas receptoras y dentro de un detector, el cual manda una señal a un indicador. La potencia de la señal es proporcional a la intensidad de la radiación X entrante.

Para observar el espectro de rayos X difractados, la muestra y el detector (goniómetro) son girados en un eje paralelo a la superficie de la lámina y el haz de rayos X. La posición angular del detector (2θ) es marcado en el patrón de rayos X por el operador.

Cada mineral produce un patrón de rayos X, el cual tiene localizaciones de picos e intensidades característicos. Cada pico representa la difracción del haz de rayos X de un plano reticular interno particular.

El valor angular 2θ del patrón de difracción se convierte en espacios de enrejado; las distancias entre planos reticulados son en ángstroms (Valores de d). Se usa la ecuación de Bragg.

- La ley de Bragg es la base para determinar los picos característicos de minerales y compuestos conocidos.

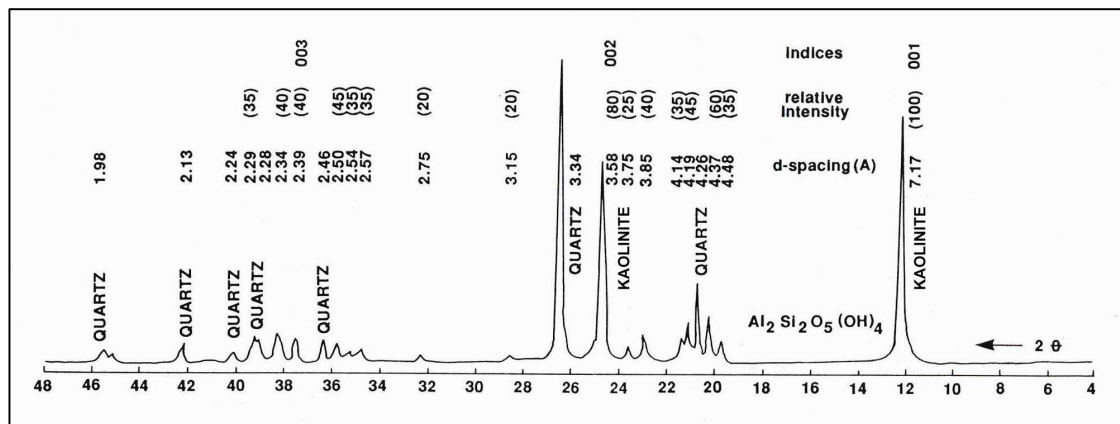
$$n\lambda = 2d \text{ sen } \theta$$

θ = Ángulo de incidencia

λ = Longitud de onda del rayo X

d = Distancia entre planos de los átomos en un cristal

- Para la identificación mineral se utilizan las tablas de estándares de la JCPDS (Joint Council of Powder Diffraction Standards).
- Las abundancias se determinan por la medición de la intensidad de los picos o el área media de los picos de difracción de tres a cinco picos principales de cada mineral.
- Las alturas de los picos principales de los diferentes minerales no son una medida directa de su abundancia (Fig. 2.18).



Tomado de D.W. Lewis, Analytical Sedimentology, Kluner Academic Publishers

Fig. 2.18 Diffractograma.

Observaciones: Limitantes de esta técnica y cálculos necesarios

- Los materiales tales como los hidrocarburos solidificados o el vidrio no pueden ser identificados con difracción de rayos X debido a la falta de una estructura interna definida.
- Este método no puede determinar la abundancia de las especies minerales.

Ejemplo: Cuarzo y pedernal, granos poli-minerales

Procedimiento de cálculo de porcentaje de minerales

- Medir la intensidad del pico más grande de cada elemento
- Multiplicar el valor de la intensidad por el factor propio de ajuste
- Totalizar el valor de todos los minerales
- Calcular el porcentaje

$$\text{Intensidad} \times 100 = 100\% \text{ del Mineral} \\ \frac{\quad}{\text{Valor total}}$$

Mineral	Intensidad	Factor	Valor
Cuarzo	70	1.0	70
Calcita	270	1.5	405
		Valor total	475

$$\text{Cuarzo} = \frac{70 \times 100}{475} = 14.7 \%$$

$$\text{Caolinita} = \frac{405 \times 100}{475} = 85.3 \%$$

Difracción de Rayos X

MUESTRA TOTAL

FACTOR DE AJUSTE	MINERAL	POSICIÓN MÁXIMA	2 θ /intensidades relativas (%)			
2.0	Esmectita	19.9 100%	35.2 65%	7.2 40%	3.4 30%	28.4 25%
1.5	Clorita	12.5 100%	25.3 100%	34.5 90%	6.3 70%	18.9 50%
1.0	Capas mezcladas		Determinada de la fracción de arcilla			
1.5	illita	19.9 100%	26.5 100%	34.9 100%	8.8 23%	17.8 15%
1.5	Caolinita	25.0 80%	12.4 100%	20.3 60%	21.2 45%	23.1 40%
1.0	Cuarzo	26.7 100%	20.9 100%	50.1 17%	36.5 12%	39.4 12%
0.5	Plagioclasa	28.1 100%	23.7 30%	27.8 30%	22.0 16%	13.9 10%
0.5	Feldespatos K	27.5 100%	27.1 50%	21.1 45%	23.4 20%	25.6 16%
0.5	Calcita	29.5 100%	39.5 18%	43.3 18%	36.1 14%	23.1 12%
0.5	Dolomita	30.9 100%	41.2 30%	51.0 30%	33.5 10%	37.5 10%
0.5	Siderita	32.1 100%	52.9 80%	24.8 60%	42.4 60%	46.2 60%
0.5	Ankerita	30.8 100%	41.0 6%	50.4 6%	24.05 4%	33.4 4%

MUESTRA TOTAL	FACTOR DE AJUSTE	MINERAL	PICOS	INTENSIDADES RELATIVAS (%)			
MUESTRA TOTAL	0.7	Pirita	56.4 100%	33.0 85%	37.1 65%	28.5 355	40.6 50%
	0.33	Anhidrita	25.5 100%	31.4 35%	28.6 20%	23.0 6%	40.8 20%
	0.5	Yeso	11.7 100%	29.2 55%	20.8 50%	33.4 28%	31.2 25%
	0.5	Apatito	31.8 100%	32.6 90%	32.8 80%	28.9 50%	28.5 50%
	0.5	Barita	25.8 100%	28.8 95%	42.6 80%	22.8 50%	31.6 50%
FRACCIÓN DE ARCILLA	1.0	Esmeclita	5.0 100%	10.4 -	15.6	4.08	2.83
	2.0	Clorita: Fe Mg	25.3 100% 100%	12.5 100% 100%	18.9 15% 100%	6.2 15% 100%	
	2.0	Capas mezcladas Regularmente Indistintas	-- 3.3 7.3	I/S ML (mas común) Los picos pueden cambiar dependiendo de las concentraciones I + S			
	3.0	illita	8.8 100%	17.8 -			
	1.0	Caolinita-destruida por calor (575°C 1/2 hora)	25.0 80%	12.4 100%	20.3 60%	21.2 45%	23.1 40%

Técnica: Microscopio electrónico de barrido (MEB)

- Utilizado para evaluar la morfología y distribución de poros y los materiales de relleno de poros, especialmente arcillas
- Ampliaciones de 10X a 100000X mantiene una buena profundidad de campo

Fundamentos de operación

- Muestras de hasta 4 mm de diámetro son impactadas por un rayo enfocado de electrones en una cámara de vacío.

- La muestra debe ser conductiva al rayo de electrones. Se reviste con una capa muy delgada de carbono u oro-paladio.
- Los electrones primarios reflejados y los electrones secundarios son detectados y amplificados.
- Un espectro de rayos X es generado cuando la muestra es golpeada por el rayo.
- La radiación X es resuelta en picos característicos para varios elementos desde el flúor (número atómico 9) hacia arriba.
- Las imágenes son registradas en fotografía o video.

Observaciones: Ventajas y alcances

Con la obtención de imágenes tridimensionales por esta técnica se puede:

- Documentar la morfología de los granos minerales y no minerales y de la matriz.
- Evaluar la rugosidad de los poros y su interconectividad.
- Estos datos pueden ser relacionados con los parámetros de flujo del yacimiento, tales como permeabilidad y respuesta a los registros de pozo.

Espectrómetro de rayos X

- Utilizado cuando no es posible identificar minerales que tienen una apariencia (forma) similar.
- Resultados del análisis espectral es un gráfico de frecuencia de picos vs elementos (Fig. 2.19).

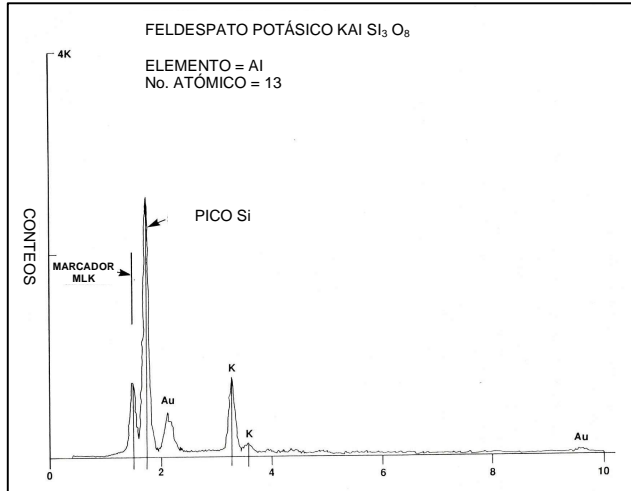
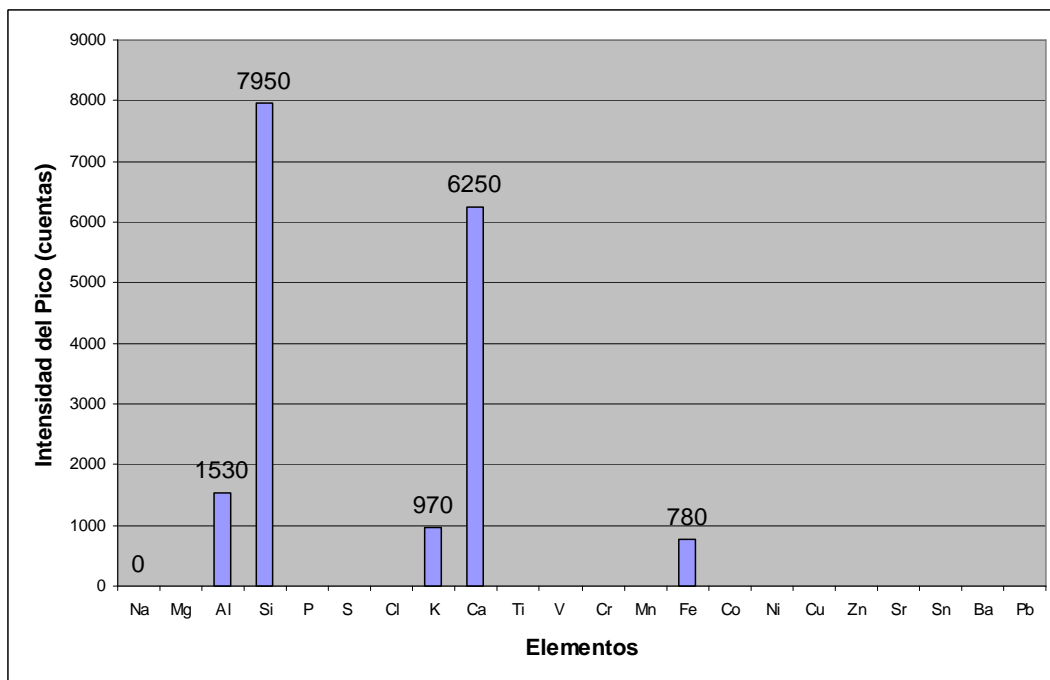
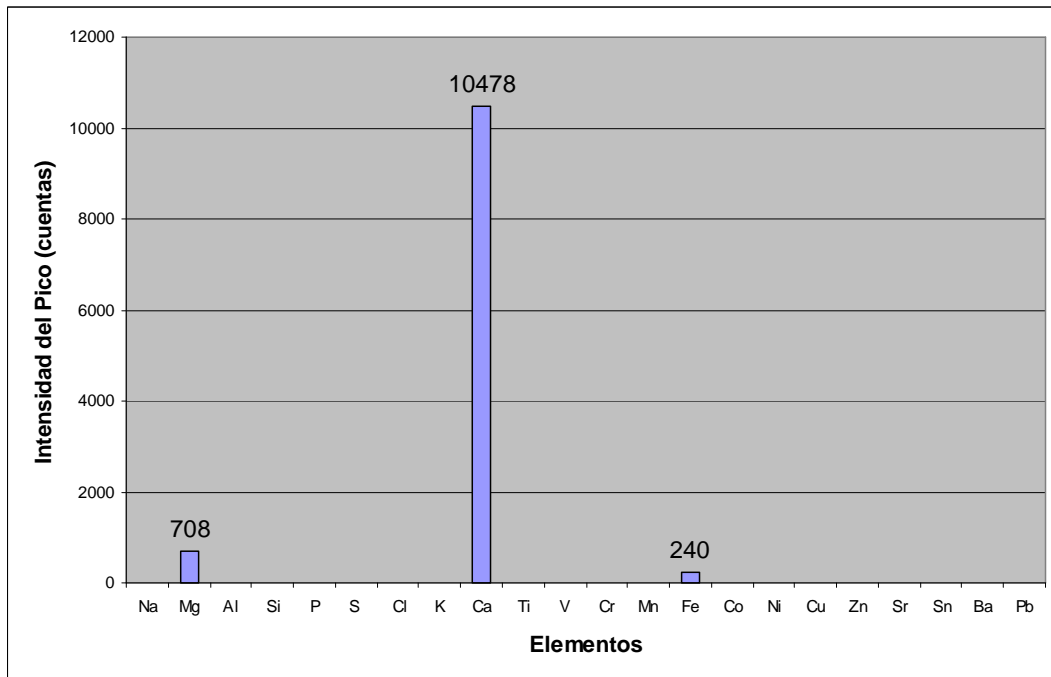


Fig. 2.19 Espectrómetro de rayos X.

Espectrómetro de rayos X



Roca rica en silicio



Roca rica en calcio

Aplicaciones y limitaciones

Estas técnicas análisis son herramientas muy importantes para la evaluación de la calidad del yacimiento; sin embargo, hay que tener en cuenta que tienen sus limitaciones, por lo que a la hora de valorar los resultados, estas limitaciones deben estar presentes en la mente del intérprete.

Técnicas de uso común en la caracterización de yacimientos

1. Petrografía.
2. Fluorescencia.
3. Catodoluminiscencia.
4. Conteo de puntos.
5. Análisis granulométrico.
 - Tamices.
 - Analizador.

6. Difracción de rayos X.
7. Microscopio electrónico de barrido (MEB).

La selección de la muestra se debe hacer con base en el análisis preliminar de facies, apoyado con el análisis de rutina del núcleo, por lo que la o las muestras deberán ser representativas.

Aplicaciones y limitaciones

1. Petrografía (lámina delgada): Aplicaciones

Las láminas delgadas se preparan de muestras de núcleos, recortes de perforación y muestras de afloramientos de superficie con el fin de realizar un análisis visual de la textura y propiedades de la roca con un microscopio de polarización.

Beneficios.

Permite el reconocimiento y observación de la mineralogía primaria y diagénesis de la roca, ayuda en la evaluación de la textura primaria y diagenética, facilita el reconocimiento de las estructuras microscópicas primarias, así como a apreciar el tamaño de grano y la selección de éstos, la laminación, bioturbación, orientación de los granos; apoya en el conocimiento de la secuencia diagenética de minerales autógenos; en la distribución de arcillas; en la determinación de la distribución de cementantes y otros minerales autógenos, así como en la determinación de distintos tipos de porosidad y su posible distribución.

Limitaciones.

- La lámina delgada permite sólo observaciones en 2 dimensiones

- La amplificación máxima es de hasta 400x, ésta no permite el examen detallado del sistema poroso en 3 dimensiones.
- La caracterización detallada de las arcillas, finos y precipitados en el sistema de poros no puede hacerse acertadamente con tan baja resolución.
- Tiempo de entrega puede ser largo.
- La elaboración de una lámina toma mínimo un par de horas (puede emplear más tiempo si la muestra tiene impregnaciones de bitumen).
- Si los resultados se requieren rápidamente con respecto a la composición de la roca esta técnica no es la más aconsejable.
- No permite conocer la composición ni la naturaleza química de los granos cuando se trata de rocas clásticas.

2. Microscopio fluorescente: Aplicaciones

Esta tecnología se usa conjuntamente con la lámina delgada para observar aspectos ocultos de las muestras, no visibles al ser observadas o analizadas con otros métodos.

Beneficios.

Permite la evaluación de la distribución de la porosidad especialmente en carbonatos, facilita determinar la presencia de microfracturas, cavidades y microporosidad no visibles a la luz polarizada, ayuda en la observación de las estructuras internas de los fósiles.

Limitaciones.

- Las mismas que el microscopio de polarización
- Requiere un tinte fluorescente.
- Es mejor para analizar carbonatos.

3. Catodoluminiscencia: Aplicaciones

Beneficios.

Permite la observación de las estructuras internas de minerales específicos; se usa especialmente para determinar eventos diagénéticos en carbonatos; también se usa en estudios diagenéticos donde es posible diferenciar granos clásticos originales de cementantes tardíos y los estados de precipitación o disolución de estos cementantes.

Limitaciones.

Las muestras requieren una preparación especial con epóxicos; los colores emitidos se pueden extinguir con una concentración alta de Mn; los contenidos altos de Fe, Ni, interfieren u obscurecen la catodoluminiscencia, también las fugas de la cámara de vacío obscurecen la catodoluminiscencia

El operador requiere protección especial, como ropa aislante anti-radiación a base de barreras de plomo.

4. Conteo de puntos: Aplicaciones

Beneficios.

Permite la cuantificación de la porosidad y de los tipos de granos minerales presentes en la lámina delgada; se obtienen los contenidos porcentuales de cada uno de los granos minerales y de la porosidad presentes en la muestra examinada.

Limitaciones.

Es una técnica relativamente lenta (se cuentan hasta 300 puntos) y laboriosa; está sujeta a la pericia y experiencia del operador que realice el conteo de puntos; es un método electro-mecánico que paulatinamente se ha desplazado por técnicas electrónicas más avanzadas; el aparato requiere constantes ajustes para mantener buena precisión en el conteo.

5. Análisis granulométrico: Aplicaciones

Beneficios.

Es una técnica muy útil en sedimentos no consolidados; permite conocer el contenido porcentual de los diferentes tamaños de grano de una muestra; ayuda a obtener representaciones gráficas y parámetros estadísticos de las muestras analizadas. Los beneficios son tanto para el análisis granulométrico como para el analizador ya que únicamente cambia la técnica de análisis, más no así la información que se obtiene de éstos.

Limitaciones.

Se limita a obtener información relacionada únicamente con la distribución de los tamaños de grano y ciertas relaciones texturales como la redondez y esfericidad de los sedimentos con respecto a los tamaños reportados en un análisis granulométrico; no permite conocer la composición y naturaleza de los granos.

6. Difracción de rayos X: Aplicaciones

Beneficios.

- Esta técnica tiene el fin de determinar a una escala semi-cuantitativa la composición mineralógica de la muestra.

- Es el mejor método para determinar los tipos y mineralogía de las arcillas.
- No requiere microscopio

Limitaciones.

La muestra debe ser pulverizada, sólo es posible indicar la presencia del tipo de mineral, no es posible determinar la distribución de estos minerales. Por ejemplo, minerales de cuarzo monocristalino, cementante silíceo, pedernal, o fragmentos de roca cuarcítica, todos serán identificados como cuarzo. Lo mismo sucede con las arcillas, arcillas presentes en fragmentos de rocas, no se pueden diferenciar de las arcillas presentes en la matriz del sistema poroso, sobre todo si los fragmentos de roca están alterados.

Los resultados de esta técnica requieren ser analizados en conjunto con láminas delgadas, o microscopía electrónica de barrido con el objeto de determinar la distribución de los minerales presentes. La variabilidad de resultados entre laboratorios es muy alta debido a errores inherentes a la respuesta de los minerales a los rayos X.

La respuesta de los minerales a rayos X es gobernada por:

- El tamaño de los cristales.
- El grado de cristalinidad.
- Las variaciones en los coeficientes de absorción de masa.
- El nivel de interferencia entre los minerales presentes.
- Estos factores varían de mineral a mineral y de muestra a muestra. Por tanto no es posible lograr un nivel alto de precisión en los resultados.

7. Microscopio electrónico de barrido (MEB): Aplicaciones

Beneficios.

El mayor beneficio que ofrece esta tecnología es la habilidad de observar características de la muestra a una ampliación muy alta.

Permite un examen detallado de la morfología y geometría de los sistemas de poros; ayuda a conocer el tamaño de las aberturas de los poros.

Proporciona información sobre la composición química, morfología, identificación mineralógica y distribución de arcillas o finos u otros minerales autógenos.

Ayuda en el análisis de la morfología y geometría de los minerales y granos, en la distribución, composición y tamaño de los sedimentos finos de formación, así como en la identificación de secuencias micro-texturales y correlación con algunos registros eléctricos.

Limitaciones.

Tiene menor representatividad de resultados, debido al tamaño pequeño de la muestra, se debe tener mucho cuidado para asegurarse que ésta sea representativa de las características del yacimiento. Esta herramienta debe ser usada en conjunto con los análisis de núcleos.

Se requiere protección del usuario.

Capítulo 3: Aplicación a la evaluación de formaciones

La aplicación de estas técnicas en la evaluación de formaciones es de gran importancia en los casos en los que la respuesta de los registros de pozo que han sido afectados por la mineralogía, la cantidad de microporosidad y las obstrucciones del sistema poroso. La influencia de estos factores existe cuando hay carbonatación, sílice o calcedonia, mientras que la supresión de registros de resistividad y los errores potenciales en la medida de la porosidad; especialmente en el cálculo de la porosidad a partir del registro de densidad ocurren o son inducidos por la presencia de feldespatos potásicos o plagioclasas; las formaciones ricas en potasio pueden confundir la interpretación del registro de rayos gamma.

Por otra parte, los carbonatos presentan densidades que van de 2.71 a 3.96 gr/cm³ y la presencia de granos con alta densidad pueden crear problemas con el análisis de registros de pozo.

Los sulfatos como el yeso tienden a liberar agua la cual puede llegar hasta un 48% del volumen, lo cual crea un incremento desmesurado de porosidad, e implica que se tenga cautela en las mediciones de porosidad.

Los óxidos de hierro como la hematita y la magnetita actúan como semiconductores in situ; afectan los registros de resistividad.

Los sulfuros como la pirita tienen un gran efecto en la determinación real de la porosidad a partir del registro de densidad, influyen también los registros de resistividad, en concentraciones mayores al 7% genera registros con anomalías de conductividad.

Las micas como la muscovita y la sericita inducen una respuesta muy alta en el contenido de potasio, lo cual resulta en una alta radioactividad gamma natural.

Las arcillas como la clorita autógena con hábito de roseta presenta abundante microporosidad y puede causar la supresión de la respuesta en los registros eléctricos.

La esmectita presenta alta microporosidad, tiende a formar puentes entre las gargantas de los poros y tiene alta capacidad de intercambio de cationes, esta combinación produce una fuerte supresión de los registros eléctricos.

Microporosidad

Componente importante en areniscas arcillosas, debido a que da a la roca la capacidad de almacenar fluidos en esta.

- Altas saturaciones de agua.
- Supresión de resistividad.

Obstrucción del sistema poroso.

- Cálculos de saturación afectados por la morfología del sistema poroso.

Archie:

$$S_w = \frac{c (R_w)}{(\Phi^m R_t)^{1/n}}$$

- Sw = Saturación de agua intersticial
- Rw = Resistividad del agua
- Φ = Volumen de poros.
- Rt = Resistividad de la roca.
- n = Exponente de saturación
- m = Exponente de cementación
- c = Constante.

De acuerdo con Ramsus (1987), los factores m y n son afectados por las geometrías de poro y sus mojabilidades¹.

En términos generales, m se incrementa sí la cementación y la obstrucción aumentan, disminuye con la presencia de fracturas y es independiente del tamaño de grano o la selección.

En cuanto al factor n, disminuye si se incrementa la rugosidad de la geometría de los poros, puede disminuir con la microporosidad y es reducido por arcillas conductivas o pirita.

Es muy importante conocer y entender la roca de un yacimiento al efectuar la interpretación de registros de pozo. Esto debe estar soportado con las técnicas utilizadas en la caracterización de yacimientos.

Integración con el análisis básico de núcleo

Relación directa de porosidad y permeabilidad

Porosidad (%)	Kmax (mD)
19.79	45.19
21.34	1.61
20.25	1.92
18.76	32.24

1. La mojabilidad es la preferencia de un sólido por estar en contacto con un fluido en lugar de otro. Una gota de un fluido preferentemente mojante va a desplazar a otro fluido dispersándose por la superficie, por el contrario un fluido no mojante formará gotas, disminuyendo su contacto con la superficie del sólido.

En el laboratorio de pueden medir:

- Movilización de finos².
- Expansión de arcillas.
- Factor de Formación.

Movilización de finos

Conjuntamente con las pruebas de laboratorio, se deben utilizar:

- Difracción de rayos X para estimar la fracción total y de arcilla de la muestra a ser sometida a prueba.
- Microscopio electrónico de barrido (MEB) para examinar el sistema poroso y la distribución de finos en el sistema de la muestra a ser sometida a prueba.

Después de realizar la prueba de movilización, se deben tomar muestras de los extremos de inyección y producción del tapón y examinar bajo MEB. Esto provee información de los tipos y cantidades de finos que se han movido.

Expansión de arcillas.

Conjuntamente con las pruebas de laboratorio, se debe tomar una muestra del extremo del tapón para ser analizada con difracción de rayos X y microscopio electrónico de barrido para determinar las arcillas presentes y su distribución en el sistema poroso. Después de realizar la prueba de expansión de arcillas se debe tomar una muestra del tapón y examinar bajo MEB. Las arcillas expandibles no se observan debido al secamiento pero puede haber evidencia de movimiento de finos debido a la alteración de las estructuras de las arcillas.

2. La movilización de finos, es el movimiento que comienzan a presentar las partículas finas en la dirección y el sentido hacia donde se extraen los hidrocarburos, por lo general estas partículas se encuentran sueltas o mal cementadas, lo que provoca su desprendimiento y arrastre, generando estas se acumulen en espacios porosos reduciendo la permeabilidad y por ende la producción de un pozo se vea afectada a la baja.

Utilidad

Estas técnicas, (MEB, DRX, entre otras) pueden ser utilizadas conjuntamente con estudios de núcleos y correlaciones de pozo para determinar la validez de la correlación en unidades o para determinar la continuidad de la calidad de yacimiento en una unidad en particular.

- Ej. Formación Kiskatinaw (Alberta, Canadá), en donde inicialmente no se pudo establecer una correlación de pozos.

Formación Kiskatinaw (Alberta, Canadá).

