

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **DEFINICIÓN DE LA CALIDAD DE LAS ARENAS YACIMIENTO MEDIANTE LA INTERPRETACIÓN DE FASES MINERALES POR MÉTODOS ANALÍTICOS (DRX) Y SU AGRUPAMIENTO MULTIVARIABLE DE LAS MUESTRAS DEL POZO BN-848 DEL CAMPO BOSCÁN**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Gómez R, Jefferson A.  
Para optar al Títulode  
Ingeniero de Petróleo

Caracas, 2018

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DEFINICIÓN DE LA CALIDAD DE LAS ARENAS YACIMIENTO MEDIANTE LA INTERPRETACIÓN DE FASES MINERALES POR MÉTODOS ANALÍTICOS (DRX) Y SU AGRUPAMIENTO MULTIVARIABLE DE LAS MUESTRAS DEL POZO BN-848 DEL CAMPO BOSCÁN**

TUTOR ACADÉMICO: MSc. Francisco Barrios.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. José Martínez.

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Gómez R, Jefferson A.  
Para optar al Título de  
Ingeniero de Petróleo

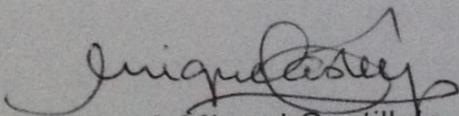
Caracas, 2018

Caracas, junio de 2018

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería de Petróleo, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Jefferson Gómez, titulado:

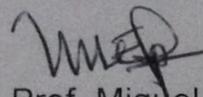
**“Definición de la calidad de las arenas yacimiento mediante la interpretación de fases minerales por métodos analíticos (DRX) y su agrupamiento multivariable de las muestras del Pozo BN-848 del Campo Boscán”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Petróleo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



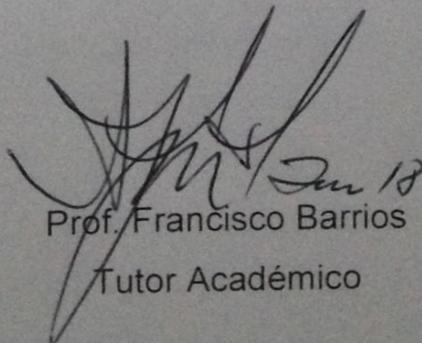
Prof. Miguel Castillo

Jurado



Prof. Miguel Expósito

Jurado



Jun 18

Prof. Francisco Barrios

Tutor Académico

## DEDICATORIA

*A mi familia,  
Mamá, Papá, Hermana  
Por ser el motor que nunca va a apagarse  
¡¡¡Nuestro logro se ha concretado!!!*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y La Virgen, por estar siempre presente en el trayecto de vida y de ejecución de este proyecto, por darme fuerzas cuando era necesario.

A mi familia, Mamá, Papá, Hermanos, gracias por su apoyo incondicional, por siempre estar allí cuando lo necesito. Por darme la crianza necesaria para poder sobrellevar tiempos difíciles. Por ser el motor que siempre me generará poder para seguir adelante y superarme, éste, uno de tantos logros, más que mío es de ustedes porque se merecen esto y más...

A mis abuelos, por ser el pilar de toda esta familia, que con sus virtudes y defectos siempre están allí para todos sin excepción alguna, y aunque algunos ya no se encuentran en esta faz terrenal sé y estoy totalmente seguro que donde quiera que estén me echan su bendición y están celebrando junto a nosotros este día.

A la Universidad Central de Venezuela y su equipo docente, gracias por formarme como profesional, por darme las herramientas necesarias para poder salir a representar en alto esta casa de estudio “La casa que vence las sombras”, porque sólo un UCEVISTA entiende que llegar lejos no es estar sobre las nubes sino debajo de ellas. UCEVISTA hoy UCEVISTA siempre...

A la empresa PDVSA Intevep, por permitirme adquirir conocimientos de cada espacio y por colaborar en esta formación como profesional.

A mi tutor Industrial, Ing. José Martínez, gracias infinitas por permitirme entrar a este proyecto, por compartir parte de sus conocimientos, por instruirme de manera acertada y por estar allí, de una u otra forma, en tiempos difíciles. Además, por compartir la perfección y el enfoque que conlleva sobresaltar en

un proyecto laboral. ¡Por ayudarme a entender que es necesario caer para poder levantarse con firmeza y con más ganas que nunca, a usted Sr. José infinitas gracias!

A mi tutor académico, Prof. Francisco Barrios, gracias por el apoyo aportado a este proyecto, que sin titubeo me dio la mano para seguir con la ejecución de este trabajo especial de grado, por instruirme cuando fue necesario y por compartir sus conocimientos para poder crecer personal y profesionalmente.

Al Prof. Neyfrank Ortuño, por brindarme el apoyo durante este largo trayecto, sin lugar a duda una mención especial para usted, gracias por estar al tanto de este trabajo y por seguir instruyendo a futuros colegas de la mejor manera, infinitas gracias.

Astrid, Ana G, Ana D, Anyela y Diego por estar siempre a mi lado en los tiempos buenos, pero sobre todo en los malos, sin duda alguna hemos demostrado que ni el tiempo, ni la distancia son factores que puede cambiar esta amistad eterna.

A mis amigos y compañeros forjados en esta casa de estudios; Johanna, Emperatriz, Dífda, Sasha, Gaby, Jennyfer, Marianto, Ambar, Sergio, Jerwin, Wensy, gracias por hacer de este trayecto universitario más ameno, por siempre estar ahí, para todo. Siempre los recordaré con el mejor recuerdo en esos pasillos de la Universidad. Y aunque la distancia nos separe, o las circunstancias se tornen difíciles, siempre daremos lo mejor de cada uno para salir exitosos en los obstáculos que se nos presenten.

¡¡¡ A todos, y a los que se escapan de mente en este momento, mil gracias...!!!

Gómez R., Jefferson A.

**DEFINICIÓN DE LA CALIDAD DE LAS ARENAS YACIMIENTO  
MEDIANTE LA INTERPRETACIÓN DE FASES MINERALES  
POR MÉTODOS ANALÍTICOS (DRX) Y SU AGRUPAMIENTO  
MULTIVARIABLE DE LAS MUESTRAS DEL POZO BN-848 DEL  
CAMPO BOSCÁN.**

**Tutor Académico: MSc. Francisco Barrios. Tutor Industrial: Ing. José  
Martínez. Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de  
Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Petróleo. 2018, 197p.**

**Palabras Claves:** Zulia, Campo Boscán, BN-848, Yacimiento, DRX, FRX,  
Cluster, Agrupamiento multivariable, Facies Minerales, Facies Sedimentarias.

**Resumen.** Campo Boscán fue descubierto en el año de 1946 con la perforación del pozo BN\_0257 (localización Zulia 7F-1), el cual produjo inicialmente 730 BNPD de crudo de gravedad 10,5 °API a partir del año 1948. Al ser el Campo Boscán un área de explotación con considerables volúmenes de hidrocarburos en los miembros arenosos, pero con desmedidos retos, surgió la necesidad de realizar una comparación e integración de la mineralogía, sedimentología y petrofísica de las arenas, determinando así la calidad de la roca. La aplicación de Difracción de Rayos X (DRX) permitió obtener las facies minerales en 110 muestras del pozo; como un estudio complementario del proyecto de investigación liderado por PDVSA-Intevep (2017 – actualidad). Los resultados de roca total y fracción menor, logró definir acorde con la geoestadística, las facies minerales y litología en la roca. Para comprender y corregir los agrupamientos de las facies, también se ejecutó el análisis químico en 19 muestras de interés, con

impregnación de moderada a abundante según la descripción por sedimentología, su cotejo valida el agrupamiento de las facies, además, la granulometría realizada permitió clasificar el escogimiento y selección de los granos en las arenas. Las facies minerales definidas van de la “A” a la “D”, con sus subdivisiones o variaciones características, perfectamente agrupadas dentro de la clasificación estudiada (análisis multivariable o estadístico), definiendo un agrupamiento con nivel de semejanza del 89/100 con observaciones que son posibles notar en el análisis multivariable y clusters ejecutados en el estudio, además, la integración con las facies sedimentarias, el estudio granulométrico y la Fluorescencia de Rayos X (FRX) y petrofacies definidas (Winland R35) logró un ajuste de la clasificación, señalando idónea la técnica empleada con integración de todos los datos adquiridos y una fluida comunicación interdisciplinaria.

## NDICE DE CONTENIDO

<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	xviii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPITULO I</b> .....	3
<b>EL PROBLEMA</b> .....	3
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2. Objetivos de la investigación .....	4
1.2.1 Objetivo general .....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Alcance de la investigación .....	5
1.4 Limitaciones.....	5
<b>CAPITULO II</b> .....	7
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	7
2.1 Antecedentes de la investigación .....	7
2.2 Difracción de Rayos X (DRX) .....	10
2.3 Facies .....	14
2.4 Rocas sedimentarias.....	15
2.4.1 Constituyentes de las rocas sedimentarias .....	17
2.4.2 Composición mineralógica de las rocas sedimentarias .....	18
2.4.3 Composición química de las rocas sedimentarias.....	19
2.5 Rocas siliciclásticas .....	21
2.5.1 Componentes del esqueleto.....	24
2.5.1.1 Cuarzo.....	25
2.5.1.2 Feldespatos.....	25
2.5.2 Clasificación de las rocas siliciclásticas.....	26

2.5.2.1	Tamaño de los clastos .....	27
2.5.2.2	Clasificación .....	27
2.5.2.3	Textura .....	31
2.5.2.4	Selección.....	31
2.5.2.5	Tipo de contacto entre los clastos .....	32
2.5.2.6	Madurez .....	32
2.5.3	Propiedades derivadas de las rocas siliciclásticas .....	33
2.5.3.1	Porosidad .....	33
2.5.3.2	Permeabilidad .....	35
2.5.4	Presión capilar.....	37
2.5.4.1	Clasificación de la geometría de poros .....	39
2.5.4.2	Métodos para calificar un reservorio en función a un radio de garganta poral.....	40
2.6	Fluorescencia de Rayos X (FRX) .....	42
2.6.1	Posibilidades del método.....	42
2.7	Imágenes petrográficas (petrografía).....	44
2.7.1	Procesamiento y digitalización de imágenes.....	45
2.7.2	Equipos .....	45
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>49</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>		<b>49</b>
3.1	Área de estudio.....	49
3.2	Geología estratigráfica.....	50
3.3	Geología estructural .....	51
3.4	Producción.....	52
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>54</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>		<b>54</b>
4.1	Tipo de Investigación.....	54
4.2	Diseño de la investigación .....	55

4.3 Población y muestra .....	56
4.4 Etapa 1: Revisión y documentación bibliográfica.....	57
4.5 Etapa 2 y 3: Procedimiento experimental y análisis e interpretación de resultados .....	58
4.5.1 Identificación y definición mineral por Difracción de Rayos X (DRX) .....	59
4.5.1.1 Revisión y documentación .....	61
4.5.1.2 Análisis de roca total .....	61
4.5.1.3 Análisis de arcillas o fracción menor (< 2micras) .....	67
4.5.1.4 Análisis de agrupación multivariables (DRX) .....	73
4.5.1.5 Facies Minerales .....	73
4.5.2 Identificación de composición química por Fluorescencia de Rayos X (FRX) .....	74
4.5.2.1 Identificación de componentes químicos por FRX .....	74
4.5.2.2 Análisis de agrupación multivariable (FRX).....	78
4.5.3 Identificación e interpretación petrográfica (secciones finas) .....	78
4.5.3.1 Análisis petrográfico .....	79
4.5.3.2 Adquisición de imágenes .....	79
4.5.3.3 Descripción de imágenes petrográficas .....	82
4.5.4 Estudio granulométrico para finos y gruesos.....	82
4.5.4.1 Caracterización granulométrica.....	83
4.5.5 Descripción de petrofacies .....	84
4.5.5.1 Determinación de petrofacies.....	85
4.5.5.2 Análisis del efecto de la calidad de la roca sobre las petrofacies .....	85
4.6 Etapa 4: Redacción de documento.....	85
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>86</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>86</b>
5.1 Análisis e interpretación mineralógica por DRX.....	86
5.2 Definición e interpretación de facies minerales. ....	96

5.2.1 Facies A .....	96
5.2.1.1 Microfacies A.1.....	96
5.2.1.2 Microfacies A.2.....	97
5.2.2 Facies B .....	101
5.2.2.1 Microfacies B.1.....	101
5.2.2.2 Microfacies B.2.....	103
5.2.3 Facies C .....	107
5.2.3.1 Facies C1 .....	107
5.2.3.2 Facies C2.....	117
5.2.4 Facies D .....	117
5.3 Análisis e interpretación química por FRX.....	125
5.3.1 Identificación de componentes químicos por FRX .....	125
5.3.2 Análisis de agrupación multivariable para FRX .....	128
5.4 Análisis e interpretación petrográfica.....	132
5.4.1 Descripción y clasificación de imágenes petrográficas.....	132
5.4.1.1 Descripción petrográfica a Profundidad de 7993' 5" .....	133
5.4.1.2 Descripción petrográfica a Profundidad de 8491' .....	135
5.4.1.3 Descripción petrográfica a Profundidad de 8508' 3" .....	137
5.5 Análisis e interpretación granulométrica de agregados finos y gruesos.....	139
5.6 Análisis e interpretación de petrofacies (Winland R35) .....	145
5.6.1 Identificación y caracterización de petrofacies .....	145
5.6.2 Descripción del sistema poral y petrofacies .....	146
5.6.3 Análisis y determinación de la calidad de la roca .....	149
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>152</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>156</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>158</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>166</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 El espectro electromagnético, mostrando los distintos tipos de radiación y longitudes de onda. (Tomado y modificado de Arias 2004).....	10
Figura 2.2 Esquema del sistema óptico de un difractómetro de rayos x Philips (Tomado y modificado de Arias <i>et al.</i> (2001) .....	11
Figura 2.3 Esquema de un tubo de rayos x. (Tomado y modificado de Arias 2004).....	12
Figura 2.4 Distribución de longitudes de onda de los rayos x que se producen en tubos de rayos x (Tomado de Cullity 1967).....	12
Figura 2.5 Transiciones electrónicas en la estructura de un átomo (Tomado y modificado de Arias 2009) .....	13
Figura 2.6 Estabilidad de los minerales presentes en las rocas sedimentarias (Tomado y modificado de Azar 2015) .....	19
Figura 2.7 Clasificación de areniscas siliciclásticas según Pettijohn et al 1973 .....	29
Figura 2.8 Clasificación de los siliciclásticos basadas en la textura (Modificada de Ekwere, 1995) .....	31
Figura 2.9 Clasificación de los siliciclásticos basadas en la selección (Tomado de Mora 2011). .....	31
Figura 2.10 Ecuaciones empíricas de Pittman (1992) .....	41
Figura 3.1 Ubicación del Campo Boscán.....	49
Figura 3.2 Modelo depositacional del Campo Boscán sistema deltaico proximal Mareal (Tomado de Morales, 2014) .....	50
Figura 4.1 Flujograma general de trabajo para la definición de la calidad de la roca yacimiento,.....	57
Figura 4.2 Diagrama del procedimiento experimental utilizado. ....	58
Figura 4.3 Revisión y recopilación para la interpretación del análisis mineral por DRX. ....	59

Figura 4.4 Etapas de integración y análisis de resultados de DRX en el pozo BN-848.....	60
Figura 4.5 Esquema de componentes principales del equipo DRX utilizado.	63
Figura 4.6 Flujograma de trabajo para la, pulverización, montaje y captura de la muestra en polvo para análisis de roca total por difracción de rayos x .....	64
Figura 4.7 Espectro de difracción de rayos X de una muestra de esmectita en atmósfera seca y etil glicol, indicando el ángulo $2\theta$ y su valor $d(\text{Å})$ correspondiente al pico del mineral (Modificado Poppe <i>et al</i> 2001).....	70
Figura 4.8 Flujograma de trabajo para la disgregación, limpieza, montaje, adquisición y semicuantificación de muestra para el análisis orientado (<2micras) por Difracción de Rayos X. ....	71
Figura 4.9 Flujograma para procesamiento, obtención e identificación de los componentes químicos de muestras seleccionadas del Pozo BN-848.....	76
Figura 4.10 Equipo Shimadzu EDX-720 usado en método de FRX.....	77
Figura 4.11 Cámara digital (Canon PowerShot A620) ubicada sobre un microscopio petrográfico (Zeiss AX105KOP 40) y conectada a un computador con la aplicación PSRemote como un dispositivo USB. (Equipo en PDVSA-INTEVEP*) (Tomado y modificado de Palacios 2013). ....	80
Figura 4.12 Flujograma de trabajo para el montaje, adquisición y descripción de secciones finas a diferentes profundidades (7993' 5", 8491' y 858' 3")...	81
Figura 5.1 Promedio mineral de los resultados en roca total del pozo BN – 848.....	87
Figura 5.2 Diagrama triangular de composición mineral Rt (Tomado y modificado de Rodríguez et al 1988). ....	89
Figura 5.3 Combinación de difractogramas en roca total para el análisis multivariable.....	93
Figura 5.4 Dendograma inicial para el agrupamiento de muestras.....	94
Figura 5.5 Dendograma del agrupamiento definitivo para las facies minerales por DRX con el CutOff al 88% (línea segmentada en azul). ....	94

Figura 5.6 Comparación de Facies sedimentarias y Microfacies A1 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.....	99
Figura 5.7 Comparación de Facies sedimentarias y Microfacies A2 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.....	100
Figura 5.8 Comparación de Facies sedimentarias y Microfacies B.1 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.....	103
Figura 5.9 Comparación de Facies sedimentarias y Microfacies B.2 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.....	106
Figura 5.10 Comparación de Facies sedimentarias y Facies C.1.1 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.....	109
Figura 5.11 Comparación de Facies sedimentarias y Facies C.1.2 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.....	112
Figura 5.12 Comparación de Facies sedimentarias y Facies C.1.3 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.....	113
Figura 5.13 Comparación de Facies sedimentarias y Facies C.1.4 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.....	116
Figura 5.14 Comparación de Facies sedimentarias y Facies C.1.5 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.....	119
Figura 5.15 Comparación de Facies sedimentarias y Facies D en intervalos de núcleos descritos y muestreados.....	121
Figura 5.16 Comparación, integración y ajuste de facies sedimentarias con facies y microfacies minerales en un tramo de núcleo.....	122
Figura 5.17 A) Comparación permeabilidades y porosidades ubicada con las Facies sedimentarias.....	123
Figura 5.18 B) Comparación permeabilidades y porosidades ubicada con las Facies y microfacies minerales determinadas.....	123
Figura 5.19 Ubicación de facies y microfacies minerales determinadas (Tomado y modificado de Richard en el 1985). .....	124

Figura 5.20 A y B Promedio de elementos químicos mayoritarios y minoritarios, respectivamente, de los resultados obtenidos en técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX) del Pozo BN – 848.....	126
Figura 5.21 Composición química obtenidos en técnica de FRX a profundidad de 8012' 11".....	127
Figura 5.22 Composición química obtenidos en técnica de FRX a profundidad de 8059' 4".....	128
Figura 5.23 Dendograma del agrupamiento definitivo para determinar si la composición química (FRX) se ubica en la mineralogía definida (DRX), con CutOff al 88% (línea segmentada en azul .....	129
Figura 5.24 Diagrama de torta para la composición de las facies minerales validadas por FRX. ....	131
Figura 5.25 Fotografía de la sección fina tomada en el conglomerado basal @7993'5".....	134
Figura 5.26 Fotografías de la sección fina tomada en el conglomerado basal @8491".....	136
Figura 5.27 Fotografía de la sección fina tomada @8508'3".....	138
Figura 5.28 Histograma para la descripción y clasificación de muestra @7995' 6,25".....	139
Figura 5.29 Histograma para la descripción y clasificación de muestra @8459' 4".....	140
Figura 5.30 Histograma para la descripción y clasificación de muestra @8458' 2".....	140
Figura 5.31 Distribución del tamaño de granos para 19 muestras seleccionadas del Pozo BN-848. ....	141
Figura 5.32 Relación de porcentaje del tamaño de arena respecto a la permeabilidad. ....	143
Figura 5.33 Diagrama triangular de calificación textural a partir de los resultados DRX (Tomado y modificado de Dott, 1986).....	144

Figura 5.34 Caracterización del tipo de roca en función de la relación $K/\emptyset$ . .....	146
Figura 5.35 Caracterización del tipo de roca en función de la relación $K/\emptyset$ . .....	148
Figura 5.36 Distribución de Petrofacies para el Pozo BN-848. ....	150

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Composición química promedio de rocas sedimentarias comunes (Mason y Moore, 1982) .....	20
Tabla 2.2 Siliciclásticos, principales características. Tomada y modificada de Ahr (2008) y Méndez (2009) .....	22
Tabla 2.3 Valores correspondientes a cada tipo de roca, tomando en cuenta la clasificación de Pettijohn et al. 1987 (Tomada y modificada de Jabbour et al. 2009) .....	30
Tabla 2.4 Calidad de la roca yacimiento en función de su porosidad. (Tomado y modificado de Da Silva 2011) .....	35
Tabla 2.5 Calidad de una roca en función de su permeabilidad (Tomado y modificado de Concepción 2005, citando a Djebbar y Donaldson, 1996). ....	37
Tabla 2.6 Clasificación de tipos de roca de acuerdo al tamaño de apertura del poro. (Coalson, Hartman & Thomas, 1990) .....	40
Tabla 4.1 Equipos y condiciones de medición para la obtención de los difractogramas en las 110 muestras analizadas. ....	62
Tabla 4.2 Condiciones de medición para la obtención de los difractogramas en las 110 muestras analizadas. ....	62
Tabla 4.3 Factores de intensidades de minerales patrones para la cuantificación de los porcentajes de las fases minerales. (PDVSA, Intevep). ....	67
Tabla 4.4 Tabla de intensidades de acuerdo al espaciado basal de los grupos de arcillas. ....	72
Tabla 5.1 Agrupamiento multivariable de ejemplares seleccionados para FRX y su clasificación de acuerdo a la facie mineral correspondiente por DRX. ....	130
Tabla 5.2 Clasificación de las microfacies validadas en FRX y su porcentaje de acuerdo a la contabilidad del muestreo. ....	131

Tabla 5.3 Distribución de diámetros de partícula y clasificación según Wentworth, 1922.....	141
Tabla 5.4 Distribución de diámetros de partícula y clasificación según Wentworth, 1922.....	142
Tabla 5.5 Clasificación de las facies petrofísicas y su porcentaje de acuerdo a la contabilidad del muestreo. ....	150

## **INTRODUCCIÓN**

El Campo Boscán, ubicado al Occidente del país, a 40km del suroeste de la ciudad de Maracaibo del Estado Zulia es una de las zonas productoras más importantes del país, sin embargo, es posible notar que en la actualidad han surgido innovaciones para suplir esta fuente; pero gracias a la exploración y producción de crudo de los yacimientos se mantienen aún como una de las fuentes de mayor envergadura a nivel nacional.

Se han perforado más de 600 pozos que han determinado un área probada de 600 km<sup>2</sup>; el Pozo BN-848 produce de Campo Boscán atravesando la Formación Misoa de edad Eoceno Superior/Inferior y la Formación Icotea de Oligoceno. El crudo es pesado (9 a 12° API). Proviene principalmente de los miembros arenosos Boscán inferior y Boscán superior de la Formación Misoa y de las areniscas de la sección basal de la Formación Icotea. Contiene 5.5% de azufre, y trazas de níquel y vanadio. Las diversas propiedades de la arena yacimiento en las zonas adyacentes al pozo viabilizan consumir diversos trabajos de investigación para desarrollar el campo de forma segura y de una manera rentable, mediante la óptima actualización de los modelo geológicos y sedimentológicos del área en estudio.

Los datos geológicos que posee el Campo Boscán actualmente son referenciados al año 1987; siendo la geología una ciencia cambiante y no exacta es por ello que la empresa Intevp se ve en la necesidad de realizar proyectos de investigación, exploración y desarrollo para cotejar, ejecutar y validar un modelo geológico actualizado, a través del método de Difracción de Rayos X a la sección arenosa que atraviesa el pozo.

La difracción de Rayos X es un método de alta tecnología, no destructivo, para determinar la composición de muestras de suelos o minerales, así como

para la identificación de metales y otros elementos (*Snyder, Jenkins, 1996*); esta técnica permite determinar la estructura detallada de un material, para así conocer la posición que ocupan los átomos, iones o moléculas que lo forman y poder determinar propiedades tanto físicas como químicas de los materiales.

El Trabajo Especial de Grado (TEG) desarrollado a continuación interpretará las fases minerales presentes en las muestras por medio de un análisis multivariable generando dendogramas con semejanzas minerales de resultados obtenidos en los difractogramas de Roca Total (Rt). Aunado a este análisis se realizó ensayo de Fluorescencia de Rayos X (FRX) para validar la información obtenida en DRX y generar clusters con semejanza en cuanto a los componentes mayoritarios y minoritarios presentes en los ejemplares, además el estudio petrográfico y granulométrico podrá describir las muestras analizadas en cuanto a sus aspectos texturales, componentes detríticos y clasificación de sus granos. El estudio del sistema poroso por medio de la ecuación de Winland (R35) permitió integrar los resultados y definir la calidad de la roca yacimiento basándose en los datos obtenidos en los métodos anteriores definiendo la garganta poral dominante de la zona estudiada.

A través de este estudio se podrá tener un enfoque hacia una predicción del hidrocarburo del Campo Boscán que puedan ser explotados de forma rentable, así como las de arenas adyacentes, gracias a una parte del modelo geológico actualizado, y aunado a ello dar lugar a inicio de nuevas tecnologías de perforación y/o producción del campo y lograr de esta manera implementar un plan de explotación que mejor se adapte a las necesidades disminuyendo en lo posible el riesgo asociado.

## **CAPITULO I EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del problema**

La industria petrolera se introdujo en una Venezuela agroexportadora, hace más de un centenar de años; donde se consideraba una economía considerablemente atrasada en términos tecnológicos y de productividad, que apenas alcanzaba exportar rubros de escasa relevancia en el mercado internacional, sin embargo, el aprovechamiento del petróleo en nuestro país contribuyó a desarrollar progresivamente otras ramas industriales, como la electricidad, la construcción y la producción de alimentos.

El petróleo constituye en Venezuela la principal fuente de ingresos económicos actualmente. El estado Zulia ha sido el espacio geográfico con mayor relevancia del conocido eje petrolero occidental. A más de 100 años de exploración y explotación de hidrocarburos en el área y a pesar de algunos inconvenientes presentados, la extracción de crudo en la región va en ascenso.

En el Occidente del país se vienen realizando innumerables estudios exploratorios, especialmente en áreas que se encuentran localizada al sur del estado Zulia, sin embargo, la falta de actualización de data geológica puede afectar a los procesos de mejoras o avances por parte de las empresas encargadas de la explotación del hidrocarburo hallado en la zona; a través del presente estudio de investigación y exploración se desea recolectar e interpretar la información emitida de la mineralogía de las muestras del Pozo BN – 848 por métodos de Difracción de Rayos X (DRX) para determinar las fases minerales presentes; así mismo se realizarán ensayos de Fluorescencia de Rayos X (FRX), granulometría y petrofísica a

las muestras de interés con la finalidad de integrar los resultados obtenidos y de esta manera cumplir con los objetivos planteados en el proyecto.

## **1.2. Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Definir la calidad de las arenas yacimiento mediante la interpretación de fases minerales por métodos analíticos (DRX) y su agrupamiento multivariable de las muestras del pozo BN-848 del Campo Boscán.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Seleccionar, procesar y obtener los resultados de Difracción de Rayos X (DRX) en roca total y muestra orientada (<2 micras) del pozo BN-848.
- Elaborar los cluster y análisis multivariable de los resultados de roca total y muestras <2micras definiendo las facies minerales en el pozo.
- Preparar, procesar y obtener los resultados por Fluorescencia de Rayos X (FRX) en muestras de interés del pozo BN-848.
- Analizar la granulometría en muestras seleccionadas para FRX del pozo BN-848.
- Describir macroscópicamente los ejemplares seleccionados con interés de arena productoras por DRX, granulometría y fluorescencia.
- Realizar análisis petrográfico de tres muestras para la descripción visual de porosidades, textura y escogimiento.
- Integrar y comparar las facies minerales definidas con las facies sedimentarias y ambientes de la columna sedimentológica del pozo BN-848.

- Determinar la calidad de la roca yacimiento a partir de la integración de la mineralogía, sedimentología y petrofísica en las arenas yacimiento.

### **1.3 Alcance de la investigación**

El fundamento principal del trabajo de investigación y exploración se centrará en la definición de la calidad de las arenas yacimiento mediante la interpretación de fases minerales por métodos analíticos (DRX) y su agrupamiento multivariable de las muestras del pozo BN-848 del campo Boscán. Se seleccionarán, procesarán y obtendrán resultados de DRX en roca total y muestra orientada (<2 $\mu$ ) de 110 muestras del pozo para determinar las fases minerales presentes mediante agrupamiento multivariadas; además se realizarán pruebas de granulometría para determinar parámetros estadísticos y forma de las partículas, análisis semicuantitativo químico por método de Fluorescencia de Rayos X (FRX) de las muestras impregnadas del pozo (19 muestras) con la finalidad de conocer el contenido en componentes mayoritarios y minoritarios, y estudios petrografía a tres muestras. Para posteriormente analizar e interpretar los resultados de las pruebas ejecutadas con la finalidad de determinar la calidad de las arenas yacimiento.

### **1.4 Limitaciones**

Las restricciones del estudio de investigación circundan en la falta de data actualizada del Campo Boscán, como los siguientes:

- Se tiene análisis convencional pero no se poseen estudios especiales.
- No se cuenta con la columna completa del Pozo en estudio.

- Carencia de correlaciones de pozos.
- Falta de muestras de pared del pozo.
- Insuficiencia de data actualizada desde hace aproximadamente el año 1987.
- No se cuenta con un muestreo sistemático en todo el pozo recuperado.

## **CAPITULO II MARCO TEÓRICO**

A continuación, se exponen los aspectos teóricos y conceptuales básicos para entender a cabalidad el presente Trabajo Especial de Grado. Cabe destacar que este trabajo no es un libro de texto, solo contiene los aspectos esenciales para dar a conocer el tema; para profundizar en las definiciones se podrá dirigir a las fuentes y bibliografía proporcionada.

### **2.1 Antecedentes de la investigación**

Para el entendimiento de las características y litología existente en el área y con miras a una integración de diferentes disciplinas, se realizó una breve revisión de documentación técnica y académica para constatar qué se conoce del campo y los estudios previos del mismo. Entre algunos relevantes e importantes estudios se mencionan los siguientes:

**Azpiritxaga I. (1985)**, informe de PDVSA Intevep que consistió en elaborar un modelo geológico detallado de la secuencia productora constituida por la formación Misoa (parte superior) y la formación Icotea (parte basal), cuya investigación servirá de base geológica para el proyecto piloto “Recuperación mejorada de crudos pesados del Campo Boscán”. Respecto al modelo sedimentológico expuso que, en el área de estudio, la Formación Misoa se ha dividido en siete intervalos estratigráficos informales numerados de base a tope del 1 al 7, la Formación Icotea se dividió en cinco intervalos estratigráficos informales identificados alfabéticamente de la A a la E de base a tope. Los intervalos del 1 al 4 representan una secuencia progradante del delta, pasando de facies de llanura deltaica baja (1,2) a alta (3,4) y los intervalos 5,6,7 constituyen facies de llanura deltaica baja, representando esta una secuencia destructiva dentro de la sección del Eoceno. Concluyó

que los mejores desarrollos de arena la constituyen la parte media de la secuencia (intervalos 3, 4 y 5), ubicados hacia el sur-este del área en estudio.

**Colmenares (1997)**, en este informe se resumen los resultados de un estudio palinológico en cinco pozos de la parte norte del campo (BN-216, BN-244, BN-252, BN-381 y BN-484), en base a la abundancia de palinomorfos claves define tres zona que pueden ser usadas para establecer un marco de correlación para el yacimiento de la Formación Misoa, sumado a lo expuesto, sugiere el tope de la zona 1 como posible datum de correlación, en este sentido pertinente resalta el elaborar un estudio detallado de la estructura del campo y la sedimentología antes de concretar la correlación.

**Romero et al. (2000)** realizó una documentación a la fecha de los métodos de recuperación (IOR) más susceptibles del Campo Boscán, con más de 200 reportes con información relacionada, especifica que solo 112 fueron relevantes para su documentación dividiéndolas en cinco clases o agrupamientos: IOR con 27, producción con 42, refinería con 8, geología con 8 e información general con 27, definiendo de esta manera que la información geológica es la menos estudiada a la fecha, de la misma manera, deja a un lado la información roca fluido y DRX.

**Saleta, C. (2001)** en su *"Análisis de Núcleo y Estratigrafía de Boscán Superior de la Formación Misoa en Campo Boscán, Venezuela"* apoya el modelo introducido por **Bodo Katz (2000)**, el cual propone que el ambiente de sedimentación de Campo Boscán es un ambiente deltaico dominado por marea, debido a que las facies interpretadas en el núcleo 1128, así como las numerosas estructuras sedimentarias identificadas en los núcleos tomados en el campo, corresponden a barras de marea, canales de marea, llanura de

marea arenosas, canales distributarios / distributarios de marea, llanuras de marea combinadas, llanuras de marea arcillosas.

En cuanto a la estratigrafía plantea una sucesión de parasecuencias progradantes, cuyos límites están marcados por superficies de inundación; la carencia de fauna marina entre determinadas unidades sugiere que la transgresión ocurrió rápidamente. Hacia el tope de la secuencia, las arenas son ricas en arcillas, definidas como "*Arenas Blancas*" y son descritas como inmaduras, mal escogidas, con bioturbaciones y con presencia de ciertos patrones de oxidación, por lo que se interpretó un ambiente sub-areal para estas arenas, a las que infrayacen facies de barra de marea, lo que sugiere un cambio deposicional a un ambiente más próximo. Así mismo plantea que la ocurrencia de los diversos tipos de arcilla puede afectar la respuesta de los registros considerablemente.

**Suárez (2017)**, presenta la información sedimentológica del Pozo BN-848 donde refiere a diferentes profundidades intercalaciones de arenas y lutitas; además puede inferir la influencia de aportes marinos en la secuencia, diferentes escalas, coincidiendo con el estudio de otras disciplinas en los mismos intervalos. Por otro lado, definió diecinueve (19) facies sedimentarias, cuyo estudio permitió implementar la relación entre facies sedimentarias y facies minerales definidas en el presente trabajo especial de grado.

**Pina, A. (2017)** desarrolló en su trabajo especial de grado la integración petrofísica y sedimentológica del Campo Boscán Superior, específicamente del área sur del campo; destacando que no se han realizado trabajos finales de grado relacionado directamente con geología, petrofísica o geofísica. Trabajó los pozos con núcleos de este estudio, tales como: 1128, 1162, 629, 664 y 683. Por medio de estudios de presión capilar definió que la ecuación que mejor se ajusta en el cálculo de radio de garganta poral del yacimiento

Boscán Superior para los 5 Núcleos es el R25 de Pittman, además concluye que en el yacimiento las petrofacies predominante fueron las rocas de tipo Mega con un (51%), la Macro (34%), Meso (7%) y Micro (8%).

## 2.2 Difracción de Rayos X (DRX)

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia y de muy corta longitud de onda, 10 nm hasta 0,001 nm (1 nm o nanómetro equivale a  $10^{-9}$  m). Estos rayos se generan cuando un haz de electrones de alta energía o velocidad incide sobre la materia (Grande 1996).

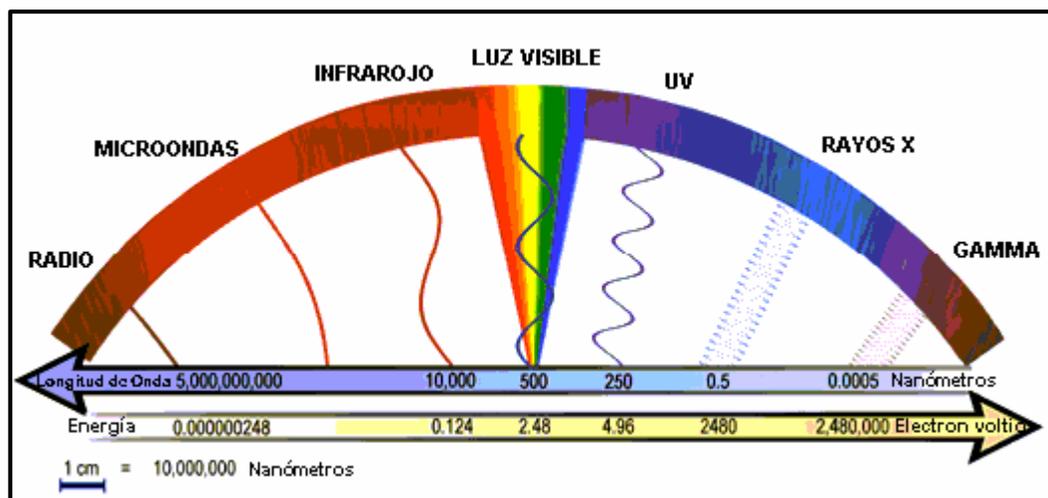


Figura 2.1 El espectro electromagnético, mostrando los distintos tipos de radiación y longitudes de onda. (Tomado y modificado de Arias 2004)

Los rayos X que más interesan en el campo de la difracción rayos x son aquellos que disponen de una longitud de onda próxima a 1 Ångstrom (Figura 2.1) y corresponden a una frecuencia de aproximadamente 3 millones de THz (tera-herzios) y a una energía de 12,4 keV (kilo-electrón-voltios) (Poppe *et al.* 2001).

La aplicación fundamental de la difracción de rayos X es la identificación de la composición mineralógica de una muestra cristalina. La difracción está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación x (Figura 2.2) (Poppe *et al.* 2001).

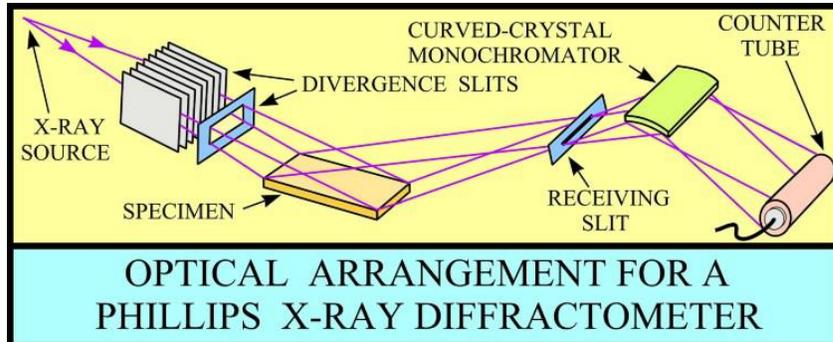


Figura 2.2 Esquema del sistema óptico de un difractómetro de rayos x Philips (Tomado y modificado de Arias *et al.* (2001)

Esos 50 kV se suministran como diferencia de potencial (alto voltaje) entre un filamento incandescente (por el que se hace pasar una corriente  $i$  de bajo voltaje, unos 5 A a unos 12 V) y un metal puro (normalmente cobre o cobalto), estableciéndose entre ambos una corriente de unos 30 mA de electrones libres (Figura 2.3). Desde el filamento incandescente (cargado negativamente) saltan electrones hacia el ánodo (cargado positivamente) provocando, en los átomos de este último, una reorganización electrónica en sus niveles de energía. Este es un proceso en el que se genera mucho calor, por lo que los tubos de rayos X deben estar bien refrigerados.

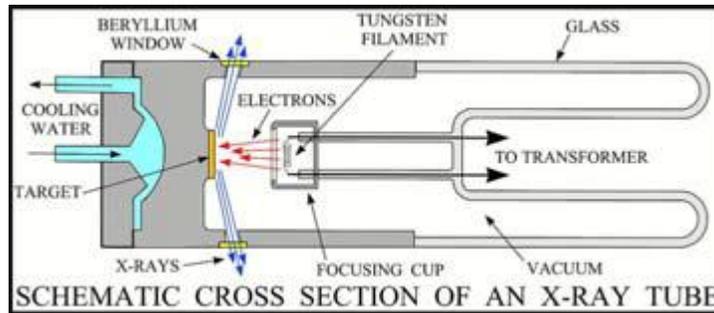


Figura 2.3 Esquema de un tubo de rayos x. (Tomado y modificado de Arias 2004)

El restablecimiento energético del electrón que se excitó, se lleva a cabo con emisión de rayos X con una frecuencia que corresponde exactamente al salto de energía (cuánto)

Las radiaciones características más importantes en difracción de rayos X son las llamadas líneas K-alpha y K-beta, donde los electrones caen a la capa más interior del átomo. Sin embargo, además de estas longitudes de onda concretas, se produce también todo un espectro de longitudes de onda muy próximas entre sí y que se denomina radiación continua mostrado en la Figura 2.4, debido al frenado por el material, de los electrones incidentes (Grande 1996).

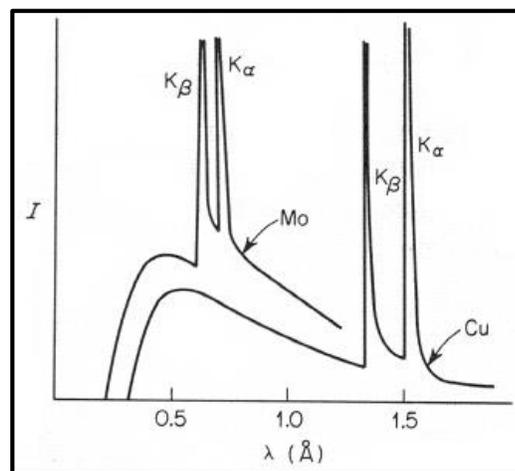


Figura 2.4 Distribución de longitudes de onda de los rayos x que se producen en tubos de rayos x (Tomado de Cullity 1967).

Al aumentar el voltaje hasta un nivel crítico, que depende del metal de ánodo, líneas espectrales definidas y de alta energía se superponen al espectro continuo. Cuando los electrones de las capas L y M caen hacia la capa K, se emiten rayos x cuyos fotones posee una energía igual a la diferencia de energía entre las capas internas y externas involucradas en la transición. Las transiciones ocurren entre la concha M y K (transición M-K) y entre dos niveles con una leve diferencia energética de la capa L y la K, en la Figura 2.5 se muestran las transiciones entre las capas electrónicas. Cada transición genera una radiación x característica (Cullity 1967, Grande 1996).

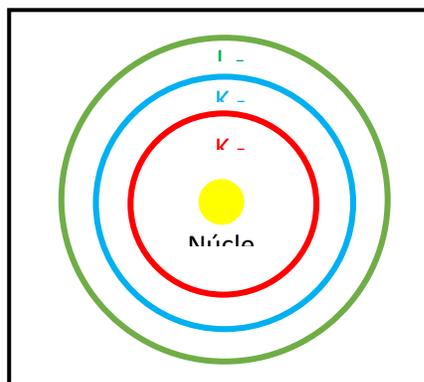


Figura 2.5 Transiciones electrónicas en la estructura de un átomo (Tomado y modificado de Arias 2009)

El pico  $K\beta$  tiene una intensidad de por lo menos  $\frac{1}{4}$  de los picos  $K\alpha$ . Las intensidades solo indican que las transiciones M-K son menos probable que las L-K. Sin embargo, cada transición M-K libera mucha más energía que una L-K, de modo que la longitud de onda  $K\beta$  es menor que la  $K\alpha$  (Cullity 1967, Grande 1996).

En cristalografía de rayos x se requiere de una radiación x monocromática, es decir una longitud de onda lo más definida posible. Cuando se hace pasar radiación x a través de una lámina metálica, los rayos x sufrirán una absorción, (igual que la luz a través de un vidrio ahumado). Esto representa

una gran ventaja debido a que permite seleccionar una gama de láminas metálicas de diferentes espesores y composición que sirvan de filtro para la radiación  $K\beta$ , dejando sólo pasar radiación  $K\alpha$  monocromática (Grande 1996).

La difracción de rayos x, es una técnica que proporciona una información detallada sobre la estructura cristalina de cualquier sólido cristalino, incluidos los minerales, por lo que probablemente es la herramienta más importante en la identificación de minerales en suelos y rocas según Benavente et al. 2012. Según Octalecki et al. 2014 señala que dentro del volumen iluminado por el haz (difracción volumen) cada grano individual (cristal) que contiene una familia de patrones, satisfaciendo la ley de Bragg usada por la técnica, produce un pico de intensidad difractada de acuerdo con dicha ley, relaciona el espaciado reticular de la partícula de acuerdo a la familia de patrones y ángulo de difracción.

### **2.3 Facies**

El vocablo “facies” en geología, y particularmente en estratigrafía y sedimentología, tiene un significado ambiguo y por ello ha sido motivo de dudas y confusión. La razón es que, a lo largo del tiempo, y según sea el campo disciplinario, se lo ha empleado con muy distintas acepciones.

En el caso del estudio del registro sedimentario pueden reconocerse diversos enfoques en la definición de una facies, algunos tienen un carácter interpretativo y otros carácter descriptivo y objetivo.

La ley o regla de Walther, llamada así por el geólogo alemán Johannes Walther (1860-1937), establece que la sucesión vertical de facies (sin discontinuidades estratigráficas) refleja la misma secuencia de facies que se

formaban lateralmente en el medio sedimentario. Se debe a que cuando hay cambios en un ambiente sedimentario - diferencia de aportes, subsidencia, variación del nivel del mar, entre otros factores - las facies que estaban sedimentándose adyacentes y yuxtapuestas se depositan encima de las otras, superpuestas, respetando el mismo orden o polaridad que tenían sobre la superficie de deposición.

Un ejemplo de esta ley es la sucesión estratigráfica vertical que caracteriza una transgresión marina, que refleja las facies que pueden verse lateralmente en un medio litoral actual, pero en una secuencia continua vertical. En un ejemplo que puede tener muchas variaciones, de abajo a arriba: empezando con facies continentales (fluviales, de delta), siguiendo con facies litorales (cordón dunar, playa, medio intermareal) y culminando con facies típicas de mar abierto (barras arenosas submareales o facies de plataforma carbonatada)

#### **2.4 Rocas sedimentarias**

Las rocas sedimentarias son el producto de la interacción de los procesos exógenos tales como meteorización y erosión con las rocas preexistentes en la corteza terrestre como lo son: ígneas, metamórficas y también sedimentarias antiguas, originando fragmentos, granos y partículas que constituyen el sedimento, el cual es transportado y continuamente modificado hasta ser depositado en una determinada cuenca sedimentaria, así como también por el producto de precipitación química de minerales de carbonato, sulfatos, fosfatos entre otros, o por actividad de organismos (Méndez, 2006).

Estas rocas son formadas a bajas presiones y temperaturas sobre la superficie de la Tierra, debido a la depositación de sedimentos por acción del agua, viento o hielo, en contraste con las rocas ígneas y metamórficas, las

cuales son formadas principalmente bajo la superficie de la tierra, donde las temperaturas y presiones son considerablemente mayores que las observadas en el ambiente superficial. Estas fundamentales diferencias en el origen de estas rocas permite diferenciarlas con base en propiedades físicas y químicas distintivas (Boggs, 2009).

Las rocas sedimentarias cubren aproximadamente las tres cuartas partes de la superficie de la Tierra. Ellas poseen un importante significado desde el punto de vista genético, debido a que sus texturas, estructuras, composición, y contenido de fósiles revelan la naturaleza de los ambientes superficiales y las formas de vida en la superficie de la Tierra en el pasado. También, desde el punto de vista económico poseen una gran importancia, debido a la gran variedad de yacimientos minerales con ocurrencia en ellas; petróleo, gas natural, carbón, sales, azufre, hierro, fosforo, incluso acuíferos importantes y otros yacimientos minerales son ejemplo de algunos productos de alto interés económico con ocurrencia en las rocas sedimentarias (Boggs, 2009).

El ciclo sedimentario engloba los procesos fundamentales que dan origen a las rocas sedimentarias. Está determinado por los siguientes procesos: meteorización, erosión y transporte, depositación, litificación, levantamiento y de nuevo meteorización. La meteorización causa la descomposición química y la ruptura física de la roca, conduciendo a la formación de minerales secundarios o neoformados tales como minerales de arcilla y óxidos; concentración de minerales primarios o resistatos como el cuarzo y el zircón y a especies químicas en solución tales como iones sodio, potasio, magnesio, además de compuestos neutros y pares iónicos, los cuales posteriormente pueden entrar en los sistemas de drenajes superficiales.

Al mismo tiempo las partículas discretas generadas por la meteorización son erosionadas y transportadas por la acción del agua y el viento. Una vez

depositados los sedimentos o partículas discretas mencionadas anteriormente, el aumento de temperatura y presión generadas debido al soterramiento, trae como consecuencia la diagénesis de los sedimentos, conduciendo a destrucción de algunos constituyentes, generación de nuevos minerales en el sedimento (minerales autigénicos) y eventualmente consolidación y litificación de los sedimentos en una roca sedimentaria (Selley, 2000; Boggs, 2009).

#### 2.4.1 Constituyentes de las rocas sedimentarias

Esta sucesión generalizada de procesos sedimentarios lleva a la generación de cuatro tipos de constituyentes fundamentales: partículas siliciclásticas o terrígenas, constituyentes químicos/bioquímicos, constituyentes carbonosos y constituyentes autigénicos, los cuales en diferentes proporciones enmarcan todas las rocas sedimentarias (Boggs, 2009).

- **Constituyentes siliciclásticos:** son fragmentos de rocas generados por explosiones volcánicas o por descomposición de rocas debido a la meteorización. Los minerales principales son silicatos tales como cuarzo, feldespato y micas. Los clastos pueden ser de rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias antiguas.
- **Constituyentes químicos/bioquímicos:** los procesos químicos y bioquímicos que operan en las cuencas sedimentarias pueden conllevar a la precipitación de minerales como calcita, yeso y apatito, así como también formación de conchas carbonáticas y silíceas de algunos organismos vivos. Estos materiales son los constituyentes de rocas como calizas, cherts, evaporitas, fosforitas entre otras.

- **Constituyentes carbonosos:** este se refiere a la materia orgánica que puede estar presente en los sedimentos producto del decaimiento de materiales como restos de animales, plantas superiores, fitoplancton zooplancton, entre otros. Una vez depositados, estos materiales serán transformados en compuestos más complejos (turberas, sustancias húmicas, bitumen y querógeno).
- **Constituyentes autigénicos:** estos incluyen a los minerales precipitados a partir de las aguas de poros dentro del agregado sedimentario durante el soterramiento o diagénesis. Estos constituyentes secundarios o autigénicos pueden incluir silicatos como el cuarzo, feldespato, minerales de arcilla y glauconita, así como también minerales no silicatados tales como calcita, barita, hematita y yeso. Ellos pueden estar presentes en cualquier tipo de roca sedimentaria, pero nunca constituyen gran parte de la misma.

#### 2.4.2 Composición mineralógica de las rocas sedimentarias

La mineralogía de las rocas sedimentarias es caracterizada por dos tipos diferentes de materiales: minerales resistentes o resistentes a los procesos de alteración, y minerales neoformados a partir de la descomposición química del mineral original. En este sentido, Goldich en 1938 categorizó el orden de estabilidad de los minerales de las rocas ígneas con respecto al proceso de meteorización, el cual es inverso a la serie de reacción de Bowen. El orden de estabilidad es presentado en el siguiente esquema donde la dirección de la flecha indica menor estabilidad:

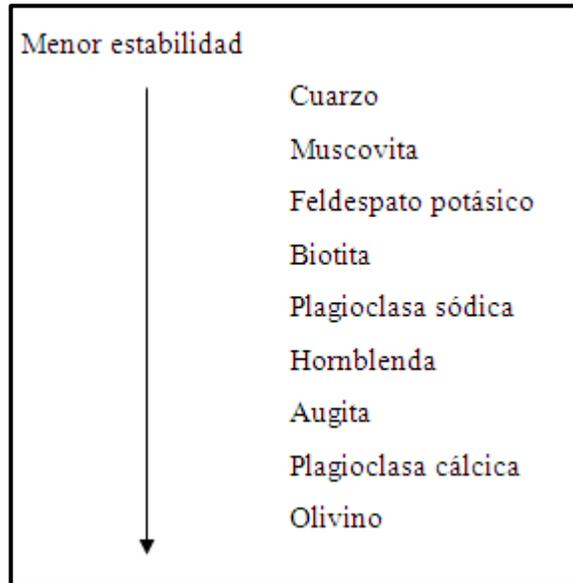


Figura 2.6 Estabilidad de los minerales presentes en las rocas sedimentarias (Tomado y modificado de Azar 2015)

El número total de los minerales en el registro sedimentario es muy alto. Sin embargo, los minerales más comunes en tales rocas pueden generalizarse en: cuarzo, feldespato, calcita, dolomita, minerales de arcilla y oxihidróxidos de hierro y aluminio. La gran cantidad de minerales restantes representan muy poca proporción de las rocas con respecto a los mencionados anteriormente, exceptuando ambientes específicos (Mason y Moore, 1982).

### 2.4.3 Composición química de las rocas sedimentarias

La composición química de las rocas sedimentarias es muy variable en comparación con las rocas ígneas, debido a la gran variedad de ambientes

superficiales bajo los cuales pueden ser formadas, lo que refleja en la variabilidad química que pueden poseer dichas rocas. En términos de óxidos, se aprecia que el  $\text{SiO}_2$  puede exceder el 99% en algunas areniscas;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  puede alcanzar valores cercanos a 70% en bauxitas;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  supera el 75% en limonitas;  $\text{FeO}$  tan alto como 60% en las sideritas;  $\text{MgO}$  cercano al 20% en las dolomitas y  $\text{CaO}$  valores de 56% en calizas puras.

Así mismo, Clarke estimó la composición promedio de las rocas sedimentarias comunes (Tabla 2.1) analizando mezclas de muchas muestras individuales. La composición química promedio de las rocas sedimentarias ha sido considerada muy cercana a la de las rocas ígneas, esto considerando que todas las rocas sedimentarias han sido derivadas de las rocas ígneas por procesos de meteorización.

Tabla 2.1 Composición química promedio de rocas sedimentarias comunes (Mason y Moore, 1982)

<b>Especie</b>	<b>Promedio de rocas ígneas</b>	<b>Promedio de lutitas</b>	<b>Promedio de areniscas</b>	<b>Promedio de calizas</b>
$\text{SiO}_2$	59,14	58,10	78,33	5,19
$\text{TiO}_2$	1,05	0,65	0,25	0,06
$\text{Al}_2\text{O}_3$	15,34	15,40	4,77	0,81
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,08	4,02	1,07	0,54
$\text{FeO}$	3,80	2,45	0,30	-----
$\text{MgO}$	3,49	2,44	1,16	7,89
$\text{CaO}$	5,08	3,11	5,50	42,57
$\text{Na}_2\text{O}$	3,84	1,30	0,45	0,05
$\text{K}_2\text{O}$	3,13	3,24	1,31	0,33
$\text{H}_2\text{O}$	1,15	5,00	1,63	0,77
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,30	0,17	0,08	0,04
$\text{CO}_2$	0,10	2,63	5,03	41,54
$\text{SO}_3$	-----	0,64	0,07	0,05

BaO	0,06	0,05	0,05	-----
C	-----	0,80	-----	-----
Total	99,56	100,00	100,00	99,84

----- No detectado

Las características resaltantes de la composición química de las rocas sedimentarias son, la dominancia del potasio sobre el sodio, el aluminio conservativo (en las lutitas), alta sílice en las areniscas y en los cherts, alto calcio y magnesio en los carbonatos y la predominancia del hierro en su estado férrico. Estas son algunas generalizaciones u observaciones basadas en la composición promedio, aunque pueden existir muchas excepciones (Mason y Moore, 1982).

Es claro que la distribución elemental está determinada por el tipo de roca que se esté evaluando, ya que cada una posee ambientes de formación diferentes y su comportamiento elemental varía.

## 2.5 Rocas siliciclásticas

Las rocas siliciclásticas, al contrario que las carbonáticas que generalmente se forman "in situ", se generan por procesos de erosión, transporte y depositación. Posteriormente tras su enterramiento sufren una serie de procesos diagenéticos, al igual que las rocas carbonáticas, cuya consecuencia más importante es que la roca se litifica y la porosidad por lo general se ve reducida lo que puede afectar a las condiciones de esa roca como reservorio de petróleo, agua u otros fluidos.

La mayor parte de los estudios petrofísicos desde sus inicios corresponden a los yacimientos siliciclásticos. A través de la Tabla 2.2 se pueden apreciar específicamente algunas de las características principales de las rocas siliciclásticas.