- Con base en la caracterización y su relación con la descripción de núcleos y el análisis de facies, se definieron cuatro unidades litoestratigráficas.
- Después se caracterizaron las respuestas de los registros y se correlacionaron los pozos.

Correlaciones

Formación Kiskatinaw (Alberta, Canadá)

Unidad	Tipo de Roca	Observaciones
4	Arenisca bioclástica cementada con calcita	Marino
3	Intercalaciones de areniscas y lutitas	Marino somero
2	Arenisca cuarcítica cementada con anhidrita	Canal; sin porosidad
1	Arenisca cuarcítica	Canal; excelente porosidad

Estas correlaciones se obtuvieron a partir de estudios petrográficos, sedimentológicos detallados y paleontológicos llevados a cabo tanto en núcleos como en muestras de canal y con el apoyo de la geología del subsuelo conocida hasta ese momento del área de interés.

Problemas de calidad de yacimiento

Los problemas potenciales de calidad del yacimiento que se pueden identificar con estas técnicas y otras técnicas relacionadas son, la reducción de porosidad y permeabilidad las cuales llegan a ser afectadas por la migración de finos en yacimientos clásticos; otros problemas que se pueden identificar están la sensibilidad a los ácidos, la sensibilidad al agua dulce, la microporosidad, la producción de arena, las transformaciones minerales, la formación de escamas debido a la presencia y abundancia de minerales arcillosos y la incompatibilidad a los fluidos introducidos al sistema con fines de estimulación, entre otros. Estos problemas potenciales de calidad del yacimiento son mucho más comunes en los yacimientos clásticos que en los de carbonatos, dada la variedad mineral de los primeros.

Reducción de porosidad y permeabilidad

Las razones principales para la reducción de estas propiedades son la compactación y la cementación. Debido a la compactación física los granos se juntan entre sí, si estos granos están pobremente seleccionados los pequeños llenarán los espacios vacíos lo cual es ocasionado por el reacomodo de los clastos reduciendo la porosidad de la roca. También por este fenómeno, los granos se rompen en piezas más pequeñas que rellenan poros y reducen la permeabilidad; por otra parte, la formación de estructuras de presión-disolución es común durante la compactación, evidenciada por la formación de contactos suturados entre los granos o por la presencia de estilolitas en carbonatos y clásticos ricos en cuarzo.

En la cementación, el aglutinante se forma entre el sistema poroso debido a la precipitación de fluidos, en rocas ricas en cuarzo; el cementante de sílice puede

generar sobrecrecimiento del cuarzo y cementar los granos entre sí, reduciendo tanto la porosidad como la permeabilidad.

En general, con la reducción de la porosidad intergranular primaria o la porosidad intercristalina, el tamaño de abertura de los poros y por ende la permeabilidad también disminuye. Esto puede ser de gran importancia si hay presencia de finos en el yacimiento.

Como mejorar la porosidad y permeabilidad

Si existe compactación, se requiere de fracturamiento hidráulico para mejorar la calidad del yacimiento.

Estas técnicas ayudan a la determinación del tamaño de granos y poros y al conocimiento de la distribución y tipos de arcillas. Las técnicas dan indicaciones acerca de posibles daños de formación y permiten sugerir el tipo de fluido a usar para inducir el fracturamiento.

Si hay una reducción por cementación calcárea, puede ser posible mejorar el espacio poroso si se remueven los carbonatos con HCl; el uso de ácidos puede ser muy benéfico en la estimulación del yacimiento, pero también pueden producir problemas adicionales por la interacción con ciertos minerales. El uso de láminas delgadas y MEB son muy útiles en la identificación de minerales de revestimiento de poros que pueden reaccionar con cualquier ácido.

Si hay una reducción por cementación calcárea, puede ser posible mejorar el espacio poroso removiendo los carbonatos con HCl.

Migración de finos

Dentro del yacimiento se pueden presentar partículas muy pequeñas de minerales como cuarzo, feldespato, dolomita o arcillas; estas partículas son conocidas como “finos” (2.5 a 3.5 ϕ) y pueden moverse durante la producción de fluidos en un yacimiento.

Los finos están adheridos a la superficie de los granos por fuerzas electrostáticas. A medida que el fluido pasa sobre ellas se generan fuerzas de cizalla que tratan de jalar la partícula de la pared del poro; a medida que la velocidad del fluido se incrementa se presenta un punto en donde las fuerzas de cizalla son superadas y las partículas son arrastradas por el fluido; hasta que encuentran gargantas de poro en donde posiblemente no pueden pasar. Los finos se acumulan y bloquean las gargantas y consecuentemente se produce una disminución en la permeabilidad del yacimiento.

La velocidad a la cual la producción genera una migración significativa de finos y la consecuente reducción de permeabilidad se denomina velocidad crítica.

El análisis de lámina delgada y el microscopio electrónico de barrido son herramientas muy valiosas en la identificación de problemas potenciales de migración de finos. Un ejemplo es la caolinita, la cual está usualmente adherida en forma muy libre a los minerales de la estructura y puede ser sujeta a movimiento si se supera la velocidad crítica

- Si la migración de finos es un problema, las tasas bajas de flujo pueden ser críticas para una producción exitosa.
- Si hay caolinita, se puede tratar el pozo con un estabilizador de arcilla (para caolinita). Si hay silicatos, la acidificación con HCl / HF puede remover los finos.

Sensibilidad al agua dulce

Ésta se refiere a la interacción de las arcillas hidrófilas con el agua como es el caso de la esmectita, en la que el agua es incorporada fácilmente en la estructura molecular y produce que la partícula de arcilla se expanda o hinche; el grado de absorción de agua cambia significativamente el tamaño de las gargantas de los poros y por tanto se presenta una reducción en la permeabilidad.

- Una prueba de flujo en el laboratorio puede determinar el efecto del agua en una arena (esta consiste en inducir un flujo de agua en la roca aprovechando la permeabilidad que esta tenga).
- En pruebas para proyectos de inyección se ha observado la pérdida de la mitad de la permeabilidad después de la inyección de pequeños volúmenes de agua.
- Si hay esmectita, hay que evitar la inyección de agua dulce en el yacimiento.

La identificación de rocas sensibles al agua puede hacerse inicialmente en muestras de mano. Simplemente se coloca agua destilada en la roca y se observa si hay alguna reacción mineralógica. Para identificar la esmectita, es necesario emplear el microscopio electrónico de barrido y el análisis de difracción de rayos X. Estas técnicas detectan la presencia de esmectita o arcillas de capa mixta que contengan esmectita.

Sensibilidad a los ácidos

Los ácidos son introducidos a los yacimientos con dos objetivos, remover daños a la formación y para fracturar a esta última.

Acidificación de la matriz, ésta es usada en yacimientos de areniscas o carbonatos para remover los daños de formación producidos durante los procedimientos de perforación o terminación, o para remover los precipitados de agua dulce, este tratamiento mejora la porosidad por la remoción de cementantes del sistema poroso.

Acidificación de fracturas se lleva a cabo con ácidos bombeados por encima de la presión de fractura, lo cual crea fracturamiento en las rocas. Con esas nuevas fracturas se trata de proveer un flujo lineal de hidrocarburos hacia el pozo.

Los ácidos más comunes son:

- Ácido clorhídrico
- Ácido acético
- Ácido fluorhídrico

Ácido clorhídrico (HCl)

Usualmente este ácido tiene una concentración del 15%, aunque ésta puede variar en el intervalo de 5% a 35%; este ácido reacciona y remueve los minerales de carbonato tales como la calcita y la dolomita. Sin embargo los minerales ricos en hierro pueden reaccionar con el ácido y formar precipitados insolubles de hidróxido de hierro.

Ácido acético

Es un ácido orgánico de reacción lenta; se utiliza en concentración del 10%, este ácido disuelve la calcita pero a intensidades mucho menores que el HCl. Una

gran ventaja de este ácido es que no corroe la tubería y es un agente secuestrante natural en contra de la precipitación de hierro.

Ácido fluorhídrico

Usado en la acidificación de areniscas, con una concentración del 3%. Se usa conjuntamente con HCl al 12. Este ácido se emplea para disolver arcillas de formación o finos que hayan taponado los poros de la roca. El HF no se usa en yacimientos de carbonatos, ya que se presentan problemas de precipitación de fluoruro de calcio.

Microporosidad

En areniscas, la microporosidad se presenta asociada con minerales de arcillas autógenas o relacionadas con granos lixiviados de feldespatos, clastos líticos y glauconita. En carbonatos se presenta usualmente asociada con dolomita muy fina, mesocristalina a microcristalina.

Con el análisis de rutina del núcleo las mediciones de porosidad miden el espacio vacío total de la roca; incluye la microporosidad, la cual no es efectiva si la microporosidad es una parte importante del sistema poroso. Se puede sobreestimar la porosidad efectiva; la presencia de microporosidad en la roca contribuye con una baja permeabilidad y que tiende a atraer aguas de formación, lo que resulta en saturaciones altas de agua irreductible.

La técnica de lámina delgada puede proveer una indicación de la presencia de microporosidad, especialmente si se utiliza el microscopio de fluorescencia y si la muestra ha sido impregnada con una resina epóxica de baja viscosidad. Para un examen más detallado y hacer una evaluación cualitativa de la microporosidad, se debe utilizar el microscopio electrónico de barrido.

Producción de arena

Éste es un problema muy importante en la producción de hidrocarburos, en arenas sueltas, a medida que el petróleo se produce, estas se quedan sin “cementante”. La producción por encima de la velocidad crítica resulta en un incremento de la cantidad de arena producida.

Una forma de limitar la producción de arena es mediante el uso de tasas bajas de producción de hidrocarburos, otra forma de controlar la producción de arena es mediante el uso de barreras mecánicas, mediante el uso de empaquetamientos de gravas (para sostener la formación) y una malla (para sostener las gravas), también pueden usarse mallas sin gravas.

Para diseñar el método de control de arena adecuado, es necesario conocer el tamaño promedio de las arenas de formación.

- Si son no consolidadas, se pueden utilizar tamices.
- Si hay cementación, se debe utilizar el análisis de tamaño de grano, conjuntamente con la petrografía de lámina delgada.

Transformaciones minerales

Se presentan cuando se realizan procesos de recuperación mejorada termal con flujos de vapor, estas reacciones minerales son indicadores de las temperaturas alcanzadas en el yacimiento, por ejemplo, una prueba mostró que los granos de la estructura no se disuelven pero los minerales originales de revestimiento de poros, incluyendo enlaces de illita, clorita, zeolita y esmectita que se alteran a un ensamblaje dominado por esmectita y analcima, como resultado, se presenta una disminución en la permeabilidad y por tanto disminuye la recuperación de crudo.

Se deben hacer estudios detallados de los problemas que se puedan presentar para hacer las evaluaciones económicas y los diseños de ingeniería en este tipo de proyectos; por lo cual, se deben usar las técnicas de lámina delgada, microscopio electrónico de barrido y difracción de rayos X para definir la mineralogía del yacimiento. Conjuntamente con los procesos de laboratorio que simulan la recuperación termal, las muestras se analizan antes y después de la prueba.

Formación de escamas

Se presentan en tuberías, revestimientos, líneas de flujo y otros equipos. Se forman debido a:

- Caídas de presión.
- Cambios de temperatura.
- Mezcla de aguas incompatibles.
- Sobresaturación del material precipitado.
- Tiempo de contacto.
- pH.

Las escamas producidas reflejan la composición de los fluidos de poro; entre las más comunes se encuentran, el Cloruro de Sodio, Carbonato de Calcio, Carbonato de Hierro, Sulfuro de Hierro, Óxidos de Hierro, Hidróxidos de Magnesio, Sulfato de Calcio, Sulfato de Bario, Sulfato de Estroncio, Sulfato de Bario- Estroncio, las cuales se pueden tratar con agua, HCl, ácido acético o solventes apropiados.

La difracción de rayos X (DRX) es útil en la identificación de escamas, sin embargo, es muy común encontrar las amorfas, sin estructura cristalina y por tanto el método de difracción de rayos X no puede ser usado. Se debe usar el

microscopio electrónico de barrido con la unidad de espectrometría de rayos X para determinar la presencia de elementos y su abundancia relativa.

Para prevenir la formación de escamas, se deben utilizar inhibidores.

Incompatibilidad de fluidos

La incompatibilidad de fluidos genera precipitados de sustancias amorfas por la interacción de fluidos. Estos fluidos pueden ser agua de inyección o agua de formación, crudo pesado asfáltico y ácidos. Los precipitados causan serios taponamientos que reducen la producción de petróleo.

Se debe usar espectrometría de rayos X para determinar la composición del precipitado, la incompatibilidad puede ser estudiada mediante pruebas de laboratorio con los fluidos de formación e inyección.

Mineralogía que afecta la calidad del yacimiento

Los problemas de calidad de yacimiento también dependen de la mineralogía de la roca y de los fluidos presentes o inyectados dentro del yacimiento

El siguiente tema está dividido en dos partes:

- Mineralogía del yacimiento que puede crear problemas.
- Discusión sobre problemas específicos y la prevención de los mismos.

La presencia de arcillas y de minerales autígenos como cementante silíceo en las rocas clásticas, son la mayor fuente de problemas desde el punto de vista de mineralogía que afecta la calidad de yacimientos.

Arcillas:

- Clorita.
- Caolinita.
- Esmeclita.
- illita.
- Arcillas Mixtas.

Beneficios de la presencia de clorita

Puede inhibir la formación de sobrecrecimiento de cuarzo, sí se preserva algo de la porosidad intragranular de la roca.

Desventajas de la presencia de clorita

Su hábito es comúnmente acicular o laminar, el mineral se extiende perpendicularmente desde la superficie de los granos, generalmente en forma de "roseta". Cuando este mineral es abundante puede rellenar los poros, por tanto reduce la permeabilidad de la roca, en areniscas cuando existen abundantes fragmentos de roca volcánica. Este mineral puede reemplazar completamente los fragmentos y debido a que es rico en hierro; cuando se deposita, se reduce la permeabilidad.

Beneficios de la presencia de caolinita

Este mineral es muy común como sedimento o como mineral autógeno; la morfología de sus cristales elongados puede aumentar en algunos casos el espacio poroso a nivel microscópico cuando este es autógeno y el crecimiento de éste genera espacios y los cristales no son fragmentados.

Desventajas de la presencia de caolinita

Puede haber una reducción de la permeabilidad donde exista un relleno del espacio poroso por este mineral, que generalmente bloquea el paso de los fluidos. Cuando existen partículas más finas de estos minerales que provienen del fracturamiento por diversas causas de cristales más grandes y que son transportados por el flujo del fluido en el yacimiento, lo mismo ocurre cuando éste ocurre como sedimento no consolidado.

Beneficios de la presencia de esmectita

Este mineral se caracteriza por presentar una morfología o hábito en forma de "hoja de lechuga". Comúnmente ocurre como capas en la superficie de los granos y forma puentes entre los granos; la presencia de abundante esmectita incrementa la microporosidad de la roca, generalmente cuando se presenta como láminas por reemplazamiento de la glauconita.

Desventajas de la presencia de esmectita

Este mineral es muy sensible a la presencia de agua, especialmente agua dulce. En presencia de ésta generalmente se expande ya que absorbe la que existe

entre sus capas; también es sensible a las sales como el cloruro de potasio (KCl). La reacción es parecida, la arcilla se expande. La esmectita de calcio se expande menos que la de sodio.

La migración de finos es un problema que se crea en el momento de la reacción arcilla - agua, donde la arcilla colapsa por la introducción de ácido HCL.

El fenómeno de hinchazón o expansión en las arcillas reduce la permeabilidad de la roca e incrementa la tortuosidad de los canales de conectividad del sistema poroso.

Beneficios de la presencia de illita

La morfología o hábito del mineral autógeno se caracteriza por tener una forma ondulada y filamentosa. Los espacios entre los poros de estos filamentos producen un incremento de la microporosidad de la roca.

Desventajas de la presencia de illita

La presencia de los filamentos de illita puede incrementar la obstrucción de los canales de conexión del sistema poroso; reduce la permeabilidad de la roca; además, estos filamentos se pueden romper o pueden atrapar partículas que reducen el paso del flujo de los fluidos a través de ellos. El rompimiento de los filamentos por el flujo del yacimiento, puede contribuir a un potencial movimiento de finos.

La microporosidad creada por la illita clásica o autógena puede retener grandes cantidades de agua, resultando en un incremento del grado de saturación de agua irreductible.

Arcillas mixtas

Puede existir un amplio número de combinaciones de mezcla de arcillas

- illita – esmectita.
- illita – clorita.
- illita - clorita expansiva.
- Esmectita- clorita.

Las arcillas expansivas pueden presentar muchas mezclas de morfologías, que pueden afectar grandemente la calidad del yacimiento; especialmente a su permeabilidad, debido a que por lo general sus estructuras llenan los espacios porosos e impiden el desplazamiento de los fluidos, por reducción de su conectividad.

Calcita: (Ca CO₃)

La calcita se puede presentar como un mineral primario o también se puede presentar como un mineral autógeno cementando los granos. Cuando esto sucede, generalmente rellena los espacios porosos; normalmente se presenta pura, pero en ocasiones el Fe⁺² re-emplaza el calcio y se produce siderita.

La acidificación de la calcita mejora la porosidad. Que se realiza con una mezcla de ácido clorhídrico, en una combinación de 15% de HCl y un 10% de ácido acético. El contacto directo de ácido fluorhídrico con calcita se debe evitar, por que esta reacción con el ión del calcio produce fluoruro de calcio que es un polvo fino insoluble:



Dolomita: Ca, Mg (CO₃)₂

La dolomita se puede presentar de varios modos:

En carbonatos, puede estar mezclada con caliza (CaCO₃) o puede estar formando toda la roca como resultado del reemplazamiento de la calcita por la dolomitización. Si es el último caso, la porosidad intercrystalina o de cavernas puede llegar a presentarse.

Si ésta ocurre en rocas clásticas, la dolomita puede ocurrir como granos clásticos o como cementante autógeno de relleno del espacio poroso.

Como en el caso de la calcita, la acidificación de la dolomita mejora la porosidad, esta acidificación se realiza para mejorar la porosidad y permeabilidad de la roca. Los tratamientos de ácidos se realizan con HCl. El contacto directo del ácido fluorhídrico con la dolomita se debe evitar, por que esta reacción con el ion Ca⁺⁺ produce una precipitación insoluble de fluoruro de calcio.

Siderita: FeCO₃

La siderita se presenta con un cementante autógeno, usualmente con cristales rómbicos que rodean los granos de la roca; cuando es abundante, los poros están rellenos. En lámina delgada su aspecto es el de una masa oscura, por tanto es necesario utilizar el MEB para su análisis. También se puede utilizar DRX para ayudar a su identificación, los picos de Fe son usualmente muy grandes.

La siderita cuando se mezcla con ácido, forma un precipitado insoluble de hidróxido de hierro en ambientes ricos en oxígeno.

Pirita: FeS₂

La pirita es un sulfuro de hierro, que se encuentra algunas veces entre los poros en forma aislada en cristales cúbicos; cuando es abundante este mineral puede remplazar granos y afectar la porosidad de la roca. Se identifica en lámina delgada por que es opaca y por tanto es de color negro con luz polarizada.

La acidificación de rocas que contienen pirita puede dar como resultado la formación de un precipitado insoluble de hidróxido de hierro, si el ácido es rico en oxígeno, el HCl y HF deben ser reemplazados con ácidos orgánicos. Un problema adicional con la pirita es la respuesta de los registros eléctricos, Clavier (1976) asegura que la pirita afecta el registro de densidad y si hay más del 7% afecta el registro de resistividad.

Silicatos: Si

Los silicatos como el cuarzo, los feldespatos y las arcillas se disuelven con ácido fluorhídrico (HF) produciendo ácidos fluorosilicatados que reaccionan con los iones.

- Na⁺⁺ del NaCl,
- K⁺ del KCl,
- Ca⁺⁺ de la Calcita (CaCl₂)

De esta reacción se producen precipitados insolubles gelatinosos que ocupan grandes volúmenes del espacio poroso y se adhieren muy fuertemente a la roca, reduciendo la productividad de los pozos.

Capítulo 4: Aplicación en un pozo exploratorio de hidrocarburos

Pozo Somero 1, N1

Introducción.

En esta parte se describe la aplicación de las técnicas objeto de este trabajo, llevadas a cabo en muestras del núcleo 1 del pozo Somero 1 (intervalo 2094 – 2103 m). La evaluación petrográfica se basa en los resultados de los análisis de petrografía convencional de lámina delgada, microscopio electrónico de barrido (MEB), difracción de rayos X (DRX) y análisis de los procesos diagenéticos.

El propósito de este estudio es determinar las composiciones mineralógicas, la fábrica de la estructura, la textura, los efectos diagenéticos, el sistema de poros y evaluar la calidad del yacimiento en los intervalos de roca representados por estas muestras. Un breve resumen de los resultados obtenidos con los diferentes análisis se da a continuación.

Muestras		Tipo de Análisis o Estudio.					
Muestra	Profundidad (m)	LD	MEB	DRX	CL	DIG	
M1	2094.10			✓			
T1	2094.52	✓	✓	✓		✓	
M2	2204.80			✓			
T2	2095.22	✓	✓	✓		✓	
M3	2095.82			✓			
T3	2096.39	✓	✓	✓		✓	
T4	2094.10	✓		✓		✓	
M4	2094.52			✓			
T5	2098.65	✓		✓		✓	
T6	2099.35	✓	✓	✓		✓	
T7	2099.94	✓		✓		✓	
T8	2100.40	✓		✓		✓	
M5	2100.80			✓			
T9	2100.98	✓	✓	✓		✓	

LD- Petrografía de lámina delgada; **MEB-** Microscopio electrónico de barrido;
DRX- Difracción de rayos X; **CL-** Análisis de catodoluminiscencia; **DIG-** Diagénesis

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Descripción petrográfica detallada

El estudio de petrografía en lámina delgada se lleva a cabo sobre muestras que fueron previamente limpiadas para remover residuos de hidrocarburos y luego impregnadas con resina epóxica de color azul para resaltar la porosidad y proteger la textura de ser perturbada durante la preparación de las mismas. Las láminas delgadas fueron examinadas y se realizó un conteo de puntos (300 puntos por lámina). La clasificación (diagramas triangulares de clasificación) de las rocas terrígenas fue realizada con base en la textura y la composición; se sigue el esquema de Pettijohn (1972), con algunas modificaciones de Folk (1974). Un resumen petrográfico incluye la mineralogía de la roca, la matriz, minerales diagenéticos, tipos de roca, textura y porosidad se muestra en el **Apéndice A1**. Asimismo, las fotomicrografías representativas con las descripciones ilustra características generales y específicas de la muestra y los diagramas triangulares de clasificación se proveen en el **Apéndice A1**.

Difracción de rayos X

La fracción de las muestras sometidas a difracción de rayos X menor a 3 μm (arcilla) fue separada del total de la muestra en un baño ultrasónico por medio de un hexametáfosfato de sodio con agentes defloculantes. El material separado fue luego centrifugado. La fracción arcillosa fue montada sobre una lámina y colocada en un baño de vapor de glicol por 24 horas para separar los minerales arcillosos. Adicionalmente, la fracción arcillosa fue calentada a 375°C para una posterior diferenciación de los minerales de arcilla. El peso de ambas fracciones es medido, es decir, de la fracción arcillosa y del total. Se debe resaltar que la muestra para la difracción de rayos X fue tomada adyacente al lugar donde se tomaron las muestras para petrografía y análisis de tamaño de grano (hasta 5 cm. de separación). Los resultados de difracción de rayos X están registrados en el **Apéndice A2**.

Microscopio electrónico de barrido

El microscopio electrónico de barrido es utilizado para investigar la geometría de las gargantas de poro y los minerales de arcilla dentro de estas gargantas de poro, así como la relación entre los granos. Una descripción (MEB) se proporciona conjuntamente con las microfotografías MEB en el **Apéndice A3**.

Estudio de diagénesis

El estudio de diagénesis está principalmente basado en los análisis de petrografía en lámina delgada y microscopio electrónico de barrido. De acuerdo a la presencia de varios rasgos diagenéticos y de las interrelaciones entre ellos, la secuencia paragenética puede ser establecida.

Petrografía

Se seleccionaron nueve (9) muestras del núcleo 1 del pozo Somero 1, para ser analizadas mediante el estudio de petrografía de lámina delgada, el criterio para la selección consistió principalmente en tomar muestras donde se observaron cambios texturales y/o litológicos importantes.

Las muestras analizadas son areniscas de tamaño de grano muy fino a medio inferior, con un tamaño de promedio fino, de color gris claro a oscuro y pobremente consolidadas. El tamaño de grano de las muestras T5 y T8 muestra un amplio intervalo que va de limo medio a fino. Los granos en las nueve muestras presentan bordes angulosos a muy angulosos; se encuentran de pobre a moderadamente clasificados y presentan una incipiente compactación; presenta contactos tangenciales. Las muestras sólo tienen una orientación localmente subparalela. Estas muestras presentan una textura submadura (generalmente menos de 5% de matriz clástica) y mineralógicamente son inmaduras (más granos inestables, tales como feldespatos y fragmentos de roca). Estas características representan un ambiente de depósito rápido y de alta energía.

Composicionalmente, los granos de las nueve muestras consisten de cuarzo (cuarzo monocristalino 21 – 28.4% y cuarzo policristalino 5.6 – 11.7%), feldespato (plagioclasa 20.4 a 29.7% y feldespato potásico 1.3 – 3.3%), fragmentos de roca (3.6 – 8.3%). Los tipos de fragmentos de roca son ricos ya que incluyen rocas volcánicas, metamórficas, sedimentarias (calcita clástica, fragmentos micríticos y mudstone), lutitas y pedernal. Los componentes que se encuentran como accesorios son mica (principalmente biotita, 0.3 a 2.3%), minerales pesados (principalmente epidota) y bioclastos (foraminíferos y bioclastos no identificables). La materia intersticial está compuesta principalmente de arcilla clástica menor cuya distribución es muy heterogénea (1 a 6%). En la muestra T7 se aprecian laminaciones onduladas compuestas por arcilla, materia orgánica clástica y pirita. Los minerales diagenéticos en las nueve muestras presentan arcilla autigénica (clorita, caolinita) y pirita. Estos sólo se presentan en los granos alterados (principalmente feldespato, mica y fragmentos de roca volcánica). De acuerdo al diagrama de Pettijohn las nueve muestras se consideran como arenitas arcósicas.

Generalmente los granos de cuarzo monocristalino son libres de inclusiones, raramente presentan extinciones onduladas y sobrecrecimiento sintaxial. Los granos de cuarzo policristalino son individuos entrelazados que forman un mosaico. Los granos de feldespato se caracterizan por tener forma alargada principalmente, presentando caolinización en el feldespato potásico y sericitización en plagioclasa. La mayoría de los granos de plagioclasa presentan maclas de albita. Los clastos de roca volcánica son de color relativamente oscuro (debido a la alteración de pirita y clorita). Los clastos de roca sedimentaria incluyen clastos de caliza mudstone, lutita y de lutita limosa que son de color oscuro (debido a la piritización principalmente), y presentan frecuentemente deformaciones (fotos 7B-T4 y 13A-T9). Los granos de pedernal se caracterizan por la textura microcristalina y criptocristalina agregada. La mica clástica (biotita) siempre muestra una dirección de cruceo en la lámina delgada

debido a la compactación mecánica primaria, generalmente alterada por clorita, pirita y magnetita (foto 11B-T6).