Tabla 2.2 Siliciclásticos, principales características. Tomada y modificada de Ahr (2008) y Méndez (2009)

Característica del yacimiento	Siliclásticos
Mineralogía inicial	Dominada por cuarzo y algo de modificación se puede derivar de los feldespatos
Formación	A medida que los sedimentos son desplazados, se depositan y litifican, o se compactan y cementan en roca sólida
Porosidad ( $\Phi$ ) primaria inicial	25-40%. Casi exclusivamente de tipo interpartícula
Porosidad ( $\Phi$ ) primaria final	Comúnmente 15-30% de la original. Casi exclusivamente de tipo interpartícula
Tamaño de Poro	Diámetro y tamaño de la garganta relacionado a la textura depositacional
Forma de Poro	La forma de los poros depende de la madurez textural y de las partículas
Uniformidad de tamaño de poro y forma de distribución	Relativamente uniforme y homogénea
Influencia de diagénesis	Menor- Usualmente reducción por cementación o compactación
Influencia de fractura	No presenta principal importancia en propiedades del yacimiento, pero siempre contribuyen al aumento de la permeabilidad
Estimación visual de porosidad y permeabilidad	Semicuantitativa, la estimación puede ser relativamente fácil
Relación porosidad-permeabilidad	Relativamente consistente. Puede depender de la textura de la partícula

Dentro de las rocas siliciclásticas, podemos distinguir tres tipos de componentes: Esqueleto, matriz y cemento.

- **Esqueleto:** Formado por los clastos más grandes. Según el tamaño de los mismos podemos encontrar los siguientes tipos de rocas:

- Rocas rudáceas: Formadas por clastos > 2 mm.
- Rocas samíticas: Clastos entre 0,63 y 2 mm.
- Rocas pelíticas: Clastos menores a 0,63 mm.

- **Matriz:** Formada por los clastos transportados con un tamaño inferior a los clastos del esqueleto. Generalmente encontraremos los siguientes tipos de matriz:

- Arenosa: Formada por clastos tamaño arena, pero de tamaño inferior a los del esqueleto.
- Arcillosa: En general se percibe como una matriz de tamaño marrón oscuro en la que no se aprecia el tamaño de grano.
- Micrítica: Variación de rocas carbonatadas.

- **Cemento:** Se forma por procesos diagenéticos y no por procesos de transporte y sedimentación como los anteriores. Su origen son aguas que circulan entre los poros durante la diagénesis y que tienen una concentración alta del cemento en cuestión.

### 2.5.1 Componentes del esqueleto

### **2.5.1.1 Cuarzo**

El cuarzo es el componente esquelético más abundante en las rocas siliciclásticas debido a su abundancia y resistencia a la abrasión y a la alteración química. Según su origen pueden existir distintos tipos de cuarzo que nos darán una idea de su procedencia. Los aspectos del mismo que debemos tener en cuenta son:

- Si los granos de cuarzo son cristales simples (Cuarzo monocristalino) o están formados de varios cristales con diferentes orientaciones (Cuarzo policristalino)
- Si presentan extinción ondulante o no
- Si presentan inclusiones fluidas
- Si presentan inclusiones de otros minerales
- En el caso de los granos policristalinos, si los contactos entre los cristales son rectos o suturados.

### **2.5.1.2 Feldespatos**

- **Potásicos**

Son más comunes en general que las plagioclasas en las rocas sedimentarias. Tenemos dos tipos fundamentalmente: Ortosa y Microclina.

- **Calcosódicos o Plagioclasas**

Se distinguen fácilmente por su macla polisintética y forma prismática. No se tiñen.

### **2.5.2 Clasificación de las rocas sisliclásticas**

El estudio de características como composición, selección, redondez de los clastos, y otros factores nos va a dar información importante que nos permitirá conocer el ambiente sedimentario en el que se formó la roca, si el transporte fue más o menos largo. Hay que tener en cuenta que el estudio microscópico de las rocas detríticas generalmente no nos va a indicar por sí mismo el medio de sedimentación de una roca, sino que tenemos que integrar esa información con la obtenida a escala de afloramiento (estructuras sedimentarias, fósiles) y regional (integración de la información obtenida en los distintos puntos, estudios de fotos aérea) pero la información obtenida al microscopio es muy útil porque nos permite conocer con exactitud la composición de la roca y varios detalles que en muchas ocasiones no es posible apreciar a simple vista. También es importante conocer las características de la roca tales como la porosidad o cementación porque nos permitirán conocer las posibilidades de esta como roca almacén de petróleo, agua entre otros.

Los distintos aspectos a tener en cuenta a la hora de estudiar al microscopio una roca detrítica son:

### **2.5.2.1 Tamaño de los clastos**

Debemos indicar el centil que es el tamaño mayor y la moda que es el tamaño más frecuente. En función de la moda podemos decir que la roca tiene los siguientes tipos de textura:

- Rudácea > 2 mm.
- Arenácea. Entre 2 mm y 0,0625 mm
- Lutácea < 0,0625 mm.

### **2.5.2.2 Clasificación**

La clasificación de las rocas detríticas es mucho más sencilla que la de las rocas carbonatadas.

En primer lugar, debemos tener en cuenta el tamaño de grano:

- Rocas rudáceas (conglomerados)

Lo importante es mencionar si los clastos son angulosos o redondeados (brechas o conglomerados), si son clasto o matriz soportados (nos da información importante sobre el ambiente sedimentario) y la composición de los clastos (caliza, andesitas, granito entre otros que nos da información sobre el tipo de área madre.

- Rocas Arenáceas (areniscas)

Son las que se examinan generalmente al microscopio ya que las rocas rudáceas se pueden describir a simple vista debido al gran tamaño de los clastos y en las lutáceas no se puede ver el tamaño de grano por lo general.

Para clasificar estas rocas en primer lugar debemos conocer el porcentaje de matriz (VerFigura 2.7).

- Si es mayor del 75% la roca se llama lutita.
- Si se encuentra entre un 75% y un 15% se llama waca
- Si es menor de un 15% se llama arenita.

### **Arenitas**

Se ubican en la clasificación de (Pettijohn et al., 1987), con porcentaje de matriz menor al 15% y está subdividida en cinco tipos de arenitas: arenita cuarzosa (cuarzoarenita), arenita lítica (litarenita), sublitarenita, arenita feldespática (arcosa) y subarcosa..

### **Wacas**

Son rocas con más del 15 % de matriz y menos del 75 % de matriz detrítica y en general con menos del 75 % de cuarzo. De acuerdo a la composición, las grauvacas se dividen o se clasifican en grauvaca cuarzosa (cuarzovaca), grauvaca feldespática y grauvaca lítica.

Se clasifican teniendo en cuenta los mismos criterios que para las arenitas.

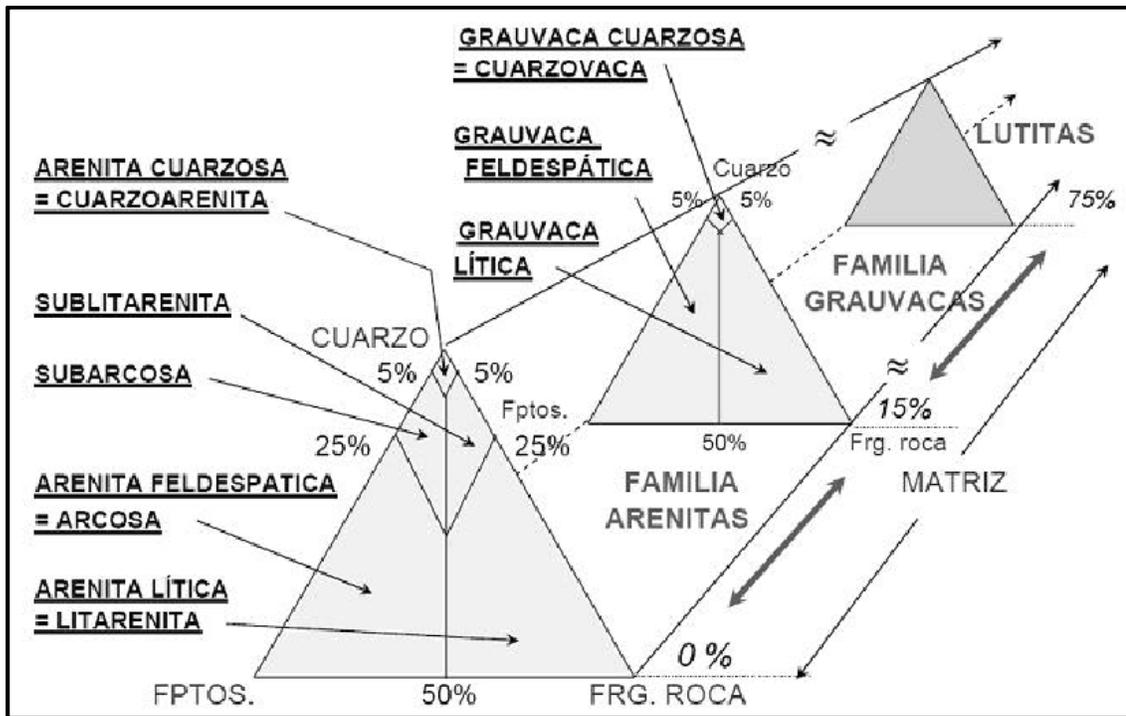


Figura 2.7 Clasificación de areniscas siliciclásticas según Pettijohn et al 1973

La interpretación de la Figura 2.7 puede ser un poco compleja. Un resumen de dicha interpretación se refleja en la Tabla 2.3, esta muestra cada uno de los tipos de roca, el intervalo de porcentaje de matriz los intervalos de porcentaje de cuarzo, porcentaje de feldespatos y porcentaje de fragmentación de roca, que puede tener cada una de las renitas, grauvacas y lutitas.

Tabla 2.3 Valores correspondientes a cada tipo de roca, tomando en cuenta la clasificación de Pettijohn et al. 1987 (Tomada y modificada de Jabbouret *al.* 2009)

<b>Tipo de familia</b>	<b>Tipo de roca</b>	<b>Cuarzo (%)</b>	<b>Feldespatos (%)</b>	<b>Fragmentos de roca (%)</b>	<b>Matriz (%)</b>
	Cuarzoarenita	$C > 90$	$0 < F < 5$	$0 < Fr < 5$	
	Sublitarenita	$50 < C < 95$	$0 < F < 25$	$5 < Fr < 25$	
<b>ARENITAS</b>	Subarcosa	$50 < C < 95$	$5 < F < 25$	$0 < Fr < 25$	Matriz < 15
	Arcosa	$0 < C < 75$	$25 < F < 100$	$0 < Fr < 50$	
	Litarenita	$0 < C < 75$	$0 < F < 50$	$25 < Fr < 100$	
	Cuarzovaca	$C > 90$	$0 < F < 5$	$0 < Fr < 5$	
<b>GRAUVACAS</b>	Grauvaca	$0 < C < 95$	$5 < F < 100$	$0 < Fr < 50$	
	Feldespática				15<Matriz<75
	Grauvaca Lítica	$0 < C < 95$	$0 < F < 50$	$5 < Fr < 100$	
<b>LUTITAS</b>	Lutita				Matriz > 75

### 2.5.2.3 Textura

En los siliciclásticos la textura de los granos depende del tamaño, sorteo o fabrica y forma, tal como se observa en la siguiente figura.



Figura 2.8 Clasificación de los siliciclásticos basadas en la textura (Modificada de Ekwere, 1995)

### 2.5.2.4 Selección

Se refiere a la mayor o menor homogeneidad en tamaño de los clastos. Un sedimento bien seleccionado es aquel en que todos los tamaños de los clastos del esqueleto son parecidos. La selección nos da una idea de la duración del transporte.

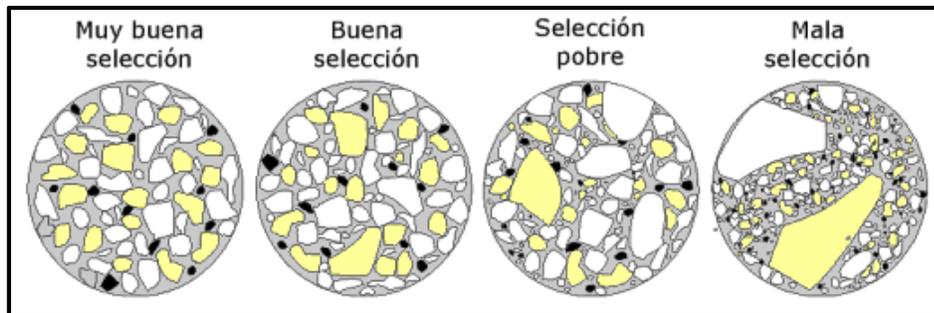


Figura 2.9 Clasificación de los siliciclásticos basadas en la selección (Tomado de Mora 2011).

### 2.5.2.5 Tipo de contacto entre los clastos

Nos indica el grado de esfuerzos y/o enterramiento al que ha estado sometido una roca. A medida que aumenta la compresión los contactos van pasando sucesivamente de puntuales a largos, concavo-convexos y suturados. Si la roca tiene mucha matriz esta impedirá este tipo de contactos entre los granos y encontraremos granos flotantes. Pueden clasificarse en:

- Contactos cóncavo-convexo
- Contactos alargados
- Contactos suturados

### 2.5.2.6 Madurez

Se refiere al grado de evolución de un material detrítico que sufre durante el transporte. El término final sería un sedimento con los minerales química y físicamente más estables y con el mayor grado de redondeamiento y selección posible. La madurez puede ser de dos tipos:

- **Textural**

Se considera:

- El % de matriz: A mayor madurez el porcentaje de matriz será menor
- Redondez: A mayor madurez mayor redondeamiento de los clastos.
- Selección: A mayor madurez mayor selección

- **Composicional**

Se considera la mineralogía de los clastos del esqueleto. Los sedimentos más maduros tendrán un porcentaje mayor de minerales resistentes, en este

sentido la clasificación de los minerales en función de su resistencia de menor a mayor, será:

- Fragmentos de rocas - Minerales ferromagnesianos - Feldespatos - Cuarzo, Chert y Minerales pesados resistentes (zircón, turmalina entre otros).

### 2.5.3 Propiedades derivadas de las rocas siliciclásticas

#### 2.5.3.1 Porosidad

La porosidad es el volumen de los poros por cada unidad volumétrica de formación; es la fracción del volumen total de una muestra que es ocupada por vacíos o poros. El símbolo de la porosidad es  $\emptyset$  (Viro, 1997).

#### Clasificación de la porosidad

- Según la interconexión de los poros:
  - Porosidad Total ( $\emptyset_t$ ): Es la relación entre el volumen de todo el espacio poral existente en la roca (poros, fisuras, fracturas, vóculos) y su volumen total (Serra, 2004).

$$\emptyset_{Total} = V_p / V_t$$

Ecuación 1

Dónde:  $V_p$  es el volumen de poro de la roca y  $V_t$  el volumen total.

- Porosidad efectiva ( $\phi_e$ ): es la porosidad accesible a los fluidos libres para desplazarse, excluyendo la porosidad no-conectada y el espacio ocupado por el agua absorbida e inmovilizada (Serra, 2004).

$$\phi_e = \phi_{Total} * (1 - V_{sh}) \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:  $V_{sh}$  = volumen total de arcilla.

- De acuerdo al origen y tiempo de depositación de los sedimentos:
  - Porosidad primaria: Su valor depende principalmente de la forma, tamaño y clasificación de los granos (Serra, 2004). El término “porosidad primaria” incluye toda la porosidad predeposicional y deposicional de una partícula, sedimento o roca. Esto también aplica a cualquier remanente de porosidad primaria (Choquette & Pray, 1970).
  - Porosidad secundaria: El término “porosidad postdeposicional” es esencialmente sinónimo de “porosidad secundaria” (Choquette & Pray, 1970). A nivel de perfiles de pozos es representado por la diferencia entre porosidad- sónico y la porosidad-densidad (y/o) neutrón, ambas corregidas por efectos de arcilla, hoyo y fluidos (Brie, *et al.*, 1985, citado en Mohamed, 1987). Esta diferencia es denominada índice de porosidad secundaria (SPI) y se calcula mediante la siguiente formula:

$$SPI = \phi_{DN} - \phi_s \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:  $\phi_{DN}$  es la porosidad densidad/ neutrón y  $\phi_s$  es la porosidad de matriz o por sónico.

Dado que la porosidad es una medida de la capacidad de almacenamiento de fluidos de un sistema, uno de los parámetros más utilizados para determinar la calidad de la roca yacimiento es, precisamente, la porosidad de la misma. En la Tabla 2.4 se muestra la variación de la calidad de la roca yacimiento en función de sus valores de porosidad.

Tabla 2.4 Calidad de la roca yacimiento en función de su porosidad. (Tomado y modificado de Da Silva 2011)

Calidad de roca	Porosidad (%)
Muy buena	>20
Buena	15-20
Moderada	10-15
Pobre	5-10
Muy pobre	<5

### 2.5.3.2 Permeabilidad

Es una propiedad que representa la facilidad con que los fluidos se desplazan a través de una formación y su símbolo (K). La unidad de permeabilidad es el “darcy” donde por ser tan grande, comúnmente se utiliza el milidarcy (md). Se describe por la fórmula:

$$Q = k * \frac{1}{\mu} * \frac{S}{h} * (P_1 - P_2) \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde: Q es el flujo de rata de cambio en cm<sup>3</sup>/s;  $\mu$  es la viscosidad del fluido en centipoise; S es el área de superficie en cm<sup>2</sup> a través del cual ocurre el flujo; P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> son presiones en atmosferas (atm) y h es el espesor a través del cual pasa el flujo.

Una roca para ser permeable debe contar con sistemas de fracturas, capilares o poros interconectados, ya que existe cierta relación entre la porosidad y la permeabilidad, siendo afectadas por los mismos factores. Ahr (2008) explica que la permeabilidad al igual que la porosidad es sensible a variaciones en la textura y fábrica de la roca e indica que la permeabilidad varía con el tamaño de grano, el sorteo y empaquetamiento de la roca. Cada 1% de cambio de porosidad al menos en yacimientos siliciclásticos, el cambio de permeabilidad es mayor en un factor de 7 a 10 (Ahr, 2008).

### **Clasificación de la permeabilidad**

- Permeabilidad Absoluta (K)

Se define como la facilidad de un medio poroso para permitir el flujo de un fluido a través del sistema poroso interconectado (Serra, 2004).

- Permeabilidad Efectiva (Ke)

Es el flujo de un fluido a través de poros interconectados en presencia de otro u otros fluidos. La presencia de un fluido humectante impide la entrada de un fluido no humectante retardando el flujo; por tanto, la permeabilidad efectiva es menor que la permeabilidad absoluta (Arn, 2008).

- Permeabilidad Relativa (Kr)

Es la relación de la permeabilidad efectiva a una saturación dada a una permeabilidad absoluta a 100% de saturación (Serra, 2004).

Las permeabilidades de las rocas varían en un amplio en un alto rango y representa un factor físico tan importante que la calidad de la roca reservorio

de hidrocarburos puede determinarse en función de la misma (Ver Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Calidad de una roca en función de su permeabilidad (Tomado y modificado de Concepción 2005, citando a Djebbar y Donaldson, 1996).

<b>Calidad de roca</b>	<b>Permeabilidad (mD)</b>
Pobre	$k < 1$
Regular	$1 < k < 10$
Moderada	$10 < k < 50$
Buena	$50 < k < 250$
Muy buena	$k > 250$

#### 2.5.4 Presión capilar

Universalmente los yacimientos que producen petróleo contienen más de una fase fluida y debido a esto existen fuerzas interfaciales y presiones que influyen en los estados de equilibrio estático y dinámico, las cuales están asociados con la curvatura de superficies interfaciales y en medios porosos los radios de curvatura de las interfaces fluidas tienen un orden de magnitud comparable con el radio del poro (Bustamante, 1998).

Esta situación de capilaridad es muy parecida a la que existe en un yacimiento si se consideran los canales porosos como tubos capilares de diferentes diámetros, distribuidos irregularmente a través del yacimiento y conteniendo tres fluidos inmiscibles: agua, petróleo y gas (Bustamante, 1998).

La presión capilar en tubo capilar varía con la saturación de los fluidos, la tensión interfacial entre ellos y la curvatura de la interfaz, esta propiedad a su vez depende de la estructura y geometría del espacio poroso y la mojabilidad de la superficie. La relación es expresada mediante la siguiente ecuación:

$$P_c = \frac{2\gamma}{\cos\theta R} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:  $\gamma$  es la tensión interfacial entre dos fluidos (mN/m).  $\theta$  es el ángulo de contacto medido a través de la fase más densa ( $^\circ$ ) y R el radio del tubo capilar (m).

Esta ecuación es conocida como la ecuación de Young o Laplace, la cual es un caso especial de una relación más general, que constituye la ecuación básica de la capilaridad y fue deducida independientemente por ambos autores (Bustamante, 1998).

Esta ecuación general va de acuerdo con la definición de presión capilar en los medios porosos como la diferencia de presión que existe entre la interface que separa a dos fluidos inmiscibles, uno de los cuales moja preferentemente la roca. Se expresa como la presión de la fase no mojante menos la presión de la fase mojante, representado por la siguiente expresión matemática (Craig, 1982).

$$P_c = P_{f_{nm}} - P_{f_m} \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:  $P_c$ : es la presión capilar,  $P_{f_{nm}}$ : es la presión de la fase no mojante,  $P_{f_m}$ : es la presión de la fase mojante,  $l_{pc}$ .

Entre los factores que afectan la presión capilar, se tiene que: el tamaño de la garganta de poro influencia la presión de desplazamiento, la interconexión del volumen de los poros afecta la saturación de agua residual y la geometría de poro y su conectividad afectan la forma de la curva de presión capilar (Leverett, 1941, citado por Kim *et al.*, 2011).

#### **2.5.4.1 Clasificación de la geometría de poros**

Hartman, Coalson y Thomas (1990) mediante la implementación y análisis de pruebas de presión capilar por inyección de mercurio propusieron una clasificación de la geometría de poros, basada en el tamaño de las gargantas porales.

El radio de las gargantas de los poros es un factor determinante, que controla la permeabilidad y las características de flujo de los yacimientos. Los diferentes tipos de perfiles de gargantas de poros pueden ser semicuantitativamente relacionados a varias características de los yacimientos, útiles en la evaluación de formaciones, tales como relación permeabilidad-porosidad, saturación de agua inmóvil, tasa de producción inicial, y un perfil de presión capilar o curva tipo de garganta de poro (Hartman and Coalson, 1990; Pittman, 1992).

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de los tipos de roca o petrofacies basada en el tamaño de la garganta poral.

Tabla 2.6 Clasificación de tipos de roca de acuerdo al tamaño de apertura del poro.  
(Coalson, Hartman & Thomas, 1990)

Petrofacies	Tamaño de garganta de poro (micrones)
Megaporoso	> 10
Macroporoso	2.5-10
Mesoporoso	0.5 - 2.5
Microporoso	0.1 - 0.5
Nanoporoso	<0.1

#### 2.5.4.2 Métodos para calificar un reservorio en función a un radio de garganta poral

A partir de datos de porosidad y permeabilidad obtenidos de análisis convencionales de núcleos el tamaño de los poros puede ser estimado, para ello existen ecuaciones empíricas implementadas y reconocidas como la de Winland (1972), cuya relación utiliza análisis de regresión lineal múltiple entre porosidad, permeabilidad y apertura del poro, correspondiente a una saturación de mercurio de 35 % (R35), esta ecuación no es recomendable en yacimientos de baja permeabilidad (Mantilla & Bueno, 2013).

La ecuación de Winland es:

$$\text{Log}(R35) = 0.732 + 0.588\log(K_{aire}) - 0.864 \text{Log}(\phi) \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde: R35 es el radio de apertura del poro (micrones) correspondiente a una saturación de mercurio de 35 %,  $K_{aire}$  es la permeabilidad al aire no corregida (mD), y  $\phi$  es la porosidad en porcentaje.

El radio de la garganta de poro R35 es una función del tamaño de la apertura y el escogimiento de las gargantas de los poros, y es considerada una buena medida de las gargantas de poros conectadas más grandes que existen en una roca con porosidad intergranular (Hartman & Coalson 1990).

Las otras ecuaciones empíricas son las de Pittman (1992), quien partiendo del concepto de Winland estableció 14 correlaciones empíricas para radios de apertura de poro correspondientes a saturaciones de mercurio de 10 a 75 %, aplicando un método similar a un conjunto de datos de 202 muestras de arenisca con un rango de edades del Ordovícico al Terciario (Marín, 2013).

Las ecuaciones de Pittman, para determinar radio de garganta de poros correspondiente a varios porcentajes de saturación de mercurio son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 \text{Log}(R10) &= 0.459 + 0.500 \log(K_{aire}) - 0.385 \text{Log}(\phi) \\
 \text{Log}(R15) &= 0.333 + 0.509 \log(K_{aire}) - 0.344 \text{Log}(\phi) \\
 \text{Log}(R20) &= 0.218 + 0.519 \log(K_{aire}) - 0.303 \text{Log}(\phi) \\
 \text{Log}(R25) &= 0.204 + 0.531 \log(K_{aire}) - 0.350 \text{Log}(\phi) \\
 \text{Log}(R30) &= 0.215 + 0.547 \log(K_{aire}) - 0.420 \text{Log}(\phi) \\
 \text{Log}(R35) &= 0.255 + 0.565 \log(K_{aire}) - 0.523 \text{Log}(\phi) \\
 \text{Log}(R40) &= 0.360 + 0.582 \log(K_{aire}) - 0.680 \text{Log}(\phi) \\
 \text{Log}(R45) &= 0.609 + 0.608 \log(K_{aire}) - 0.974 \text{Log}(\phi) \\
 \text{Log}(R50) &= 0.778 + 0.626 \log(K_{aire}) - 1.205 \text{Log}(\phi) \\
 \text{Log}(R55) &= 0.948 + 0.632 \log(K_{aire}) - 1.426 \text{Log}(\phi) \\
 \text{Log}(R60) &= 1.096 + 0.648 \log(K_{aire}) - 1.666 \text{Log}(\phi) \\
 \text{Log}(R65) &= 1.372 + 0.643 \log(K_{aire}) - 1.979 \text{Log}(\phi) \\
 \text{Log}(R70) &= 1.644 + 0.627 \log(K_{aire}) - 2.314 \text{Log}(\phi) \\
 \text{Log}(R75) &= 1.880 + 0.609 \log(K_{aire}) - 2.626 \text{Log}(\phi)
 \end{aligned}$$

Figura 2.10 Ecuaciones empíricas de Pittman (1992)

## 2.6 Fluorescencia de Rayos X (FRX)

La fluorescencia de rayos X (FRX o XRF) es la técnica clave para la caracterización de la composición de los elementos de los materiales geológicos. La última generación de instrumentación de longitud de onda dispersiva de FRX emplea un área pequeña de análisis y una etapa de XY para realizar automáticamente varias mediciones de una muestra para producir un mapa de composición química. La espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) es un método clásico para determinar los elementos principales y menores, así como algunos elementos de trazas.

Los electrones se encuentran en el átomo distribuidos en los distintos niveles y subniveles de energía. Los electrones se sitúan en estos niveles ocupando primero aquéllos de menor energía hasta colocarse todos; a este estado de mínima energía del átomo se le denomina estado fundamental.

Si ahora bombardeamos estos átomos con un haz de electrones o con fotones de rayos X, una pequeña parte de la energía se invierte en la producción del espectro característico de rayos X de los elementos que componen la muestra bombardeada.

### 2.6.1 Posibilidades del método

- **Campo de aplicación:** Es aplicable a cualquier elemento químico con número atómico mayor de 4 (berilio), aunque en los espectrómetros comerciales normalmente utilizados la zona de aplicación está limitada hasta el número atómico 9 (flúor).
- **Espectro de rayos X:** Muchas de las ventajas de esta técnica se derivan de la relativa simplicidad del espectro de emisión de rayos X. En

general, cada elemento tiene unas pocas líneas (serie K: 2-3, L: 8-12, M: 2-6), muchas de las cuales son de intensidad muy baja, y además cada serie aparece en zonas de longitud de onda muy diferentes y localizadas. La posición de las líneas no depende del tipo de compuesto en el que se encuentre el elemento (si exceptuamos los 6-8 elementos de menor número atómico), ni por su estado físico.

- **Interferencias espectrales entre líneas:** Debido a la simplicidad del espectro de rayos X, las interferencias espectrales (a no ser que exista un número muy elevado de elementos, 30-40), son relativamente infrecuentes; en el caso de que existan, hay muchas formas de evitarlas o corregirlas.
- **Efectos de absorción y refuerzo:** Los elementos que se encuentran en la muestra junto al que se desea determinar, pueden originar efectos de absorción y de refuerzo de las líneas analíticas (efectos de matriz). Estos efectos de matriz son los que más problemas causan a la hora de determinar la concentración de un elemento, existiendo distintos métodos de evitarlos y corregirlos, ya que son sistemáticos, previsibles y evaluables.
- **Método no destructivo:** Es un método de destructivo en el sentido en que la muestra no sufre daños durante el análisis. Es, asimismo, no destructivo en el sentido en que, frecuentemente, no es necesaria la toma de muestras; el equipo puede ser dispuesto para acomodar objetos de grandes dimensiones. Las muestras analizadas pueden volver a analizarse las veces que se desee sin que sufran daños (muestras patrones, piedras preciosas, pruebas judiciales, objetos de arte, antigüedades, etc.). Existen ciertas limitaciones a este carácter no destructivo, ya que ciertos materiales pueden deteriorarse cuando están sometidos durante largos pedidos a una intensa radiación con rayos X. Así, determinados minerales, vidrios, cerámicas y

otros materiales inorgánicos pueden llegar a adquirir un color, normalmente pasajero, distinto del original.

- **Variedad de muestras:** Existen pocos métodos analíticos que permitan tal variedad de formas y tipos de muestras como la fluorescencia de rayos X. Las muestras pueden estar en forma de sólidos, pastillas, polvos, líquidos, películas finas e incluso gases. El material puede ser metal, mineral, cerámico, vidrio, plástico, tela, papel, o prácticamente cualquier tipo. La forma y el tamaño pueden ser muy variables. El método puede ser aplicado en condiciones especiales como altas y bajas temperaturas, atmósferas especiales, entre otras.
- **Rango de concentraciones.** Es aplicable en un rango extremadamente amplio de concentración y desde el 100% al 0,0001%, en los casos más favorables. Es suficiente la construcción de una única recta de calibración para todo el intervalo de concentraciones sin necesidad de dividirlo en zonas.
- **Sensibilidad:** No se puede dar una norma general pues varía según el elemento y el tipo de muestra. En general, es mayor cuanto mayor es el número atómico del elemento a analizar y menores los números atómicos de los elementos que forman la matriz.

## 2.7 Imágenes petrográficas (petrografía)

Es una herramienta que permite procesar imágenes obtenidas a partir de un escáner o microscopio mediante una cámara con la finalidad de cuantificar, caracterizar y describir rasgos petrográficos particulares (textura, mineralogía, fábrica, porosidad, permeabilidad, entre otros).

El análisis digital de imágenes consiste simplemente en la captura de imágenes digitales y posteriormente el análisis de las propiedades de las mismas (Layman. J, 2002).

### **2.7.1 Procesamiento y digitalización de imágenes**

Una imagen es la representación visual de uno o varios objetos. Procesar imágenes significa manipular información dentro la misma para hacerla más útil. El procesamiento digital de imágenes es un tipo específico de procesamiento realizado con un computador, donde la imagen debe ser convertida en una forma numérica. Este proceso se conoce como digitalización de imágenes.

### **2.7.2 Equipos**

El sistema para el AIP puede requerir de diversos dispositivos dependiendo de la elección del analista y el propósito del estudio, como, por ejemplo: un escáner de superficie plana (Roduit, 2007), escáner de diapositivas (Roduit, 2007), escáner digitalizador de películas, microscopio de luz transmitida con una cámara para capturar las imágenes, un microscopio electrónico de barrido (Roduit, 2007), microscopio de fluorescencia (Ruzyla, 1986), entre otros. Además de estos dispositivos es necesario un computador equipado con el “software” para realizar el análisis de las imágenes.

En términos generales, las imágenes son capturadas por el dispositivo y luego son transmitidas al computador, el cual debe estar equipado con el programa seleccionado para el sistema de análisis de imágenes. Si las imágenes son capturadas por la cámara conectada al microscopio; el aumento, la intensidad y polaridad de la luz deben ser estandarizadas, de modo que todas las secciones sean comparables entre sí. Finalmente, las

imágenes son guardadas como archivos de tipo TIFF (.TIF) para análisis posteriores.

- **Escáners**

Entre los dispositivos nombrados, los escáneres son muy variados, pero todos tienen en común la ventaja de obtener las imágenes con una visión general de la muestra de manera sencilla.

El escáner de diapositivas permite escanear las secciones delgadas con luz transmitida y su uso tiene muchas ventajas. Por un lado, permite la adquisición de toda la superficie de la sección delgada con un brillo constante. Por otro lado, la alta resolución (4000 dpi) ofrece un nivel de detalle que suele ser suficiente para visualizar y analizar los componentes petrográficos. El punto a considerar son las imágenes de gran tamaño, las cuales pueden superar los 100 MB (“Megabits”) para una resolución de 4500 dpi.

El escáner digitalizador de películas tiene dos ventajas en el tipo de adquisición: 1) es capaz de digitalizar toda la superficie de la sección delgada con una alta resolución, 2) no hay variación en la luminosidad desde el centro hasta el límite de la superficie digitalizada. Sin embargo, muchas imágenes adquiridas con este dispositivo, en el caso del estudio de la porosidad, no son capaces de capturar los microporos debido a que la resolución no es lo suficientemente alta para ello; además, el espesor de la sección delgada es mucho mayor al tamaño de los microporos (1 píxel es la integración de la luz transmitida a través de 30 micrones).

- **Microscópio**

La adquisición de imágenes en estos dispositivos tiene en común la ventaja de analizar diferentes campos de visión de manera más detallada, resaltando las propiedades ópticas de la muestra.

Una cámara montada en un microscopio es otra forma de “escanear” las secciones delgadas con luz transmitida o reflejada. También se puede utilizar una cámara digital si ésta se puede fijar correctamente al microscopio. La adquisición también es posible en microscopios con otra fuente de luz, tales como fluorescencia o catodoluminiscencia. Sin embargo, estos dispositivos requieren cámaras adaptadas a condiciones de poca luz. Todos poseen dos ventajas principales: 1) permiten explorar diferentes campos de visión, y 2) la calidad de la imagen digitalizada toma en cuenta las propiedades ópticas de la muestra. No obstante, la captura de las imágenes está limitada a un campo estrecho, y la resolución depende de las cámaras utilizadas. Para superar este problema es importante capturar las imágenes de manera sucesiva con algunos solapamientos. Es aconsejable tener un microscopio equipado con una platina motorizada para realizar los cambios sucesivos en la ubicación con cierta precisión. (Modificado de Roduit, 2007).

- **Análisis de imágenes petrográficas**

Tomutsa, *et al* (1989) establece que hay básicamente tres pasos para obtener los parámetros petrográficos a partir del AIP:

- 1) Preparación de la muestra para el examen microscópico.
- 2) Adquisición de las imágenes microscópicas.
- 3) Detección y análisis de las características de la imagen.

Cuando las imágenes provienen de un scanner conectado a una PC, los parámetros petrográficos son obtenidos de manera similar, sólo que la sección delgada no será fotografiada en el microscopio sino escaneada, y luego esa imagen se verá directamente en el monitor del computador (*host computer*), donde será guardada en un formato .TIF y posteriormente estudiada.

Aun cuando las imágenes sean obtenidas de manera diferente, los pasos antes mencionados deben cumplirse a objeto de obtener una información petrográfica precisa y exitosa. La calidad de la imagen tiene un efecto directo en el sistema de análisis de la imagen, permitiendo ser más precisos en la discriminación de los componentes de la misma.

## CAPÍTULO III DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 3.1 Área de estudio

Campo Boscán está situado a 40 Km. al suroeste de la ciudad de Maracaibo en el estado Zulia de Venezuela, en la cuenca del Lago de Maracaibo, como se muestra en la Figura 3.1. Cubriendo un área aproximada de 660 Km<sup>2</sup>, se ubica entre las coordenadas UTM este 156.000 – 184.000 y norte 1.136.000 - 1.172.000. El campo produce crudo asfáltico de 10,5 °API de la formación Misoa de edad Eoceno, localmente denominadas Arenas de Boscán. El yacimiento presenta un buzamiento sur-suroeste de aproximadamente 2° con variaciones en profundidad entre los 4000-9500 pies.

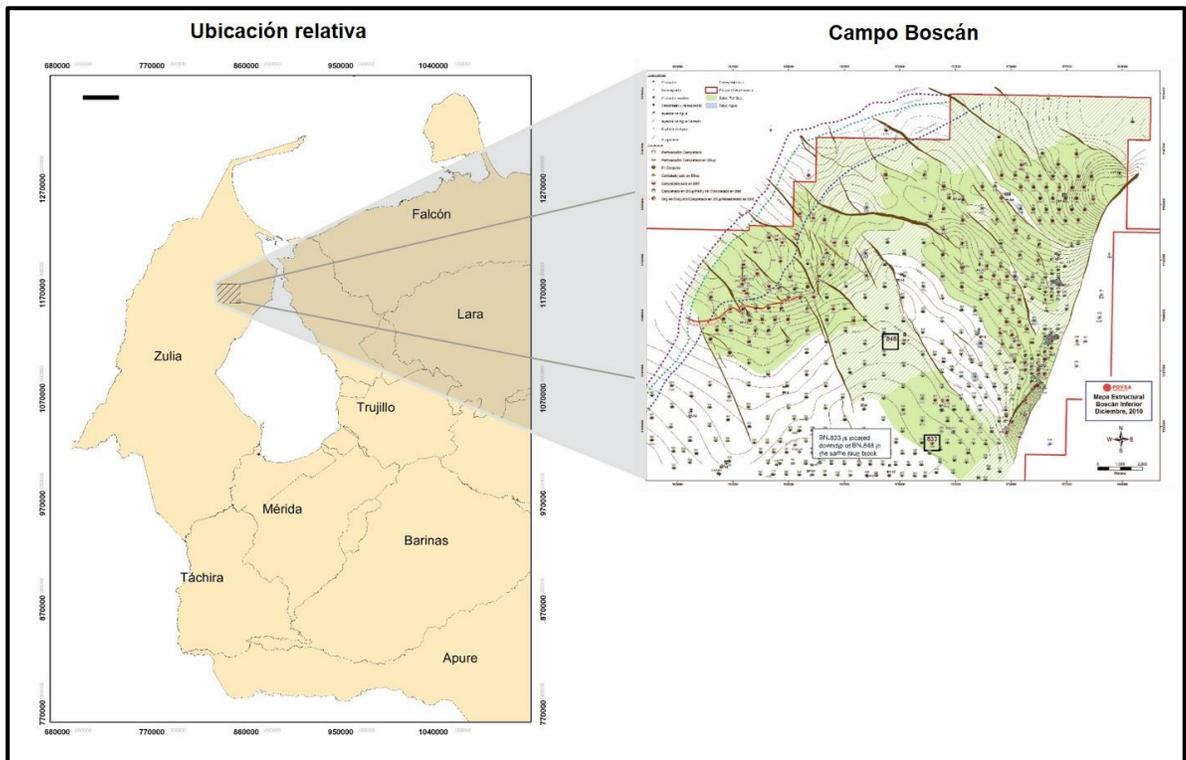


Figura 3.1 Ubicación del Campo Boscán

### 3.2 Geología estratigráfica

La sección estratigráfica principal del campo Boscán consiste de sedimentos de edad Oligoceno y Eoceno depositados en un ambiente fluvio deltaico. Los sedimentos Oligoceno comúnmente no están impregnados de hidrocarburos y son predominantes lutíticos.

Las areniscas del Eoceno son parte de la formación Misoa y forman la sección productiva del yacimiento, como se muestra en la Figura 3.2.

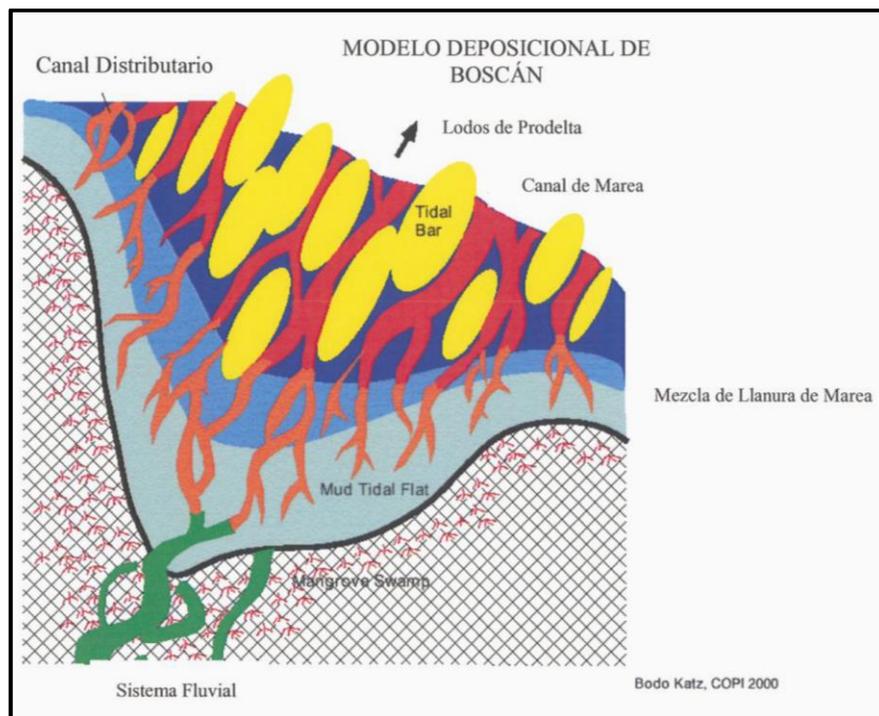


Figura 3.2 Modelo deposicional del Campo Boscán sistema deltaico proximal Mareal  
(Tomado de Morales, 2014)

Las arenas de la formación Misoa de edad Eoceno, fueron depositadas en un gran complejo fluvio deltaico influenciado por mareas cubriendo gran parte de la cuenca de Maracaibo y siendo la unidad de yacimiento principal la cual consiste primeramente de canales y barras amalgamados. La dirección de

transporte, basada en estudio regionales de núcleo es SE – NO, la relación arena neta – arena bruta esta entre 70 y 80 por ciento. En el campo Boscán, el yacimiento ha sido dividido en Boscán Superior y Boscán inferior. Estas dos unidades están separadas por la lutita de Boscán, la cual consiste de un intervalo lutítico denso, más desarrollado hacia el norte del campo y adelgazándose hacia el sur.

Litológicamente se componen de areniscas finas a gruesas, moderadamente a bien seleccionadas y poco consolidadas en el tope, a bien consolidadas en la base, con intercalaciones de limolitas - arcillitas, originadas en un ambiente fluvio deltáico con influencia de mareas.

Las arenas productivas del yacimiento Boscán superior al oeste del campo han sido truncados por la discordancia angular del Eoceno / Oligoceno, por lo que dicho miembro se acuña de esa dirección, disminuyendo de espesor. Los datos sísmicos muestran que Boscán superior e inferior se encuentra en diferentes niveles estratigráficos hacia el norte y hacia el sur del campo por lo que las arenas productivas son estratigráficamente más profundas en la parte sur del campo, aumentando también el espesor de la roca yacimiento hacia el sur.

### **3.3 Geología estructural**

Estructuralmente el campo Boscán es un monoclinal que buza hacia el suroeste. La roca de los miembros Boscán que infrayacen la discordancia Eoceno-Oligoceno, exhiben buzamiento entre 2° - 3° debido a que dicha sección involucra rasgos estructurales que son productos de los movimientos que indujeron el levantamiento y posterior erosión, representados por la discordancia. La trampa de curdo formadora de yacimiento consiste en una combinación de cierres estructurales y estratigráficos con crudo acumulado

en acuñamiento de arenas y truncamiento de canales y acumulados estructuralmente contra la discordancia del Eoceno / Oligoceno.

El anticlinal de Boscán, que constituye la estructura más importante del área. Tiene un rumbo Norte-Sur, declive hacia el sur y el cierre se efectúa poco antes de llegar al campo García. Su flanco occidental constituye el homoclinal de Boscán, de rumbo noreste y extensión regional, que buza de 8 a 10 grados hacia el suroeste.

La acumulación del campo Boscán se encuentra en una trampa estructural-estratigráfica del homoclinal de Boscán. El homoclinal está cortado al este por la falla de Boscán, que se extiende norte-sur por 40 km desde el sur del campo La Concepción hasta el campo García, y constituye un sello estructural que limita el yacimiento; es una falla normal, tiene buzamiento pronunciado hacia el este, y desplazamiento de más de 1.000' en el norte y centro del campo. Existen fallas menores, que no constituyen barreras de acumulación.

Hacia el norte y noroeste las arenas de Misoa desaparecen por truncamiento gradual de las areniscas de Boscán superior y gradación a lutitas del miembro Boscán inferior, dando lugar a trampas estratigráficas. Al sur y suroeste se encuentra un contacto agua-petróleo estimado en base a un acuífero determinado en el campo Los Clavos.

### **3.4 Producción**

La producción de petróleo se obtiene de la arena basal de la Formación Icotea y de arenas de la Formación Misoa, no bien ubicadas dentro de la nomenclatura informal. Las arenas de Icotea tienen desarrollo variable y en general buena porosidad; las arenas de Misoa son de grano fino, mal

escogidas y parcialmente arcillosas. El crudo es pesado entre 9º y 12º API. Contiene 5.5% de azufre, alto porcentaje de porfirina y trazas de níquel y vanadio.

Los espesores de arenas netas petrolíferas son mayores en la Formación Misoa, en la cual varían entre 300´ (91,44 m) y 1.200´ (365 m) que se perforan en la parte norte y centro del campo.

## CAPITULO IV

### MARCO METODOLÓGICO

En cualquier estudio científico es fundamental que el objeto de estudio, así como los hechos y relaciones que se establecen conjuntamente con los resultados obtenidos, tengan el grado máximo de exactitud, validez y confiabilidad, por lo que se requiere un procedimiento ordenado o metodología que permitan darle cumplimiento a los objetivos de la investigación en cuestión. En ese sentido, Tamayo y Tamayo (2002) señala que el marco metodológico es *“el sistema, proceso, técnicas e instrumentos empleados para la confirmación de la hipótesis y medición de las variables”*, sin embargo, el citado autor señala que *“debe considerarse el tipo de investigación o de estudio que se va a realizar, ya que cada uno de estos tiene una estrategia diferente para su tratamiento metodológico”*.

#### 4.1 Tipo de Investigación

Este aspecto se refiere a la ubicación de la investigación en las diferentes categorías de clasificación. La presente investigación puede ser clasificada a través de diferentes tipos, tal como se explica a continuación:

- **Descriptiva:** Se clasifica como de tipo descriptiva, según Hernández, Fernández y Baptista (2003) *“los estudios descriptivos permiten medir y recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos y variables a las que se refieren”*. Esta investigación se define como tal, debido a que por definición una investigación descriptiva es aquella cuyo objetivo fundamental es señalar las particularidades de una situación, hecho o fenómeno. Por consiguiente, para efectos de ésta investigación se pretende describir de manera detallada las características geológicas y petrofísicas del Pozo BN-848 del Campo Boscán, orientadas a identificar la

integración mineral, química, petrofísica y sedimentológica mediante la correlación de información del área estudiada.

- De Campo: Adicionalmente también se clasifica como Investigación de Campo según Fideas Arias (1999) porque “*consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variables*”.
- Documental: Soportada de acuerdo a la fuente que origina la información a partir de hechos con anterioridad como informes técnicos, documentos, historias de pozos, perfiles de pozo, ilustraciones y trabajos especiales de grado, entre otros.
- Analítica: Es del tipo analítica debido a que se requiere de la revisión y análisis de los datos de núcleos y registros de los pozos del área, modelo sedimentológico y petrofísico, para estimar el comportamiento del pozo y las oportunidades existentes en el área.
- Aplicado: Ya que sus resultados podrán utilizarse en la solución de algunos de los problemas que confronta el área correspondiente a Campo Boscán.

## **4.2 Diseño de la investigación**

El diseño de investigación de este trabajo especial de grado estará enmarcado en dos clasificaciones generales:

- Diseño no experimental: Según el autor Santa Palella y Feliberto Martins en 2010 definen el diseño no experimental como “El que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. El investigador no

sustituye intencionalmente las variables independientes. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos. Por lo tanto, en este diseño no se construye una situación específica si no que se observa las que existen.

- **Diseño descriptivos o exploratorios:** Son usados cuando se sabe poco sobre un fenómeno en particular. El investigador observa, describe y fundamenta varios aspectos del fenómeno. No existe la manipulación de variables o la intención de búsqueda de la causa-efecto con relación al fenómeno. Los Diseños descriptivos describen lo que existe, determinan la frecuencia en que este hecho ocurre y clasifican la información y los resultados; establecen la base del conocimiento para la hipótesis, lo que dirige para posteriores estudios tanto correlacionales, cuasi-experimentales como experimentales.

### **4.3 Población y muestra**

La población del trabajo está representada por un pozo ubicado en el Campo Boscán. La muestra utilizada para la definición de la calidad de la roca yacimiento estuvo representada por muestras de núcleo pertenecientes al pozo, así como fragmentos de núcleos, fueron utilizados para descripciones petrográficas y visuales de las rocas. Análisis convencionales fueron realizados sobre esas muestras.

Para alcanzar los objetivos propuestos del estudio de investigación anteriormente expuestos, como lo es definir la calidad de la roca yacimiento del Pozo BN-848 perteneciente al Campo Boscán se siguió un patrón de trabajo o flujograma de actividades para pautar las tareas, esa distribución fue descrita en 4 etapas principales (Ver Figura 4.1).

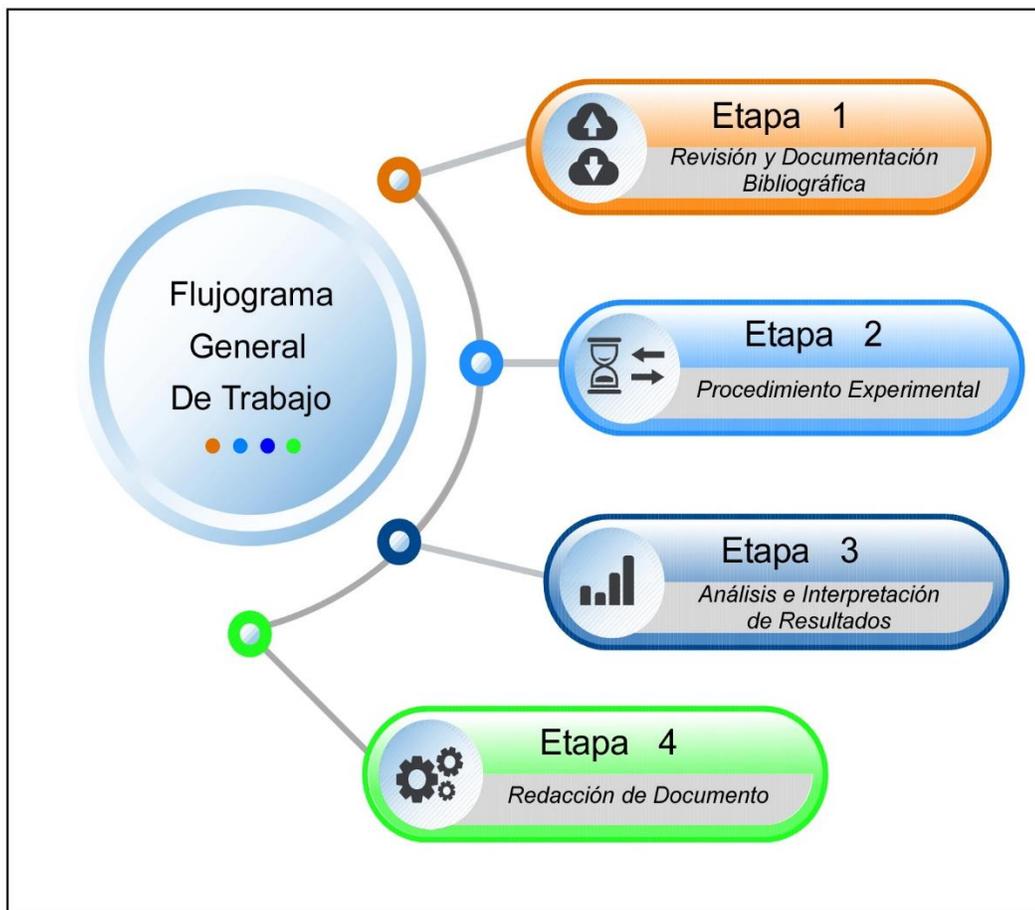


Figura 4.1Flujograma general de trabajo para la definición de la calidad de la roca yacimiento,

#### 4.4 Etapa 1: Revisión y documentación bibliográfica.

La base de datos a implementar corresponde principalmente a información sedimentológica, estratigráfica, geológica y pruebas de núcleos, suministrada por la Dirección de Exploración de PDVSA Intevep, a su vez se realizó la búsqueda en el historial de informes técnicos radicados dentro de las instalaciones y trabajos especiales de grado pertinentes al contexto de estudio. Se recopiló toda la información disponible tanto en digital como en papel mediante la elaboración de inventarios, sirviendo de insumo o siendo el

producto de la etapa en cuestión para el cumplimiento de los objetivos propuestos del TEG.

#### 4.5 Etapa 2 y 3: Procedimiento experimental y análisis e interpretación de resultados

La modalidad experimental usada en estas etapas se basó en ejecutar el análisis al muestreo en cuatro laboratorios (Figura 4.2); en los cuales se preparó, obtuvo y procesó los resultados adquiridos. A continuación, un resumen del procedimiento de cada uno y los datos que se generaron en cada ensayo:

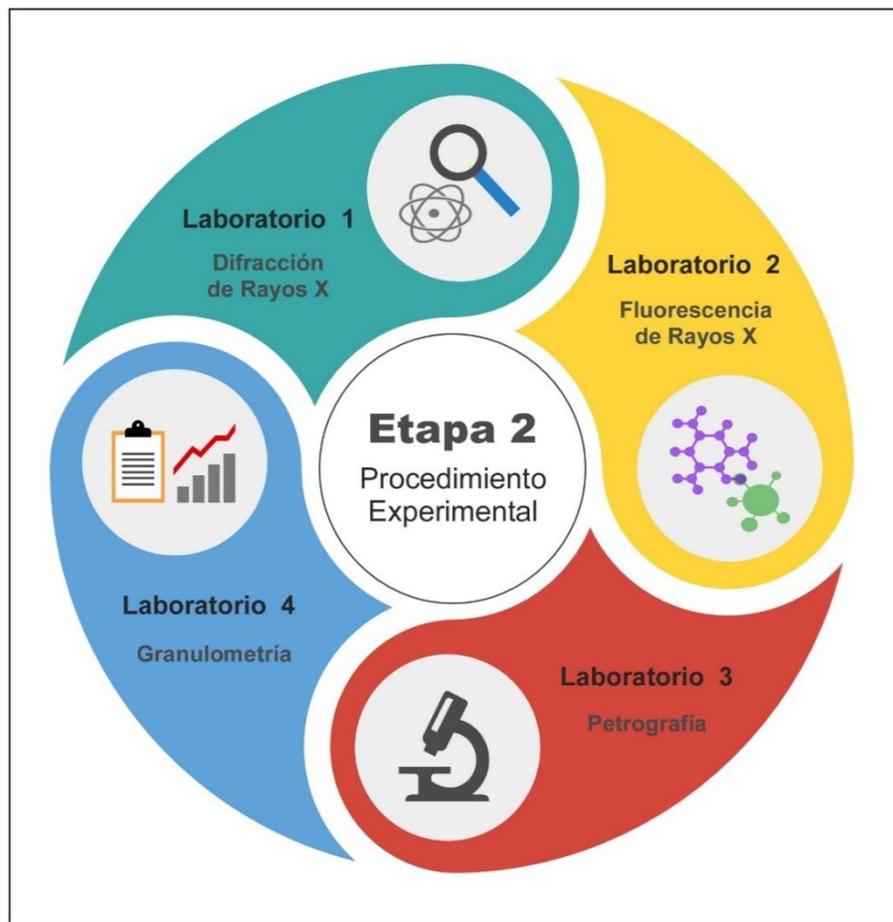


Figura 4.2 Diagrama del procedimiento experimental utilizado.

#### 4.5.1 Identificación y definición mineral por Difracción de Rayos X (DRX)

El análisis multivariables de 110 muestras por Difracción de Rayos X (DRX), consistió en la preparación, captura y análisis de los difractogramas a diferentes profundidades, consta señalar, que las muestras analizadas habían sido previamente seleccionadas por el solicitante de acuerdo a los intervalos de interés, además, la cantidad de muestra dependió de testigo dejado por los ensayos realizados en otras áreas (roca – fluido).