El sistema de poros en todas las muestras es principalmente compuesto por poros intergranulares, con menor porosidad intragranular, lo cual resulta de la lixiviación parcial del feldespato y los fragmentos de roca volcánica. Las cantidades menores de sedimentos de grano fino (matriz de arcilla clástica, generalmente menos de 5%), proveen una buena base para los poros intergranulares primarios en todas las muestras. Estos poros intergranulares primarios fueron bien preservados a pesar de las modificaciones diagenéticas que se presentaron después (falta de cemento). En general, el sistema poroso se encuentra bien desarrollado y conectado, excepto los lugares donde se presenta matriz de arcilla clástica y cemento de pirita. En la muestra T7, las laminaciones onduladas de arcilla contribuyen a la reducción de la porosidad al obstruir o rellenar los poros presentes. En las muestras T5 y T8, el cuarzo clástico de tamaño limo es significativo, si embargo la porosidad intergranular aún se desarrolla. Los poros intergranulares se presentan bien conectados entre sí a pesar de que la porosidad y las gargantas entre los granos de cuarzo clástico de tamaño limo son generalmente pequeñas. Debido a la excelente porosidad intergranular, se puede decir que las muestras presentan una calidad de yacimiento buena, pues se trata de roca almacén ubicada dentro de la zona productora y se considera mala cuando esta es muy compacta, con poca porosidad y baja permeabilidad, sin embargo este parámetro obedece más a la aplicación del criterio de quien esta estudiando un grupo de muestras.

Microscopio electrónico de barrido

Se seleccionaron cinco (5) muestras del núcleo 1 del pozo Somero 1, con el fin de ser analizadas con el microscopio electrónico de barrido (MEB). Estas muestras fueron recolectadas aproximadamente de las mismas profundidades de donde se tomaron las muestras de roca para los análisis de petrografía. Los

resultados del análisis con el microscopio electrónico de barrido (MEB), incluyen detalles de la textura y las porosidades de las rocas, así como las fotomicrográficas de cada muestra se presentan en el **Apéndice A1**. Una síntesis de los resultados se describe a continuación.

El análisis de MEB presenta, más detalladamente, información referente al tipo de poros, interconexión de gargantas y arcilla autigénica. Las fotos del análisis de MEB muestran que el sistema de poros se encuentra bien desarrollado en las muestras T1 y T2; moderado a bien desarrollado en las muestras T6 y T9 y pobremente desarrollado en la muestra T3. Sin embargo, en el análisis de lámina delgada el sistema de poros de las cinco muestras está muy bien con 22.7 a 29% de porosidad. En la muestra T3, el análisis de lámina delgada muestra un muy buen sistema de poros, pero tanto el análisis de MEB y de rutina de núcleo presentan un sistema de poros pobre. Se interpreta que fue afectado en el proceso de muestreo. El análisis de MEB confirmó que los minerales de arcilla presentados en el análisis DRX tienen tanto origen autigénico como clástico. Los minerales de arcilla autigénica (clorita), principalmente cubren los granos clásticos (cloritización de los granos). La arcilla menor (capa mixta de illita – esmectita o clorita – esmectita) se presenta como relleno de los espacios intergranulares (foto 10C-T6 y 14C.2-T9). La arcilla de capa mixta illita – esmectita se presentó ocasionalmente en la superficie de los granos clásticos (foto 4C.4-T2). En la muestra T1, se aprecia el sobrecrecimiento del cemento a través del análisis de MEB. (foto 2C.4-T1). El análisis de MEB también revela la disolución en los granos (principalmente granos de feldespato, foto 2C.4-T2, 10C.3-T6 y 14C.3-T9; disolución de fragmentos de roca: foto 14C.4)-T9.

Difracción de rayos X

Se seleccionaron catorce (14) muestras del núcleo 1 del pozo Somero 1, con el fin de determinar las composiciones totales y de arcilla mediante el método de difracción de Rayos-X (DRX). Estas muestras fueron recolectadas aproximadamente de las mismas profundidades de donde se tomaron las muestras de roca para los análisis de petrografía y microscopio electrónico de barrido (MEB). Los datos del análisis de difracción de Rayos-X (DRX) se presentan en el **Apéndice A2** y una síntesis de los resultados se describe a continuación.

Los resultados del análisis de DRX en las nueve muestras de la lámina delgada reflejan que el cuarzo, feldespato, caolinita, clorita e illita se encuentran en todas las muestras, pero la pirita, calcita, dolomita y arcilla de capa mixta no se encuentran en algunas muestras. El análisis de DRX refleja un porcentaje más alto de cuarzo que el encontrado por el análisis de lámina delgada en las nueve muestras. El análisis de lámina delgada sugiere que la cantidad significativamente alta de cuarzo reflejada por el análisis DRX se ve afectada por los clastos de roca (pedernal, volcánicos etc). Algunos cuarzos clásticos pequeños aparecen en las laminaciones de arcilla (muestra T7), lo cual aumentó posteriormente el porcentaje de cuarzo en los resultados del análisis DRX. El contenido de arcilla mineral del análisis de DRX es usualmente más alto que el determinado por conteo de puntos (0.3 a 6% por el conteo de puntos y 4 a 27% del análisis de DRX). El análisis detallado de lámina delgada indica que estos datos altos se deben a los granos clásticos alterados lo que produce recubrimiento de arcilla autigénica (principalmente clastos alterados de roca volcánica y feldespato). Otros fragmentos de roca tales como clastos de roca metamórfica, fragmentos de mudstone y limolita aportan algunos minerales de arcilla que sólo se reflejan en el análisis de DRX. El análisis DRX muestra que los componentes de los minerales de arcilla son caolinita, clorita, illita y arcillas de capa mixta. La clorita representa una porción significativa en la composición de la arcilla. Los análisis de MEB y de lámina delgada demuestran que ésta se

encuentra principalmente en la cloritización de los granos de mica y de los fragmentos de roca volcánica. La illita se presenta principalmente en la matriz y en los fragmentos de roca (mudstone y roca metamórfica). El contenido de caolinita es el mismo de la clorita, pero el análisis de MEB muestra un contenido diferente; se infiere que ésta podría encontrarse en la matriz. El análisis de lámina delgada indica además que la pirita es común en el núcleo 1 a pesar de que no se presenta en algunas muestras a través del análisis DRX (muestras T1- T3, T5, T8 – T9). La razón para que esto se presente es que en algunas muestras el contenido de pirita es muy bajo y no es suficiente para ser detectado por este método.

Las otras cinco muestras (sólo para el análisis de DRX, M1 – M5) generalmente tienen un porcentaje alto de arcilla (28 – 70%), conformado principalmente por caolinita, clorita, illita y arcillas de capa mixta. De las muestras de mano, se observa que las muestras son principalmente estratos de areniscas o mudstone intercalados. La calcita y pirita son comunes en las cinco muestras (4 a 8% de calcita y 1 a 2% de pirita) mientras que no se presenta esmectita en la muestra M2 (6 a 17% en las otras cuatro muestras). La dolomita se presenta sólo en la muestra M2 en un 3%.

Diagénesis

Las nueve (9) muestras del núcleo 1 del pozo Somero 1, fueron analizadas con el fin de caracterizar los rasgos diagenéticos. El estudio de la diagénesis está principalmente basado en el análisis de petrografía de lámina delgada. De acuerdo a la presencia de varios minerales autigénicos, a las fases diagenéticas y de las interrelaciones entre ellos, la secuencia paragenética de las seis muestras se puede resumir como:

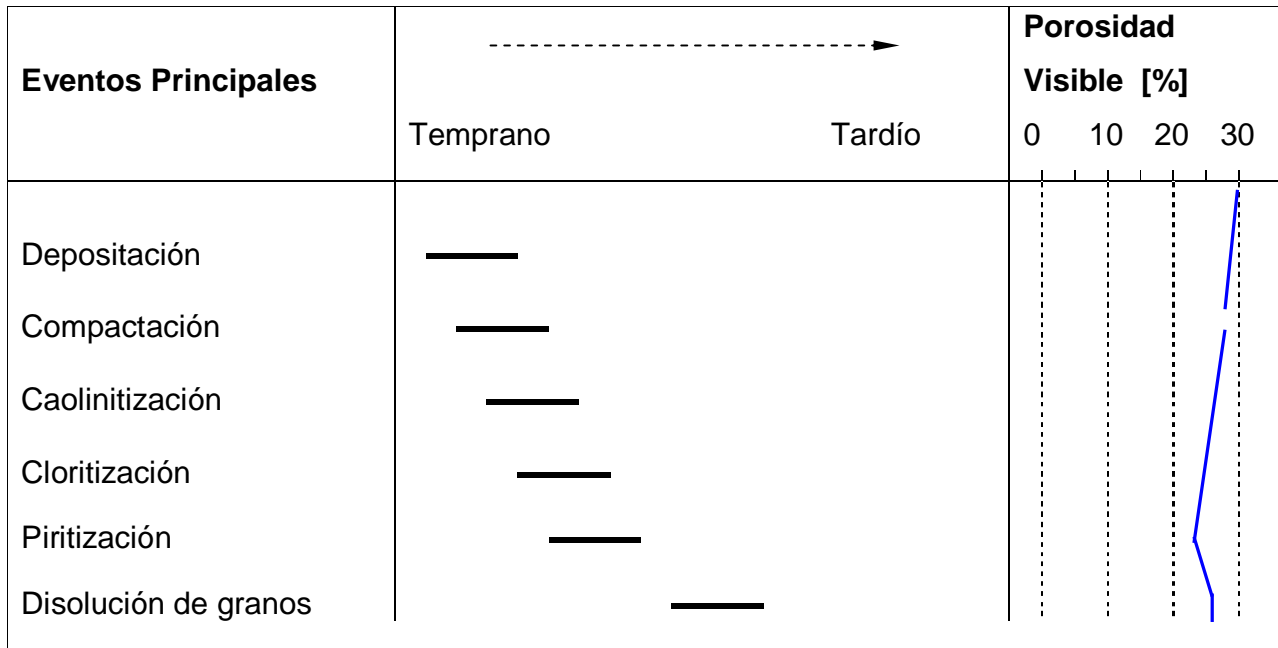
Depósito – compactación – alteración de granos – (caolinitización, cloritización, piritización) cementación – disolución de granos.

Las nueve muestras son areniscas limpias con textura submadura (<5% matriz clástica) y mineralógicamente inmadura. Los poros primarios intergranulares en estas muestras se encuentran bien preservados y finalmente se convierten en los principales espacios para almacenamiento en estas muestras. La compactación mecánica primaria produce una reducción del volumen total, lo cual está acompañado de una leve reducción de la porosidad y expulsión de los fluidos de los poros. Esto produce su vez el reordenamiento y rotación de los granos alargados; causa el fracturamiento de los granos clásticos y su deformación. A diferencia de la lutita, el efecto neto de estos procesos en las areniscas no es significativo en términos de reducción de la porosidad en las arcillas clásticas. Después de la compactación, la porosidad intergranular primaria se encuentra aún desarrollada en estas muestras.

Los minerales diagenéticos en el núcleo 1 incluyen clorita autigénica, caolinita y pirita. La clorita autigénica es común en todas las muestras y generalmente se presenta en feldespato, mica y granos de roca ígnea (cloritización). La clorita raramente rellena los poros intergranulares. El análisis de MEB demuestra que esta clorita autigénica, principalmente recubre los granos del armazón. La pirita es un mineral diagenético muy común en el núcleo 1 y se presenta en forma autigénica y de reemplazamiento. El reemplazamiento de pirita ocurre a nivel microscópico y reemplaza principalmente los clastos de roca volcánica, arcilla y mica (foto 5B-T3, 11A-T7 y 13B-T9). La pirita autigénica presenta una textura microcristalina y octoedral y se encuentra relleno los espacios intergranulares (foto 7B-T4).

Los granos de feldespato y los fragmentos de roca volcánica en disolución tienen un efecto menor en el sistema poroso. En algunas partes, la fuerte disolución puede formar poros sobredimensionados y un mejoramiento en la interconectividad de las gargantas de poros. La disolución de los granos de feldespato es algo común en el núcleo 1. Estos granos generalmente presentan remanentes preferencialmente orientados. Otras alteraciones tales como la

cloritización / caolinitización no tienen efecto en la calidad del yacimiento de la muestra. A continuación se presenta un esquema de la secuencia paragenética generalizada:



Calidad del yacimiento

Con base en el análisis detallado de lámina delgada, la calidad de yacimiento de las nueve muestras depende principalmente del ambiente sedimentario (menores cantidades de arcilla clástica). El principal tipo de porosidad en las nueve muestras es la porosidad intergranular (porosidad intergranular primaria). Estos poros se encuentran bien preservados y conectados entre sí. La poca presencia de matriz provee una buena base para la formación del yacimiento. El punto general de contacto del armazón confirma que la compactación mecánica es leve en estas areniscas débilmente consolidadas. La disolución mejora la porosidad principalmente cuando esta solo limita con granos (feldespato o fragmentos volcánicos) para formar poros intragranulares, y sin embargo, esto podría mejorar la permeabilidad si los poros sobredimensionados se encuentran,

debido a la lixiviación de los poros intragranulares de disolución. Los datos del análisis de rutina del núcleo, revelan que la porosidad de las nueve muestras varía entre 8.4 y 29.7% y su permeabilidad entre 0.04 mD y 1610 mD. Estas bajas porosidades (8.4%) y permeabilidades (0.04 mD) se presentan en la muestra T3. La porosidad del conteo de puntos de esta muestra es de 23.7%. La discrepancia entre los datos del análisis de rutina del núcleo y los datos del conteo de puntos para esta muestra se interpreta como resultado del muestreo, ya que pudieron ser tomadas de diferentes partes de la muestra (MEB lo confirma). La buena distribución del sistema de poros intergranulares contribuye a una buena a muy buena calidad de yacimiento en ocho de las nueve muestras.

Problemas potenciales de yacimiento y recomendaciones

1. Se puede producir precipitación de geles de hidróxido, reductores de permeabilidad debido a la reacción de minerales ricos en hierro como la clorita, pirita y ácido de tratamiento. Agentes secuestrantes de hierro pueden ser efectivos para prevenir la precipitación.
2. El ácido fluorhídrico (HF) se usa normalmente con el ácido clorhídrico (HCl) para remover el daño producido por el lodo de perforación en las areniscas. Los minerales de sílice como el cuarzo, feldespato y arcilla pueden ser disueltos por el ácido fluorhídrico (HF) y precipitar geles gelatinosos que reducen la permeabilidad en la cara del pozo. Para minimizar esta precipitación, se debe evitar el uso excesivo de HF o eliminar rápidamente el ácido empleado.
3. La migración de finos puede taponar las gargantas de los poros. Se debe controlar la tasa de flujo para evitar caer por debajo de la velocidad crítica y así producir la migración de finos. El uso de arcillas estabilizadoras también previene la migración de finos.

4. Los granos sin consolidar del almacón son propensos a la migración de arena. Un sistema de mallas basado en el análisis del tamaño de los granos puede ser instalado para el control de la migración de arenas.

5. Las estructuras laminares presentes en la muestra T7 (laminaciones de arcilla) pueden causar una barrera local de la permeabilidad vertical. La distribución heterogénea de la matriz puede producir la heterogeneidad de la porosidad y la permeabilidad.

Conclusiones

Las interacciones roca-fluido provocan muchos problemas para la calidad del yacimiento. Las técnicas comunes de análisis para la caracterización de yacimientos son muy útiles en la identificación de la mineralogía de revestimiento de poros y en la definición de los problemas potenciales que se puedan presentar y los posibles procedimientos para evitarlos, tanto en yacimientos en carbonatos como en yacimientos en rocas clásticas.

La utilización de estas técnicas proporciona información única con respecto a la calidad del yacimiento, la homogeneidad del mismo y el potencial del daño de formación (en algunos casos). Esto se lleva a cabo con los análisis pertinentes en muestras tomadas de núcleos convencionales, núcleos de pared (rotación) y núcleos de pared por percusión, así como en muestras de canal.

Es importante reconocer que para estimar adecuadamente los parámetros como porosidad y permeabilidad, se requiere de un número suficiente de muestras, (número y tamaño) tomadas de los núcleos.

En la industria del petróleo, el número de muestras disponibles para realizar un análisis completo de la caracterización de un yacimiento es muy pequeño y puntual y no necesariamente representativo de la variabilidad de los parámetros de la roca.

Se infieren parámetros para un yacimiento con un tamaño en volumen del orden de $10^8 - 10^{10} \text{ m}^3$, con unos pocos núcleos del orden de algunos metros en el mejor de los casos de los cuales se toma solo un número limitado de muestras que realmente representan un volumen muy pequeño comparado con el tamaño real del yacimiento.

Entre más variable sea un parámetro se requiere de una mejor representatividad de éste. Por tanto, se necesitan más muestras para su estudio y cuantificación.

La permeabilidad es comúnmente un parámetro crítico en el análisis de la calidad de un yacimiento debido a su variabilidad. Por tanto, es uno de los parámetros más difíciles de cuantificar acertadamente. En este contexto se propone obtener la mayor cantidad posible de muestras ya sean estas de canal u obtenidas de mediante el corte de núcleos, principalmente en todos aquellos pozos exploratorios, que se tengan programados para perforar, así como en los de desarrollo donde se carezca de suficiente material de estudio y/o donde no se tengan suficientes elementos para poder definir los parámetros de la roca que controlan la producción de dichos campos.

Los valores de las propiedades (porosidad o permeabilidad) de una unidad de yacimiento que el ingeniero geólogo o petrolero requiere estimar o inferir pueden considerarse como una población. Las poblaciones pueden ser agrupadas a distintos niveles, si se determina que todo el yacimiento puede abarcar un grupo de formaciones y se analizan subdivisiones del yacimiento (Formaciones) o solamente una capa o un estrato dentro de una formación.

Si las propiedades de la roca son pobremente estimadas se debe esperar un modelamiento muy pobre del yacimiento. Ingenieros geólogos y petroleros deben obtener un buen estimado de las propiedades del yacimiento con base en el núcleo, obteniendo toda la información geológica que aporte el estudio de este, así como toda la información y datos que arrojen los análisis petrofísicos pertinentes según el tipo de roca y el objetivo del pozo.

Los pozos con núcleos pueden estar en zonas no representativas de la variabilidad de la porosidad y/o de la permeabilidad del yacimiento. Los pozos con núcleos generalmente están localizados en las crestas de las estructuras (generalmente más fracturadas) en donde pueden existir condiciones distintas y

variables de diagénesis en la columna de hidrocarburos. La correcta aplicación de las técnicas mencionadas en este trabajo proveen información sobre las variaciones en patrones de permeabilidad. Se explica por las variaciones de propiedades texturales controladas por facies depositacionales; estas técnicas son esenciales en la reconstrucción de la historia diagenética y en la evaluación de la calidad de yacimiento.

Un completo análisis proveerá esencialmente información sobre la descripción depositacional de facies, la reconstrucción de la historia diagenética y la documentación del sistema poroso. Las variaciones en la calidad de un yacimiento (variaciones en la porosidad y la permeabilidad) pueden ser explicadas por las variaciones texturales de la roca, relacionadas con la variación, distribución, lateral y horizontal, de facies en un determinado ambiente de depósito.

La reconstrucción de la historia diagenética es importante porque influye en el volumen, tamaño, forma y distribución de los poros; la reducción de la porosidad por la presencia de cementante entre los poros, ayuda a conocer el mejoramiento de la porosidad por la disolución de minerales así como la recristalización que aumenta o reduce la porosidad en los yacimientos.

La documentación de la porosidad, provee una idea más clara del origen y la distribución tridimensional de los poros y permite la clasificación individual de poros en categorías; también permite conocer y evaluar el grado de interconexión de poros, facilita la conceptualización en tres dimensiones de las rutas de migración de los hidrocarburos y ayuda a reconocer la porosidad “selectiva” a un determinado ambiente de depósito. Se pueden planear programas de recuperación mejorada en sitios específicos de acuerdo a la distribución de facies, por lo que la utilización y aplicación de estas técnicas es fundamental para la caracterización y planeación de procesos óptimos en la estimulación de un yacimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Corrales, Z. I., S. J. Rosell, L.

ESTRATIGRAFÍA Edit. Rueda, España.

Sánchez de la Torre, T. J. Vera y
M. L. Vilas. 1976.

Friedman, G. M., J. E. Sanders, D. C.,
DEPOSITS.
Kapaska-Meckel.
Publishing
1992.

PRINCIPLES OF SEDIMENTARY
Stratigraphy and Sedimentology. Macmillan
Company.

Krumbein, W. C. y Sloss, L.
Unión 1969.
Americana (UTEHA).
Folk. R. L.
Hemphill 1974.

ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTACIÓN.
Tipográfica. Editorial Hispano

PETROLOGY OF SEDIMENTARY ROCKS.
Publishing. Co.

Pettijohn F. J. y Potter,
1964.
Verlag,
Irani, R. R. y C. F.

P. ATLAS AND GLOSSARY OF PRIMARY
SEDIMENTARY STRUCTURES. Springer-

PARTICLE SIZE: MEASUREMENT,
INTERPRETATION AND APPLICATION.

John Wiley and Sons.

Krumbein, W. C. y F. J. Pettijohn.
PETROGRAPHY.
1983.

MANUAL OF SEDIMENTARY
Appleton-Century-Crafts.

Pettijohn F. J. Potter, P. y Siever, R.
1972.
York.

SAND AND SANDSTONES. 2nd Edition.
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New

Barwis, J. H., McPherson, J., Studlick,
J.R.,
1990.

SANDSTONE PETROLEUM
RESERVOIRS. Springer
Verlag.

- Boggs, S.
1995.
Edition.
- PRINCIPLES OF SEDIMENTOLOGY AND STRATIGRAPHY. Prentice Hall, 2nd
- Tucker, M. E.
INTRODUCTION
1991.
ROCKS.
Edition.
- SEDIMENTARY PETROLOGY AN TO THE ORIGIN OF SEDIMENTARY
Blackwell Science, 2nd
- Wilson, J. L., Jordan, C.
American
1983.
Memoir
- MIDDLE SHELF ENVIRONMENT.
Association of 1983. Petroleum Geologists,
33, pp. 298-343.
- Sam Boggs Jr.
2009.
- PETROLOGY OF SEDIMENTARY ROCKS.
Cambridge University Press. 2nd Edition.
- John K. Warren
AND
2006.
1st Edition.
- EVAPORITES: SEDIMENTS RESOURCES
HYDROCARBONS. Springer-Verlag. LLC
- Sam Boggs Jr., David Krinsley
2010.
- APLICATION OF CATHODOLUMINESCENCE IMAGING TO THE STUDY OF SEDIMENTARY ROCKS. Cambridge University Press.
- Richard Worden.
2003.
- SANDSTONE DIAGENESIS: RECENT AND ANCIENT. Wiley, John & Sons. Inc.
- Richard Worden., Sadoon Morad.
2003.
- CLAY MINERAL CEMENTS IN SANDSTONES.
Wiley, John & Sons. Inc.
- Winfried Zimmerle, H. Zimmerle
Verlag.
1995.
- PETROLEUM SEDIMENTOLOGY. Springer
LLC.
- Ronald A. Nelson.,
2001.
Science.
- GEOLOGIC ANALYSIS OF NATURALLY FRACTURED RESERVOIRS. Elsevier
2nd Edition.
- Peter K.Swart.
- PERSPECTIVES IN CARBONATE GEOLOGY.

2009. Wiley-Blacwell
- Erle C. Donaldson., Djebbar Tiab.,
Erle Donaldson.
2003. Elsevier Inc.
- PETROPHYSICS: THEORY AND PRACTICE OF MEASURING RESERVOIR ROCK. 2nd Edition.
- Erling Fjar., R.M. Holt
2008. Elsevier. 2nd Edition.
- PETROLEUM RELATED ROCK MECHANICS
- L. Blyakovsky., Eremenko M.V.
Gorfunkel., G.V. Chilingarian
2005. Elsevier.
- GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF OIL AND GAS.
- R.W. Zimmerman.
1990. Elsevier Science.
- COMPRESIBILITY OF SANDSTONES.
- C.H. Moore.
1989. Elsevier Science.
- CARBONATE DIAGENESIS AND POROSITY.
- D.W. Lewis.
1995. Klumer. Academic Publishers.
- ANALYTICAL SEDIMENTOLOGY.
- Allman, Michael and Lawrence.
David F.
1972. Arco. Pub. Co., Inc. New York.
- GEOLOGICAL LABORATORY TECHNIQUES.
- Bernard Nickel
Herausgegeben
1978 Von M.D. Lumb. Academic Press, New York.
- LUMINESCENCE SPECTROSCOPY.
- Rasmus, John A.
1986
- SUMMARY OF THE EFFECTS OF VARIOUS PORE GEOMETRIES AND THEIR WETTABILITIES ON MEASURED IN-SITU VALUES OF CEMENTATION AND SATURATION EXPONENTS.
SPWLAT Twenty-Seventh Annual Logging Symposium.

REFERENCIAS GENERALES

Boletín, Sociedad Geológica Mexicana.

Boletín, Asociación de Geólogos Petroleros

Revista, Instituto Mexicano del Petróleo.

Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, U. N. A. M.

Revista, Instituto de Geología, U. N. A. M.

Boletín, Instituto de Geología, U. N. A. M.

Bulletin, American Association of Petroleum Geologists.

Journal of Sedimentary Petrology, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists.

Sedimentology.

Bulletin, Geological Society of America.

Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, U. N. A. M.

Geofísica Internacional, Instituto de Geofísica, U. N. A. M.

APENDICES

ANEXO FOTOGRÁFICO

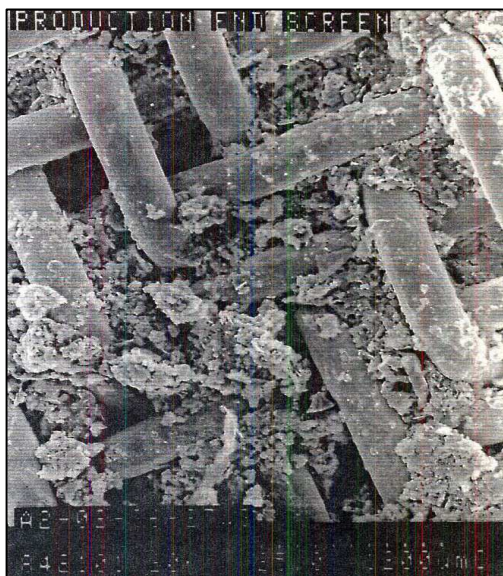
Fotografía 3.1



25X

Imagen de MEB donde se observan los efectos de la movilización de finos.