Los resultados obtenidos serán integrados y chequeados con el detalle sedimentológico realizado por Suárez en el 2017 para el campo (Figura 4.3), con la finalidad de elaborar un estudio detallado de la estructura del campo y la sedimentología.

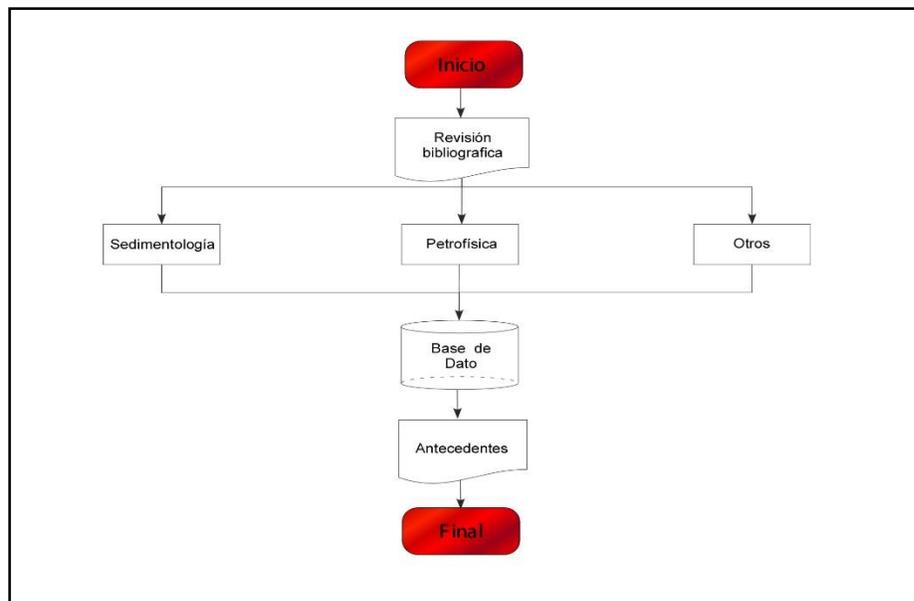


Figura 4.3 Revisión y recopilación para la interpretación del análisis mineral por DRX.

En la actualidad, es de mucha utilidad el uso de estadística para el agrupamiento y manejo del muestreo, de esta manera, llevar un control de

una cantidad finita de población. El área de geología no es la excepción en el manejo de herramientas significativas en estadística (geoestadística), facilitando la interpretación y dando bases sólidas, pero sobretodo numéricas, con un exhaustivo análisis de los datos. Dentro de este marco, la modificación de la metodología para este análisis estadístico es basada bajo el mismo principio de Montero-Serrano *et al* 2010, así mismo de las ecuaciones empleada por Aitchison en 1990, de todo esto se desprende que se emplearían las reflexiones (intensidades) y el posicionamiento del ángulo ( $2\theta$ ) para el primer agrupamiento.

En la Figura 4.4 se muestra el resumen metodológico del análisis e integración realizada para este estudio.

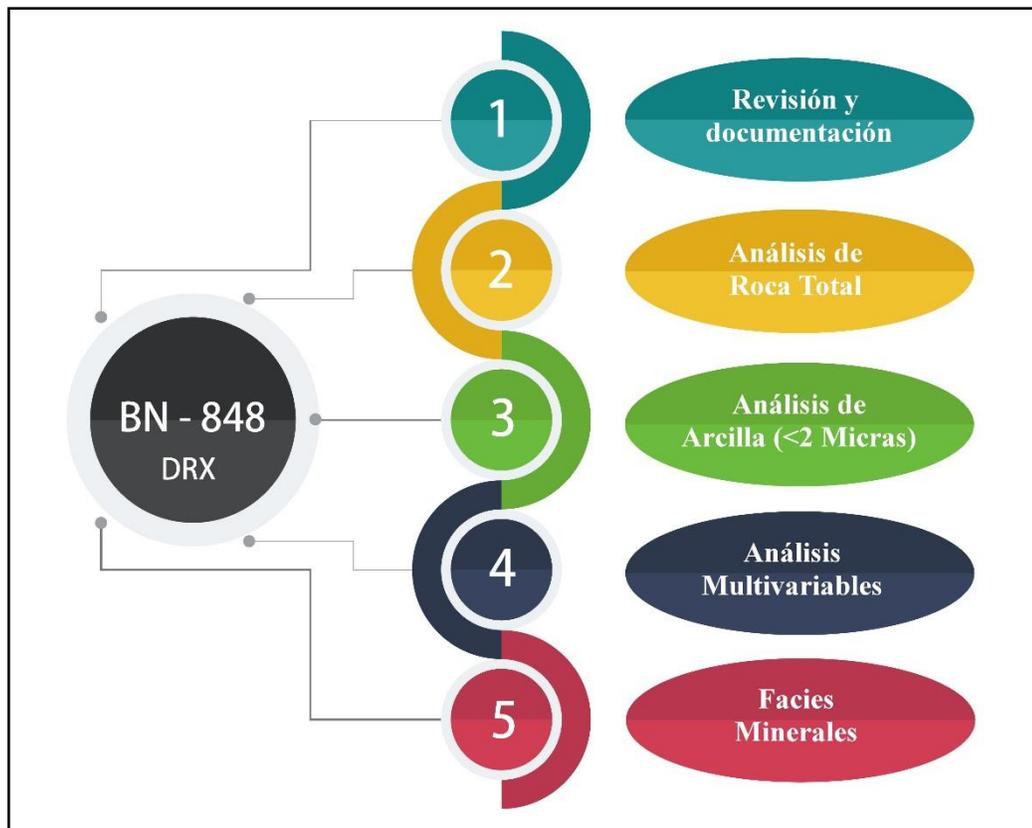


Figura 4.4 Etapas de integración y análisis de resultados de DRX en el pozo BN-848.

#### **4.5.1.1 Revisión y documentación**

Se basó la recopilación teórica y fundamentos de leyes asociadas a la espectrometría de rayos x, dando lugar a la fiabilidad del estudio y los posibles errores que pueden considerarse en la adquisición de la data.

#### **4.5.1.2 Análisis de roca total**

El fundamento de esta técnica reside en el fenómeno conocido como dispersión “scattering” de una radiación X cuando incide sobre la materia, este fenómeno radica en que parte de la radiación X incidente se desvía de su dirección original por interacción con el material irradiado según Hammond, 2001.

La Figura 4.5 señala el proceso de captura de información en la técnica de Difracción de Rayos X (DRX), específicamente el equipo integrado para la práctica, el tubo de rayos x pasando por los detectores y el goniómetro, así como otras piezas de igual importancia dentro del equipo empleado en este análisis. En la Tabla 4.1 se observan los equipo y condiciones considerados para la obtención de los diferentes difractogramas. Además, en la Tabla 4.2 se muestra las condiciones de medidas en las lecturas, señalando que los difractogramas de roca total fueron obtenidos hasta un ángulo de 45° por solicitud del cliente.

Tabla 4.1 Equipos y condiciones de medición para la obtención de los difractogramas en las 110 muestras analizadas.

EQUIPO	CONDICIONES	ROCA TOTAL (RT)
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <span style="font-size: small;">X-Perts Philips</span> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; background-color: #ff0000; color: white; margin: 5px 0;"> <span style="font-size: small;">Panalytica</span> </div>	<i>Raw Data Origin</i>	XRD measurement (XRDML)
	<i>Scan Axis</i>	Gonio
	<i>Start Position (°2Th)</i>	2,000
	<i>End Position (°2Th)</i>	45,000
	<i>Step Size (°2Th)</i>	0,05
	<i>Time per Step (s)</i>	1,000
	<i>Generate Settings</i>	20 mA, 40 kV
	<i>Anode Material</i>	Cu
	<i>K-Aplhal (A°)</i>	1,5406
	<i>K-Aplha2 (A°)</i>	1,5443

Tabla 4.2 Condiciones de medición para la obtención de los difractogramas en las 110 muestras analizadas.

Condiciones	Arcilla Seca ( ArSec)	Arcilla Glycolada ( ArGlyc)
<i>Raw Data Origin</i>	XRD measurement (*.XRDML)	XRD measurement (*.XRDML)
<i>Scan Axis</i>	Gonio	Gonio
<i>Start Position [°2Th.]</i>	2,4381	2,5084
<i>End Position [°2Th.]</i>	34,9381	34,9784
<i>Step Size [°2Th.]</i>	0,05	0,017
<i>Scan Step Time [s]</i>	100,1759	102,115
<i>Generator Settings</i>	20 mA, 40 kV	20 mA, 40 kV
<i>Anode Material</i>	Cu	Cu
<i>K-Alpha [Å]</i>	1,5406	1,5406
<i>K-Alpha2 [Å]</i>	1,54443	1,54443

La Figura 4.6 esquematiza el flujograma de trabajo para la pulverización, limpieza, montaje y captura de la muestra en polvo para análisis de roca total por difracción de rayos x.

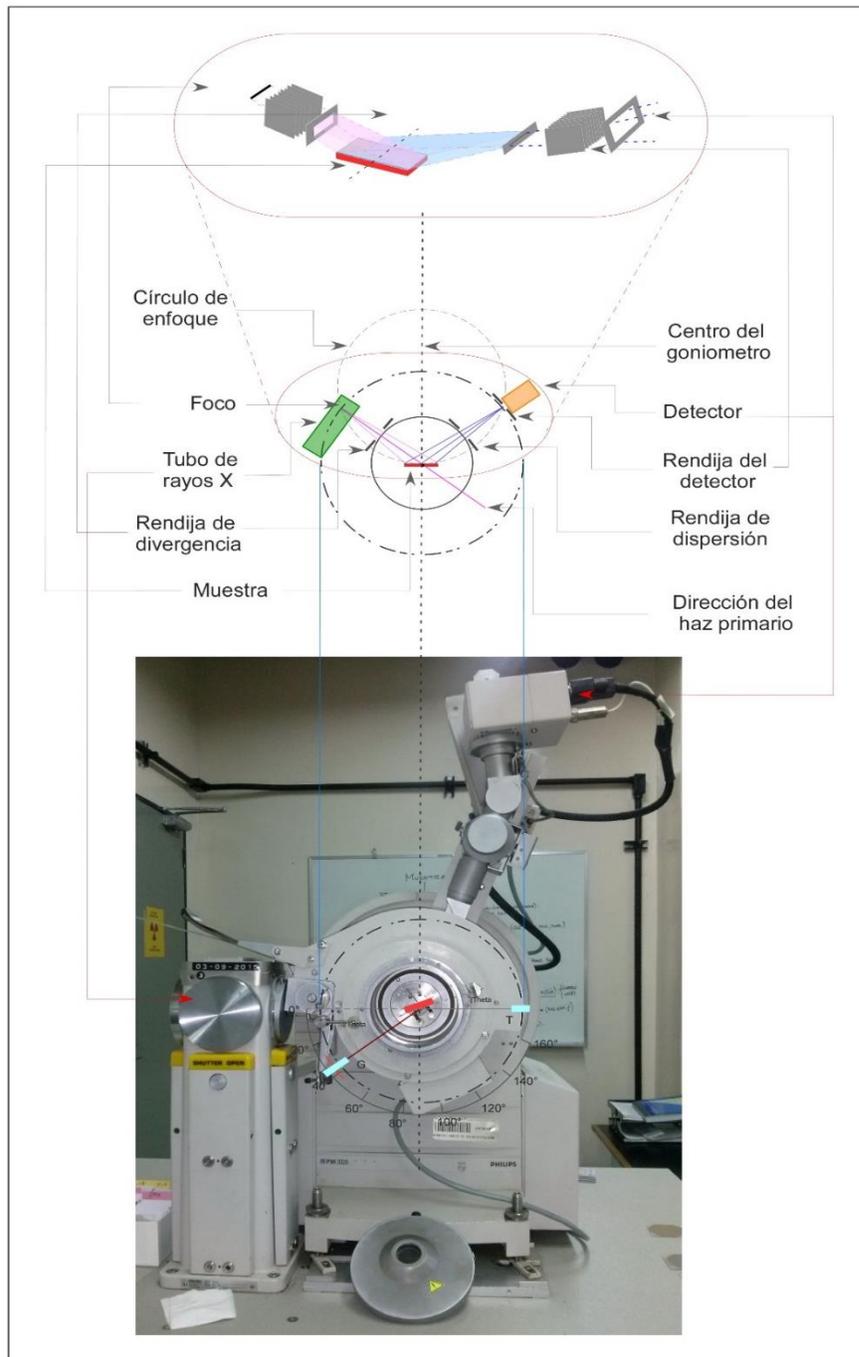


Figura 4.5 Esquema de componentes principales del equipo DRX utilizado.

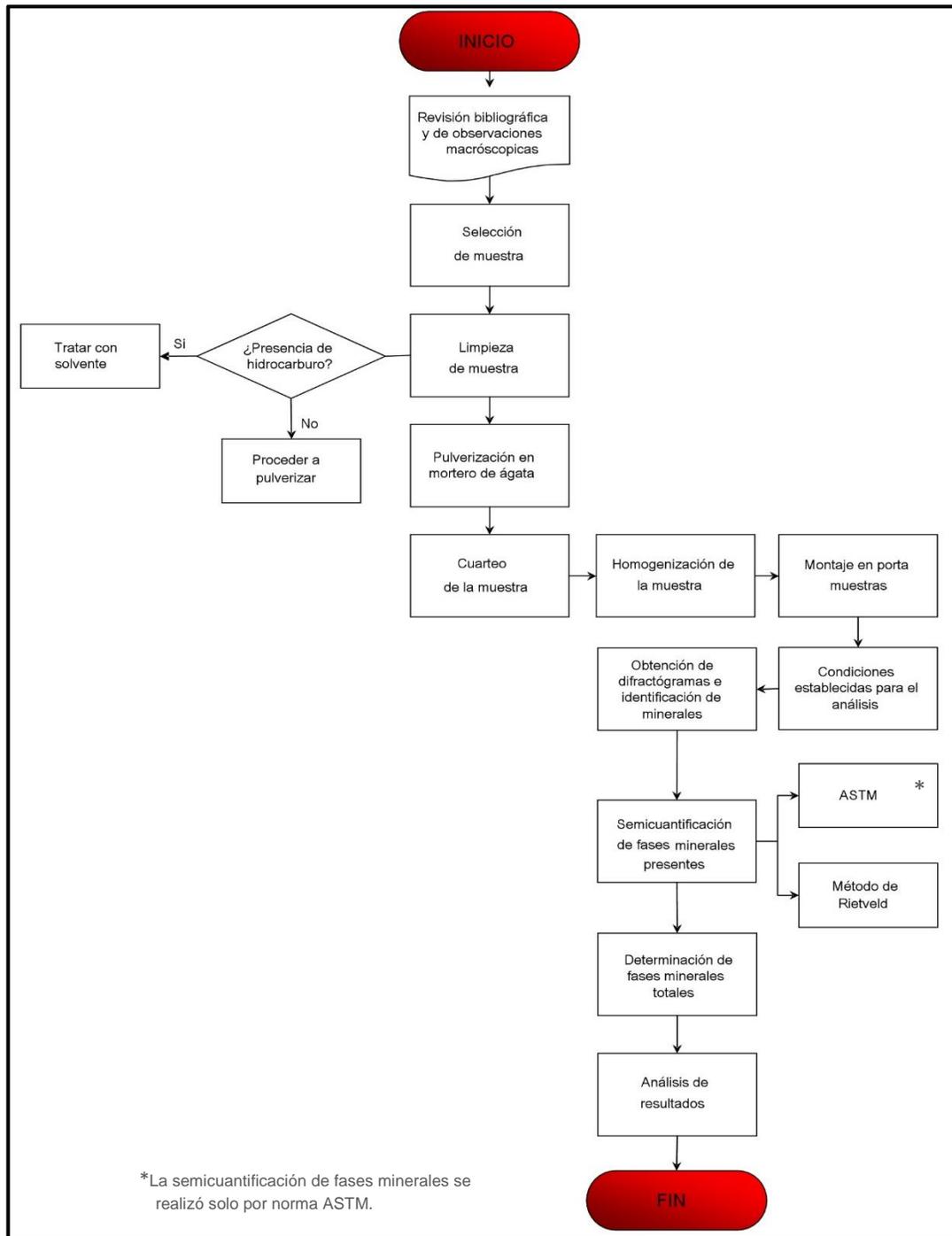


Figura 4.6 Flujograma de trabajo para la, pulverización, montaje y captura de la muestra en polvo para análisis de roca total por difracción de rayos x

#### **4.5.1.2.1 Preparación, limpieza, montaje y adquisición de difractogramas a partir de la Difracción de Rayos X en roca total (Rt)**

Una de las etapas más importantes corresponde a la preparación y limpieza de la muestra, la primera es la pulverización y homogenización de la misma y la segunda la eliminación de todos los contaminantes que puedan perturbar las señales de los filosilicatos mediante el ataque químico ( $H_2O_2$ , HCL, entre otros), en esta parte es importante tener a la mano las descripción realizada en la primera etapa pues en ella podemos tener una noción de lo que encontraremos ya sea presencia de carbonatos, óxidos o materia orgánica.

La preparación de las muestras para la captura del difractogramas de roca total se procede como los señala Brandt et al 1980, de triturar al máximo en un mortero de ágata previamente los sólidos cristalinos, este es humedecido con acetona para facilitar la tarea, luego se realiza un tamizado 300 Mesh o 400 Mesh, para de esta manera homogenizar el tamaño de las partículas (Nichols, 2009). Finalmente se coloca en porta muestras de aluminio compactándola tanto como sea posible para que la superficie sea uniforme más no lisa. Se hace el ajuste del goniómetro para el barrido requerido que en este caso fue de  $2^\circ$  hasta  $45^\circ\theta$  bajo las condiciones en la cuales se llevó a cabo cada análisis.

Una vez obtenidos los difractogramas y la lista de intensidades por ángulo se procede a la identificación de los minerales cualitativamente y cuantitativamente que se puede contabilizar con los patrones dentro del difractómetro.

De la misma manera, se procede a un análisis más a detalle de las intensidades en el difractogramas de roca total, como lo señala Brandt et al 1980, donde dice que entre los  $4^\circ$  y  $11^\circ\theta$  del barrido se presenta una zona de

picos definidos (intensidades) que indica la presencia de una fracción de arcilla, sin embargo, es estimado que la zona comprendida entre los  $7^\circ$  y  $11^\circ\theta$  indica la presencia de arcilla tipo caolinitica y aquella zona inferior a los  $6^\circ\theta$  indica la presencia de arcillas expansivas del tipo esmectita (montmorillonita). La poca definición de los picos es indicativa de un estado de cristalinidad pobre de los minerales arcillosos, lo que contribuye también al incrementar la dificultad de identificación de los mismos.

En la Figura 4.6 se observan los procesos de preparación de muestras para la determinación de las fases cristalinas totales, aunque no fue necesario la limpieza con solventes (tolueno, diclorometano y metanol), en el diagrama se hace mención debido a que este procedimiento se ejecuta en el laboratorio mineralógico de difracción de rayos X, aunado a que mayormente se orientan a muestras de canal, tapones y núcleo que a menudo contiene crudo o cualquier tipo de aceite que actúan como secuestrantes y ocultan las intensidades de los minerales presentes.

La semicuantificación de las fases minerales se realizó bajo las Normas ASTM C322 y C323, en cual consiste en la determinación de intensidades patrones dentro del equipo para posteriormente, aplicando la Ley de Bragg, estas puedan ser llevadas a cuantas, normalizarla y determinara el contenido de la presencia de minerales a partir de estas, una vez identificados, se cuantifica cada muestra implementando los factores de intensidad respectivas (Tabla 4.3).

Los resultados de roca total permitieron conocer el contenido mineral presentes en cada muestra. Para la obtención de arcilla es necesario saber la mineralogía total y de esta manera aplicar los diferentes procesos químicos para la eliminación de los contaminantes, tales como: carbonatos, óxido de hierro libre (Fe), sales y materia orgánica, con esta limpieza se

obtiene una mejor concentración de arcillas considerable, y lograr la identificación de los grupos de filosilicatos que se explicara más adelante.

Tabla 4.3 Factores de intensidades de minerales patrones para la cuantificación de los porcentajes de las fases minerales. (PDVSA, Intevep).

Minerales	$d\alpha_1(\text{Å})$	Angulo ( $^{\circ}2\theta$ )	$^{\circ}2\theta$ Barrido	Factor de intensidad
Arcilla	4,46	19,20	18,50 / 22,50	734,00
Cuarzo	4,26	20,80	19,50 / 21,50	4767,00
Felds - K	3,24	27,40	25,00 / 28,50	6459,00
Felds - Na	3,18	27,90		6446,00
Calcita	3,03	29,40	28,50 / 30,50	6417,00
Dolomita	2,89	30,80	29,50 / 31,50	7350,00
Siderita	2,79	32,00	31,50 / 33,00	6021,00
Pirita	2,71	33,00	32,50 / 33,50	2918,00

#### 4.5.1.3 Análisis de arcillas o fracción menor (< 2micras)

Según Fournier (1999), los filosilicatos son identificados de acuerdo los planos basales ó (00l), los demás planos hkl de los minerales de arcillas no son diagnósticos porque las estructuras de muchas arcillas son muy similares. Por lo tanto, los valores en Å de los planos basales para la identificación se tomaron de Moore & Reynolds (1989).

##### 4.5.1.3.1 Preparación, limpieza, montaje y adquisición de difractogramas a partir de la Difracción de Rayos X en fracción <2 micras

Se inicia con la disgregación de la muestra sin pulverizar, con la ayuda del mortero de ágata, ejerciendo presión sin impactar sobre la misma. Una vez disgregada esta es colocada dentro de una botella de vidrio de 200 ml, identificándola previamente.

Para la eliminación de carbonatos (calcita y sus polimorfos). Según Mikhail Ostrooumov en 1986, reseña una solución de ataque con acetato de sodio 1N a Ph: 5; el ataque se realiza en caliente para acelerar la reacción, introduciendo los envases en baño de María a una temperatura de 80 °C en un aproximado de 24 horas tiempo estimado para eliminar carbonato. Se debe agitar continuamente para evitar ataques.

Para nuestro proceso de eliminación de carbonato manejamos la metodología de Jackson *et al* 1958, que implementa la utilización de HCL y no de acetato de sodio (NaOAc, N, pH 5.0), ya que nuestros contaminantes son dolomita y siderita, de este modo el ácido clorhídrico (HCl) debe ser mayor a un 10%, es aconsejable al 15% a temperatura ambiente para ocasionar la digestión de dichos carbonatos.

En la botella de vidrio de 250 ml se agrega una cantidad mayor o igual a 5 gramos de muestra de suelo, añadiendo una cantidad de 40 ml de ácido, sin calentar, durante un tiempo de 30 minutos, revolviendo a menudo. Posteriormente, centrifugarse a más de 35 rpm, durante 5 o más minutos y decantase el líquido sobrenadante. Repítase, en caso necesario, hasta que se elimine los carbonatos. Una vez observado la no reacción del químico con la muestra proceda a lavarla con agua destilada y desmineralizada, dos lavadas son suficiente para suelos calcáreos y una lavada para suelos básicos o no calcáreos para un tratamiento óptimo.

La muestra lavada con agua desmineralizada, se procede a agitarla con la ayuda de un dispersador de ultrasonido con una amplitud mayor al 30% durante un minuto y medio, con la finalidad de homogenizarlas y separar las arcillas adheridas a las partículas dentro de la muestra. Posteriormente, es llevada a centrifugar a 15 rpm con unos pocos minutos, al culminar, proceder a trabajar con el sobrenadante de las muestras en la capa de agua. Para

realizar la separación, según Delgado *et al* 2005, se vierte la solución en el vaso del sistema de filtración y con ayuda de una bomba de vacío, se agiliza el filtrado, debido a que este puede tardar de minutos a horas. Terminada la filtración de la muestra, se retira el aparato de filtración y se procede a sacar la membrana con la fracción menor a 1 micra ( $<1\mu$ ) retenida, rutinariamente se utiliza una fracción menor a 2 micras ( $<2\mu$ ), pero al tener muy poca muestra, se necesita utilizar esta micra para obtener la mayor cantidad de arcilla posible, la cual se coloca en un porta muestra de vidrio previamente limpiado e identificado, dejándola en reposo bajo una lámpara para que seque la película arcillosa, se retira la membrana con cuidado y se procede a realizar la primera lectura en el difractograma obteniendo así la gráfica de la muestra a atmósfera seca.

Luego de la información obtenida de la arcilla en atmósfera seca, se somete a una atmósfera de etil glicol para verificar la existencia de arcillas expansivas. Esta se coloca en un recipiente de vidrio colocando 200 ml de etil glicol, y sobre esta solución se coloca una plataforma de vidrio, se tapa, dejándola macerar la muestra en esta atmósfera por 24 horas, luego de haber pasado el tiempo, se toma con ayuda de una pinza y servilleta para introducirse dentro del equipo y obtener la información correspondiente. En la figura 4.7 se observa un espectro de difracción de rayos x analizado en atmosfera seca y etil glicol, mostrando como se corre hacia ángulos más bajos el pico de los minerales expansivos una vez tratados con etil glicol.

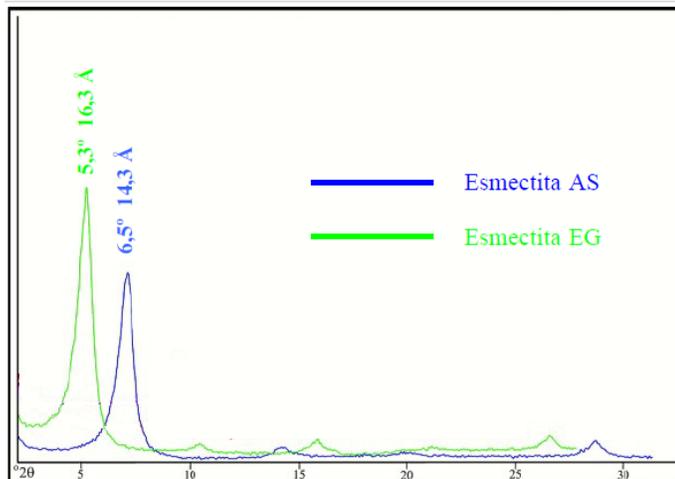


Figura 4.7 Espectro de difracción de rayos X de una muestra de esmectita en atmósfera seca y etil glicol, indicando el ángulo  $2\theta$  y su valor  $d(\text{Å})$  correspondiente al pico del mineral (Modificado Poppe *et al* 2001)

Delgado *et al* 2005, hace mención en la cuantificación de minerales de arcillas utilizar la información obtenida a partir de la muestra en atmósfera de etil glicol, debido a que de esta manera se elimina cualquier efecto de los minerales expansivos hacia el no expansivo. Esta se realiza a partir de una serie de cálculos expansivos relacionando las intensidades relativas en los planos basales de los minerales que según Fournier en 1999, los filosilicatos son identificados de acuerdo a estos planos, es decir, el plano principal, los demás planos no son diagnósticos porque las estructuras de muchas arcillas son muy similares, de manera que los valores de las distancias ( $\text{Å}^\circ$ ) de los planos basales se toman según la (Tabla 4.4).

La Figura 4.8 esquematiza el flujograma de trabajo para la disgregación, limpieza, montaje, adquisición y semicuantificación de muestra para el análisis orientado (<2micras) por Difracción de Rayos X.

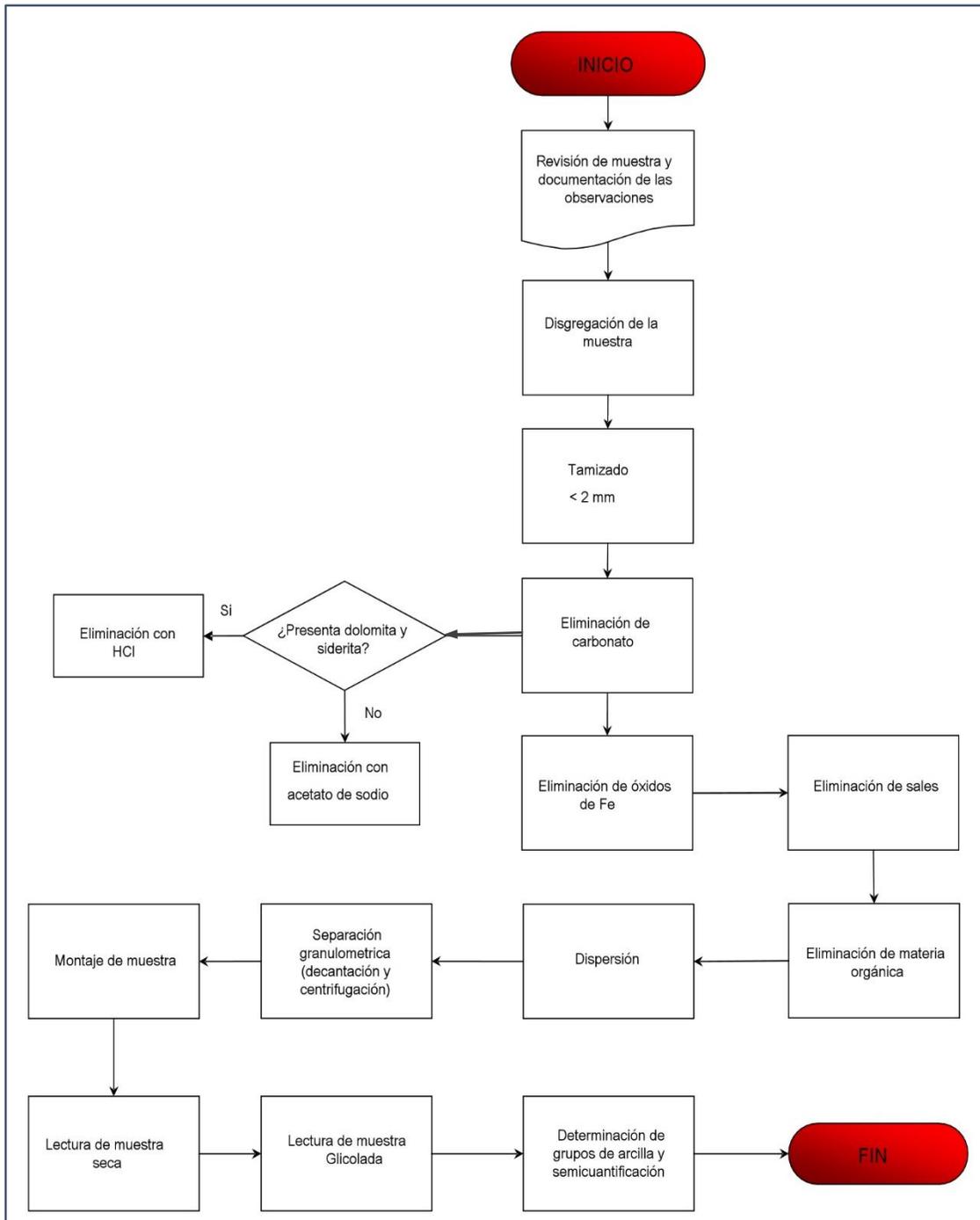


Figura 4.8 Flujoograma de trabajo para la disgregación, limpieza, montaje, adquisición y semicuantificación de muestra para el análisis orientado (<2micras) por Difracción de Rayos X.

Tabla 4.4 Tabla de intensidades de acuerdo al espaciado basal de los grupos de arcillas.

Layer type	Caolinita (Kaolinite)	Illita (Illite)	Verniculita (Verniculite)	Esmectita (Montmorillonite, Smectites)	Clorita (Chlorite)	Illita / esmectita (Illite / Smectite)
	1:1 (dioct.)	2:1 (dioct.)	2:1 (dioct. & trioct.)	2:1 (mainly dioct.)	2:1:1 (trioct)	
	7,15 Å° 001 - Strong	10,0 Å° 001 - Strong	14,2 Å° 001 - Very strong	14 - 15 Å° 001 - Very strong	14,2 Å° 001 - Medium	17 - 10 Å° 001
	3,57 Å° 002 - Strong	5,0 Å° 002 - Medium	7,1 Å° 002 - Weak	Order reflections very weak	7,1 Å° 002 - Strong	9 - 10 Å° 002
Basal reflections	2,38 Å° 003 - Medium	3,33 Å° 003 - Strong	4,75 Å° 003 - Very weak		4,73 Å° 003 - Weak	5,5 - 5 Å° 003
			3,55 Å° 004 - Weak		3,53 Å° 004 - Strong	3,5 Å° 004
					2,83 Å° 005 - Very weak	
Ethylene glycol	No change	No change	No change	17 Å° 001 - Very strong weak order reflections	No change	Expands to higher spacing
N - saturation	No change	Peaks may narrow at base	Collapses to 10 Å° will not reexpand much with ethylene glycol	Low change collapses to 11 Å°; high - change collapses to 10 Å°; some reexpansion with EG.	No change	-
525 °C - overnight	Structure destroyed - peaks disappear.	Peaks may narrow at base	Collapses to 10 Å°	Collapses to 10 Å°	001 moves to 13,8 Å° and greatly intensifies and other peaks disappear.	Collapse to 10 Å°
1N HCL - 90 °C 1 Hour	No change	No change	May dissolve if trioct	May dissolve if trioct	Dissolver - peaks disappear	-

#### **4.5.1.4 Análisis de agrupación multivariantes (DRX)**

El objetivo es la elaboración de análisis de agrupaciones (clusters) para generar un dendograma representativo y así, definir y establecer grupos con características mineralógicas semejantes.

Se realizó empleando para ello el software HighXperts que consta de una herramienta que permite agrupar, basado en relaciones minerales, los difractogramas semejantes (información mineralógica definida por el análisis de roca total), de acuerdo con esto, se definió el dendograma (Cluster). Para proceder al aguzamiento definitivo a partir de las cuantificaciones obtenidas y reportadas, entre dichos lineamientos, se promedió las facies y microfacies definidas para su análisis en el software MiniTab, normalizando e identificándolas, de acuerdo a su orden de aparición, de manera que simplificara las facies.

#### **4.5.1.5 Facies Minerales**

La metodología y procedimiento para la determinación de las facies minerales definitivas de las 110 muestras y el tipo de roca asociado a partir de sus componentes en función del agrupamiento de minerales presentes en ellas corresponde a la integración definitiva de toda la información obtenida tanto en el ensayo como en las descripciones realizadas, esta metodología ha sido aplicada en años anteriores obteniendo buenos resultados sobre todo en la identificación del tipo de roca (Martínez *et al* 2015).

El agrupamiento definitivo de las familias o facies minerales determinadas para el Pozo BN-848 serán descritas a través de la herramienta estadística MiniTab a partir del promedio mineral adquirido en el software HighXperts.

Para el agrupamiento final se tomará la semejanza o cutoff entre muestras que mejor las discrimine entre sus posibles variaciones.

#### **4.5.2 Identificación de composición química por Fluorescencia de Rayos X (FRX)**

El análisis multivariables de 19 muestras por Fluorescencia de Rayos X (FRX), consistió en la preparación, captura y análisis de los datos a diferentes profundidades. Cabe señalar, que la técnica fue aplicada a las muestras de acuerdo a un criterio de selección, esta selección se basó en la impregnación de crudo que estas mostraban de forma visual (se escogieron las muestras que se clasificaban de moderada a abundante impregnación) de acuerdo a la información suministrada con detalle sedimentológico realizado por Suárez en el 2017. Además, la cantidad de muestra dependió de testigo dejado por los ensayos realizados en otras áreas (roca – fluido).

Los resultados obtenidos en esta metodología servirán de apoyo para validar los resultados obtenidos en DRX, y así crear una data confiable en cuanto a las familias definidas para el pozo.

##### **4.5.2.1 Identificación de componentes químicos por FRX**

La espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) es un método clásico para determinar los elementos principales y menores, así como algunos elementos de trazas.

Ezpeleta (s.f) sostiene que el análisis químico se basa en el estudio de las emisiones de fluorescencia generadas después de la excitación de una muestra mediante una fuente de rayos X. Esta radiación, convenientemente colimada, incide sobre un cristal analizador (con espaciado interatómico (d)

que la difracta en un ángulo ( $\theta$ ) dependiente de su longitud de onda ( $\lambda$ ) por la ley de Bragg ( $\text{sen } \theta = n\lambda/2d$ ).

Los análisis de rutina permiten identificar elementos químicos con concentraciones superiores a unos 20-50 ppm (dependiendo del elemento y de la muestra). Sin embargo, el límite de detección puede disminuir cambiando las condiciones de análisis. La técnica de análisis por fluorescencia de rayos X convencional resulta adecuada para el análisis de muestras sólidas en diversos campos (como la geología) ya que es una técnica no destructiva y la preparación de las muestras es sencilla sin tener que dedicarle demasiado tiempo.

Las muestras seleccionadas, fueron divididas en bolsas de plástico herméticas identificadas previamente con las profundidades correspondientes, así mismo, para el análisis se contó con un muestreo limitado (5 a 8 gramos), ya que se utilizó previamente para la técnica de DRX, se realizó su montaje y adquisición del dato. Sumado a lo expuesto, cabe destacar que el muestreo está conformado por 19 ejemplares de acuerdo a la selección de interés, quedando distribuidos de la siguiente forma: 14 muestras del núcleo 1 y 5 muestras pertenecientes al núcleo 3.

La Figura 4.9 esquematiza las actividades llevadas a cabo para la obtención y uso de los resultados utilizando la técnica para determinar la composición química y dar mayor soporte a los resultados.

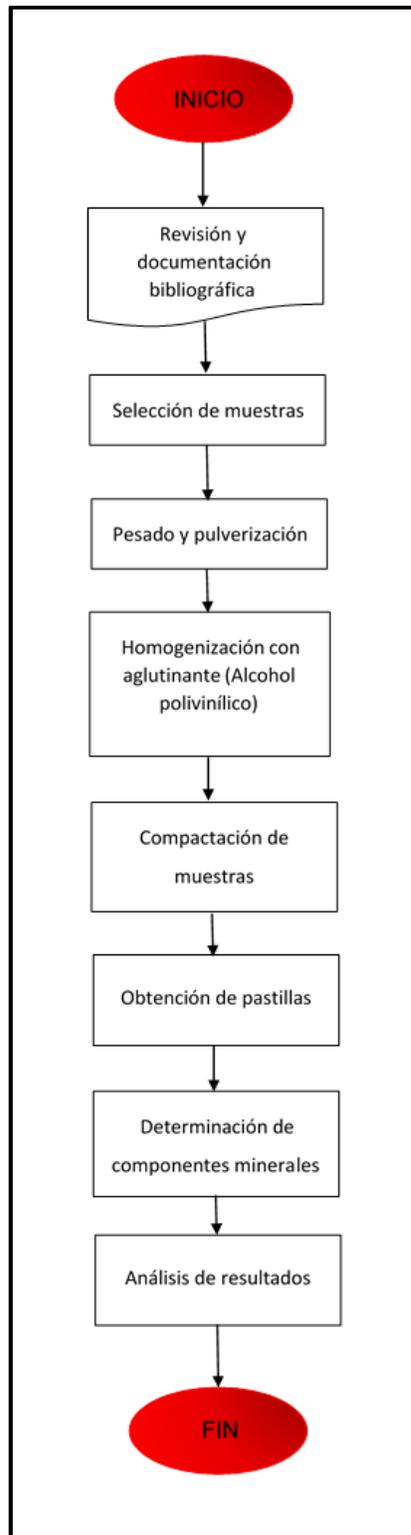


Figura 4.9Flujograma para procesamiento, obtención e identificación de los componentes químicos de muestras seleccionadas del Pozo BN-848.

El contenido en componentes mayoritarios y minoritarios de las muestras se determinó mediante Fluorescencia de Rayos X en forma de pastillas, empleando espectrometría de Fluorescencia de rayos X mediante dispersión de energía (EDX-XRF) con equipo Shimadzu EDX-720 (Ver Figura 4.10).



Figura 4.10Equipo Shimadzu EDX-720 usado en método de FRX.

El montaje y adquisición de los elementos químicos característicos de cada muestra, se realizó en un tiempo aproximado de 2 semanas; cabe señalar que la adquisición de la data se realizó de manera individual, ya que el carrusel o carrete del equipo se encontraba fuera de funcionamiento.

Posterior al cumplimiento del flujograma de trabajo, son obtenidas las composiciones minerales mayoritarias y minoritarias en partes por millón (ppm), se procede a la normalización de los valores en porcentaje para una mejor apreciación, y a su vez para generar diagramas representativos de los resultados obtenidos.

#### **4.5.2.2 Análisis de agrupación multivariable (FRX)**

Una vez conseguida la identificación de las concentraciones de los elementos químicos presentes en cada muestra se procedió al análisis multivariable o agrupamiento por similitud en función de la composición química obtenida en las diferentes profundidades del pozo, donde se utilizó el software Minitab ® para su respectiva valoración. Para el agrupamiento final se tomará la semejanza o cutoff entre muestras que mejor discrimine las familias. Es importante señalar que a través de este método se validó el agrupamiento mineral obtenido por DRX.

#### **4.5.3 Identificación e interpretación petrográfica (secciones finas)**

En esta sección del capítulo se realizó una descripción de las rocas de los diferentes núcleos basadas en el estudio al microscopio de láminas delgadas. Estos análisis se realizaron con la finalidad de conocer el tipo de roca que comprende las secuencias estratigráficas involucradas en el núcleo, los factores que controlan las variaciones de la calidad del yacimiento y las relaciones entre las características texturales y composicionales de los cuerpos de arena, a partir de los datos obtenidos de los análisis especiales y convencionales de los núcleos, ya que, no se tiene una visión clara del arreglo y tamaño del poro, así mismo como estructuras y capas de materia orgánica o crudo residual. Así posteriormente se realizó la captura y selección de las imágenes y la interpretación para las secciones finas en estudio.

Las muestras analizadas en este estudio corresponden a un total de tres (3) secciones finas, tomadas en cada uno de los núcleos estudiados del pozo (Núcleos 1 y 3 a profundidades de 7993'5" para el primer tapón y 8491' y 8508'3" para el tercero).

Para la descripción se tendrá en cuenta, con respecto a la textura: tamaño de grano promedio, tamaño de grano mínimo y máximo, porcentaje y tipo de matriz, selección y redondez. La composición de los detritos se hará teniendo presente: porcentaje de cuarzo monocristalino (Qm), cuarzo policristalino (Qp), Plagioclasas (Fp), Feldespatos alcalinos (Fk) y granos accesorios que se pudieran percibir u observaciones adicionales.

A menudo, la descripción de una sección fina por núcleo no es suficiente para determinar con exactitud el ambiente o descripciones que lo caracterizan por ello surgió la necesidad de integrar los resultados obtenidos en petrografía con DRX Y FRX.

#### **4.5.3.1 Análisis petrográfico**

En función a estudios anteriores las secciones delgadas fueron observadas bajo el microscopio de luz transmitida, con la finalidad de identificar, cuantificar y describir sus componentes (porosidad visible, granos, cemento y matriz) detalladamente. Durante este análisis cada sección delgada fue caracterizada según su tamaño de granos (mínimo y máximo), redondez, escogimiento, contacto entre los granos porcentaje visual de porosidad y tipo de porosidad según dicho porcentaje.

#### **4.5.3.2 Adquisición de imágenes**

El sistema para el AIP estuvo conformado por los siguientes dispositivos:

- Cámara digital Canon PowerShot A620 de 7.1 megapíxeles, montada sobre un microscopio petrográfico Zeiss AX105KOP 40 y conectada a un computador como un dispositivo USB. (Figura 4.11).

Las fotomicrográficas fueron capturadas con estos dispositivos mediante la aplicación PSRemote, la cual permite controlar las cámaras Canon PowerShot desde un computador con Windows. De igual manera, se establecieron valores estandarizados de aumento (2.5X, 5X, 10X y 20X) e intensidad y polaridad de la luz en el microscopio, con la finalidad de que los resultados fueran comparables en todas las imágenes de cada sección delgada.

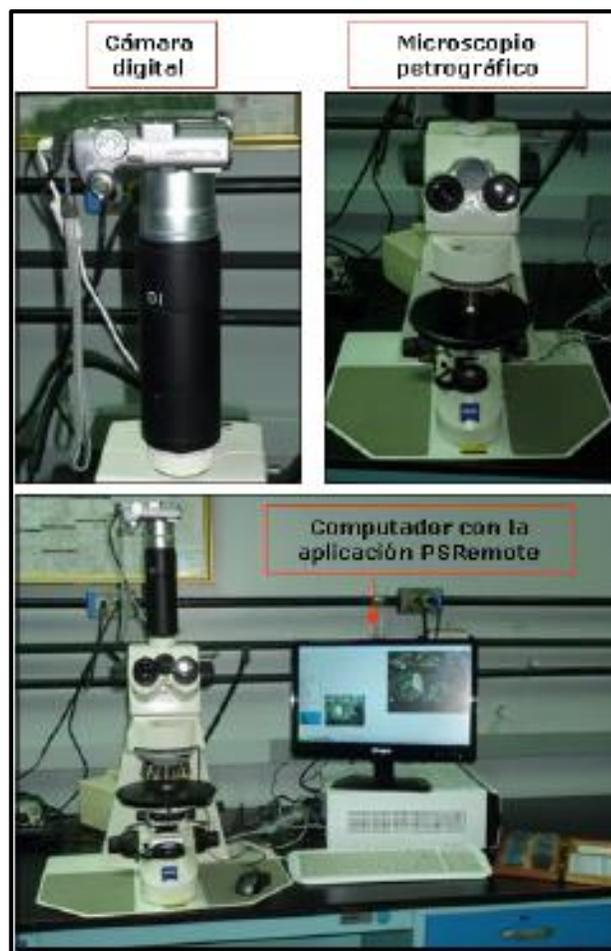


Figura 4.11 Cámara digital (Canon PowerShot A620) ubicada sobre un microscopio petrográfico (Zeiss AX105KOP 40) y conectada a un computador con la aplicación PSRemote como un dispositivo USB. (Equipo en PDVSA-INTEVEP\*) (Tomado y modificado de Palacios 2013).

A través de la Figura 4.12 se puede observar el flujo de trabajo realizado para el montaje, adquisición, descripción e integración de las imágenes procesadas para las 3 secciones finas en estudio.

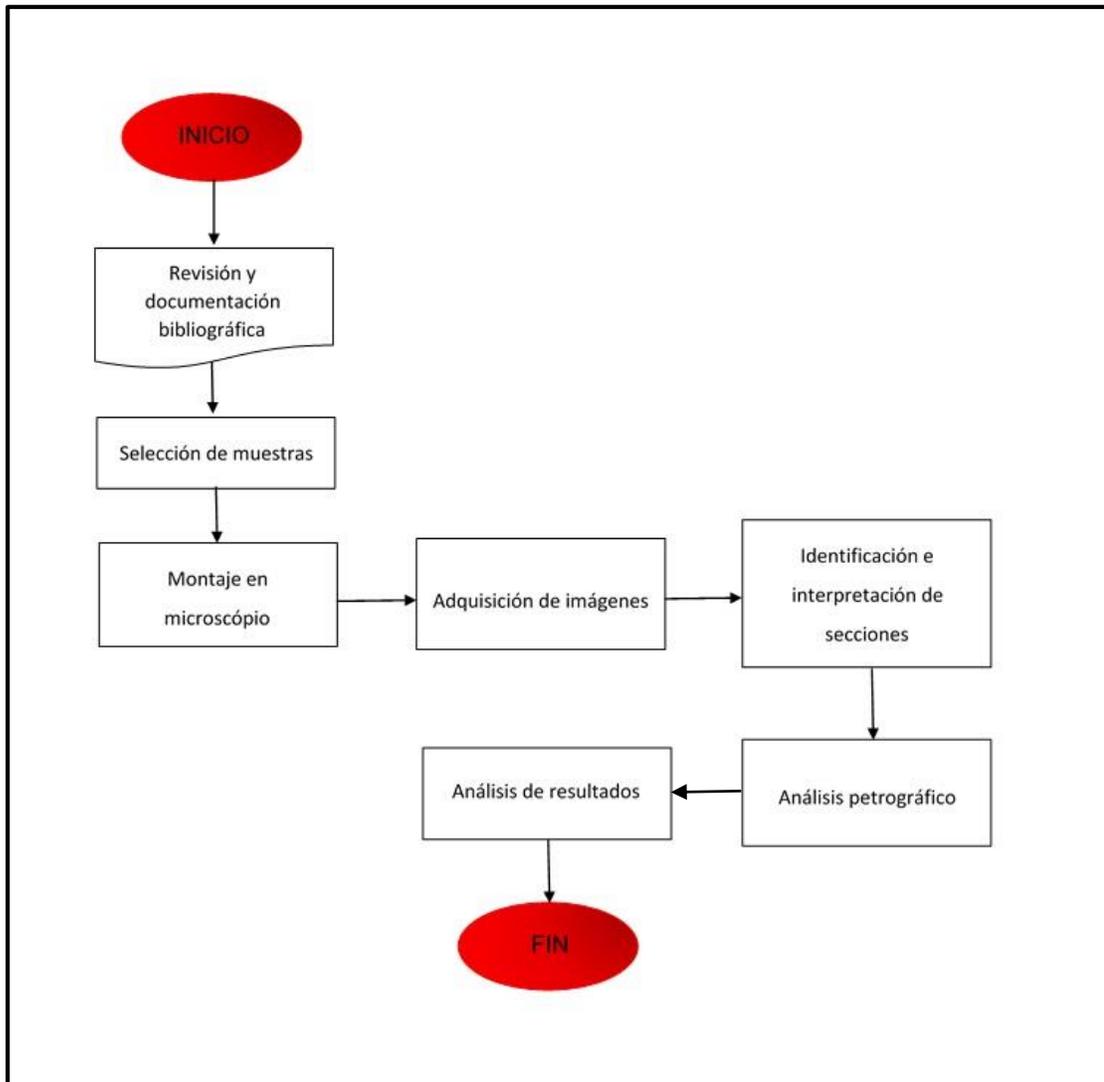


Figura 4.12 Flujograma de trabajo para el montaje, adquisición y descripción de secciones finas a diferentes profundidades (7993' 5", 8491' y 858' 3")

#### **4.5.3.3 Descripción de imágenes petrográficas**

Finalmente, en este punto, se produjo la integración de los datos adquiridos por petrografía. Estas descripciones fueron exportadas desde a una hoja de Excel (Planilla con formato designado por PDVSA Intevp), donde posteriormente se elaboró una función sencilla que permitió cada clasificación, con la finalidad de establecer los atributos esenciales para el análisis; organizando estos resultados en tablas e imágenes seleccionadas con las mejores descripciones.

Posteriormente se discutieron los resultados obtenidos y se realizaron comparaciones entre las características observadas por sedimentología y las descritas en las secciones delgadas, las imágenes analizadas con el software y los datos petrofísicos disponibles de la zona de estudio. Para concluir con base para realizar la clasificación definida por Pettijohn et al. 1987; toman cuatro componentes, tres de ellos relativos a la composición, los cuales son el cuarzo, el feldespato y los fragmentos de roca; y otro relativo al contenido en matriz detrítica.

#### **4.5.4 Estudio granulométrico para finos y gruesos**

En este procedimiento se determinó el diámetro promedio de una muestra de sólidos disgregados; para el análisis de la distribución del tamaño de grano de la muestra de roca a estudiar se utiliza el método de tamizado que permite separar los granos que conforman la muestra según el tamaño de apertura de la malla del tamiz empleado, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total.

En este sentido es pertinente resaltar que el método de análisis granulométrico se realizó a 19 muestras del pozo; las cuales se asignaron para el estudio por ser los ejemplares que presentaron características específicas de impregnación visual descrita por sedimentología. Además, que el estudio de petrográfico no se realizó a todo el pozo sino a sólo 3 secciones finas, surgió la necesidad de detallar el tamaño de grano y escogimiento de manera cuantitativa y validar la información descrita de forma visual. Aunado a esto los resultados obtenidos por DRX, FRX y petrografía dan a conocer que el muestreo se encuentra en cuerpos arenosos con mayor potencial o calidad de roca.

#### **4.5.4.1 Caracterización granulométrica**

Para la separación por tamaños se utilizaron las mallas, tamices o mesh de diferentes aberturas (20, 30, 35, 40, 50, 60, 80, 100, 170, 200 y 400) las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procedió a realizar histogramas a través del cual se conoce la distribución de la familia de partículas. De igual forma es necesario destacar que se determinó el diámetro promedio y la distribución granulométrica de manera cuantitativa de agregados gruesos y finos de muestras no consolidadas del pozo según la norma ASTM D-75 y el tamaño de grano se realizó basándose en la escala de Wentworth, 1922.

Para el cumplimiento de esta técnica se procedió a la construcción de histogramas del porcentaje de peso retenido vs el tamaño del tamiz en cuestión con la finalidad de clasificar al muestreo según la clasificación de

Wentworth, 1922. Aunado a ello se realizan diagramas que represente el promedio del tamaño de grano dominante en los ejemplares seleccionados para el método para validar los datos adquiridos en DRX, FRX y petrografía del pozo.

#### **4.5.5 Descripción de petrofacies**

El alcance del estudio se circunscribe a la aplicación de ecuaciones empíricas de Winland (1980), homologado con las facies minerales definidas para el Pozo BN-848. Se consideraron 94 muestras, correspondientes a 33, 5 y 56 de los núcleos 1, 2 y 3 respectivamente.

El análisis empleando la ecuación empírica de Winland (R35) se realizó con la finalidad de obtener los resultados de la metodología empleada para la identificación y caracterización del tipo de poro dominante a una saturación de 35% según lo planteado en el modelo matemático para areniscas y carbonatos, para lo cual se utilizaron los datos de análisis convencionales del área den estudio, específicamente se trabajó con los datos de porosidad y permeabilidad obtenidos por el equipo de caracterización petrofísica del pozo. Es importante mencionar que el análisis de petrofacies para la determinación del tamaño de garganta poral del Pozo BN-848 se realizó solo usando la ecuación de Winland a una saturación de 35% por carecer de análisis especiales (Presión capilar) que limitaron el estudio de graficar la saturación incremental, cuya herramienta se emplea con la finalidad de determinar el valor de radio de garganta de poro dominante para cada muestra, en el cual ocurre el mayor incremento en la fase no mojante asociado a las petrofacies sugeridas por Coalson.

#### **4.5.5.1 Determinación de petrofacies**

Posteriormente se construye un gráfico semi-log de porosidad vs Permeabilidad, la porosidad en escala lineal vs permeabilidad en escala logarítmica, se incluyeron isolíneas de permeabilidad/ porosidad en función de los tipos de roca o tamaño de garganta poral ( $R_i$ ). La data adquirida para estos gráficos fue suministrada por los análisis convencionales del muestreo realizado.

Finalmente se elabora un gráfico de torta, discretizando la petrofacies dominante para el pozo en estudio del Campo Boscán.

#### **4.5.5.2 Análisis del efecto de la calidad de la roca sobre las petrofacies**

Para llevar a cabo el análisis de calidad de roca y su efecto basado en las petrofacies definidas, se analiza la geometría de los poros, se presentan las propiedades petrofísicas de los tapones de núcleo estudiados, así como descripciones sedimentológicas y se integran los resultados obtenidos en DRX, FRX, petrografía y granulometría para su validación.

#### **4.6 Etapa 4: Redacción de documento**

Finalmente se integrarán todos los resultados obtenidos en los diferentes métodos de laboratorio DRX, FRX, petrografía, granulometría y petrofacies, para generar e interpretar el mejor ajuste de la calidad de la roca yacimiento del Pozo BN-848 del Campo Boscán.

## **CAPITULO V**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **5.1 Análisis e interpretación mineralógica por DRX**

Al observar los testigos para el correspondiente procesamiento por DRX, se identificó macroscópicamente que corresponden a arenas (limpias y arcillosas) y lutitas (lutitas y limolitas), por otro lado, la presencia de aceites (impregnación de hidrocarburos) en algunas muestras (< 40 muestras), también presentaron una apariencia de humedad (mojado) en ellas fue necesario realizar una limpieza con diclorometano por completo para que no perturbase las señales en roca total o muestra en polvo (Rt) principalmente, a todos ellos, se llevó un aproximado de tres semanas (Figura 5.1).

Las muestras libres de hidrocarburo y húmedas, fueron divididas en tres bolsas de telas identificadas previamente por los tres núcleos del pozo, asimismo, por contarse con poca cantidad de muestra (7 a 16 gramos) para ambos análisis, se utilizó la menor cantidad posible en Rt, estas se pulverizaron, se realizó su montaje y adquisición del dato bajo las condiciones especificadas.