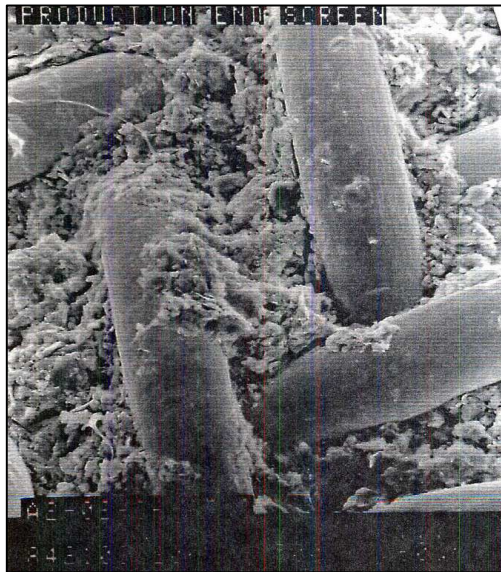
Fotografía 3.2



250X

Imagen de MEB con mayor resolución donde se observan las aberturas de la malla bloqueadas por cuarzo y silicatos finos la mayoría de arcilla tipo caolinita.

Fotografía 3.3



500X

Imagen de MEB donde se observan las aberturas de la malla, bloqueadas por cuarzo y silicatos finos, la mayoría de arcilla es del tipo caolinita.

Fotografía 3.4



700X, 7000X

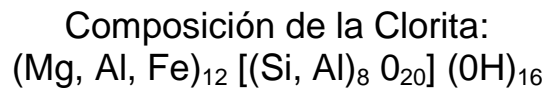
Imagen de MEB con mayor aumento, donde se observan las aberturas de malla bloqueadas por cuarzo y silicatos finos, la mayoría de arcilla tipo caolinita.

Fotografía 3.5

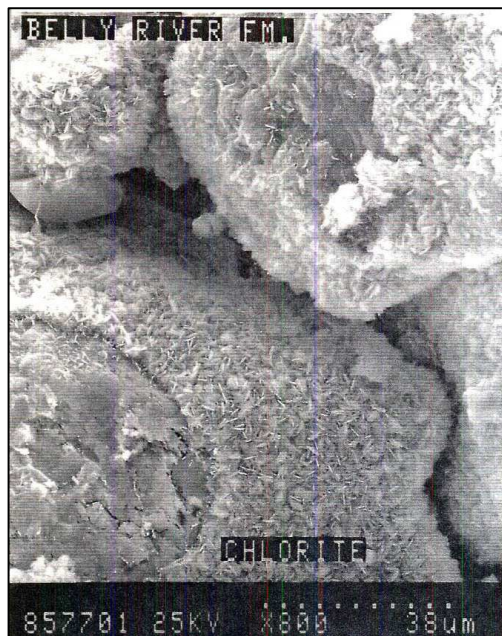


Escala 7.5 μm

Imagen de MEB en la que se aprecian cristales de clorita.



Fotografía 3.6



Escala 3.8 μm

Imagen de MEB donde se aprecia la presencia de clorita relleno y obstruyendo los espacios porosos que hay entre los clastos cercanos.

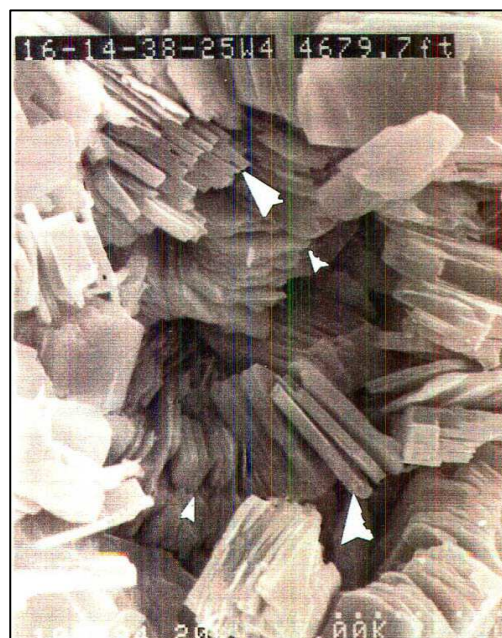
Fotografía 3.7



Escala 6.0 μm

Ampliación de la imagen anterior, donde se aprecia con mayor detalle la morfología de la clorita y como ésta obstruye los espacios porosos que hay entre ésta y los clastos cercanos.

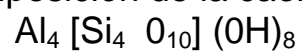
Fotografía 3.8



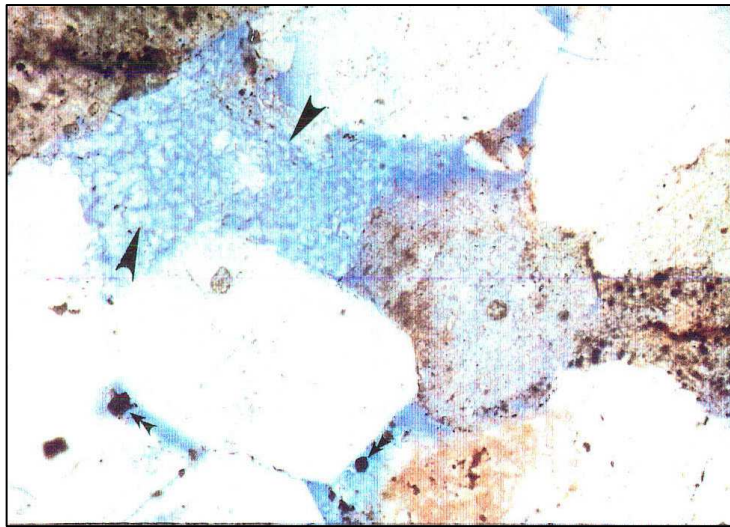
Escala 10.0 μm

Imagen de MEB donde se muestran cristales euedrales y subedrales de caolinita.

Composición de la caolinita:



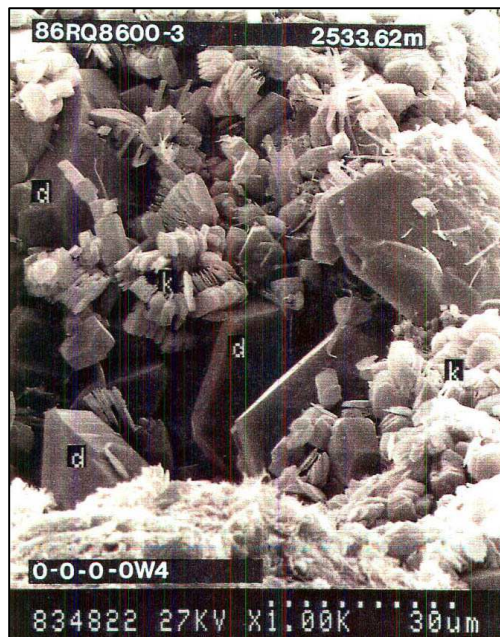
Fotografía 3.9



Escala 30 μ

Fotomicrografía de lámina delgada donde se aprecia la presencia de caolinita, rellenando espacios porosos en una arenisca y por tanto reduciendo la porosidad.

Fotografía 3.10



Escala 30.0 μ m

Imagen de MEB, mostrando la ocurrencia de caolinita (d), donde se observa claramente el efecto de reducción de la porosidad por esta última.

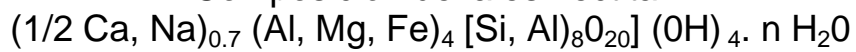
Fotografía 3.11



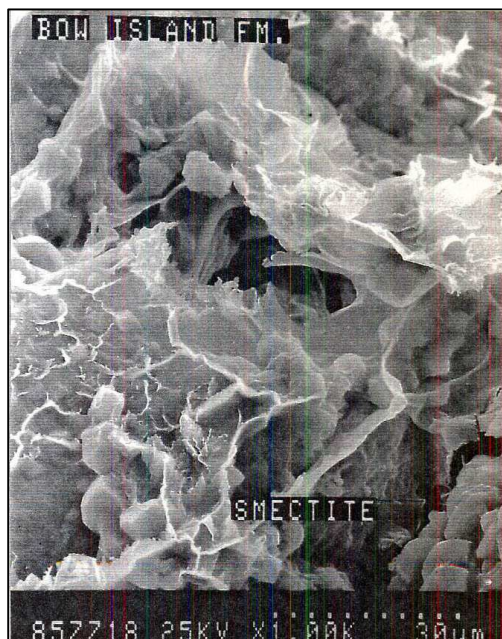
Escala 3.8 μm

Imagen de MEB. Muestra la ocurrencia de esmectita, donde se observa claramente el efecto de reducción de la porosidad por esta última.

Composición de la esmectita:



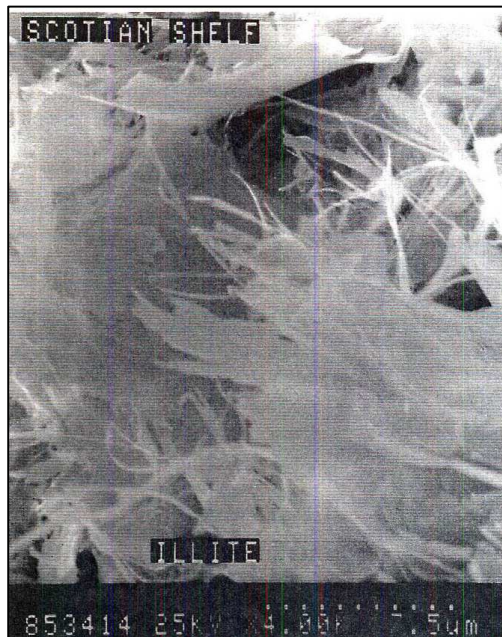
Fotografía 3.12



Escala 3.0 μm

Ampliación de la imagen anterior, donde se aprecia con mayor detalle la morfología de la esmectita, donde se observa claramente el efecto de reducción de la porosidad por esta última.

Fotografía 3.13



Escala 7.5 μm

Imagen de MEB. Muestra la ocurrencia de illita, donde se observa claramente el efecto de reducción de porosidad por esta última.

Composición de la illita:



Fotografía 3.14



Escala 6.0 μm

Ampliación de la imagen anterior, donde se aprecia con mayor detalle la morfología de la esmectita, se observa claramente el efecto de reducción de la porosidad por esta última.

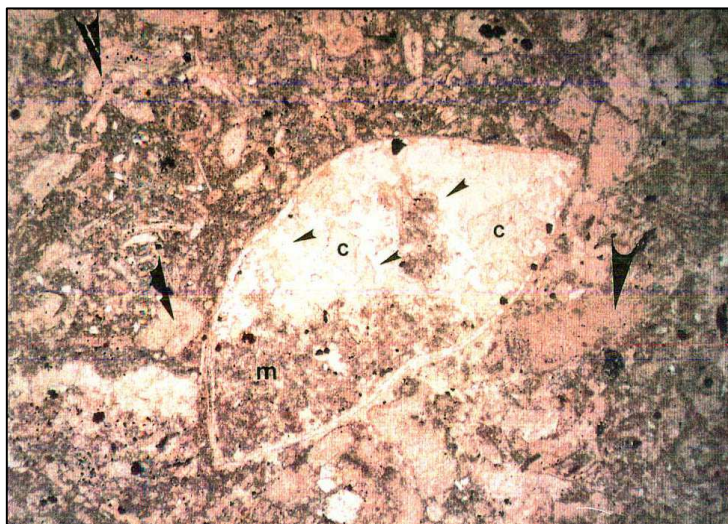
Fotografía 3.15



Escala 20.0 μm

Ampliación de la imagen anterior, donde se aprecia con mayor resolución la morfología de la esmectita.

Fotografía 3.16

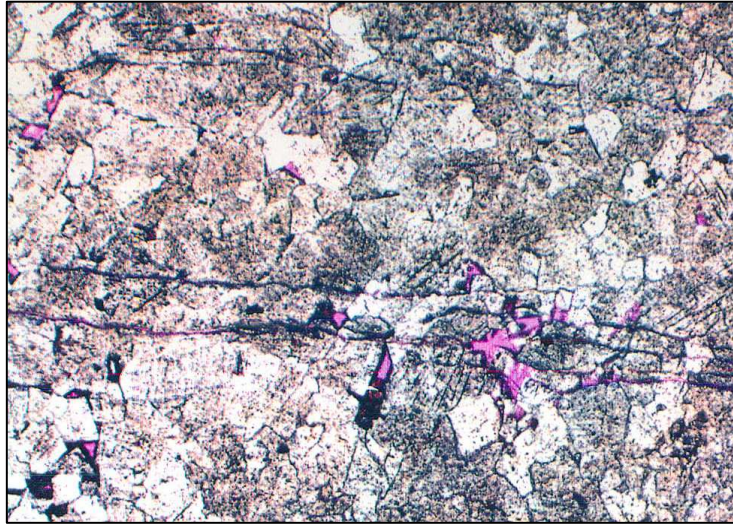


Escala 30.0 μm

Fotomicrografía de lámina delgada donde se observa la presencia de calcita, rellenando los espacios porosos en una roca.

Composición de la
calcita: (Ca CO_3)

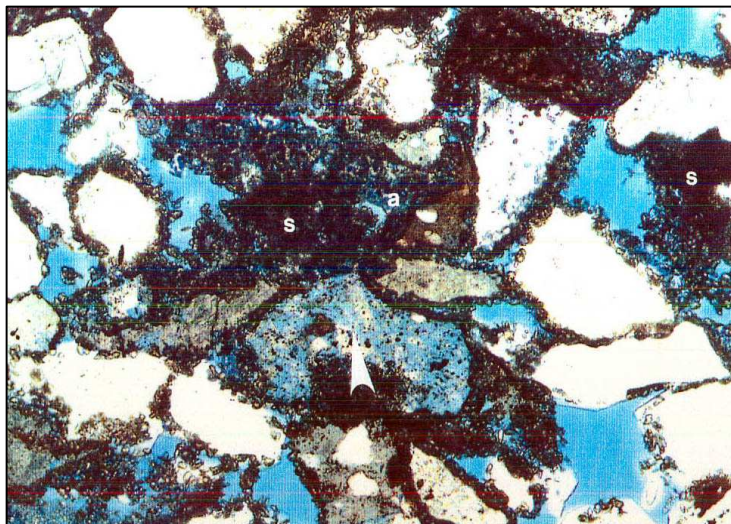
Fotografía 3.17



Escala 30.0 μ

Fotomicrografía de lámina delgada que muestra cristales de dolomita que en su mayoría han reducido el espacio poroso en la muestra observada.

Fotografía 3.18



Escala 30.0 μ

Fotomicrografía de lámina delgada mostrando siderita y como ésta rellena y reduce el espacio poroso en la muestra observada.

Fotografía 3.19

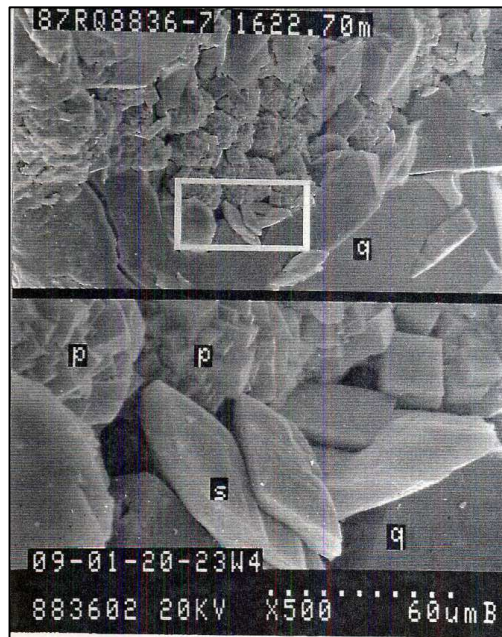
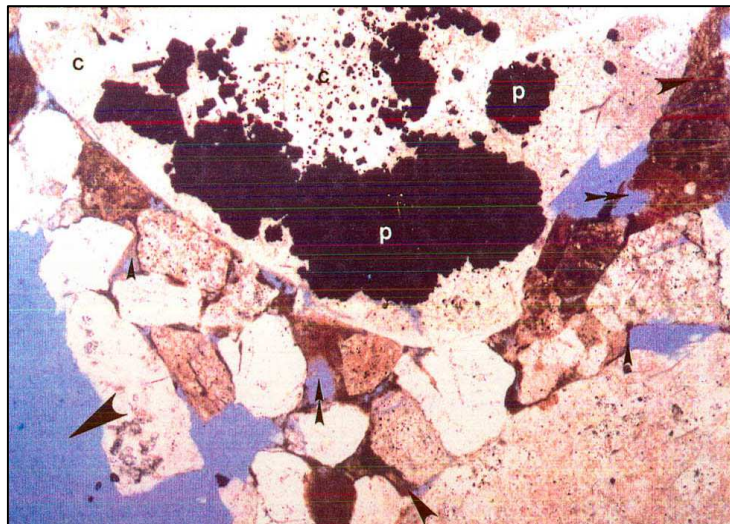


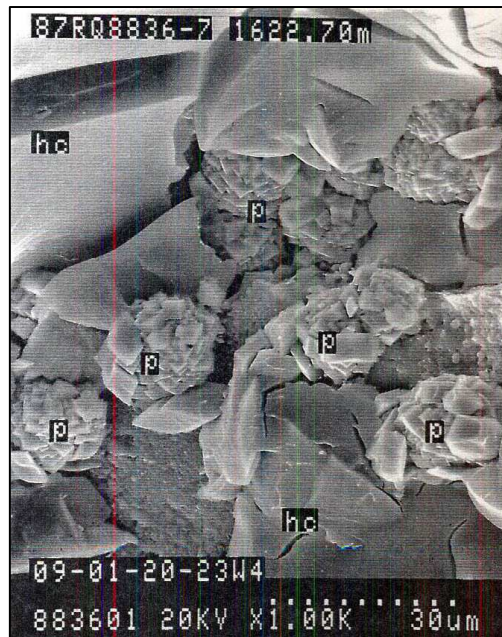
Imagen de MEB mostrando cristales de siderita relleno y reduciendo el espacio poroso en la muestra observada.

Fotografía 3.20



Fotomicrografía de lámina delgada mostrando pirita y como ésta rellena y reduce el espacio poroso en la muestra observada.

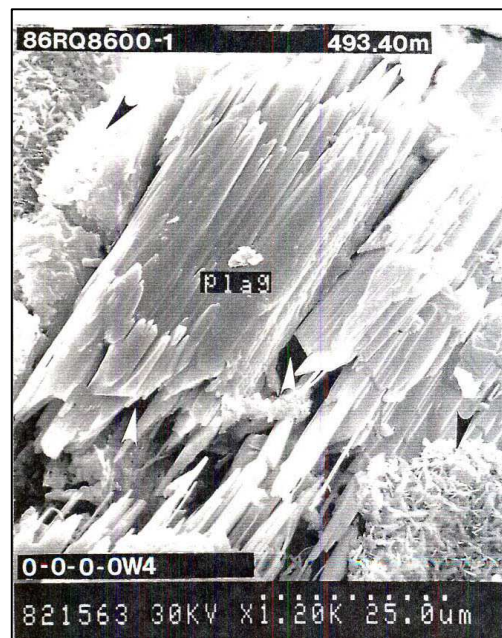
Fotografía 3.21



Escala 30.0 μm

Imagen de MEB que muestra nódulos microscópicos de pirita que obstruyen y reducen el espacio poroso en la muestra observada.

Fotografía 3.22



Escala 25.0 μm

Imagen de MEB que muestra a los silicatos que obstruyen y reducen el espacio poroso en la muestra observada.

APÉNDICE A1

RESUMEN DE LA DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Pozo: Somero 1		Núcleo: 1					
Muestra No.		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Profundidad (m)		2094.52	2095.22	2096.39	2097.26	2098.65	2099.35
Tipo de Roca		Arenisca Arcóscica	Arenisca Arcóscica	Arenisca Arcóscica	Arenisca Arcóscica	Arenisca Arcóscica	Arenisca Arcóscica
Cuarzo	Monocristalino	25.7	21	23.8	27.8	24.8	22.7
	Policristalino	8	7.6	8.6	11.7	7.7	7.7
	Total	33.7	28.6	32.4	39.5	32.5	30.4
Feldespatos	Plagioclasa	27.7	25.4	28.1	23.7	25.4	27.1
	Feldspato Potásico	2.6	1.3	3.3	1.7	2	1.6
	Total (o no clasificado)	30.3	26.7	31.4	25.4	27.4	28.7
Fragmentos Líticos	Fragmentos Ígneos	3	4	2.6	2.7	1.7	2.7
	Fragmentos Metamórficos	TR	TR	TR	TR	TR	TR
	Fragmentos de Caliza	2	2.3	1.6	1.6	1	0.6
	Fragmentos de Dolomita	-	-	-	-	TR	TR
	Fragmentos de Areniscas	0.3	1	0.7	-	0.3	0.3
	Fragmentos Arcillosos	0.3	0.7	-	-	-	-
	Pedernal	0.3	0.3	1.3	1	1.3	0.6
	Total	5.9	8.3	6.2	5.3	4.3	4.2
	Secundarios	Micas	1.3	2.3	1.3	1.6	1.3
Minerales Pesados		0.3	-	TR	TR	0.3	0.3
Moluscos		TR	-	-	-	-	-
Foraminíferos		TR	0.3	-	-	-	-
Briozoarios		-	0.3	-	-	-	-
Clásticos Orgánicos		-	0.3	0.3	-	-	-
Glauconita		0.7	1.3	0.7	0.3	1	0.7
Equinodermos		-	-	-	-	-	-
Total		2.3	4.5	2.3	1.9	2.6	2
Matriz		Calcárea	-	-	-	-	-
	Arcillosa	1	2.9	0.3	1	1.3	1
	Total	1	2.9	0.3	1	1.3	1
Arcilla Autígena	Clorita	0.3	1	0.3	0.7	1	1.3
	Caolinita	0.3	1	0.7	0.3	0.6	0.7
	Illita	-	-	-	-	-	-
	I/E en Capa Mixta	-	-	-	-	-	-
	Indeterminada	0.3	0.7	-	0.3	-	0.7
	Total	0.9	2.7	1	1.3	1.6	2.7
Cementos no arcillosos	Cuarzo Autígeno	-	-	-	-	-	-
	Cuarzo Microcristalino	-	-	-	-	-	-
	Feldspato Autígeno	-	-	-	-	-	-
	Dolomita-Fe	-	-	-	-	-	-
	Dolomita	-	-	-	-	-	-
	Calcita	-	-	-	-	-	-
	Calcita-Fe	TR	-	-	-	TR	TR
	Calcita-Fe (sustitución)	-	-	-	-	-	-
	Siderita	-	-	-	-	-	-
	Zeelita	-	-	-	-	-	-
	Pirita	2	3.6	1.6	1.6	1.3	2
Oxido de Titanio	-	-	-	-	-	-	
Total	2	3.6	1.6	1.6	1.3	2	
Porosidad	Intergranular	22.4	21.1	23.7	22.7	27.7	27.4
	Intrabioclastica	-	-	-	-	-	-
	Intragranular	1.3	1.6	1	1.3	1.3	1.6
	Fractura	-	-	-	-	-	-
	Móltica	-	-	-	-	-	TR
	Microporosidad	-	-	-	-	-	-
	Total	23.7	22.7	24.7	24	29	29

TR:TRazas; R-Razo; C-Común; A-Abundante; ND-No Disponible; M-Masiva; Lm-Laminada; Xl-Lamino Cruzada; Xb-EsTRato Cruzada; B-Bioturbada; Gsp-Grano Soportada; Msp+MaTRiz; Soportada; Csp-Cemento Soportada;

NC-Non Consolidada; CP-Contacto Puntual; CC-Contacto Convexo; CS-Contacto Saturado; Gs-Grueso superior; Gi-Grueso inferior; Ms-Medio superior; Mi-Medio inferior; Fs-Fino superior; Fi-Fino inferior; MF+Muy fino superior;

Mf-Muy fino inferior; Mad-Madura; Sm-Submadura; Im-Imadura; MP-Muy Pobre; P-Pobre; M-Moderada; B-Buena; MB-Muy Buena; E-Excelente; Ff-Feldspática.

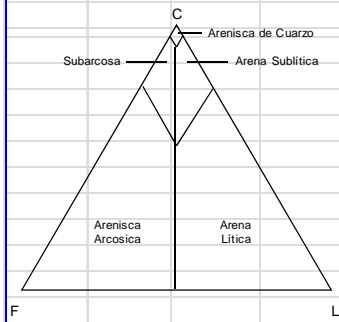
CLASIFICACION DE ARENISCAS

Pozo: Somero 1

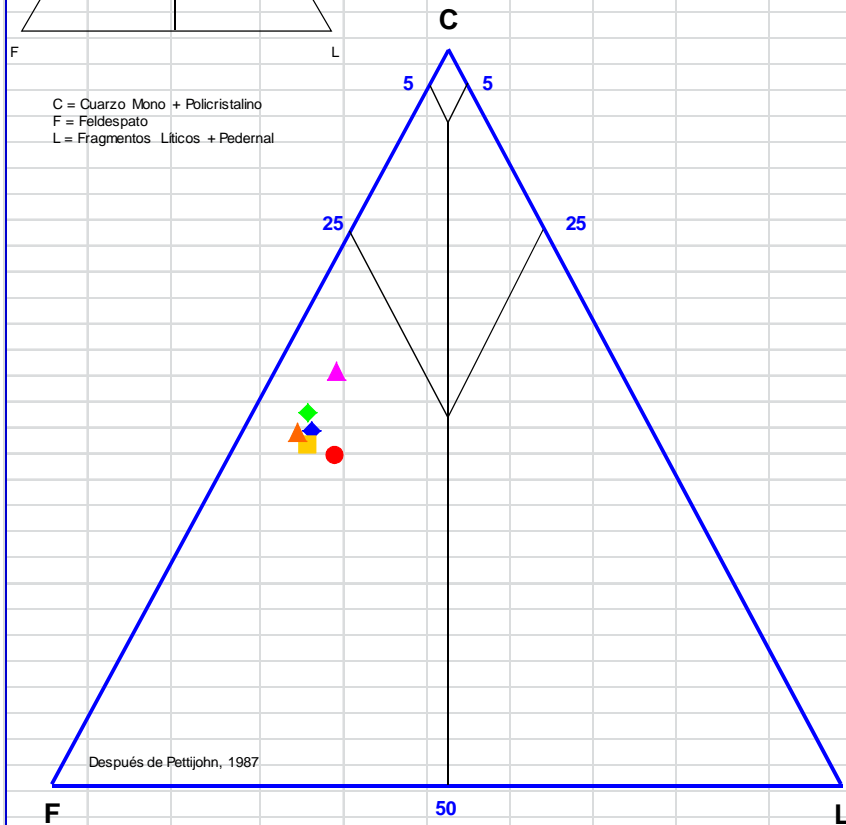
Núcleo: 1

LEYENDA

Muestra	Profundidad
◆ T1	2094.52 m
● T2	2095.22 m
■ T3	2096.39 m
▲ T4	2097.26 m
◆ T5	2098.65 m
▲ T6	2099.35 m



C = Cuarzo Mono + Policristalino
 F = Feldespato
 L = Fragmentos Líticos + Pedernal



Después de Pettijohn, 1987

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Foto 1

Pozo: Somero 1 Núcleo: 1
 Muestra: T1 Profundidad (m): 2094.52

Resultado del Conteo de Puntos		
Tipo de Roca	Arenisca Arcóscica	
Granos clásticos		
Cuarzo	Monocristalino	25.7
	Policristalino	8
	Total	33.7
Feldespatos	Plagioclasa	27.7
	Feldespato Potásico	2.6
	Total (o no clasificado)	30.3
Fragmentos Líticos	Fragmentos Igneos	3
	Fragmentos Metamórficos	TR
	Fragmentos de Caliza	2
	Fragmentos de Dolomita	-
	Fragmentos de Areniscas	0.3
	Fragmentos Arcillosos	0.3
	Pedernal	0.3
Total	5.9	
Accesorios	Micas	1.3
	Minerales Pesados	0.3
	Moluscos	TR
	Foraminíferos	TR
	Briozoarios	-
	Clásticos Orgánicos	-
	Glauconita	0.7
	Equinodermos	-
Total	2.3	
Matriz	Calcárea	-
	Arcillosa	1
	Total	1
Arcilla Autígena		
Cuarzo Autígeno	Clorita	0.3
	Caolinita	0.3
	Illita	-
	<i>I/E en Capa Mixta</i>	-
	Indeterminada	0.3
	Total	0.9
Cementos no Arcillosos		
Cuarzo Autígeno	Cuarzo Autígeno	-
	Cuarzo Microcristalino	-
	Feldespato Autígeno	-
	Dolomita-Fe	-
	Dolomita	-
	Calcita	-
	Calcita-Fe	TR
	Calcita-Fe (sustitución)	-
	Siderita	-
	Zeolita	-
	Pirita	2
Óxido de Titanio	-	
Total	2	
Porosidad		
Porosidad	Intergranular	22.4
	Intrabioclastica	-
	Intragranular	1.3
	Fractura	-
	Moldica	-
	Microporosidad	-
Total	23.7	
Textura		
Textura	Clasificación	M
	Madurez	Smd
CALIDAD DE YACIMIENTO		
Buena		

Descripción de Fotos

Foto 1A: Es una vista general de arenisca arcóscica de tamaño de arena muy fina a media, pobre a moderadamente clasificada con porosidad intergranular común (manchas azules con resina epóxica). Los granos del amazón están principalmente compuestos por cuarzo clástico (L11, O8), feldespato (J6, K7), cantidades menores de clastos de rocas volcánicas (S6), plutónicas (K4), metamórficas y sedimentarias, pedernal y caliza (caliza arenosa micrítica - M2). El feldespato y los fragmentos de roca volcánica y plutónica se encuentran alterados o disueltos.

Foto 1B: Muestra la sericitización y piritización de los granos de feldespato (J3). Es común la lixiviación del feldespato y otros granos (T2, C2), lo cual produce la porosidad secundaria. Se observa un fragmento de concha de molusco reemplazado y relleno con calcita ferrosa (J10, N9). La muestra presenta porosidad bien interconectada por lo que es considerada con buena calidad de yacimiento.

Secuencia deposición – compactación – alteración de granos - disolución de granos – calcita ferrosa - piritización paragenética

TR-TRazas; R-Raro; C-Común; A-Abundante; ND-No Disponible; Ms-Masiva; Lm-Laminada; Xlm-Lamino Cruzada; Xb-EsTRato Cruzada; B-Bioturbada; Gsp-Grano Soportada; Mspt-MATRiz Soportada; Csp-Cemento Soportada; NCon-No Consolidada; CP-Contacto Puntual; CC-Contacto Convexo; CS-Contacto Saturated; Gs-Gruoso superior; Gi-Gruoso inferior; Ms-Medio superior; Mi-Medio inferior; Fs-Fino superior; Fi-Fino inferior; Mfs-Muy fino superior; Mfi-Muy fino inferior; Mad-Madura; Smd-Submadura; Imd-Inmadura; MP-Muy Pobre; P-Pobre; M-Moderada; B-Buena; MB-Muy Buena; E-Excelente; Fel-Feldespática.

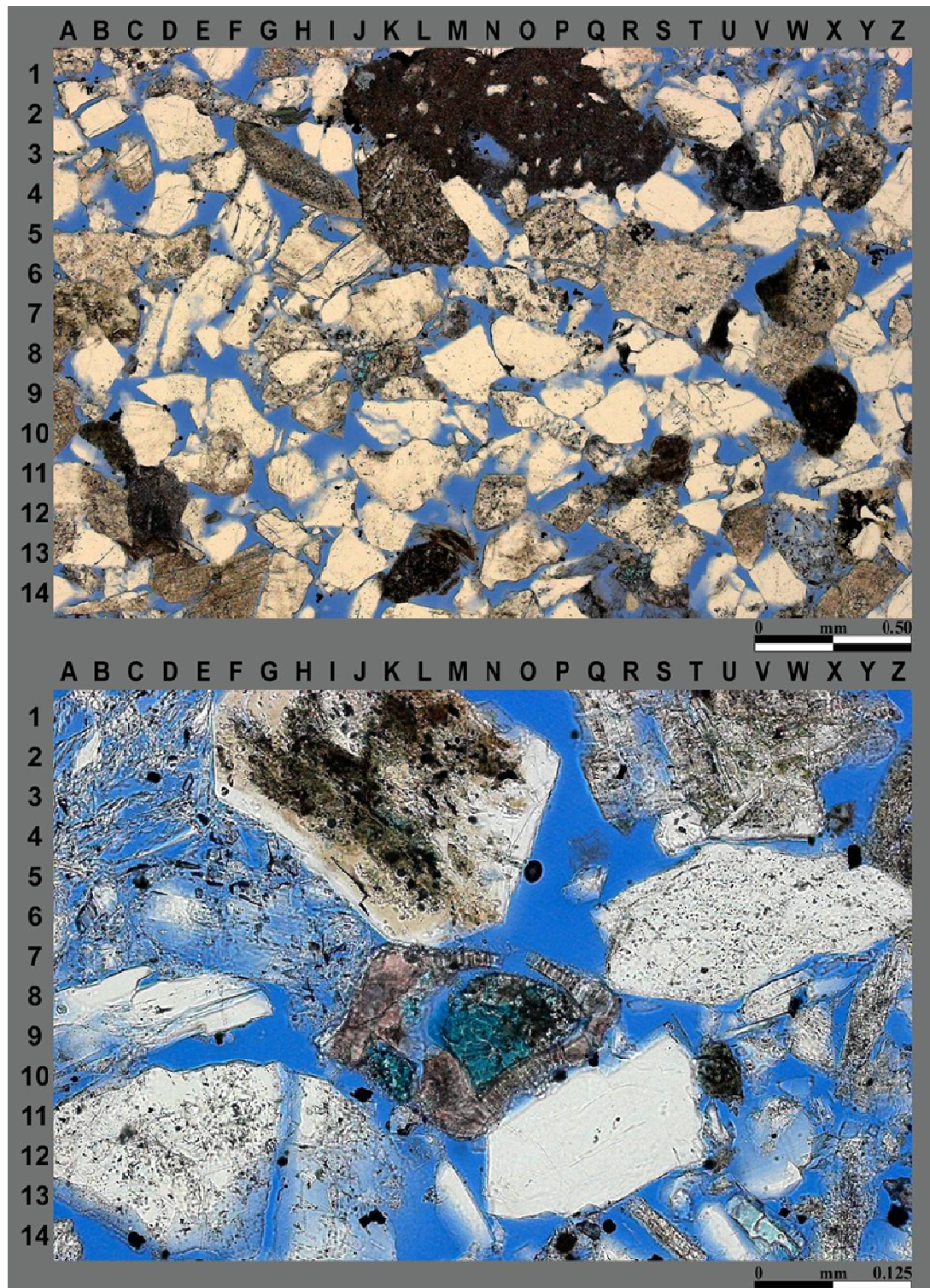
Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

Foto: 1

Muestra: T1

Profundidad: 2094.52 m



1A

1B

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Foto 3

Pozo: Somero 1 **Núcleo:** 1
Muestra: T2 **Profundidad (m):** 2095.22

Resultado del Conteo de Puntos					
Tipo de Roca	Arenisca Arcósica				
Granos clásticos			Arcilla Autígena		
Cuarzo	Monocristalino	21		Clorita	1
	Policristalino	7.6		Caolinita	1
	<i>Total</i>	28.6		Illita	-
Feldespatos	Plagioclasa	25.4		I/E en Capa Mixta	-
	Feldespato Potásico	1.3		Indeterminada	0.7
	<i>Total (o no clasificado)</i>	26.7		<i>Total</i>	2.7
Fragmentos Líticos	Fragmentos Ígneos	4	Cementos no Arcillosos		
	Fragmentos Metamórficos	TR	Cuarzo Autígeno	-	
	Fragmentos de Caliza	2.3	Cuarzo Microcristalino	-	
	Fragmentos de Dolomita	-	Feldespato Autígeno	-	
	Fragmentos de Areniscas	1	Dolomita-Fe	-	
	Fragmentos Arcillosos	0.7	Dolomita	-	
	Pedemal	0.3	Calcita	-	
	<i>Total</i>	8.3	Calcita-Fe	-	
Accesorios	Micas	2.3	Calcita-Fe (sustitución)	-	
	Minerales Pesados	-	Siderita	-	
	Moluscos	-	Zeolita	-	
	Foraminíferos	0.3	Pirita	3.6	
	Briozoarios	0.3	Óxido de Titanio	-	
	Clásticos Orgánicos	0.3	<i>Total</i>	3.6	
	Glauconita	1.3	Porosidad		
	<i>Total</i>	4.5	Intergranular	21.1	
Matriz	Calcárea	-	Intrabioclastica	-	
	Arcillosa	2.9	Intragranular	1.6	
	<i>Total</i>	2.9	Fractura	-	
			Moldica	-	
			Microporosidad	-	
		<i>Total</i>	22.7		
		Textura			
		Clasificación	M		
		Madurez	Smd		
CALIDAD DE YACIMIENTO			Buena		
Descripción de Fotos					
<p>Foto 3A: Es una vista general de una arenisca arcósica de tamaño de arena muy fina a media, con porosidad intergranular común (manchas azules con resina epóxica). Los granos son de forma angulosa a muy angulosa, pobre a moderadamente clasificados. Los granos del armazón consisten principalmente de cuarzo clástico (E6, I3), feldespato (U13, L1), con cantidades menores de fragmentos ígneos, fragmentos de caliza (X6), y otros clastos de roca metamórfica (M7), lutita y arenisca. Otros componentes menores son mica (Y11) y pirita (J9). Se observa la presencia de clorita (de la alteración de biotita) (C13, M11).</p> <p>Foto 3B: Resalta un grano de feldespato sericitizado que se encuentra parcialmente disuelto en los bordes (N12). Se aprecia además el reemplazamiento de pirita (Q8). La roca muestra una buena calidad de yacimiento con poros bien interconectados.</p> <p>Secuencia depositación – compactación – alteración de granos -disolución de granos - pirita paragenética</p>					

TR-TRazas; R-Raro; C-Común; A-Abundante; ND-No Disponible; Ms-Masiva; Lm-Laminada; Xm-Lamino Cruzada; Xb-EsTRato Cruzada; Bt-Bioturbada; Gsp-Grano Soportada; Msp-MaTRiz Soportada; Csp-Cemento Soportada; NCon-No Consolidada; CP-Contacto Puntual; CC-Contacto Convexo; CS-Contacto Situado; Gs-Grueso superior; Gi-Grueso inferior; Ms-Medio superior; Mi-Medio inferior; Fs-Fino superior; Fi-Fino inferior; MFS-Muy fino superior; MFI-Muy fino inferior; Mad-Madura; Smd-Submadura; Imd-Imadura; MP-Muy Pobre; P-Pobre; M-Moderada; B-Buena; MB-Muy Buena; E-Excelente; Fel-Feldespática.

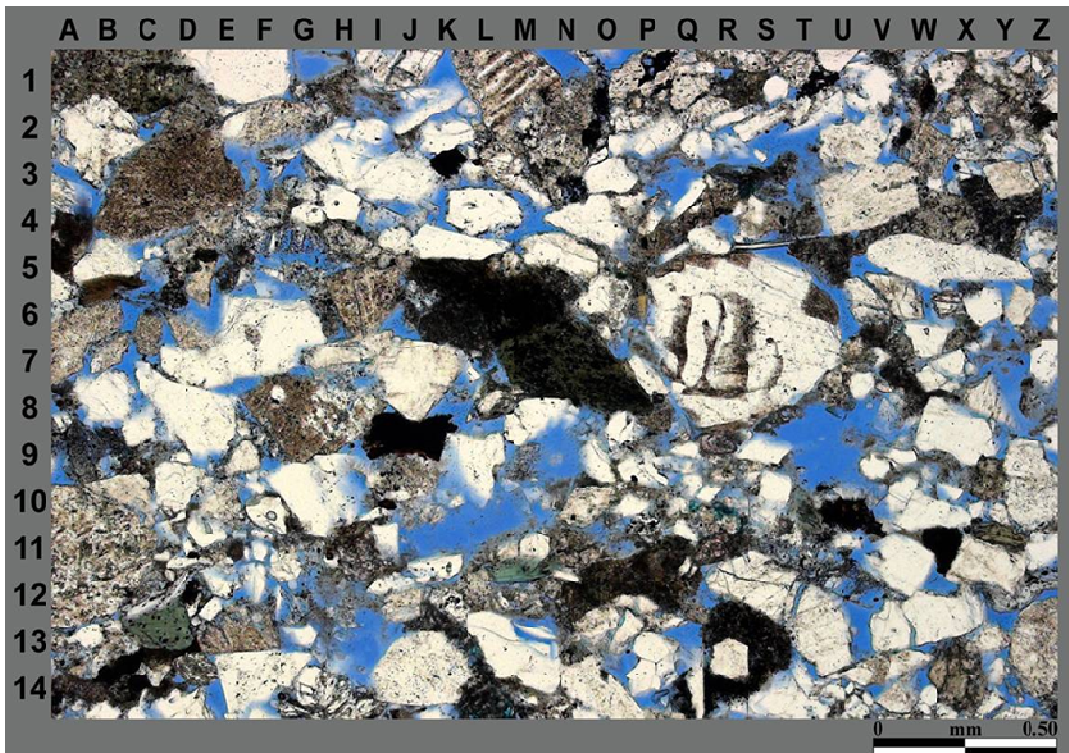
Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

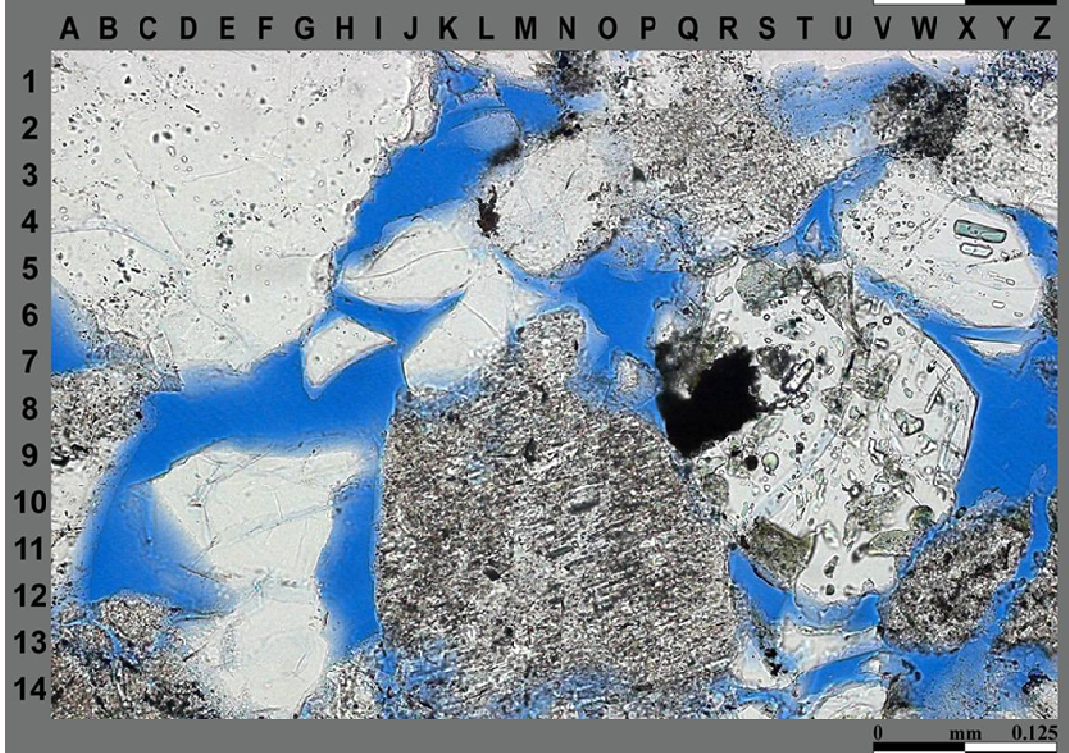
Foto: 3

Muestra: T2

Profundidad: 2095.22 m



3A



3B

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Foto 5

Pozo: Somero 1 Núcleo: 1
Muestra: T3 Profundidad (m): 2096.39

Resultado del Conteo de Puntos					
Tipo de Roca		Arenisca Arcóscica			
Granos clásticos			Arcilla Autígena		
Cuarzo	Monocristalino	23.8		Clorita	0.3
	Policristalino	8.6		Caolinita	0.7
	Total	32.4		Illita	-
Feldespatos	Plagioclasa	28.1		I/E en Capa Mixta	-
	Feldespato Potásico	3.3		Indeterminada	-
	Total (o no clasificado)	31.4		Total	2.7
Fragmentos Líticos	Fragmentos Ígneos	2.6	Cementos no Arcillosos		
	Fragmentos Metamórficos	TR	Cuarzo Autígeno	-	
	Fragmentos de Caliza	1.6	Cuarzo Microcristalino	-	
	Fragmentos de Dolomita	-	Feldespato Autígeno	-	
	Fragmentos de Areniscas	0.7	Dolomita-Fe	-	
	Fragmentos Arcillosos	-	Dolomita	-	
	Pedernal	1.3	Calcita	-	
Total	6.2	Calcita-Fe	-		
Accesorios	Micas	1.3		Calcita-Fe (sustitución)	-
	Minerales Pesados	TR		Siderita	-
	Moluscos	-		Zeolita	-
	Foraminíferos	-		Pirita	1.6
	Briozoarios	-		Óxido de Titanio	-
	Clásticos Orgánicos	0.3		Total	1.6
	Glaucónita	0.7		Porosidad	
Equinodermos	-		Intergranular	23.7	
Total	2.3		Intrablocástica	-	
Matriz				Intragranular	1
	Calcárea	-		Fractura	-
	Arcillosa	0.3		Móldica	-
	Total	0.3		Microporosidad	-
				Total	24.7
			Textura		
				Clasificación	M
				Madurez	Smd
CALIDAD DE YACIMIENTO			Buena		
Descripción de Fotos					
Foto 5A: Es una vista general de arenisca arcóscica de tamaño de arena muy fina a media, de formas angulosas a muy angulosas, pobre a moderadamente clasificada con porosidad intergranular común (manchas azules con resina epóxica). Los granos del armazón se componen principalmente de cuarzo clástico (J2, K10), feldespato (G9, L5), cantidades menores de clastos de rocas ígneas (X13), calcita clástica (Q2), areniscas y limolita (K13). Se aprecia además mica, pirita (W1), glauconita y materia orgánica clástica en cantidad menor. La porosidad es abundante y es predominantemente porosidad intergranular. La roca presenta una buena calidad de yacimiento.					
Foto 5B: Se caracteriza por bitumen (N10) y pirita (J4) relleno de los poros intergranulares. Se aprecia la sericitización del feldespato (I8).					
Secuencia depositación – compactación – alteración de granos - disolución de granos - pirita					
paragenética					

TR-TRazas; R-Raro; C-Común; A-Abundante; ND-No Disponible; Ms-Masiva; Lm-Laminada; Xlm-Lamino Cruzada; Xb-EsTRato Cruzada; Bt-Bioturbada; Gsp-Grano Soportada; Msp-MatRiz Soportada; Csp-Cemento Soportada; NCon-No Consolidada; CP-Contacto Puntual; CC-Contacto Convexo; CS-Contacto Scurado; Gs-Grueso superior; Gi-Grueso inferior; Ms-Medio superior; Mi-Medio inferior; Fs-Fino superior; Fi-Fino inferior; MFs-Muy fino superior; Mfi-Muy fino inferior; Mad-Madura; Smd-Submadura; lmd-Inmadura; MP-Muy Pobre; P-Pobre; M-Moderada; B-Buena; MB-Muy Buena; E-Excelente; Fel-Feldespática.

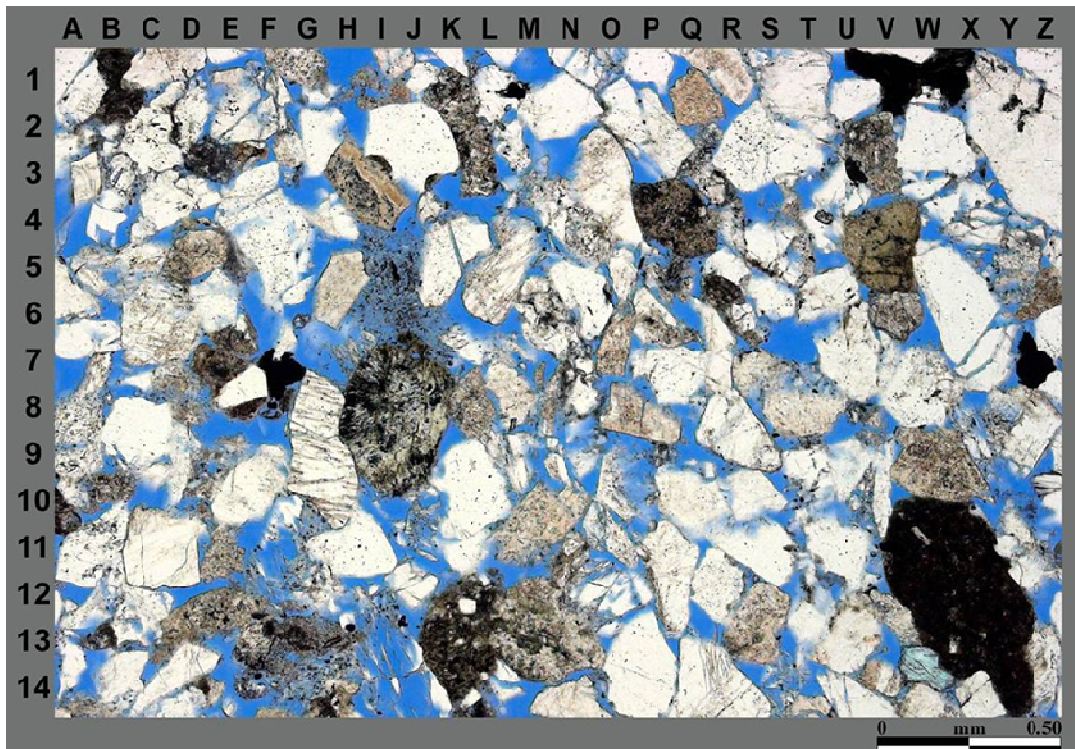
Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

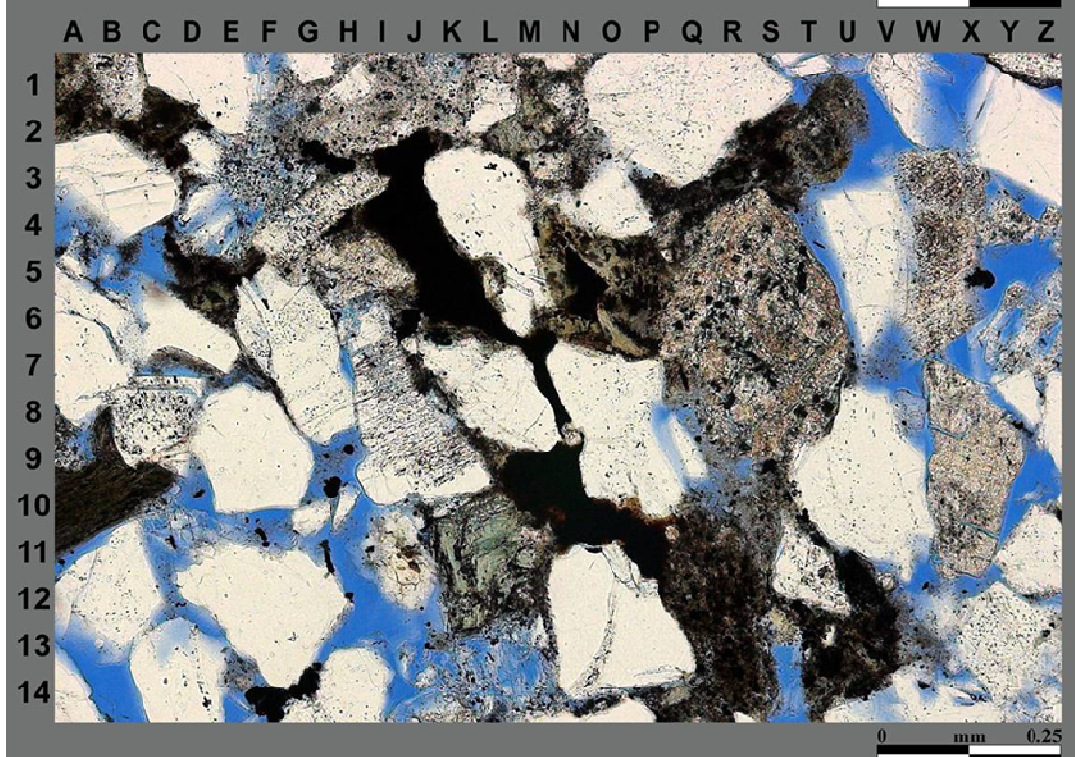
Foto: 5

Muestra: T3

Profundidad: 2096.39 m



5A



5B

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Foto 7

Pozo: Somero 1 Núcleo: 1
 Muestra: T4 Profundidad (m): 2097.26

Resultado del Conteo de Puntos					
Tipo de Roca		Arenisca Arcósica			
Granos clásticos			Arcilla Autígena		
Cuarzo	Monocristalino	27.8	Clorita		0.7
	Policristalino	11.7		Caolinita	0.3
	Total	39.5		Illita	-
Feldespatos	Plagioclasa	23.7	I/E en Capa Mixta		
	Feldespato Potásico	1.7	Indeterminada		
	Total (o no clasificado)	25.4	Total	1.3	
Fragmentos Líticos	Fragmentos Ígneos	2.7	Cementos no Arcillosos		
	Fragmentos Metamórficos	TR	Cuarzo Autígeno	-	
	Fragmentos de Caliza	1.6	Cuarzo Microcristalino	-	
	Fragmentos de Dolomita	-	Feldespato Autígeno	-	
	Fragmentos de Areniscas	-	Dolomita-Fe	-	
	Fragmentos Arcillosos	-	Dolomita	-	
	Pedernal	1	Calcita	-	
Total	5.3	Calcita-Fe	-		
Accesorios	Micas	1.6	Calcita-Fe (sustitución)	-	
	Minerales Pesados	TR	Siderita	-	
	Moluscos	-	Zeolita	-	
	Foraminíferos	-	Pirita	1.6	
	Briozoanos	-	Óxido de Titanio	-	
	Clásticos Orgánicos	-	Total	1.6	
	Glauconita	0.3	Porosidad		
Equinodermos	-	Intergranular	22.7		
Total	1.9	Intrablocástica	-		
Matriz	Calcareá	-	Intragranular	1.3	
		Arcillosa	1	Fractura	-
		Total	1	Móldica	-
			Microporosidad	-	
			Total	24	
			Textura		
			Clasificación	M	
			Madurez	Smd	
CALIDAD DE YACIMIENTO			Buena		
Descripción de Fotos					
Foto 7A: Muestra una vista general de una arenisca arcósica de tamaño de arena muy fina a media con porosidad intergranular común (manchas azules con resina epóxica). Los granos del armazón son de forma angulosa a muy angulosa, pobre a moderadamente clasificados y consiste principalmente de cuarzo clástico (K3), feldespato (T1), cantidades menores de clastos de roca volcánica (M2), metamórfica, caliza (U6) y pedernal. Los componentes menores incluyen mica, pirita y glauconita.					
Foto 7B: Resalta la pirita como relleno en los poros intergranulares. Se aprecia la sericitización de Feldespato en la muestra (P4). La roca tiene una buena calidad de yacimiento.					
Secuencia deposición – compactación – alteración de granos - disolución de granos - pirita					
paragenética					

TR-Razas; R-Raro; C-Común; A-Abundante; ND-No Disponible; Ms-Masiva; Lm-Laminada; Xlm-Lamino Cruzada; Xb-EstRato Cruzada; Bl-Bioturbada; Gsp-Grano Soportada; Msp-MaTRiz Soportada; Csp-Cemento Soportada; NCon-No Consolidada; CP-Contacto Puntual; CC-Contacto Convexo; CS-Contacto Surtado; Gs-Gruoso superior; Gi-Gruoso inferior; Ms-Medio superior; Mi-Medio inferior; Fs-Fino superior; Fi-Fino inferior; MFs-Muy fino superior; Mfi-Muy fino inferior; Mad-Madura; Smd-Submadura; Imd-Inmadura; MP-Muy Pobre; P-Pobre; M-Moderada; B-Buena; MB-Muy Buena; E-Excelente; Fel-Feldespática.