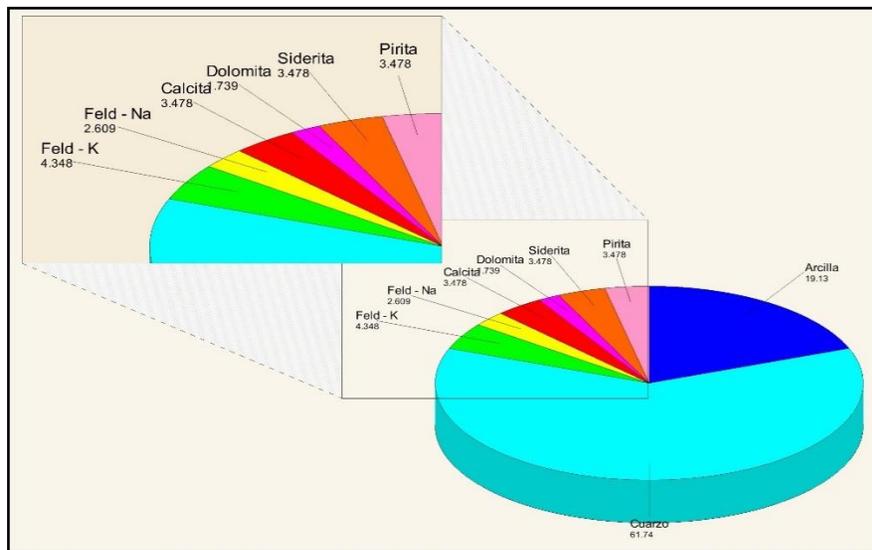


Figura 5.1 Promedio mineral de los resultados en roca total del pozo BN – 848.

El montaje y adquisición de los difractogramas con ángulos e intensidades característica, se realizó en 8 semanas (2 meses), procediendo luego al análisis multivariable o agrupamiento por similitud en función a las señales y no la mineralogía cuantificada como lo realizó Martínez *et al* 2016, si bien es cierto que es posible agruparlo de esta manera, tratándose de una cantidad mayor a 20 muestras, resultó recomendable realizar un agrupamiento por señales, en primer lugar, debido a que la semicuantificación mineral rutinaria (arcilla, cuarzo, feldespato, plagioclasa, calcita, entre otros) no se especifica el mineral de su grupo o tipo, es decir, si nos referimos a arcillas no se cuantifica que grupos de filosilicatos se tiene en las muestras, igualmente ocurre con los feldespatos potásicos y plagioclasa. Al trabajar con los ángulos y señales se da un mayor soporte y peso a las variables empleadas en el agrupamiento, aunque no sean identificados de manera concreta el nombre del mineral si es posible considerarlos por este método.

Los resultados mineralógicos de Rt promedio, logran definir que se tratan de arenas, con ciertas variaciones de porcentajes de cuarzo, además, moderado contenido de filosilicatos, y poco a escasos contenido de feldespato, pirita, calcita y dolomita, en lo que se refiere a estos dos

minerales carbonáticos, dan indicio de la existencia de dos procesos en la sedimentación (Azar, 2015).

En la Figura 5.2 se muestra un cuadro comparativo (diagrama ternario) empleado por Rodríguez *et al* 1988, donde relaciona los componentes minerales detríticos (cuarzo, feldespatos y plagioclasas), los componentes carbonáticos (calcita y dolomita), vale decir que para efecto de este análisis, las observaciones de los resultados independiente de cada muestra se logra constatar una influencia mayormente continental, puesto que puede relacionarse con la posición estratigráfica deducida de las dataciones existentes (Colmenares en 1997 y Suárez en 2017). Algunas de las características mineralógicas determinadas (aumento progresivo de los porcentajes de filosilicatos) permiten poner de manifiesto cambios en las características del área fuente, más aun, otros datos mineralógicos (contenido en carbonatos, naturaleza de los mismos.) permiten, en cambio, deducir características relativas al medio de depósito.

El diagrama ternario representa la variación mineralógica a lo largo de la columna. Se trata de una serie arenosa, en la que las muestras propiamente arcillosas de moderada a poca. Dentro de estas perspectivas, las muestra que se sitúan por encima de la línea del 60 por 100% de cuarzo (Q), feldespato potásico (FK) y plagioclasa (FNa) definido entre la zona de tono naranja y verde-azulado. El cuarzo es el constituyente detrítico fundamental en las areniscas (65-98%), en tanto que en los niveles arcillosos el porcentaje de cuarzo desciende hasta el 40% siendo los filosilicatos (A), los componentes más importantes con un 40 a 70% enmarcado en la zona verde lima. Los feldespatos y plagioclasas se reparten de forma irregular y, aunque en las areniscas se han observado feldespatos en el microscopio petrográfico, corresponden significativamente a los porcentajes detectados por difracción de rayos X.

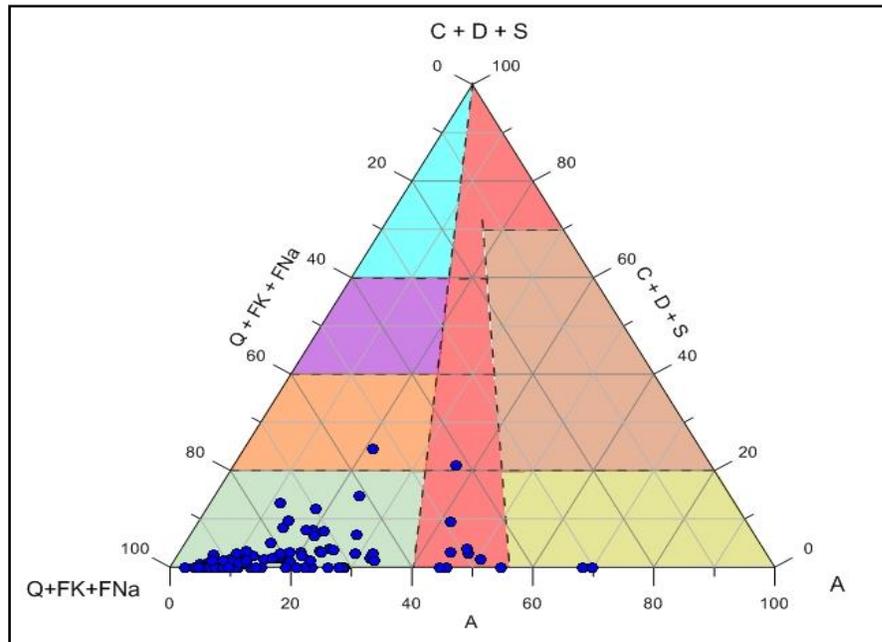


Figura 5.2 Diagrama triangular de composición mineral Rt (Tomado y modificado de Rodríguez et al 1988).

Cabe señalar que aparecen en ciertos niveles arenosos y arenosos-arcillosos., las plagioclasa (2- 4%) y en otros los feldespatos (6-20%), a veces coincidiendo en las mismas muestras con porcentajes menor (2-6%) y a veces más abundantes los feldespatos individualmente llegando a un 20% en una misma muestra.

En otros términos, los minerales carbonatitos como calcita (C), dolomita (D) y siderita (S) están representados en la zona roja con un 2-23% en toda la columna, como es obvio esta se encuentra en arenas y pocas el muestras arcillosas, no obstante, la presencia de estos minerales a diferentes profundidades e intercalaciones de arenas y lutitas de ahí que se puede inferir la influencia de aportes marinos en la secuencia, diferentes escalas, coincidiendo con el estudio de otras disciplinas en los mismo intervalos

(Suárez en 2017, Cabrera en 2017 y Cañizares en el 2017). El anexo A especifica la semicuantificación mineral de cada muestra de base a tope en Rt de acuerdo al análisis rutinario bajo la norma ASTM 323.

Finalmente, la composición mineralógica de la fracción menor de 2 micras y los análisis semicuantitativos realizados se encuentran en el anexo B, sin embargo, por razones de disposición de tiempo y otros infortunios, se seleccionaron las muestras más características para darle prioridad a los ensayos y de esta manera proceder al análisis multivariable.

La variación de la mineralogía en ciertas muestras de un tramo característico lo largo de la columna tiende a ser muy homogénea en la secuencia, tal como se pone de manifiesto en el diagrama triangular de composición. Está constituida de forma continua por la asociación caolinita (K), illita (I) y interestratificados (I/S), estas dos últimas aparece en proporción muy baja. Las variaciones observadas en la proporción de los tres constituyentes principales son independientes de la litología de la roca y por tanto de la composición mineralógica total (Rt).

La Figura 5.3 muestra los difractogramas de las 110 muestras estudiadas por esta técnica, en primer término, es notorio las semejanzas y sobreposición de las gráficas en los ángulos iguales, con cierto desplazamiento mínimo, de la misma manera ocurre en las intensidades o cuentas, por ende, la mineralogía semicuantificada presentará variaciones significativas lo que permitirá realizar el agrupamiento. Dentro de este orden de ideas, el software High Xperts consta de una herramienta que permite agrupar, basado en estas relaciones, los difractogramas semejantes, de acuerdo con esto, se definió el dendograma (Cluster) que se expone en la Figura 5.4.

En virtud con estos planteamientos, se logró agrupar las muestras en 12 familias y a su vez en 48 facies minerales en lo esencial para el agrupamiento final para lograr una relación en las facies sedimentarias (19) definida por Suárez en 2017, a través de las cuales se adquiriría un enlace entre ellas y la petrofísica, puesto que coinciden en el muestreo.

En el anexo C, se muestran los porcentajes de roca total y las facies minerales definidas en esta primera etapa, ubicadas correspondientemente en la secuencia. De estas evidencias minerales, se pueden observar que los agrupamientos coinciden con respecto a las litologías descritas en la sedimentología del pozo BN-848, dado que las identificadas como lutitas engloban las familias arcillosas definidas, inclusive, se logra identificar variaciones internas dentro del mismo estrato muestreado, es decir, microfacies minerales, en otros términos, intervalos lutíticos (62-70% arcillas y 19-29% cuarzo) y limolíticos (45-47% arcillas y 40-50% cuarzo), observando la relación del porcentaje de arcillas y cuarzo, obviamente, las microfacies minerales están definidas por la presencia de otros minerales

Mientras tanto, las otras facies minerales, como las arenas, indican origen continental e influencia marina a diferentes escalas, por esta razón, el agrupamiento se ajusta a la realidad de la secuencia, identificando familias con alto porcentaje de arenas limpias, con pocas arcillas, otras de feldespato y arcillas, o plagioclasas y pirita, por supuesto, también mezclas de calcita y dolomita.

A pesar de la definición de las familias o facies minerales y su buen ajuste en los resultados, sin lugar a duda, se puede considerar como un gran número que dificultaría su manipulación para las posibles correlaciones a nivel de pozos vecinos, a causa de esto, se procede al aguzamiento definitivo a partir de las cuantificaciones obtenidas y reportadas, entre dichos lineamientos, se

promedió las facies y microfacies definidas para su análisis en el software MiniTab, normalizando e identificándolas, de acuerdo a su orden de aparición, de manera que simplificara las facies.

La Figura 5.5 muestra en dendograma con el agrupamiento definitivo con una semejanza entre muestras de un 88% (cutoff) para las facies minerales de pozo BN-848. En otros términos, las facies definidas aquí, son el enlace con la sedimentología, validándolas con respecto a la descripción y otras técnicas complementarias. De acuerdo a lo explicado, se logró resumir estadísticamente de 48 familias a 4 facies y 10 variaciones internas (microfacies).

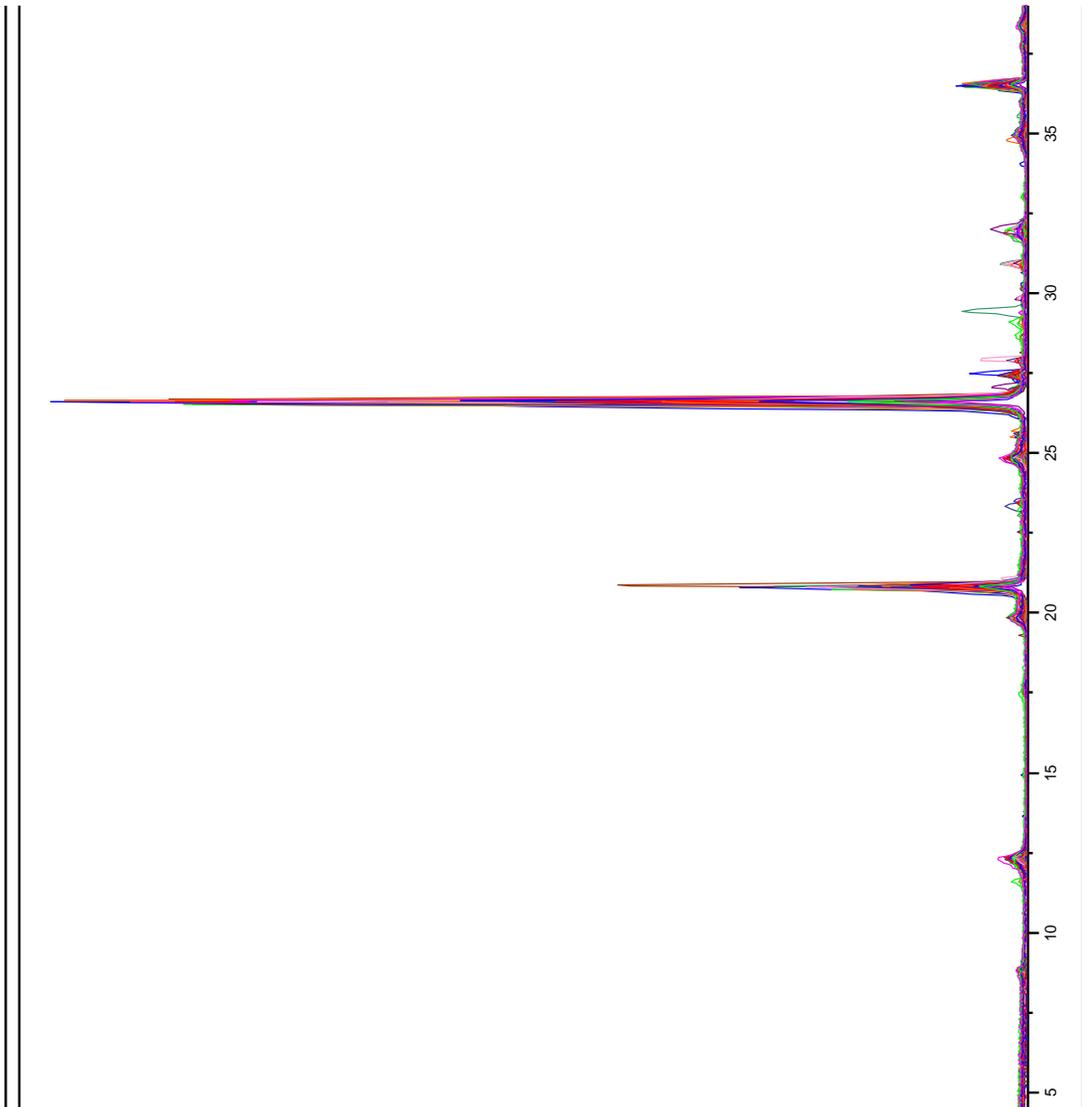


Figura 5.3 Combinación de difractogramas en roca total para el análisis multivariable.

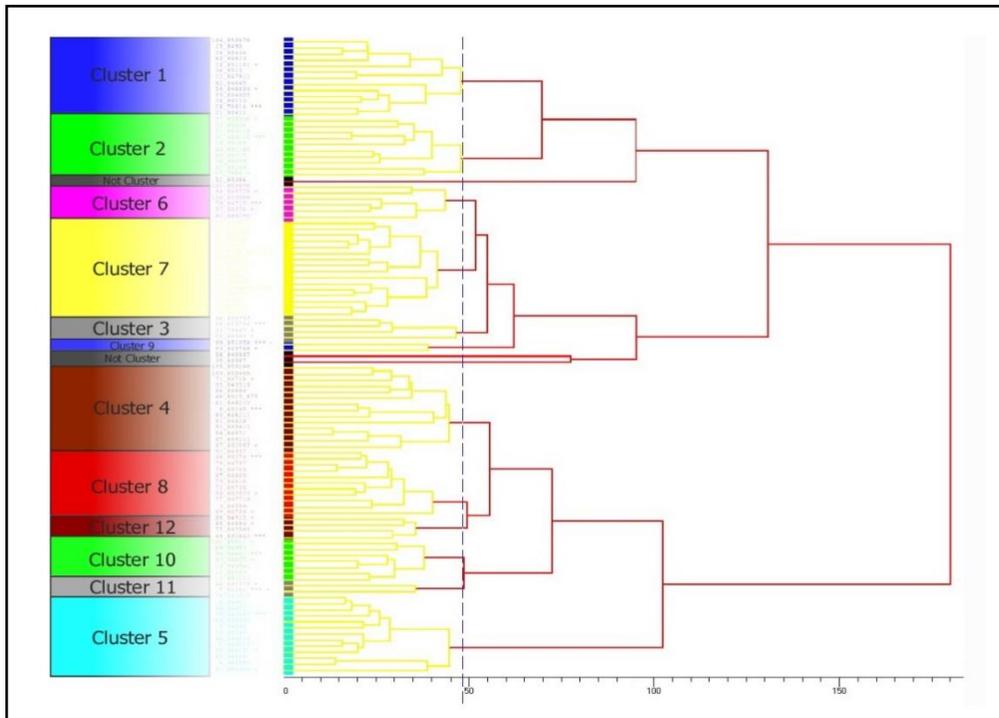


Figura 5.4 Dendrograma inicial para el agrupamiento de muestras.

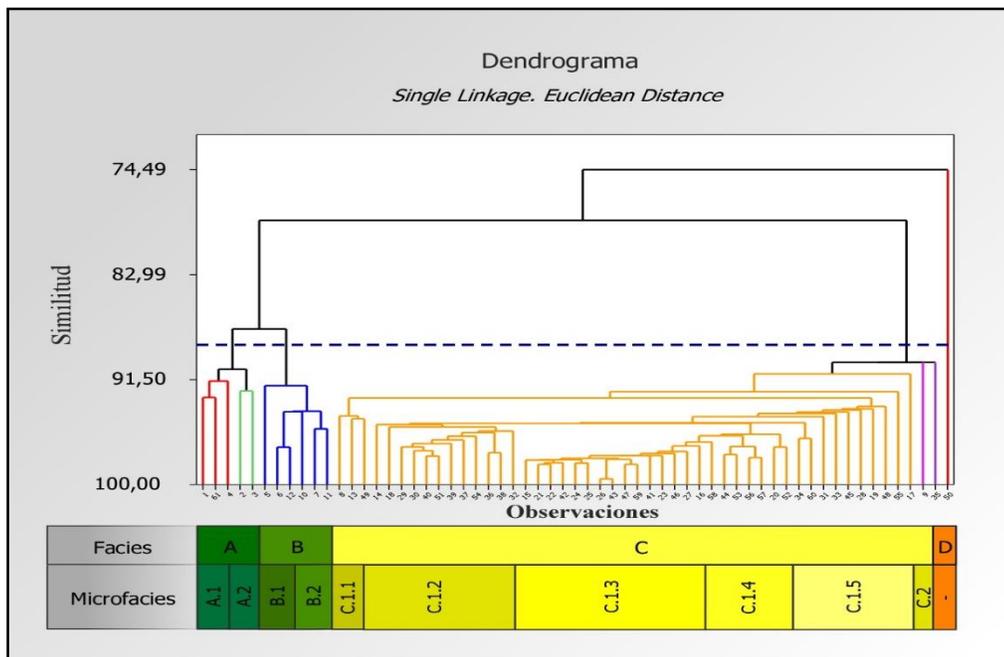


Figura 5.5 Dendrograma del agrupamiento definitivo para las facies minerales por DRX con el CutOff al 88% (línea segmentada en azul).

Naturalmente, es apreciable la relación que muestra la gráfica, en primer lugar, se identifica dos familias, señalado en una línea vertical roja y otra negra, separadas, con una similitud del 75%, de ahí se distinguen dos procesos sedimentarios diferente (Azar en el 2015). Obviamente, las familias presentan un vínculo considerable de unión, como lo muestra su porcentaje de similitud, al tratarse de ambientes continentales y marinos (Suárez, 2017), sobre la base de los resultados minerales se tratase de depósitos continentales marginales, es decir, transicional, donde la interacción de los procesos detríticos se mezclan con los procesos marinos (carbonatos), pero de manera sutil, lo que da a entender que los límites marinos son próximo costeros, a pesar que observamos en los resultados un porcentaje no mayor al 23% de calcita, reflejando de esta manera la zona más marina de la secuencia, más sin embargo, se encuentran otros intervalos marinos pero con menor escala. El análisis precedente señala a un depósito transicional con mayor dominio continental. No obstante cabe resaltar que bajo la técnica de DRX, podemos estimar el tipo de depósito que se estudia, entre dichos lineamientos minerales, se interpreta la secuencia del muestreo y especifica una posible batimetría teórica conjugando la roca total y fracción menor (<2 micras), unida a la descripción de mano antes de análisis, sin embargo, los posibles depósitos son de manera general, puesto que no se observan estructuras sedimentarias, bioestratigrafía u otra técnica analítica, que permita robustecer y concretar el ambiente sedimentario (delta, estuario entre otros).

## **5.2 Definición e interpretación de facies minerales.**

A continuación, se hace mención de las facies y microfacies minerales definidas y su correspondiente interpretación en este estudio:

### **5.2.1 Facies A**

Los resultados de las muestras @8479' 11", 8513', 8021' 3", 8040' 5.5", 8041' 2", 7991' 6", 8038' 6", 8043' 4", 8490', 8462' 3", 8511' 1", 8506' 7,25". Esta Facie se denomina lutitas kaolinitica cuarzosa, debido a un alto contenido de arcillas en relación al cuarzo, sumado a esto, las trazas de otros minerales en Rt y los grupos de filisilicatos que lo integra agrupándolas en dos microfracies.

#### **5.2.1.1 Microfacies A.1**

En lo que se refiere a esta microfacies, representa una variación del origen de la depositación (Suárez, 2017), mineralógicamente está representada por abundantes arcillas con dominio de caolinitas, moderado cuarzo y poco a escasas plagioclasas, feldespatos potásico, siderita y minerales opacos (pitita), cabe destacar que la presencia de minerales accesorio como la pirita es asociado a depósitos reductores (Perkin, 2014), sedimentológicamente asociando a depósitos de origen continental transicional como manglares, estuación, entre otros (Correns en el 1969 ). Además, la presencia de poca cantidad de siderita puede asociarse a reemplazamiento de arcillas y calizas (Perkin, 2014), dejando claro la interacción o límite entre la influencia continental y marina del modelo que es apreciable a nivel mineral. A parte de esto, la fracción menor determina que el mayor grupo de filisilicatos es la caolinita, con poco interestratificados illita-esmectita e illita.

Esta microfacies correlacionada a nivel de facies sedimentarias (Suárez en el 2017) como equivalente a LL, LC, L y A3M, las variaciones minerales del conjunto permiten obtener buena similitud. A parte de ello, a nivel de núcleo, la microfacies puede disponerse masiva o laminada (continuas, paralelas, onduladas y discontinuas) producidas por canales de desembocaduras (Pettijhon, 1964), así mismo, con porcentaje alto de carbón, confirmando que su proveniencia es de orígenes continentales con trazas de contacto marino (siderita). Finalmente, los aspectos más resaltantes pueden observarse en la Figura 5.6, sirviendo para la verificación de lo aquí mencionado a partir de los muestreos y descrito por sedimentología. Obviamente, la microfacies A1 coincide con una capa de la Facies A3M, de manera que puede añadirse las siglas  $C_{pA.1}$  de donde  $C_p$  sería las capa (<2 pulg de espesor) y A.1 la microfacies mineral de la lutita quedando  $A3MC_{pA.1}$ .

#### **5.2.1.2 Microfacies A.2**

Está caracterizada con la abundancia de filosilicatos dominado por caolinita, abundante a moderado cuarzo y poca siderita, el incremento de estos dos minerales, el carbonato ferroso ( $FeCO_3$ ) principalmente, es la razón que diferencia la microfacies A.2, aparte de ello, la escasa presencia de feldespatos potásicos.

La poca disminución de filosilicatos y el incremento del cuarzo, identifica la interacción de dos mecanismos de influencia en la sedimentación (continental y marino), correlacionado al aumento de siderita. En estos intervalos no solo es notorio la disminución de energía de los canales y la formación de barras con el leve incremento de las mareas, dando lugar a la formación de laminaciones de lutitas en algunos intervalos pueden ser onduladas, o de láminas (<2 mm de espesor) continuas y discontinuas, de arenisca de grano fina a muy fina, gris claro y buen escogimiento, sino

también, las laminaciones pueden ser capas (<1/2 pulg. de espesor), definiendo así intervalos heterolíticos con mayor presencia de lutitas que arenas.

Las facies sedimentarias asociadas a la microfacies son L, LL, H y A1P, con respecto a esto podemos señalar que las laminaciones observadas son del tipo subhorizontales y onduladas en su mayoría y en menor presencia las paralelas horizontales, donde ocasionalmente se presentan en particiones de material arcillosos antes de la deposición definitiva de estas. Como se observó en la microfacie A1, se observan capas en la facies A1P, por este sentido, se le suma la sigla C<sub>pA.2</sub> quedando A1P C<sub>pA.2</sub> (Figura 5.7).

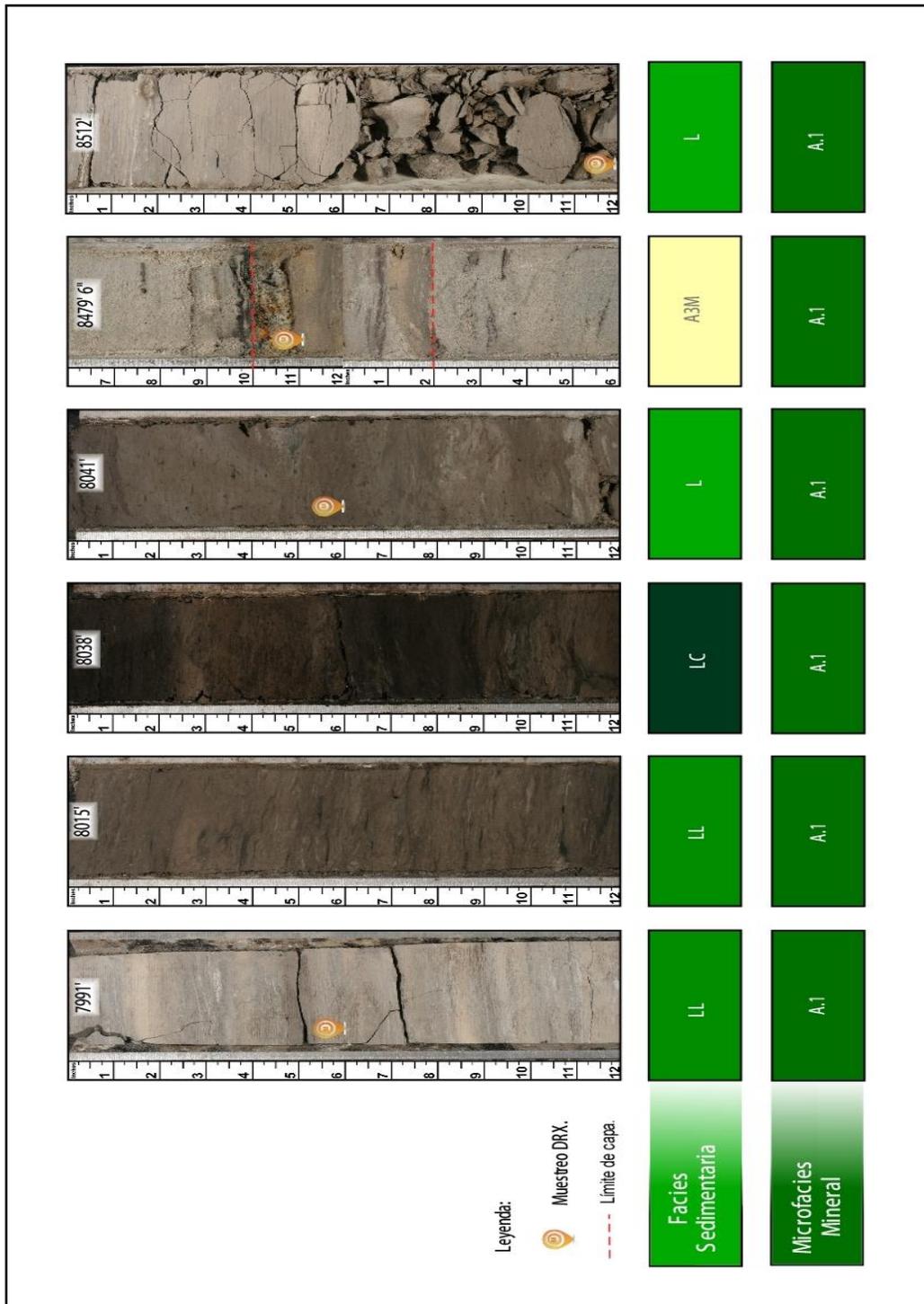


Figura 5.6 Comparación de Facies sedimentarias y Microfacies A1 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.