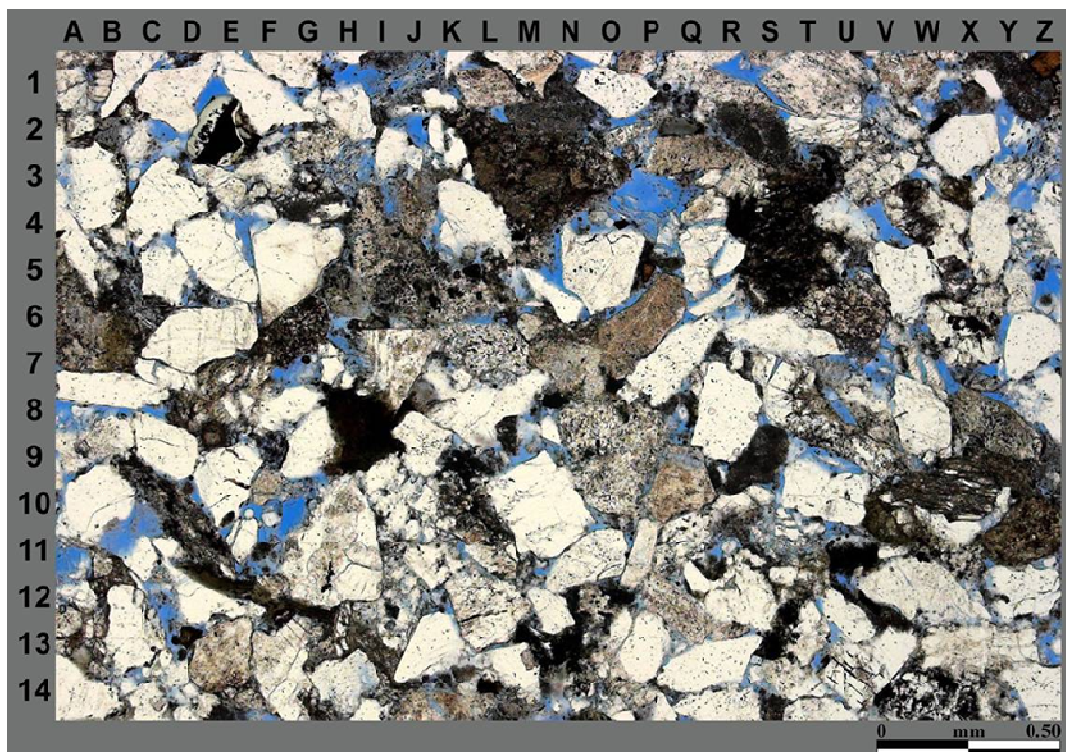
Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

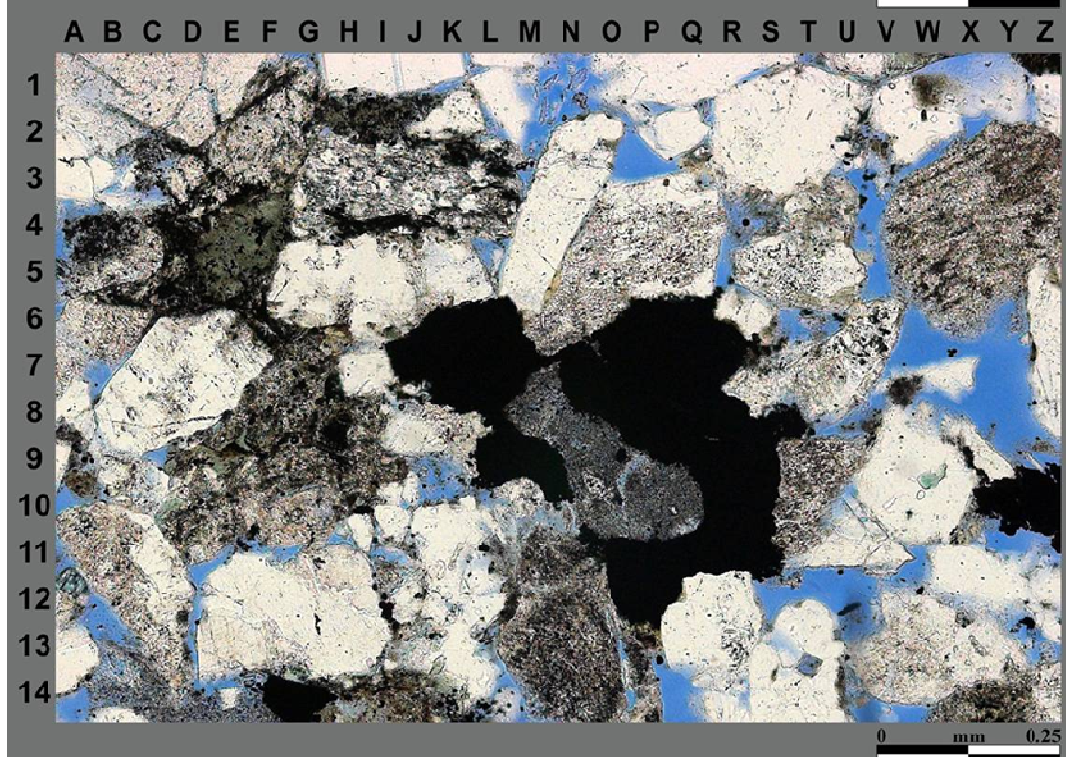
Foto: 7

Muestra: T4

Profundidad: 2097.26 m



7A



7B

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Foto 8

Pozo: Somero 1 Núcleo: 1
 Muestra: T5 Profundidad (m): 2098.65

Resultado del Conteo de Puntos					
Tipo de Roca		Arenisca Arcóscica			
Granos clásticos			Arcilla Autígena		
Cuarzo	Monocristalino	24.8		Clorita	1
	Policristalino	7.7		Caolinita	0.6
	Total	32.5		Illita	-
Feldespatos	Plagioclasa	25.4		V/E en Capa Mixta	-
	Feldespato Polásico	2		Indeterminada	-
	Total (o no clasificado)	27.4		Total	1.6
Fragmentos Líticos	Fragmentos Igneos	1.7	Cementos no Arcillosos		
	Fragmentos Metamórficos	TR		Cuarzo Autígeno	-
	Fragmentos de Caliza	1		Cuarzo Microcristalino	-
	Fragmentos de Dolomita	TR		Feldespato Autígeno	-
	Fragmentos de Areniscas	0.3		Dolomita-Fe	-
	Fragmentos Arcillosos	-		Dolomita	-
	Pedernal	1.3		Calcita	-
	Total	4.3		Calcita-Fe	TR
Accesorios	Micas	1.3		Calcita-Fe (sustitución)	-
	Minerales Pesados	0.3		Siderita	-
	Moluscos	-		Zeolita	-
	Foraminíferos	-		Pirita	1.3
	Briozoarios	-		Óxido de Titanio	-
	Clásticos Orgánicos	-		Total	1.3
	Glauconita	1	Porosidad		
	Equinodermos	-		Intergranular	27.7
	Total	2.6		Intrabioclastica	-
				Intra granular	1.3
Matriz				Fractura	-
	Calcárea	-		Móldica	-
	Arcillosa	1.3		Microporosidad	-
	Total	1.3		Total	29
			Textura		
				Clasificación	P
				Madurez	Smd
CALIDAD DE YACIMIENTO		Buena			
Descripción de Fotos					
Foto 8A: Es una vista general de arenisca arcóscica de tamaño de limo grueso a arena media con porosidad intergranular común (manchas azules con resina epóxica). Los granos de amazón son de forma angulosa, pobremente clasificados, compuestos principalmente de cuarzo (N6, O6) y feldespato (B7, P11). Se componen además de cantidades menores de clastos de rocas ígneas y metamórficas (E6), calcita clástica, lutita (M2), arenisca y pedernal (I8), además de mica, glauconita, pirita y minerales.					
Foto 8B: Muestra la glauconita deformada, distribuida entre los poros intergranulares (M6). Se presenta la sericitización del feldespato común (Q4, Y10) y el reemplazamiento con pirita (Y6). Esta muestra presenta una calidad de yacimiento buena.					
Secuencia Deposition – compactación – alteración de granos - disolución de granos - pirita paragenética					

TR-TRazas; R-Raro; C-Común; A-Abundante; ND-No Disponible; Ms-Masiva; Lm-Laminada; Xm-Lamino Cruzada; Xb-EsTRato Cruzada; Bt-Bioturbada; Gsp-Grano Soportada; Msp-MATRIZ Soportada; Cap-Cemento Soportada; NCon-No Consolidada; CP-Contacto Puntual; CC-Contacto Convexo; CS-Contacto Saturado; GS-Gueso superior; GI-Gueso inferior; Ms-Medio superior; Mi-Medio inferior; Fs-Fino superior; Fi-Fino inferior; MFs-Muy fino superior; MI-Muy fino inferior; Mad-Madura; Smd-Submadura; Imd-Imadura; MP-Muy Pobre; P-Pobre; M-Moderada; B-Buena; MB-Muy Buena; E-Excelente; Fel-Feldespática.

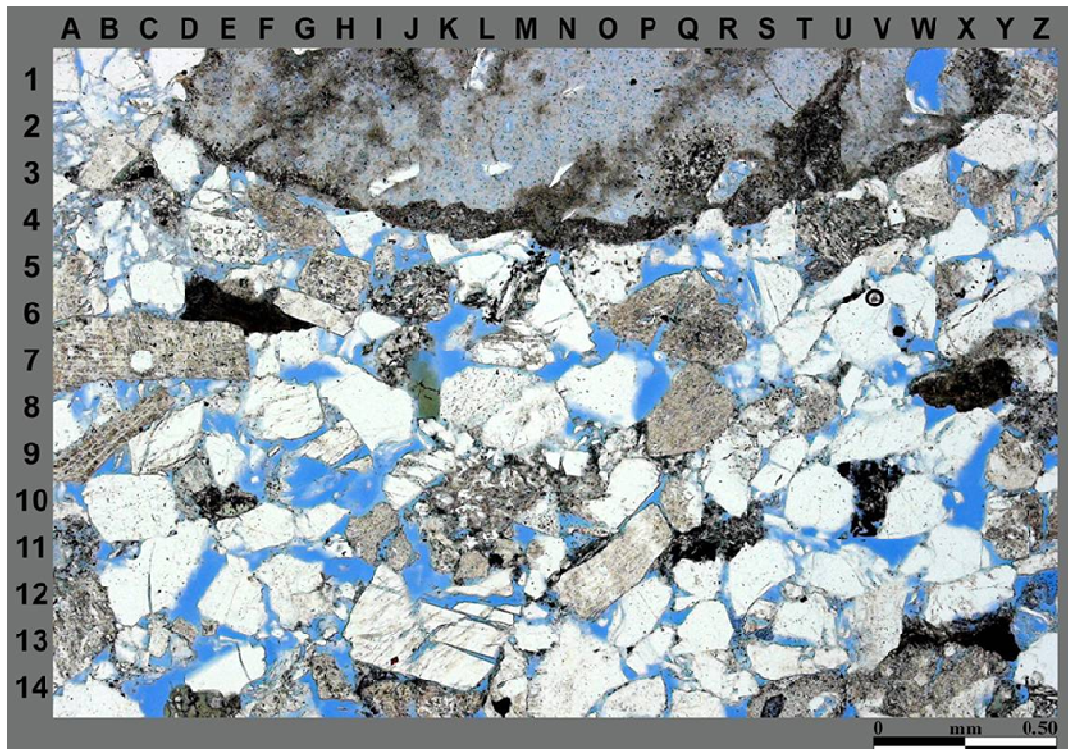
Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

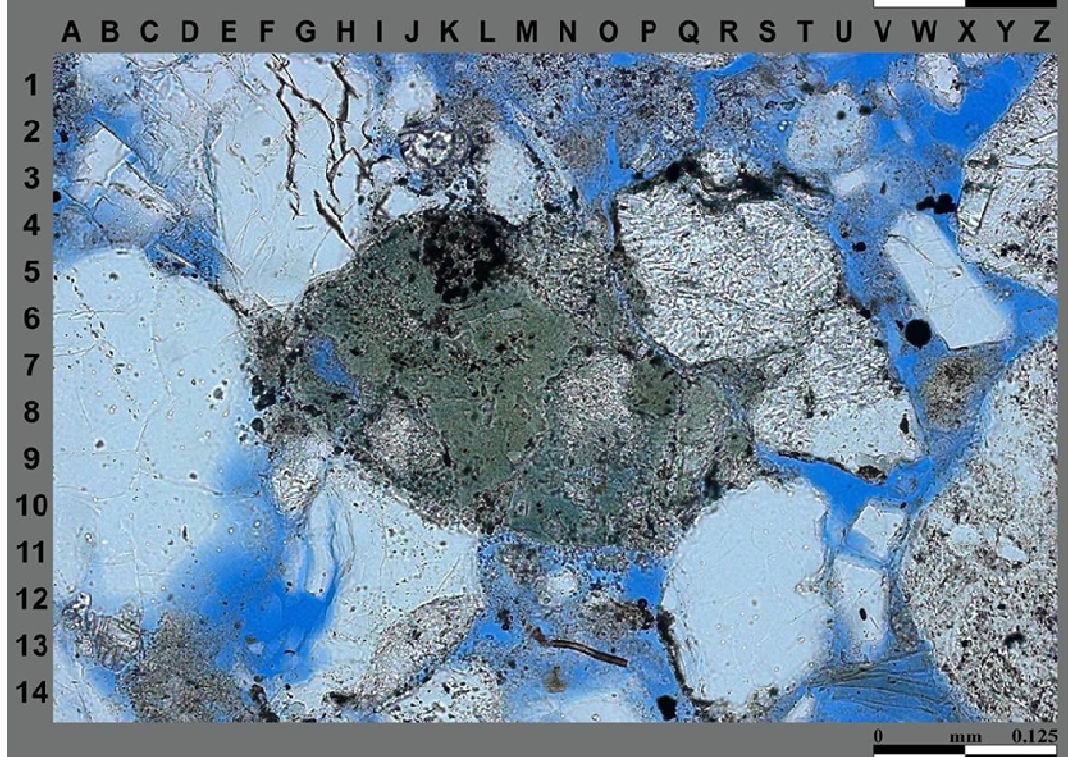
Muestra: T5

Profundidad: 2098.65 m

Foto: 8



8A



8B

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Foto 9

Pozo: Somero 1 Núcleo: 1
Muestra: T6 Profundidad (m): 2099.35

Resultado del Conteo de Puntos						
Tipo de Roca		Arenisca Arcósica				
Granos clásticos			Arcilla Autígena			
Cuarzo	Monocristalino	22.7		Clorita	1.3	
	Policristalino	7.7		Caolinita	0.7	
	Total	30.4		Illita	-	
Feldespatos	Plagioclasa	27.1		I/E en Capa Mixta	-	
	Feldespato Potásico	1.6		Indeterminada	0.7	
	Total (o no clasificado)	28.7		Total	2.7	
Fragmentos Líticos	Fragmentos Ígneos	2.7	Cementos no Arcillosos			
	Fragmentos Metamórficos	TR		Cuarzo Autígeno	-	
	Fragmentos de Caliza	0.6		Cuarzo Microcristalino	-	
	Fragmentos de Dolomita	TR		Feldespato Autígeno	-	
	Fragmentos de Areniscas	0.3		Dolomita-Fe	-	
	Fragmentos Arcillosos	-		Dolomita	-	
	Pedernal	0.6		Calcita	-	
Total	4.2	Calcita-Fe		TR		
Accesorios	Micas	1		Calcita-Fe (sustitución)	-	
	Minerales Pesados	0.3		Siderita	-	
	Moluscos	-		Zeolita	-	
	Foraminíferos	-		Pirita	2	
	Briozoarios	-		Óxido de Titanio	-	
	Clásticos Orgánicos	-		Total	2	
	Glauconita	0.7		Porosidad		
	Equinodermos	-		Intergranular	27.4	
Total	2	Intrabioclastica	-			
Matriz	Calcárea	-		Intragranular	1.6	
	Arcillosa	1		Fractura	-	
	Total	1		Móldica	TR	
				Microporosidad	-	
			Total	29		
			Textura			
			Clasificación	M		
			Madurez	Smd		
CALIDAD DE YACIMIENTO			Buena			
Descripción de Fotos						
Foto 9A: Es una vista general de arenisca arcósica de tamaño de arena muy fina a media, de forma angulosa, pobre a moderadamente clasificada con abundante porosidad intergranular (manchas azules con resina epóxica). Los granos del armazón se componen de cuarzo clástico (N2), feldespato (E9, O6), con cantidades menores de clastos de rocas ígneas y metamórficas, calcita clástica, arenisca (P14) y pedernal. Los componentes menores son principalmente mica (G8), pirita (K1), glauconita (N13) y minerales pesados (M12).						
Foto 9B: Ampliación de un grano severamente lixiviado (feldespato ?) lo que produce microporosidad (M6). Se aprecia el reemplazamiento de pirita (O10). La muestra presenta una buena calidad de yacimiento.						
Secuencia paragenética Deposition - compactación - alteración de granos - disolución de granos - pirita						

TR-TRazas; R-Raro; C-Común; A-Abundante; ND-No Disponible; Ms-Masiva, Lm-Laminada; Xlm-Laminio Cruzada; Xb-EsTRato Cruzada; Bt-Bioturbada; Gsp-Grano Soportada; Msp-MatRiz Soportada; Csp-Cemento Soportada; NCon-No Consolidada; CP-Contacto Puntual; CC-Contacto Convexo; CS-Contacto Sulturado; Gs-Grueso superior; Gi-Grueso inferior; Ms-Medio superior; Mi-Medio inferior; Ff-Fino superior; Ff-Fino inferior; MFs-Muy fino superior; Mi-Muy fino inferior; Mad-Madura; Smd-Submadura; Imd-Inmadura; MP-Muy Pobre; P-Pobre; M-Moderada; B-Buena; MB-Muy Buena; E-Excelente; Fel-Feldespática.

Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

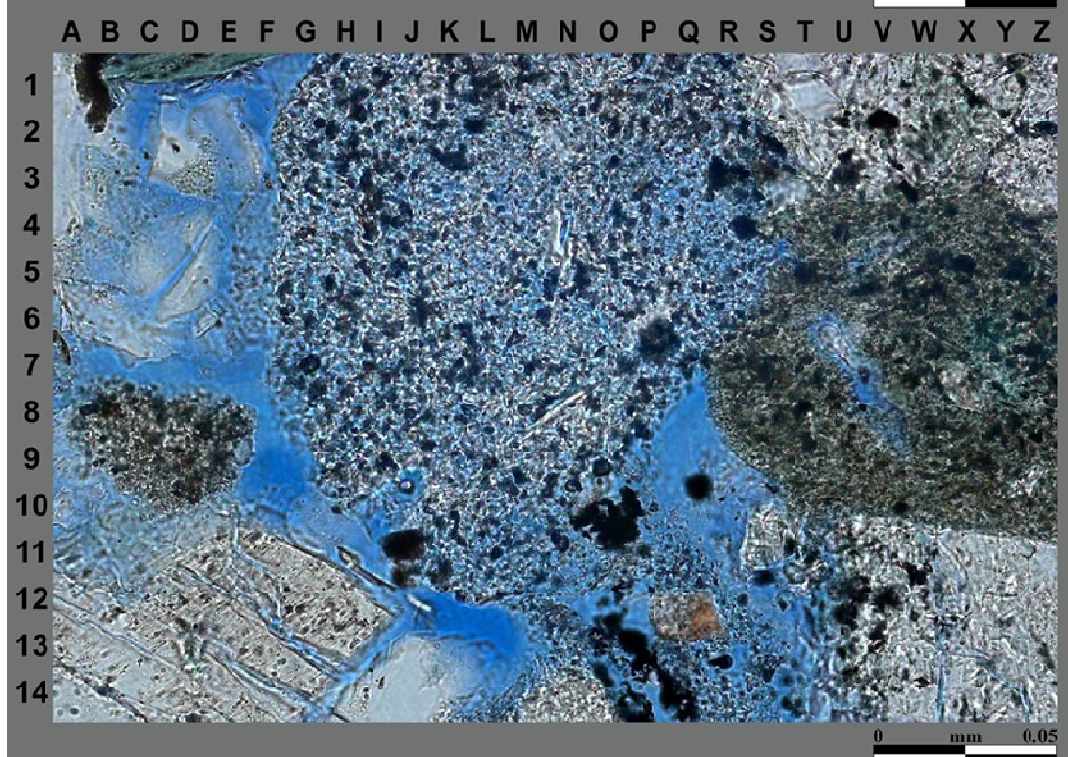
Foto: 9

Muestra: T6

Profundidad: 2099.35 m



9A



9B

APÉNDICE A1

RESUMEN DE LA DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

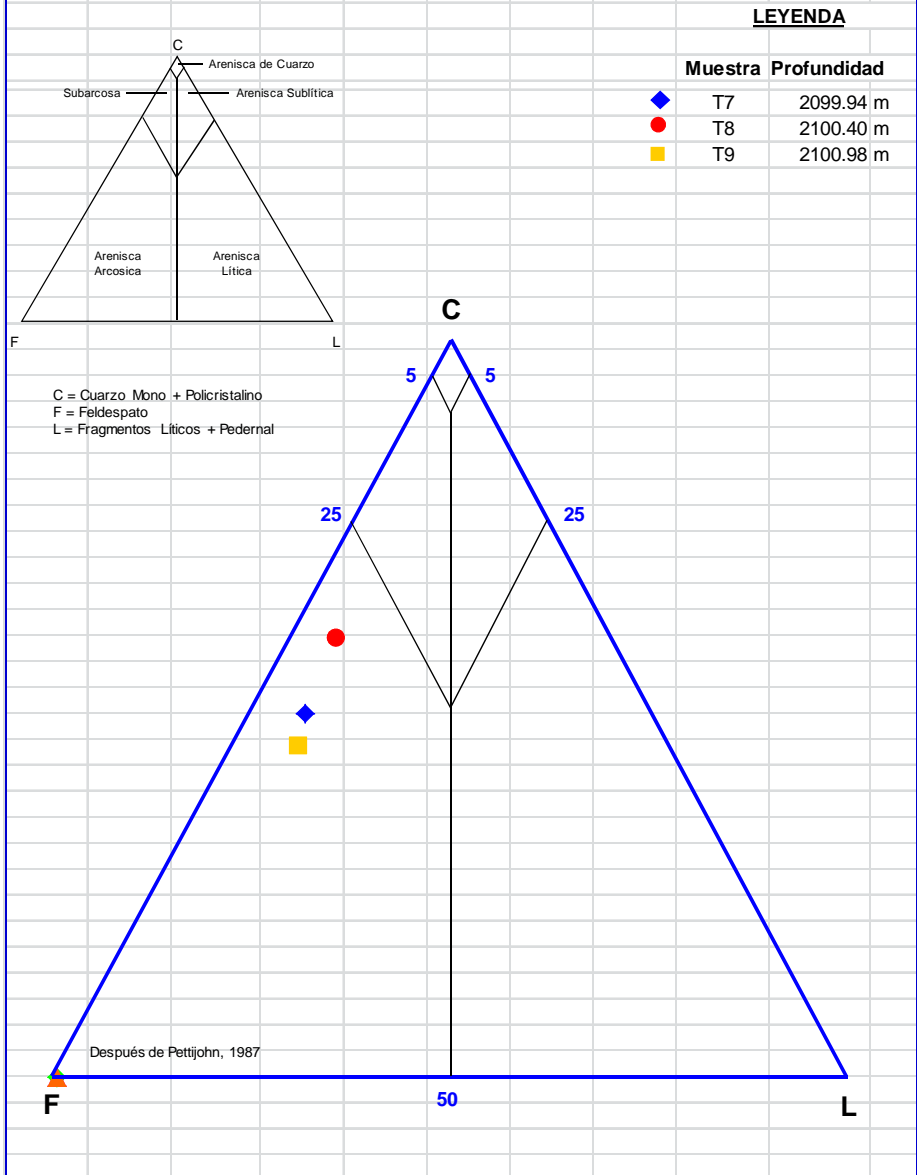
Pozo: Somero 1 Núcleo: 1

Muestra No.	T7	T8	T9			
Profundidad (m)	2099.94	2100.40	2100.98			
Tipo de Roca	Arenisca Arcófica	Arenisca Arcófica	Arenisca Arcófica			
Cuarzo	Monocristalino	25.7	28.4	23.1		
	Policristalino	9.1	9	5.6		
	Total	34.8	37.4	28.7		
Feldespatos	Plagioclasa	29.7	20.4	27.7		
	Feldespato Potásico	1.3	1.4	2.3		
	Total (o no clasificado)	31	21.8	30		
Fragmentos Líticos	Fragmentos Ígneos					
	Fragmentos Metamórficos	2.6	0.6	2		
	Fragmentos de Caliza	TR	TR	TR		
	Fragmentos de Dolomita	0.6	1	1.3		
	Fragmentos de Areniscas	-	-	-		
	Fragmentos de Dolomita	0.7	0.7	1.3		
	Fragmentos Arcillosos	-	-	-		
	Total	4.9	3.6	5.3		
Secundarios	Micas	0.6	1.6	1.6		
	Minerales Pesados	1	1	0.7		
	Moluscos	-	-	-		
	Foraminíferos	-	TR	-		
	Briozoarios	-	-	-		
	Clásticos Orgánicos	1.6	1	0.3		
	Glauconita	0.7	1.6	0.3		
	Total	3.9	5.2	2.9		
Matriz	Calcárea	-	-	-		
	Arcillosa	6	5.6	1		
	Total	6	5.6	1		
Arcilla Autígena	Clorita	0.7	1.3	1		
	Cadmita	0.3	0.7	-		
	Ilita	-	-	-		
	J/E en Capa Mixta	-	-	-		
	Indeterminada	0.3	-	0.3		
	Total	1.3	2	1.3		
Cementos no Arcillosos	Cuarzo Autígeno	-	-	-		
	Cuarzo Microcristalino	-	-	-		
	Feldespato Autígeno	-	-	-		
	Dolomita-Fe	-	-	-		
	Dolomita	-	-	-		
	Calcita	-	-	-		
	Calcita-Fe	TR	-	0.3		
	Calcita-Fe (sustitución)	-	-	-		
	Siderita	-	-	-		
	Zeolita	-	-	-		
	Pirita	3.3	2.6	3		
	Óxido de Titanio	-	-	-		
Total	3.3	2.6	3.3			
Porosidad	Intergranular	13.7	19.4	25.7		
	Intrabocelástica	-	-	-		
	Intragranular	1	2.3	1.7		
	Fractura	-	-	-		
	Móltica	-	-	-		
	Total	14.7	21.7	27.4		

TR-Rara; R-Raro; C-Común; A-Abundante; ND-No Disponible; Ms-Masiva; Lm-Laminada; Xln-Lamina Cruzada; Xp-EsTRazo Cruzada; B-Bioturbada; Gsp-Grano Soporada; Msp-MaTRiz Soporada; Csp-Cemento Soporada; Ncm-No Consolidada; GP-Cemento Puntal; CC-Cemento Conexo; CS-Contacto Sustrato; Gs-Granos superior; Gi-Granos inferior; Ms-Medio superior; M-Medio inferior; F-Fino superior; F-Fino inferior; MF-Muy fino superior; M-Muy fino inferior; Md-Madura; Sm-Submadura; Im-Imadura; MP-Muy Pobre; P-Pobre; M-Moderada; B-Buena; MB-Muy Buena; E-Excelente; Ff-Feldespática.

Pozo: Somero 1 Núcleo: 1

CLASIFICACIÓN DE ARENISCAS



DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Foto 11

Pozo: Somero 1 Núcleo: 1
 Muestra: T7 Profundidad (m): 2099.94

Resultado del Conteo de Puntos						
Tipo de Roca		Arenisca Arcóscica				
Granos clásicos			Arcilla Autígena			
Cuarzo	Monocristalino	25.7		Clorita	0.7	
	Policristalino	9.1		Caolinita	0.3	
	Total	34.8		Illita	-	
Feldespatos	Plagioclasa	29.7		VE en Capa Mixta	-	
	Feldespato Potásico	1.3		Indeterminada	0.3	
	Total (o no clasificado)	31		Total	1.3	
Fragmentos Líticos	Fragmentos Ígneos	2.6	Cementos no Arcillosos			
	Fragmentos Metamórficos	TR		Cuarzo Autígeno	-	
	Fragmentos de Caliza	0.6		Cuarzo Microcristalino	-	
	Fragmentos de Dolomita	-		Feldespato Autígeno	-	
	Fragmentos de Areniscas	0.7		Dolomita-Fe	-	
	Fragmentos Arcillosos	-		Dolomita	-	
	Pedernal	1		Calcita	-	
	Total	4.9		Calcita-Fe	TR	
	Accesorios	Micas		0.6	Calcita-Fe (sustitución)	-
		Minerales Pesados		1	Siderita	-
Moluscos		-		Zeolita	-	
Foraminíferos		-	Pirita	3.3		
Briozoarios		-	Óxido de Titanio	-		
Clásticos Orgánicos		1.6	Total	3.3		
Glaucónita		0.7	Porosidad			
Equinodermos	-	Intergranular	13.7			
Total	3.9	Intrablocástica	-			
Matriz	Calcareá	-	Intragranular	1		
	Arcillosa	6	Fractura	-		
	Total	6	Móldica	-		
			Microporosidad	-		
		Total	14.7			
		Textura				
		Clasificación	M			
		Madurez	lmd			
CALIDAD DE YACIMIENTO		Buena				
Descripción de Fotos						
Foto 11A: Es una vista general de una arenisca arcóscica onduladamente laminada, de tamaño de grano muy fino a medio, con porosidad intergranular común (machas azules con resina epóxica). Las laminaciones están compuestas de arcilla, materia orgánica clásica y pirita. Los granos del armazón son de forma angulosa, pobre a moderadamente clasificados, y están compuestos principalmente por cuarzo clásico (E6, L5), feldespato (N6), cantidades menores de clastos de roca ígnea (X6) y metamórfica, calcita clásica, arenisca y pedernal. Los componentes menores incluyen pirita (F6), clásticos orgánicos, glauconita, minerales pesados y mica (O9).						
Foto 11B: Muestra la clorita autígena producida a partir de la biotita (M10). Se aprecia además el reemplazamiento de calcita ferrosa (A5). La muestra presenta una buena calidad de yacimiento.						
Secuencia paragenética: deposición – compactación – alteración de granos - disolución de granos – calcita ferrosa - pirita						

TR-TRazas; R-Raro; C-Común; A-Abundante; ND-No Disponible; Ms-Masiva; Lm-Laminada; Xlm-Lamina Cruzada; Xb-EsTRato Cruzada; Bt-Bioturbada; Gsp-Grano Soportada; Msp-MaTRiz Soportada; Csp-Cemento Soportada; NCon-No Consolidada; CP-Contacto Puntual; CC-Contacto Convexo; CS-Contacto Saturado; Gs-Grueso superior; Gi-Grueso inferior; Ms-Medio superior; Mi-Medio inferior; Fs-Fino superior; Fi-Fino inferior; MFs-Muy fino superior; Mfi-Muy fino inferior; Mad-Madura; Smd-Submadura; lmd-Inmadura; MP-Muy Pobre; P-Pobre; M-Moderada; B-Buena; MB-Muy Buena; E-Excelente; Fei-Feldespática.

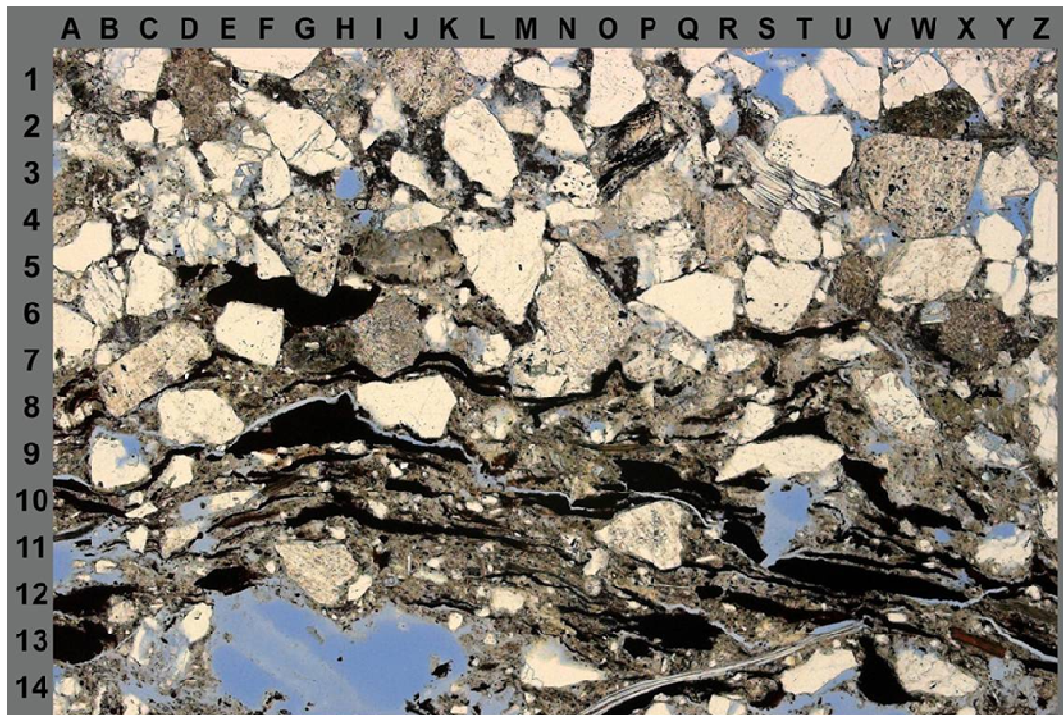
Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

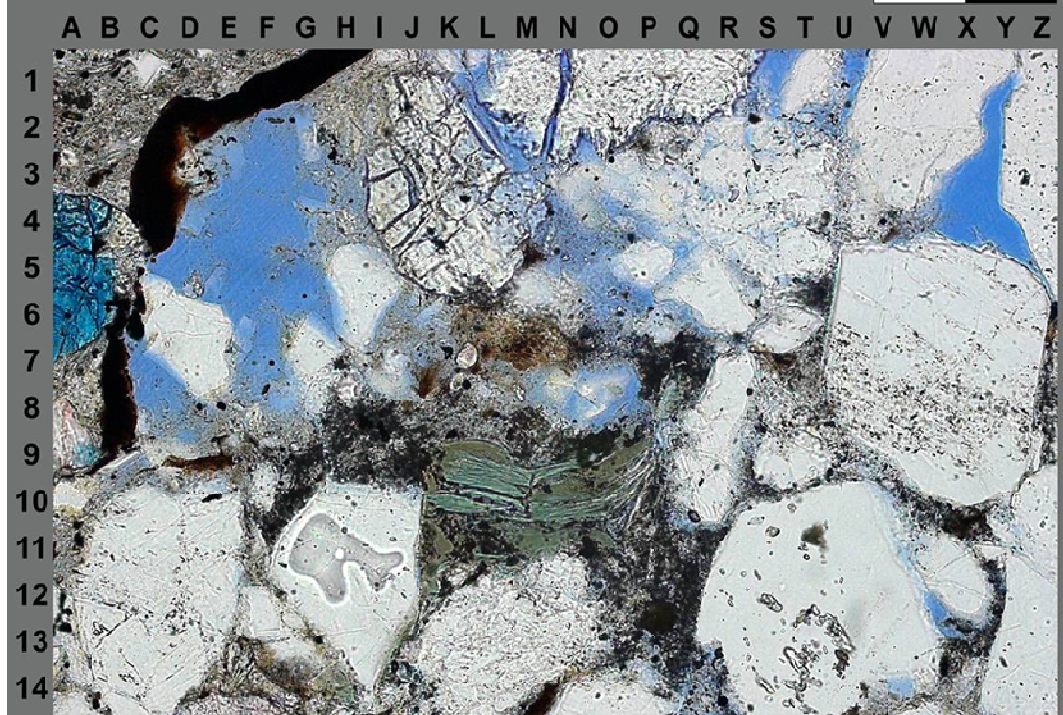
Foto: 11

Muestra: T7

Profundidad: 2099.94 m



11A



11B

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Foto 12

Pozo: Somero 1
Muestra: T8

Núcleo: 1
Profundidad (m): 2100.4

Resultado del Conteo de Puntos					
Tipo de Roca	Arenisca Arcósica				
Granos clásticos			Arcilla Autigena		
Cuarzo	Monocristalino	28.4		Clorita	1.3
	Policristalino	9		Caolinita	0.7
	Total	37.4		Illita	-
Feldespatos	Plagioclasa	20.4		I/E en Capa Mixta	-
	Feldespato Potásico	1.4		Indeterminada	-
	Total (o no clasificado)	21.8		Total	2
Fragmentos Líticos	Fragmentos Ígneos	0.6	Cementos no Arcillosos		
	Fragmentos Metamórficos	TR		Cuarzo Autigeno	-
	Fragmentos de Caliza	1		Cuarzo Microcristalino	-
	Fragmentos de Dolomita	-		Feldespato Autigeno	-
	Fragmentos de Areniscas	0.7		Dolomita-Fe	-
	Fragmentos Arcillosos	-		Dolomita	-
	Pedernal	1.3		Calcita	-
Total	3.6		Calcita-Fe	-	
Accesorios	Micas	1.6		Calcita-Fe (sustitución)	-
	Minerales Pesados	1		Siderita	-
	Moluscos	-		Zeolita	-
	Foraminíferos	TR		Pirita	2.6
	Briozoarios	-		Óxido de Titanio	-
	Clásticos Orgánicos	1		Total	2.6
	Glaucónita	1.6		Porosidad	
Equinodermos	-			Intergranular	19.4
Total	5.2			Intrabioclastica	-
Matriz				Intragranular	2.3
				Fractura	-
				Móldica	-
				Microporosidad	-
			Total	21.7	
			Textura		
				Clasificación	M
				Madurez	Imd
CALIDAD DE YACIMIENTO			Buena		
Descripción de Fotos					
Foto 12A: Es una vista general de arenisca arcósica de tamaño de grano limo a arena media, de forma angulosa, pobremente clasificada con porosidad intergranular común (manchas azules con resina epóxica). Los granos del armazón se componen principalmente de cuarzo (G2), feldespato (E2, P10), cantidades menores de pedernal, calcita clástica, clastos de roca ígnea y metamórfica, arenisca y lutita. Otros componentes menores son mica (C12), glauconita, pirita (Y3), y minerales pesados (N9).					
Foto 12B: Muestra la glauconita deformada relleno de los espacios porosos intergranulares (X4, G8). Esta muestra tiene una buena calidad de yacimiento.					
Secuencia depositación – compactación – alteración de granos - disolución de granos – calcita ferrosa - pirita paragenética					

TR-TRazas; R-Raro; C-Común; A-Abundante; ND-No Disponible; Ms-Masiva, Lm-Laminada; Xlm-Lamino Cruzada; Xb-EsTRato Cruzada; Bt-Bioturbada; Gspt-Grano Soportada; MspT-MaTRiz Soportada; Cspt-Cemento Soportada; NCon-No Consolidada; CP-Contacto Puntual; CC-Contacto Convexo; CS-Contacto Suturado; Gs-Grueso superior; Gi-Grueso inferior; Ms-Medio superior; Mi-Medio inferior; Fs-Fino superior; Fi-Fino inferior; MFS-Muy fino superior; Mfi-Muy fino inferior; Mad-Madura; Smd-Submadura; Imd-Inmadura; MP-Muy Pobre; P-Pobre; M-Moderada; B-Buena; MB-Muy Buena; E-Excelente; Fel-Feldespática.

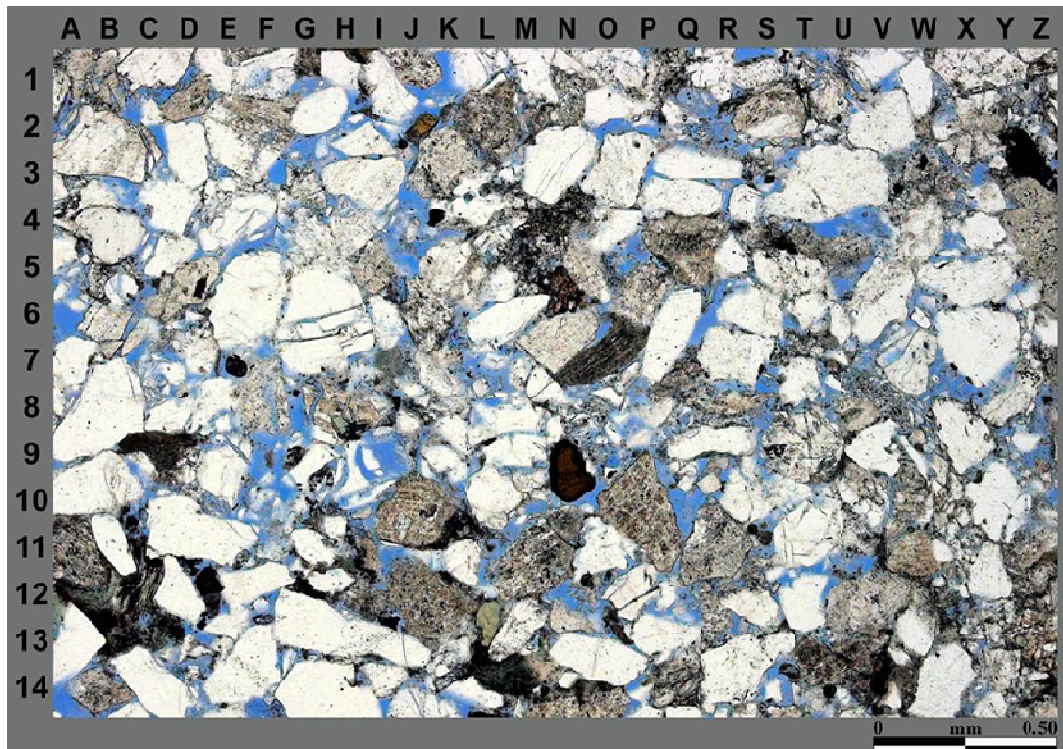
Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

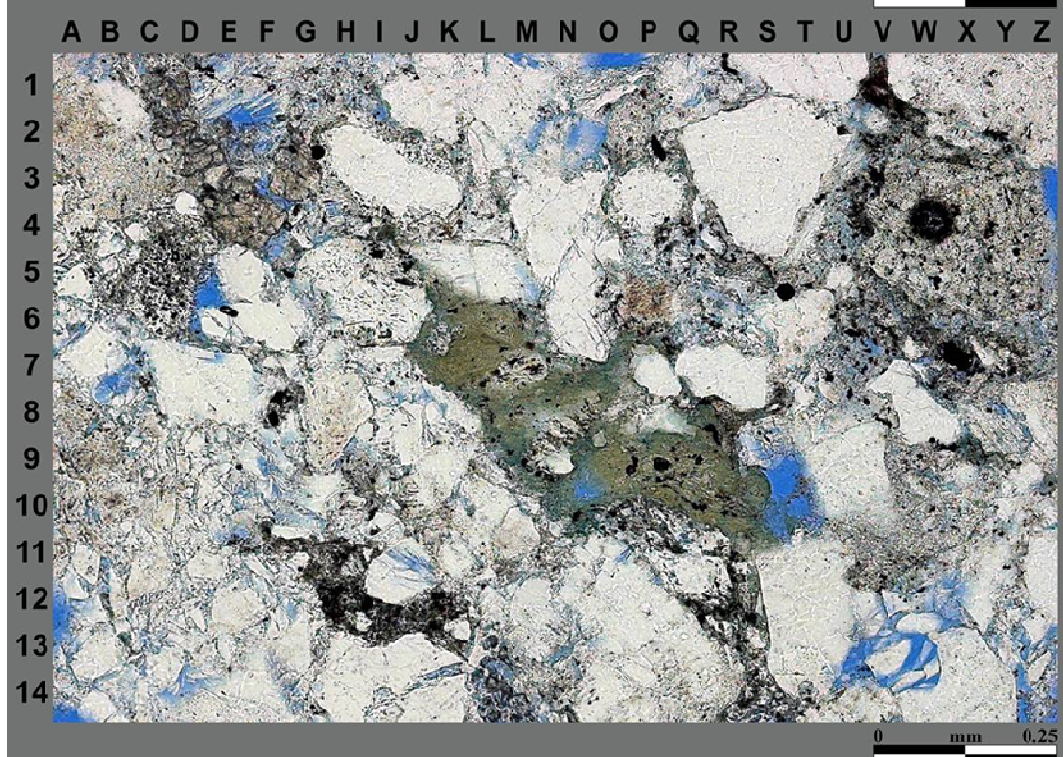
Foto: 12

Muestra: T8

Profundidad: 2100.40 m



12A



12B

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Foto 13

Pozo: Somero 1 Núcleo: 1
 Muestra: T9 Profundidad (m): 2100.98

Resultado del Conteo de Puntos					
Tipo de Roca		Arenisca Arcósica			
Granos clásticos			Arcilla Autígena		
Cuarzo	Monocristalino	23.1		Clorita	1
	Policristalino	5.6		Caolinita	-
	Total	28.7		Illita	-
Feldespatos	Plagioclasa	27.7		I/E en Capa Mixta	-
	Feldespato Potásico	2.3		Indeterminada	0.3
	Total (o no clasificado)	30		Total	2
Fragmentos Líticos	Fragmentos Ígneos	2	Cementos no Arcillosos		
	Fragmentos Metamórficos	TR	Cuarzo Autígeno	-	
	Fragmentos de Caliza	1.3	Cuarzo Microcristalino	-	
	Fragmentos de Dolomita	-	Feldespato Autígeno	-	
	Fragmentos de Areniscas	1.3	Dolomita-Fe	-	
	Fragmentos Arcillosos	-	Dolomita	-	
	Pedernal	0.7	Calcita	-	
	Total	5.3	Calcita-Fe	0.3	
Accesorios	Micas	1.6	Calcita-Fe (sustitución)	-	
	Minerales Pesados	0.7	Siderita	-	
	Moluscos	-	Zeolita	-	
	Foraminíferos	-	Pirita	3	
	Briozoarios	-	Óxido de Titanio	-	
	Clásticos Orgánicos	0.3	Total	3.3	
	Glauconita	0.3	Porosidad		
Equinodermos	-	Intergranular	25.7		
Total	2.9	Intrabioclastica	-		
Matriz	Calcárea	-	Intragranular	1.7	
	Arcillosa	1	Fractura	-	
	Total	1	Móldica	-	
			Microporosidad	-	
			Total	27.4	
			Textura		
			Clasificación	B	
			Madurez	Mad	
CALIDAD DE YACIMIENTO			Buena		
Descripción de Fotos					
Foto 13A: Es una vista general de una arenisca arcósica de tamaño de grano muy fino a medio, de forma angulosa, moderadamente clasificada, con porosidad intergranular abundante (manchas azules con resina epóxica). Los granos del armazón se componen de cuarzo clástico (J1, P1), feldespato (P3, I11), con cantidades menores de clastos de rocas ígneas, metamórficas, calcita clástica, arenisca y pedernal. Los componentes menores consisten principalmente de mica, pirita (G13), glauconita y minerales pesados.					
Foto 13B: Resaltan granos de feldespato severamente lixiviados (O8, I4). La muestra tiene una buena calidad de yacimiento.					
Secuencia deposición – compactación – alteración de granos - disolución de granos – calcita ferrosa - pirita paragenética					

TR-TRazas; R-Raro; C-Común; A-Abundante; ND-No Disponible; Ms-Masiva, Lm-Laminada; Xlm-Lamino Cruzada; Xb-ESTRato Cruzada; Bt-Bioturbada; Gspt-Grano Soportada; Mspt-MaTRiz Soportada; Cspt-Cemento Soportada; NCon-No Consolidada; CP-Contacto Puntual; CC-Contacto Convexo; CS-Contacto Suturado; Gs-Grueso superior; Gi-Grueso inferior; Ms-Medio superior; Mi-Medio inferior; Fs-Fino superior; Fi-Fino inferior; MFS-Muy fino superior; Mfi-Muy fino inferior; Mad-Madura; Smd-Submadura; Imd-Inmadura; MP-Muy Pobre; P-Pobre; M-Moderada; B-Buena; MB-Muy Buena; E-Excelente; Fel-Feldespática.

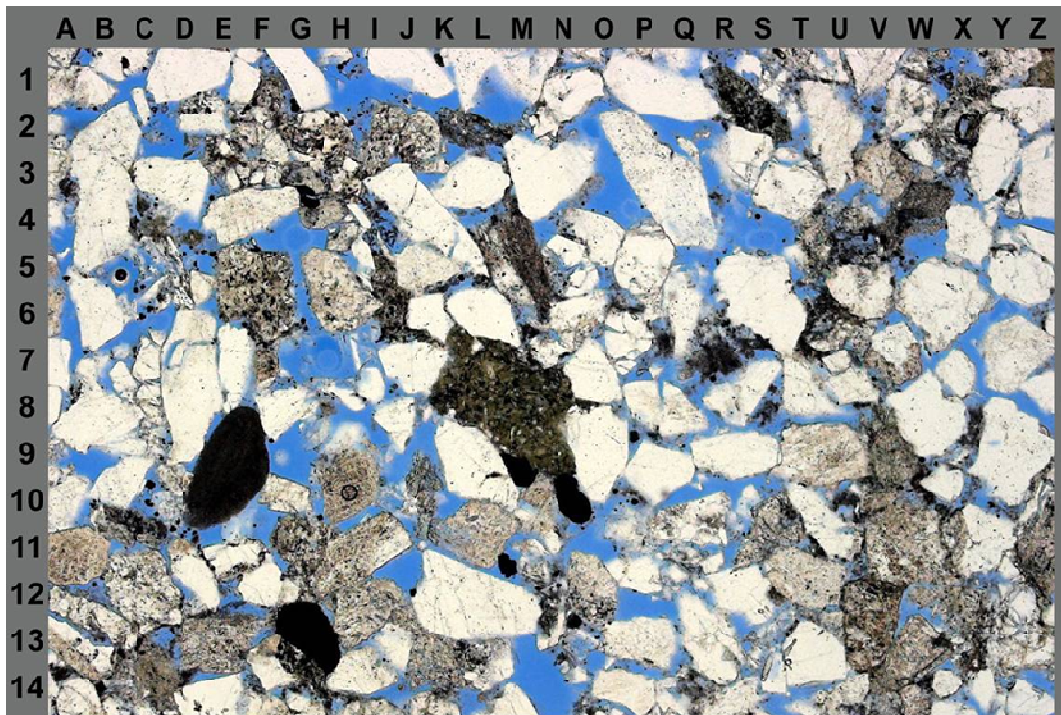
Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

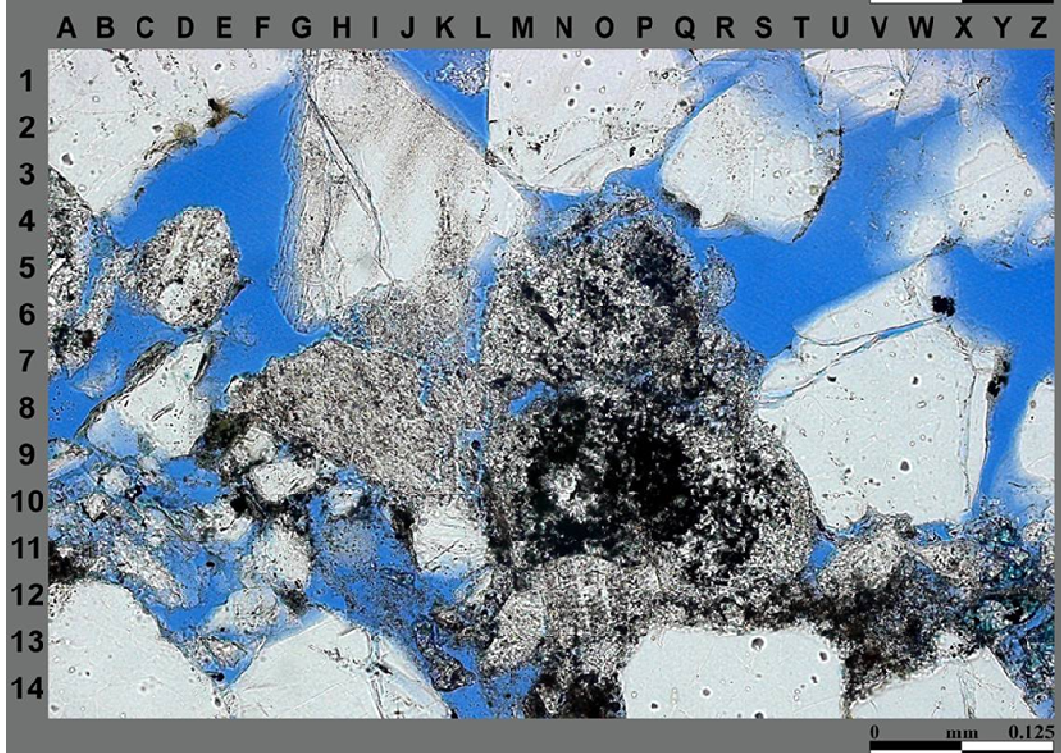
Foto: 13

Muestra: T9

Profundidad: 2100.98 m



13A



13B

APÉNDICE A2

ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Pozo: Somero 1		Núcleo: 1																		
Muestra No.	Profundidad (m)	Tipo de Análisis	Peso %	Arcillas														Arcilla Total		
				Cz	Plag	Feld-K	Cal	Dol	Anhi	Pir	Hal	Bar	Sider	Caol	Cl	Ill	CM*		Esmc	
M1	2094.1	Fracción no Arcillosa	80.28	39	17	9	9	0	0	3	0	0	0	6	6	10	0	0	23	
		Fracción Arcillosa	19.72	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	17	16	14	18	29		94
		Total	100	32	14	7	8	0	0	2	0	0	0	8	8	11	4	6		
T1	2094.52	Fracción no Arcillosa	93.70	59	20	14	2	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	5		
		Fracción Arcillosa	6.30	5	5	4	0	0	0	0	0	0	39	30	9	7	0		86	
		Total	100	55	19	14	2	0	0	0	0	0	4	3	3	0	0			10
M2	2094.8	Fracción no Arcillosa	68.84	18	8	4	8	4	0	3	0	0	12	15	19	9	0	54		
		Fracción Arcillosa	31.16	2	1	0	1	0	0	0	0	0	37	36	17	6	0		96	
		Total	100	16	6	3	6	3	0	2	0	0	18	19	19	8	0			64
T2	2095.22	Fracción no Arcillosa	91.60	46	20	21	2	0	0	0	0	0	4	5	2	0	0	11		
		Fracción Arcillosa	8.40	2	1	0	0	0	0	0	0	0	43	41	13	0	0		97	
		Total	100	43	18	19	2	0	0	0	0	0	7	8	3	0	0			18
M3	2095.82	Fracción no Arcillosa	83.76	51	20	9	5	0	0	1	0	0	5	7	2	0	0	15		
		Fracción Arcillosa	16.24	4	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	16	0	40		96	
		Total	100	43	17	7	4	0	0	1	0	0	8	9	5	0	6			28
T3	2096.39	Fracción no Arcillosa	95.40	36	16	7	25	1	0	0	0	0	5	7	2	0	0	14		
		Fracción Arcillosa	4.60	4	8	5	27	0	0	1	0	0	23	23	10	0	0		56	
		Total	100	35	16	7	25	1	0	0	0	0	5	8	3	0	0			16
T4	2097.26	Fracción no Arcillosa	94.70	61	24	14	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Fracción Arcillosa	5.30	3	4	2	0	0	0	0	0	0	44	26	12	9	0		91	
		Total	100	58	23	13	0	0	0	1	0	0	2	1	1	1	0			5
M4	2097.87	Fracción no Arcillosa	70.36	32	5	6	8	0	0	2	0	0	13	10	24	0	0	47		
		Fracción Arcillosa	29.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	15	13	0	58		86	
		Total	100	22	4	4	6	0	0	1	0	0	13	12	21	0	17			63

APÉNDICE A2

ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

Muestra No.	Profundidad (m)	Tipo de Análisis	Peso %	Arcillas																Arcilla Total
				Cz	Plag	Feld-K	Cal	Dol	Anhi	Pir	Hal	Bar	Sider	Caol	Cl	Ill	CM*	Esme		
T5	2098.65	Fracción no Arcillosa	93.40	42	24	12	0	0	0	0	0	0	0	11	10	2	0	0	22	
		Fracción Arcillosa	6.60	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	39	19	24	10	0	92	
		Total	100	39	23	11	0	0	0	0	0	0	0	13	10	3	1	0	27	
T6	2099.35	Fracción no Arcillosa	85.10	41	23	17	2	0	0	1	0	0	0	4	7	5	0	0	15	
		Fracción Arcillosa	14.90	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	30	26	10	0	98	
		Total	100	37	20	14	2	0	0	1	0	0	0	8	8	8	2	0	26	
T7	2099.94	Fracción no Arcillosa	87.05	47	22	11	2	3	0	1	0	0	0	6	5	4	0	0	15	
		Fracción Arcillosa	12.95	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	36	15	14	28	0	92	
		Total	100	41	19	10	2	2	0	1	0	0	0	10	6	5	4	0	25	
T8	2100.4	Fracción no Arcillosa	99.70	54	27	16	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	3	
		Fracción Arcillosa	0.30	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	34	9	0	20	98	
		Total	100	53	27	16	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	4	
M5	2100.8	Fracción no Arcillosa	63.83	21	8	3	8	4	0	3	0	0	0	10	12	23	8	0	53	
		Fracción Arcillosa	36.17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	18	23	40	99	
		Total	100	14	5	2	5	3	0	2	0	0	0	10	11	21	13	14	69	
T9	2100.98	Fracción no Arcillosa	88.43	53	30	0	2	0	0	0	0	0	0	6	6	3	0	0	15	
		Fracción Arcillosa	11.57	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	39	39	9	7	0	95	
		Total	100	47	27	0	2	0	0	0	0	0	0	9	10	4	1	0	24	

LEYENDA PARA DIFRACCIÓN DE RAYOS X - DRX

- * El ensayo de DRX es semi-cuantitativo (aproximadamente 10% en el mejor de los casos) e identifican únicamente sustancias cristalinas; no detecta sustancias amorfas (no cristalinas).
- * Fracción no arcillosa-fracción mayor a 3 micrómetros en tamaño
- * Fracción arcillosa- fracción menor a 3 micrómetros en tamaño
- * Total- Cálculo matemático que representa el total de la muestra e incluye la fracción no arcillosa y la arcillosa
- * Arcilla total- Suma de los minerales arcillosos (puede incluir arcilla autigénica y matriz arcillosa y arcilla en fragmentos de roca)

ABREVIATURAS

A-Abundante	Feld-K- Feldespato potásico	P-puro (95-100%)
Amf-Anfíboles	Hal-Halita	CP-Cercánamente a puro (90-95%)
Ana-Analcima	Hem-Hematita	C-Común (30-60%)
Anhi-Anhidrita	Ill-illita	Men-Menor (10-30%)
Ank-Ankerita	Mac-Mackinawite	R-Raro (1-10%)
Apa-Apatito	Marc-Marcasita	TR-Trazas; detectable pero no medible (0-1%)
Bar-Barita	CM**-Corrensita(clorita-esmectita)	Des-Mineral desconocido
Cal-Calcita	CM*-illita Esmectita	
Caol-Caolinita	Pir-Pirita	
Cl-Clorita	Plag-Plagioclasa	
Cz-Cuarzo	Sider-Siderita	
Dol-Dolomita	Yes-Yeso	
Esm-Esmectita (montmorillonita)		

Nota: No todos los minerales están presentes en un juego de muestras

APÉNDICE A3

DESCRIPCIÓN DE MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

Foto 2C

Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

Muestra: T1

Profundidad (m): 2094.52

1-2

Foto 1: Es una vista de baja resolución de una arenisca arcósica de tamaño de arena muy fina a media, de forma angulosa a muy angulosa, pobre a moderadamente clasificada de superficie rugosa. Los poros intergranulares se encuentran bien desarrollados pero no se encuentran bien conectados (J6, B7). 100x

Foto 2: Muestra clorita parcialmente cubierta en los granos clásticos (G6, G3) y algo de matriz clástica relleno de un poro intergranular (C8). La clorita se presenta en cristales pseudo-hexagonales pequeños, euedrales con caras perpendiculares a la superficie de los granos clásticos. 1800x

3-4

Foto 3: Es una vista de alta resolución de la pirita de forma euedral octaedral como relleno de poros (F8, D3). 1200x

Foto 4: Resalta un feldespato parcialmente lixiviado con los remanentes presentando una orientación preferencial (H11). Se aprecia además un sobrecrecimiento del cemento en los granos clásticos (H4, L6) y porosidad intergranular (M9). 700x

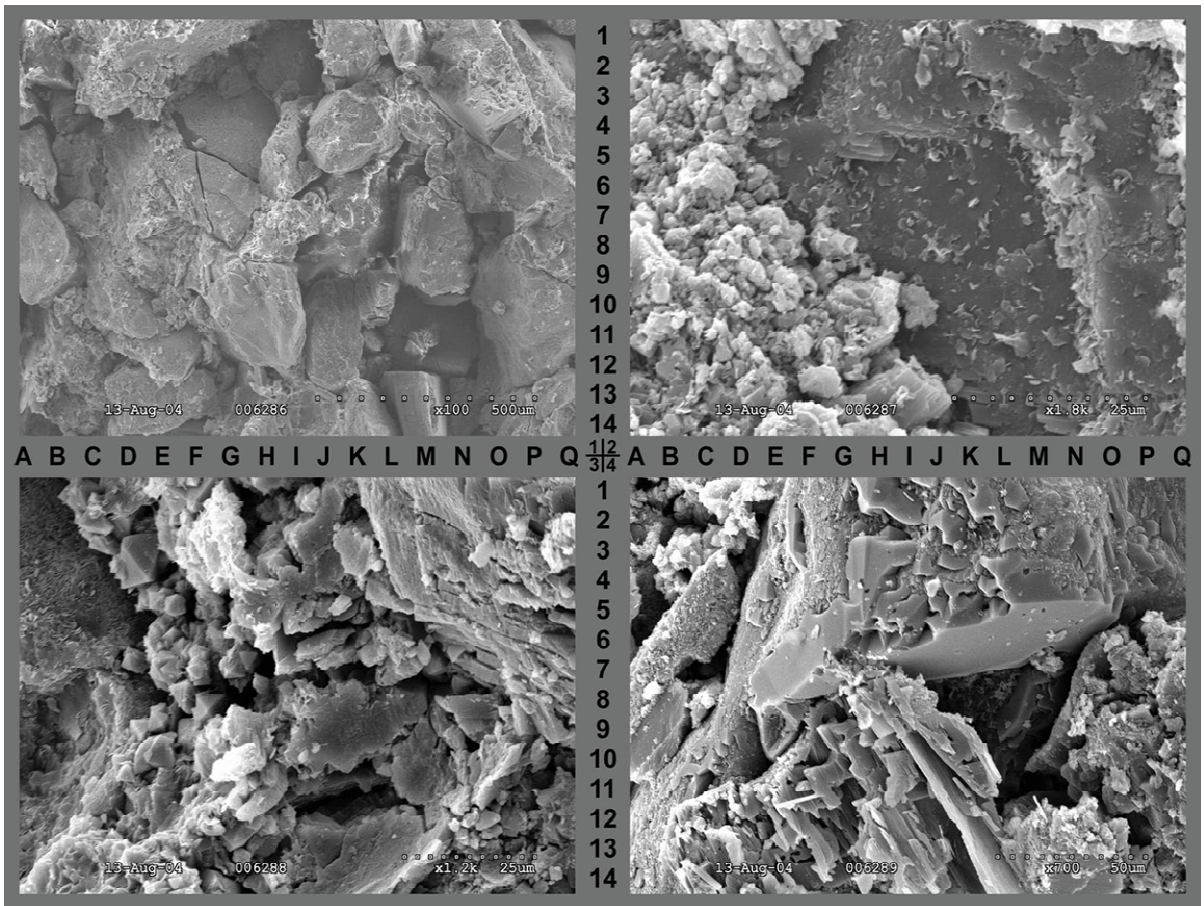
Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

Foto: 2C

Muestra: T1

Profundidad: 2094.52 m



DESCRIPCIÓN DE MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

Foto 4C

Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

Muestra: T2

Profundidad (m): 2095.22

1-2

Foto 1: Es una vista de baja resolución de una arenisca arcósica de tamaño de arena muy fina a media con porosidad intergranular común. Los poros intergranulares se encuentran bien desarrollados y conectados entre sí (I8, P7). 100x

Foto 2: Muestra un grano clástico cubierto por arcilla (J8). 700x

3-4

Foto 3: Resalta un grano cubierto por clorita. Estos cristales de clorita forman recubrimientos ondulados alrededor de los granos clásticos. 1800x

Foto 4: Es una vista de alta resolución que se enfoca en la arcilla del grano clástico (H8). Se observan los bordes rugosos, arcilla ligeramente granulada con algunas tiras filamentosas, sugiriendo que se encuentran en arcilla de capa mixta illita - esmectita. 1500x

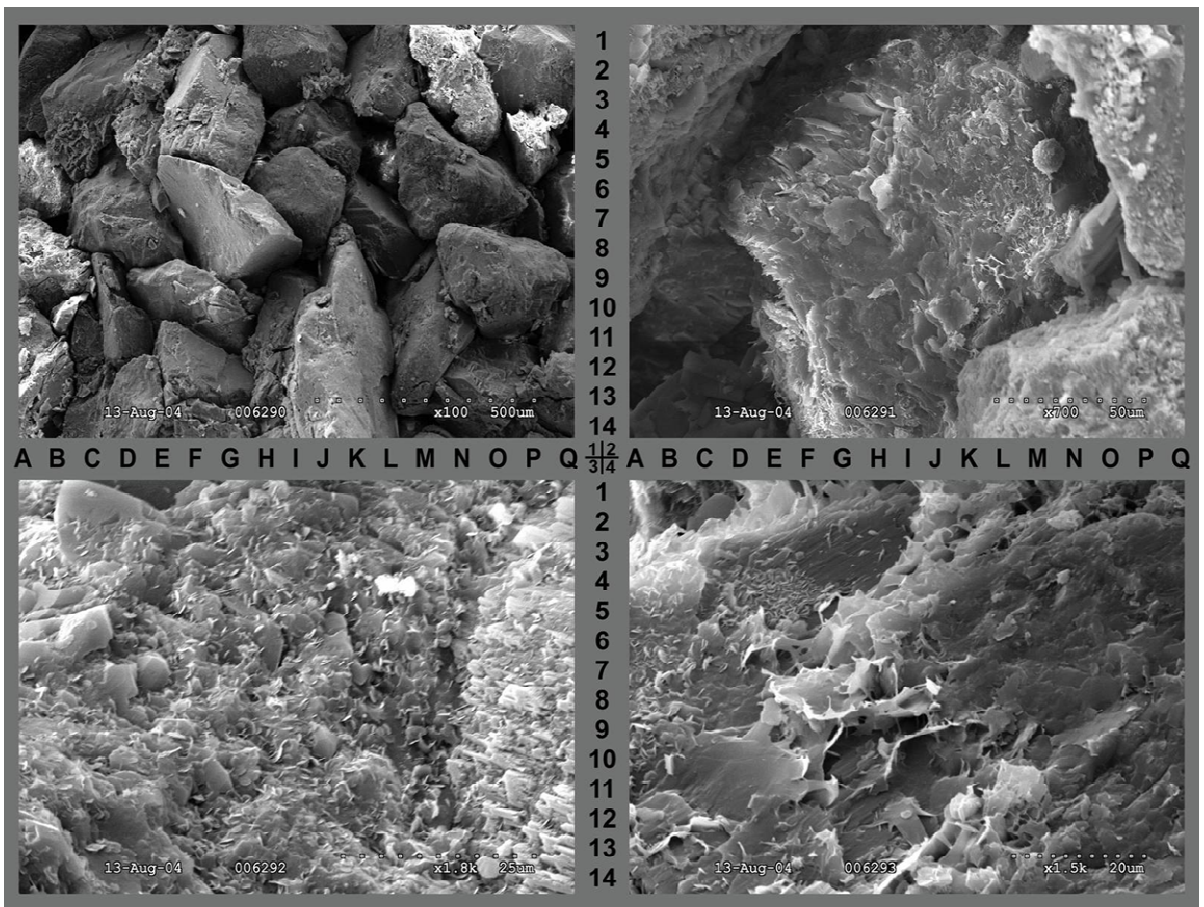
Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

Foto: 4C

Muestra: T2

Profundidad: 2095.22 m



DESCRIPCIÓN DE MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO
Foto 6C

Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

Muestra: T3

Profundidad (m): 2096.39

1-2

Foto 1: Es una vista de baja resolución de una arenisca arcósica de tamaño de arena muy fina a media, de forma angulosa a muy angulosa, pobre a moderadamente clasificada de textura relativamente apretada. Los poros intergranulares no se encuentran desarrollados en esta muestra. 60x

Foto 2: Es una vista de acercamiento de la clorita autigénica relleno de poros (J12, E7). 1500x

3-4

Foto 3: Muestra un grano clástico con algunos microporos entre los cristales pequeños de cuarzo y feldespato (O10, J13). 1500x

Foto 4: Es una vista de relativamente alta resolución que muestra los bordes clásticos de un grano de mica (K8). El alargamiento de los bordes de esta mica muestra que los clivajes abiertos están parcialmente rellenos por illita autigénica (K9). 1500x

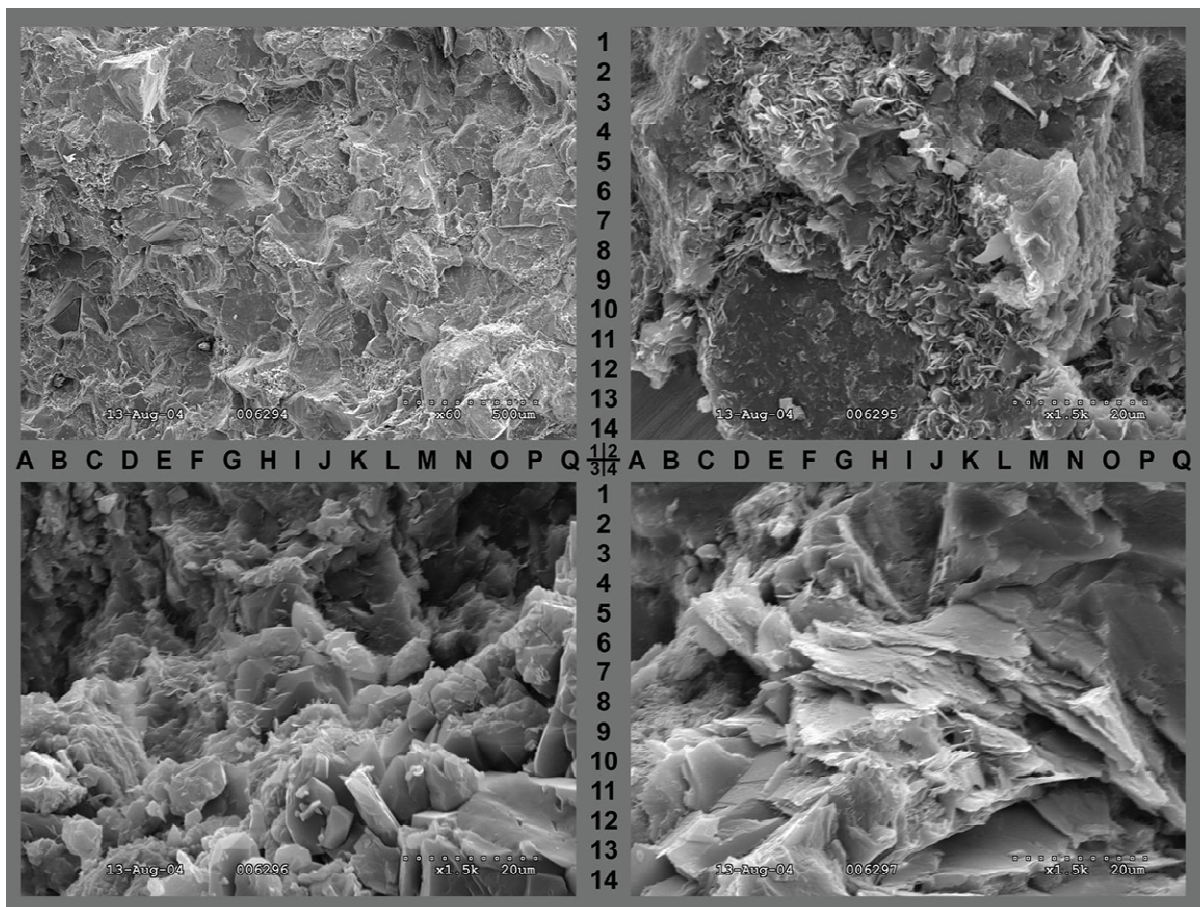
Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

Foto: 6C

Muestra: T3

Profundidad: 2096.39 m



DESCRIPCIÓN DE MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO
Foto 10C

Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

Muestra: T6

Profundidad (m): 2099.35

1-2

Foto 1: Es una vista de baja resolución de una arenisca arcósica de tamaño de grano muy fino a medio, de forma angular, pobre a moderadamente clasificado con porosidad intergranular moderadamente desarrollada. 80x

Foto 2: Es una vista de acercamiento de arcilla de capa mixta clorita - esmectita como relleno de poro (N7, F3) y de los granos recubiertos por clorita autigénica (F6). 1800x

3-4

Foto 3: Resalta un grano de feldespato parcialmente lixiviado que presenta los remanentes preferencialmente orientados (I8). Se observan además los poros intergranulares sin matriz ni cemento. 700x

Foto 4: Presenta principalmente la clorita autigénica recubriendo los granos clásticos (cloritización de los granos, H9, C2, P6). 1500x

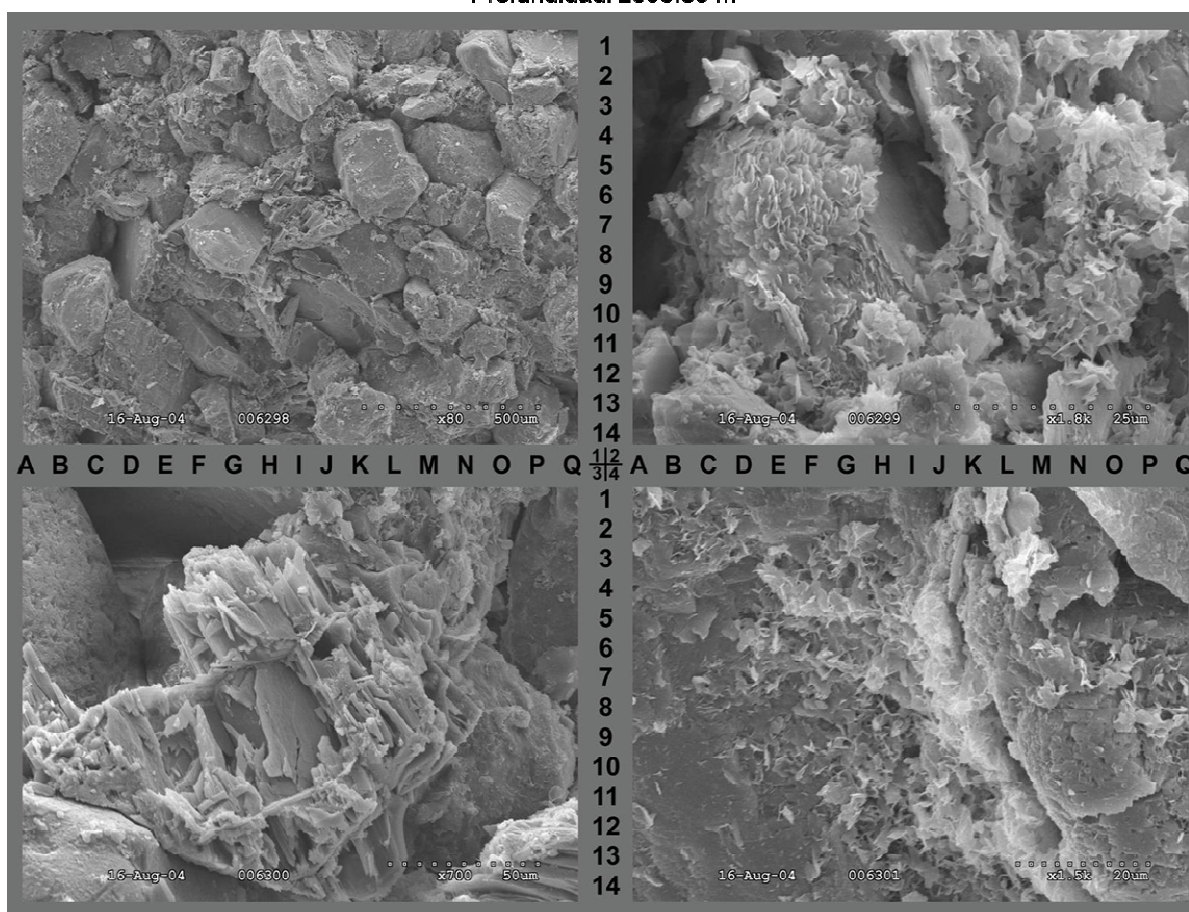
Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

Foto: 10C

Muestra: T6

Profundidad: 2099.35 m



DESCRIPCIÓN DE MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

Foto 14C

Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

Muestra: T9

Profundidad (m): 2100.98

1-2

Foto 1: Es una vista de baja resolución que presenta una arenisca arcósica de tamaño de grano muy fino a medio, de forma angulosa, moderadamente clasificada con porosidad intergranular moderada a bien desarrollada. 70x

Foto 2: Es una vista de acercamiento de los granos cubiertos por clorita autigénica (cloritización de los granos, G8, O3) y esmectita autigénica como relleno de poros (K7, C2). Se observa la diferente forma que presentan ellos, los granos cubiertos con clorita autigénica se presenta como cristales pseudo hexagonales en un arreglo en forma de roseta y la esmectita de relleno de poros presenta una morfología granular. 1500x

3-4

Foto 3: Resalta un feldespato parcialmente lixiviado con sus remanentes orientados preferencialmente (18). 600x

Foto 4: Muestra un grano clásico parcialmente lixiviado con microporos intragranulares menores (fragmentos de roca ?, M5, G7, N8). 1500x

Pozo: Somero 1

Núcleo: 1

Foto: 14C

Muestra: T9

Profundidad: 2100.98 m