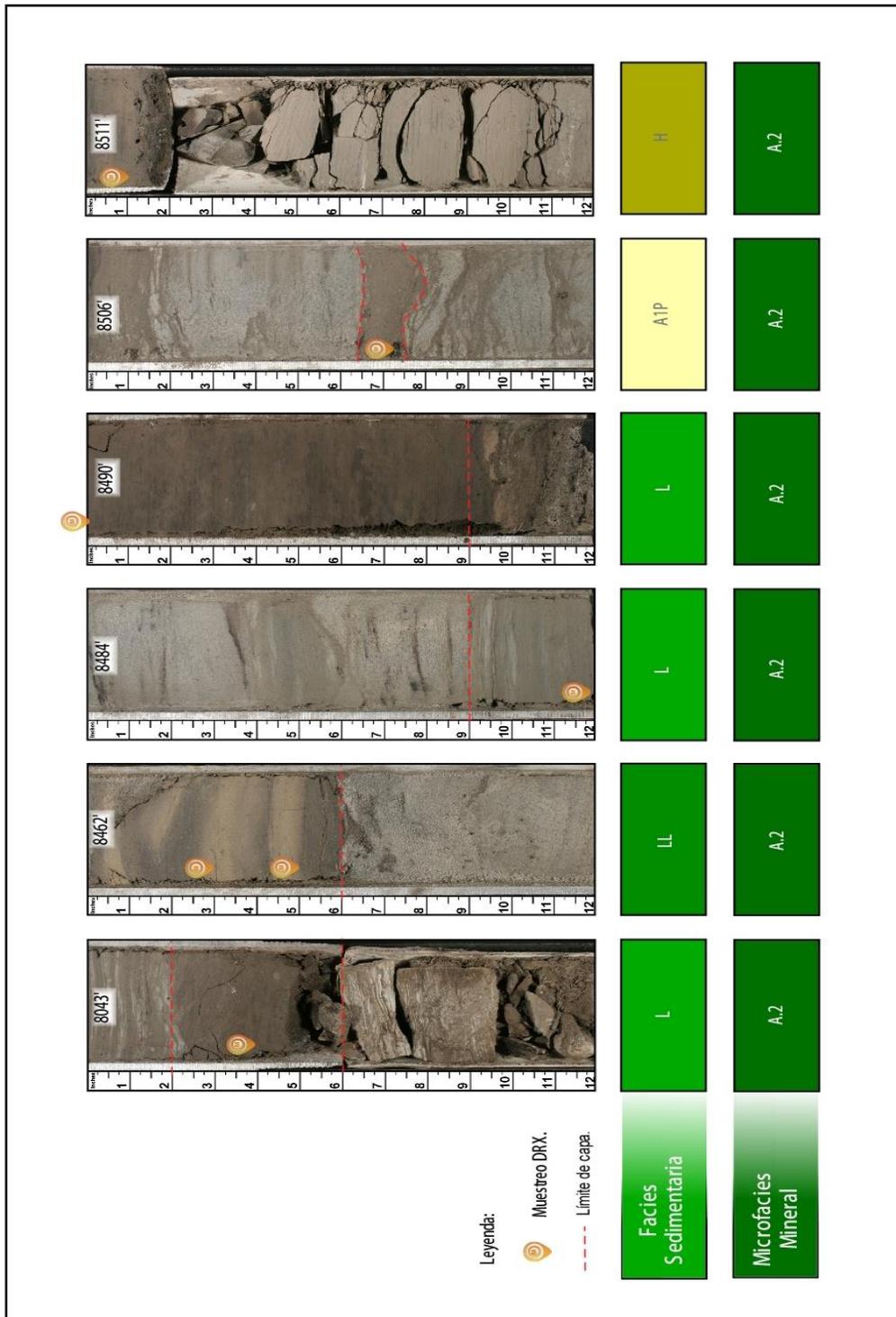


Figura 5.7 Comparación de Facies sedimentarias y Microfacies A2 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.

### **5.2.2 Facies B**

Dentro de este grupo se encuentran las limolitas que según Tarbuck en el 2005 señala que están compuestas fundamentalmente por clastos tamaño limo y contienen menos clastos tamaño arcilla que las lutitas. En referencia lo expuesto, los resultados de DRX se logra determinar variaciones de porcentaje de arcillas y minerales abundantes estableciendo una relación de aproximadamente 0.89 indicando una buena correlación, sobre todo una distribución similar de tamaño de grano en relación a los componentes definido resultando claro que la deposición de las arcillas debe existir un ambiente de muy baja energía, sin embargo, igual puede ser perturbado con cambios repentinos por la acción continental, marina u otro origen (tectónico)

Por otro lado, las trazas de otros minerales como dolomita (<5%), los grupos de filosilicatos existentes en Rt y el contenido de limonita abundante hacen posible desglosar en dos microfacies, integradas por B1 Y B2. Dichos resultados son referenciados a las muestras @ 8484' 5", 7994', 7994' 7", 8014' 4", 8014' 9", 8032' 10", 8042' 10", 8043' 8" y 8509' 3", para un muestreo total de 9 muestreos que ayudaron a definir la facie.

#### **5.2.2.1 Microfacies B.1**

En esta microfacie abunda el tamaño de grano tipo limo con escasos lentes de arenisca (Suárez, 2017), así mismo, se identifican minerales, que se encuentran representados por abundante arcilla y cuarzo, escasa presencia de feldespato potásico y muy escasos porcentajes de plagioclasa, dolomita y siderita tomado de los picos reflejados en difractogramas de DRX y llevados a porcentajes con sus respectivas cuentas, la presencia en su mineralogía de dolomita y siderita hacen la diferencia para ser catalogados

mineralógicamente como una microfacie de ambiente marino (Correns en el 1969). A parte de esto, la fracción menor determina que el mayor grupo de filosilicatos es la caolinita, con poco interestratificados illita-esmectita y esmectica.

Como se señala de manera acertada, la correlación de facies sedimentarias asociadas a ésta microfacie según Suárez en el 2017, corresponde a un equivalente de L. Por otra parte, la microfacie B.1 puede ser dispuesta de forma masiva (mayoritariamente), sin embargo, puede presentar pocas laminaciones onduladas a la base, infiriendo un ambiente de origen marino. Lo antes expuesto se puede referir en la (Figura 5.8) para verificar la data suministrada en la sedimentología y el muestreo realizado.

Por último, es conveniente anotar que la microfacie posee una calidad de roca regular en función de su permeabilidad (Concepción, 2005), en lo que se refiere a su porosidad la calidad de roca es pobre (Da Silva, 2011) como resultado del análisis convencional realizado.

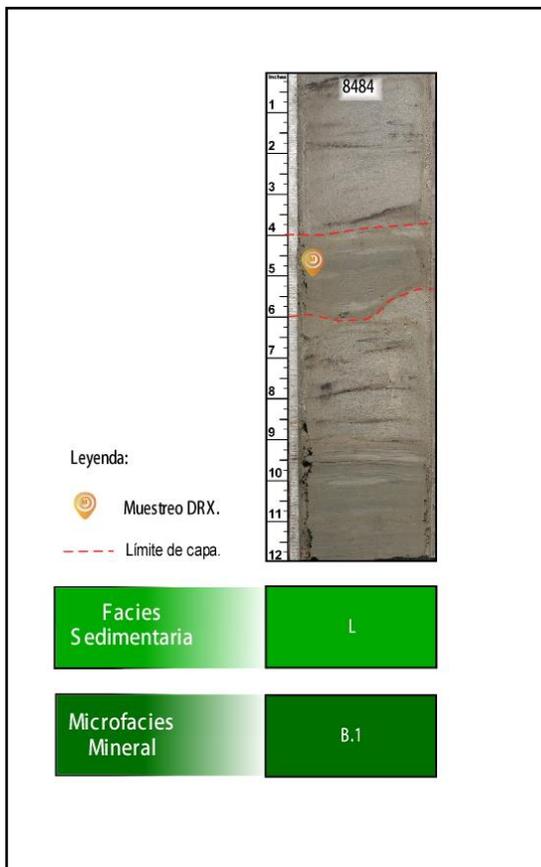


Figura 5.8 Comparación de Facies sedimentarias y Microfacies B.1 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.

### 5.2.2.2 Microfacies B.2

Está distinguida por abundante cuarzo y arcilla, y muy escasa presencia de feldespato potásico, plagioclasa y siderita, cabe destacar que en virtud de lo anterior la presencia de siderita y la ausencia de dolomita es la principal razón que puede diferenciar la microfacie B.2 de la B.1. Por su parte el análisis de la fracción menor determina que el mayor grupo de filosilicatos es la caolinita, con poco interestratificados illita-esmectita y esmectica.

En el muestreo es notorio la disminución de energía dando lugar a laminaciones (onduladas, paralelas, continuas y discontinuas) producidas por canales de desembocaduras (Pettijhon, 1964), además se puede percibir en la (Figura 5.9) una secuencia heterolítica @8042' 10" de lutita y arenisca en láminas (<5mm de espesor), la lutita de gris oscuro y las areniscas varían de gris claro a blanco, aunado a esto hacia el tope aumenta el porcentaje de lutita y disminuyen las areniscas, definiendo los intervalos heterolíticos con mayor presencia de lutitas que arenas (Suárez, 2017).

A la microfacie se le asocian facies sedimentarias de tipo LL, LB, H y A1, en lo que se refiere a esto se puede señalar que las laminaciones observadas son onduladas y discontinuas en su mayoría y en menor presencia las paralelas. La microfacies B2 coincide con una capa de la Facies A1, de manera que puede añadirse las siglas C<sub>PB.2</sub> de donde C<sub>p</sub> sería las capa (<2 pulg de espesor) y B.2 la microfacie mineral de la lutita quedando A1C<sub>PB.2</sub>. (Figura 5.9).

Sumado a lo expuesto anteriormente es importante resaltar que a una profundidad de @7993' 5" (la cual corresponde de acuerdo a análisis multivariable a la microfacie B.2) se realizó un estudio de petrografía y sobre la base de los resultados obtenidos se pueden resaltar las siguientes características de la sección fina en estudio, entre los aspectos texturales posee un tamaño de grano promedio de 0.06mm, describiendo la litología como una lutita limosa con un escogimiento bueno y un contacto entre granos de forma puntual, a su vez confirmando las estructura sedimentaria descrita por Suárez en el 2017 de laminaciones con intercalaciones de lutitas, además con presencia de fragmentos detríticos como cuarzo monocristalino y lutitas con porcentajes de 30% cada uno, además posee un 10% de matriz rellenando poros y cabe destacar la presencia de materia

orgánica en forma de laminaciones de aproximadamente 0,01 – 0,02 mm de espesor.

Puesto que, en los análisis convencionales realizados no se muestran variaciones significativas en su permeabilidad, porosidad y densidad de grano entre las muestras se puede concluir que la microfacie posee una calidad de roca regular en función de su permeabilidad (Concepción, 2005), en lo que se refiere a su porosidad la calidad de roca es moderada (Da Silva, 2011) como resultado del análisis convencional realizado.

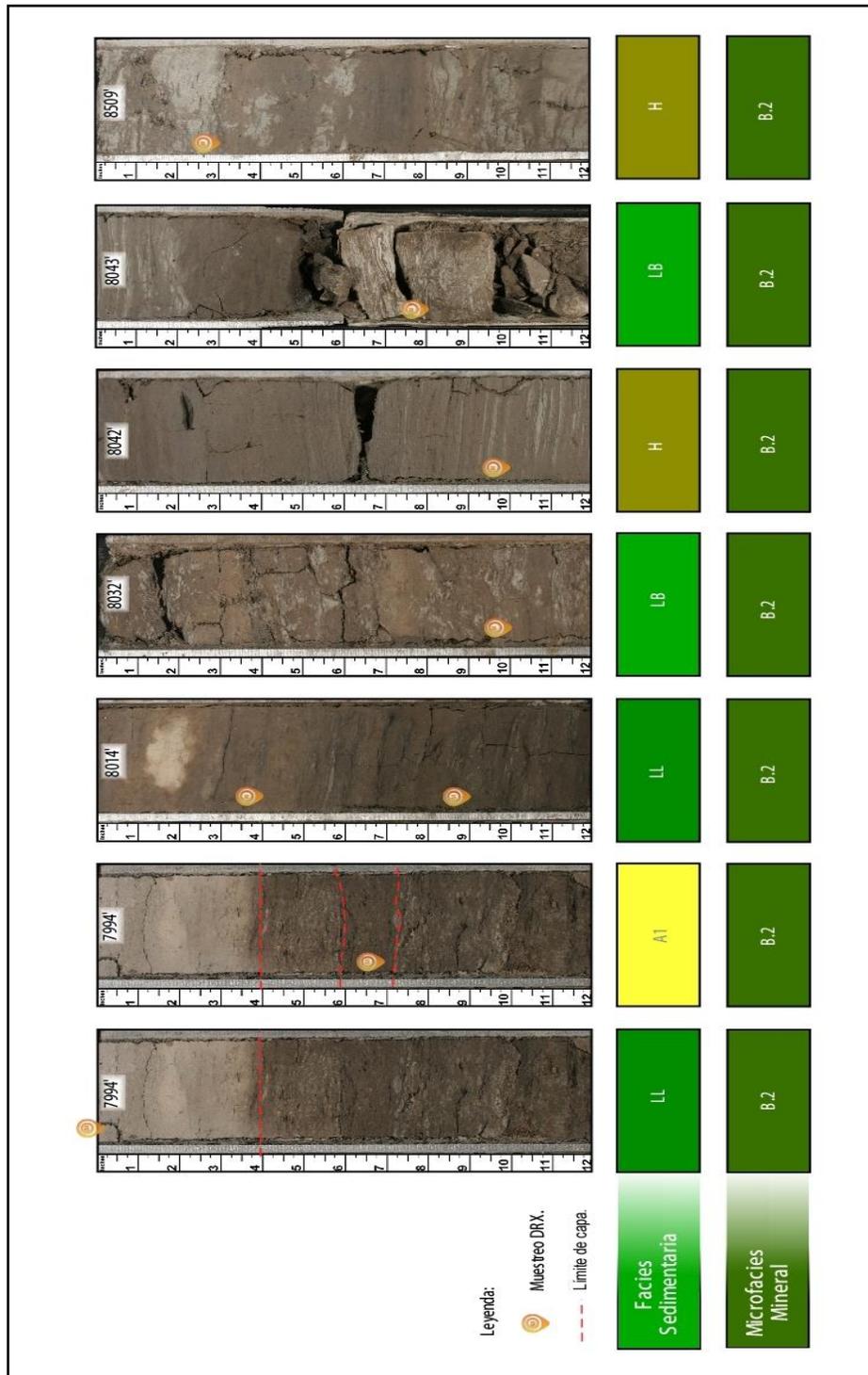


Figura 5.9 Comparación de Facies sedimentarias y Microfacies B.2 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.

### **5.2.3 Facies C**

Representa una fase arenosa dentro de la columna, con mayores espesores en comparación a las definidas, el proceso detrítico de la sedimentación del grupo es una interacción continental y marina, con mayor dominio de la energía continental en la depositación, no obstante, también se observan influencia de marea en intervalos puntuales. El contenido de cuarzo varía de una 91 a 64% y su porcentaje de minerales de arcilla entre 28 a 7%, de manera que el amplio rango de los dos componentes principales que dominan esta facies mineral, se consideró dividirla en cinco (5) microfacies, por supuesto, realizando varios agrupamientos para chequear que los grupos fueran lo más regional y descriptivos, permitiendo la comparación con la sedimentología y petrofísica convencional del mismo. Las facies son:

#### **5.2.3.1 Facies C1**

Corresponden a arenas con dominio más continental que marino, se dividen en cinco microfacies las cuales son:

##### **5.2.3.1.1 Microfacies C.1.1**

Dominada por una abundancia de cuarzo no mayor al  $64\pm 5\%$ , granulométricamente de fino y/o muy fino, subangulares y/o subredondeados, moderada presencia de filosilicatos  $28\pm 5\%$  del grupo caolinita y escasa illita, poca presencia de feldespatos potásico y escasas plagioclasa, siderita y piritita, además de identificar estos minerales, la ausencia de calcita y dolomita se puede inferir que el depósito es de dominio continental o con poca influencia marina, por la presencia escasa de carbonato ferroso (siderita), como se hizo mención en la microfacies A.1

dejando claro la interacción o límite entre la influencia continental y marina del modelo que es apreciable a nivel mineral (Perkin, 2014).

Con base a lo mencionado, la microfacies se presenta en las facies sedimentarias A1X, A4P y H de acuerdo con el análisis de Suárez en el 2017, de manera que puede asociarse a arenas con estratificaciones paralelas y cruzadas (alto ángulo), además de estar presente en rellenos de bioturbaciones de Planolites. Asimismo, las densidades rondan de 1.96 a 2.16 gr/cc, probablemente causado por su moderado contenido de filosilicatos, siguiendo el mismo orden de caracterización petrofísica sus porosidades desde 18 al 27%  $\phi$ , ubicando las de menor porosidad (18% $\phi$ ) a laminaciones onduladas, mientras a 24 a 29% $\phi$ , se ubican las laminaciones cruzadas bidireccionales y onduladas de alta amplitud (Figura 5.10).

#### **5.2.3.1.2 Microfacies C.1.2**

Las arenas pertenecientes a este grupo contienen de abundante a muy abundante contenido de cuarzo 72 $\pm$ 5%, con un aumento de tamaño de grano de grueso –medio a fino, subangulares a subredondeados, junto a moderada presencia de arcillas (20 $\pm$ 5%), dominado por caolinita, pocas illita y escasos interestratificado del tipo (I/S) y poco feldespato potásico que se mantiene constante en comparación a la C.1.1. De acuerdo con los resultados, se pueden correlacionar las facies sedimentarias A2X, A1X, A2P y A1P.

El poco (<2 $\pm$ 5%), aumento de minerales carbonáticos como dolomita, calcita y siderita obteniendo la definición de zonas de influencia marinas someras, es decir, un aporte y redistribución sedimentaria de origen marino (mareas). La presencia de estratificación cruzada, laminaciones inclinadas, onduladas, paralelas (lentes) y masivas.

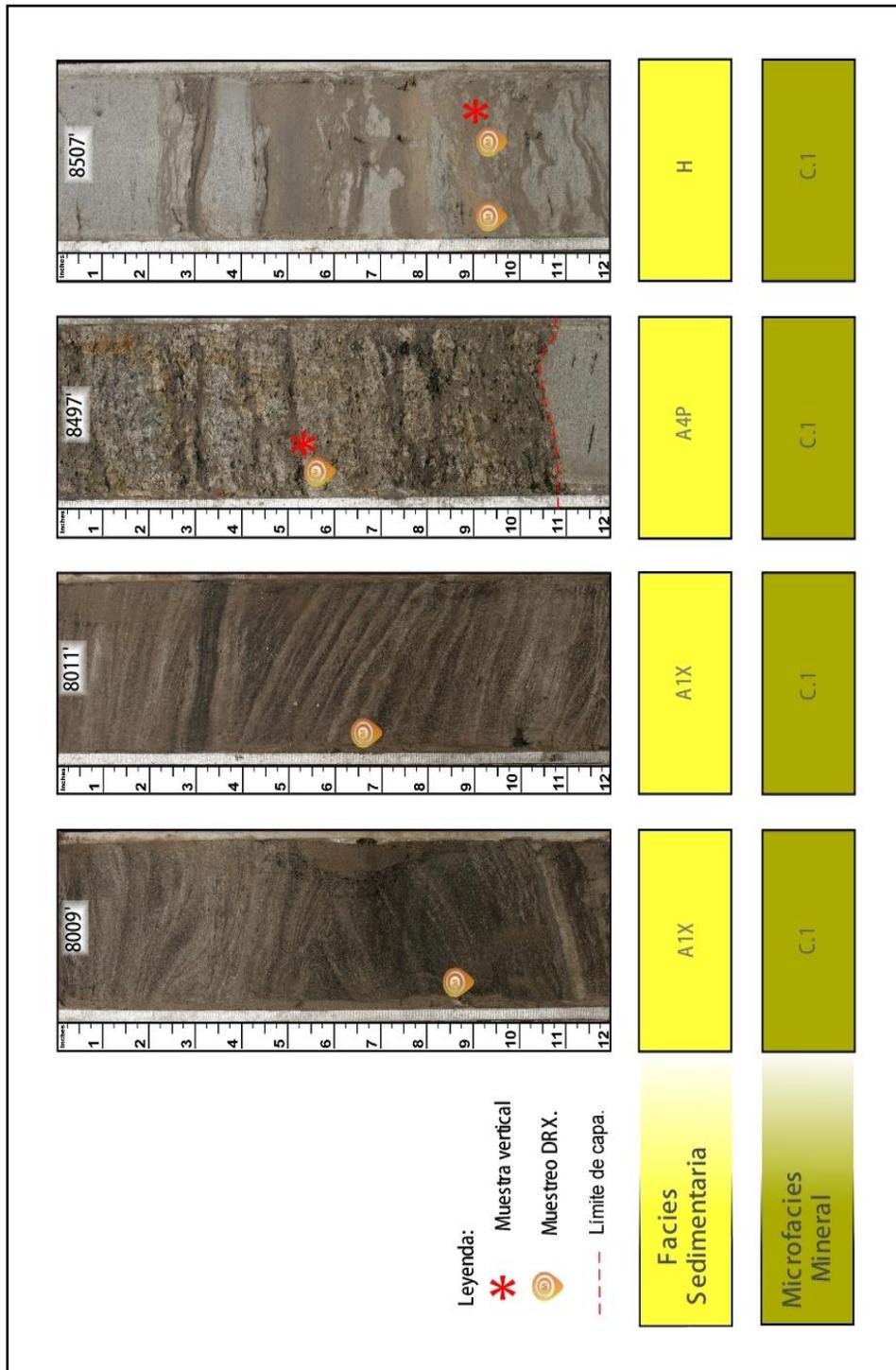


Figura 5.10 Comparación de Facies sedimentarias y Facies C.1.1 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.

Naturalmente, son asociados a influencia marina producto de las mareas (Perillo, 1995), esto nos afirma la existencia de un cambio de ambiente continental a continental-marginal más cercano a las líneas de costa. Las densidades suelen variar de 1.7 a 2.15 gr/cc, además, se observa que las menores comprendidas entre 1.7 a 1.89 gr/cc suelen estar presente en estratificaciones cruzadas, laminadas paralelas y onduladas. Adicionalmente, estas mismas densidades corresponden a los mejores intervalos de con buena porosidad (24-29%Ø), y buenas permeabilidades desde 200 a 1400 mD.

Las densidades entre 2 a 2.15 gr/cc están asociadas a estratificaciones onduladas mayoritariamente, y las porosidades suelen ser más bajas, rondando los menores al 28%φ, y permeabilidades menores a 400 mD (Figura 5.11).

#### **5.2.3.1.3 Microfacies C.1.3**

Son arenas limpias, superando los 91±5% de cuarzo, es poco el contenido de filosilicatos del tipo caolinita, y escaso feldespato potásico, el porcentaje menor de todas las microfacies C. Contiene granos gruesos a medio y medio a finos, subangulares a subredondeados. Suele estar asociada a facies sedimentaria del tipo A4X, A4P, A3X, A3P, A2X, A2P, A2M y A1.

La ausencia de minerales carbonáticos (calcita, dolomita y siderita) y el incremento casi total de cuarzo, indica la acción directa de una deposición continental, sin embargo, la presencia de estratificación cruzada y bidireccional indica un retrabajo de los sedimentos depositados por el continente hacia el mar por acción de mareas, inclusive la presencia de estratificación de convoluta es asociado no solo a estructuras de deformación

o también a cambio de corrientes. Asimismo, la variación del tamaño del grano pudiera estar asociado a este proceso (Richard, 1985).

Las densidades rondan los 1.66 a 2.08 gr/cc, donde 1.66 a 1.69 gr/cc están asociadas a arenas masivas y grano medio, con porosidades 26 a 36% $\phi$ , y permeabilidades 500 a 700 mD. Mientras que en el rango de 1.88 a 2.08 gr/cc, se ubican en estructuras cruzadas, convolutas, laminaciones paralelas y las más bajas (<1.88 gr/cc) a masivas. Dentro de estas, las porosidades se ubican de 24 a 30% $\phi$  y permeabilidades que superan los 1000 mD, es decir, entre 1200 hasta 3500 mD (Figura 5.12).

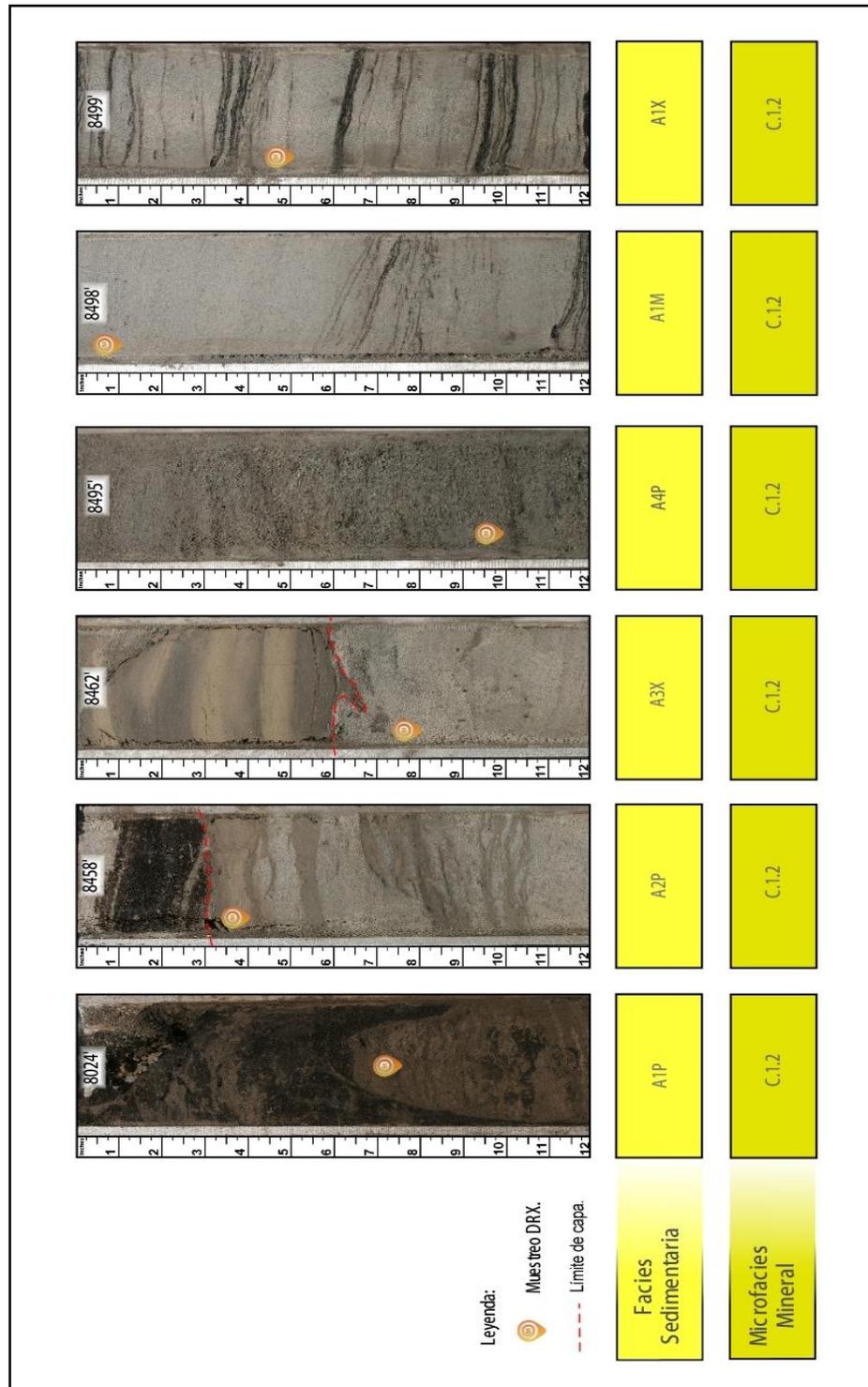


Figura 5.11 Comparación de Facies sedimentarias y Facies C.1.2 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.

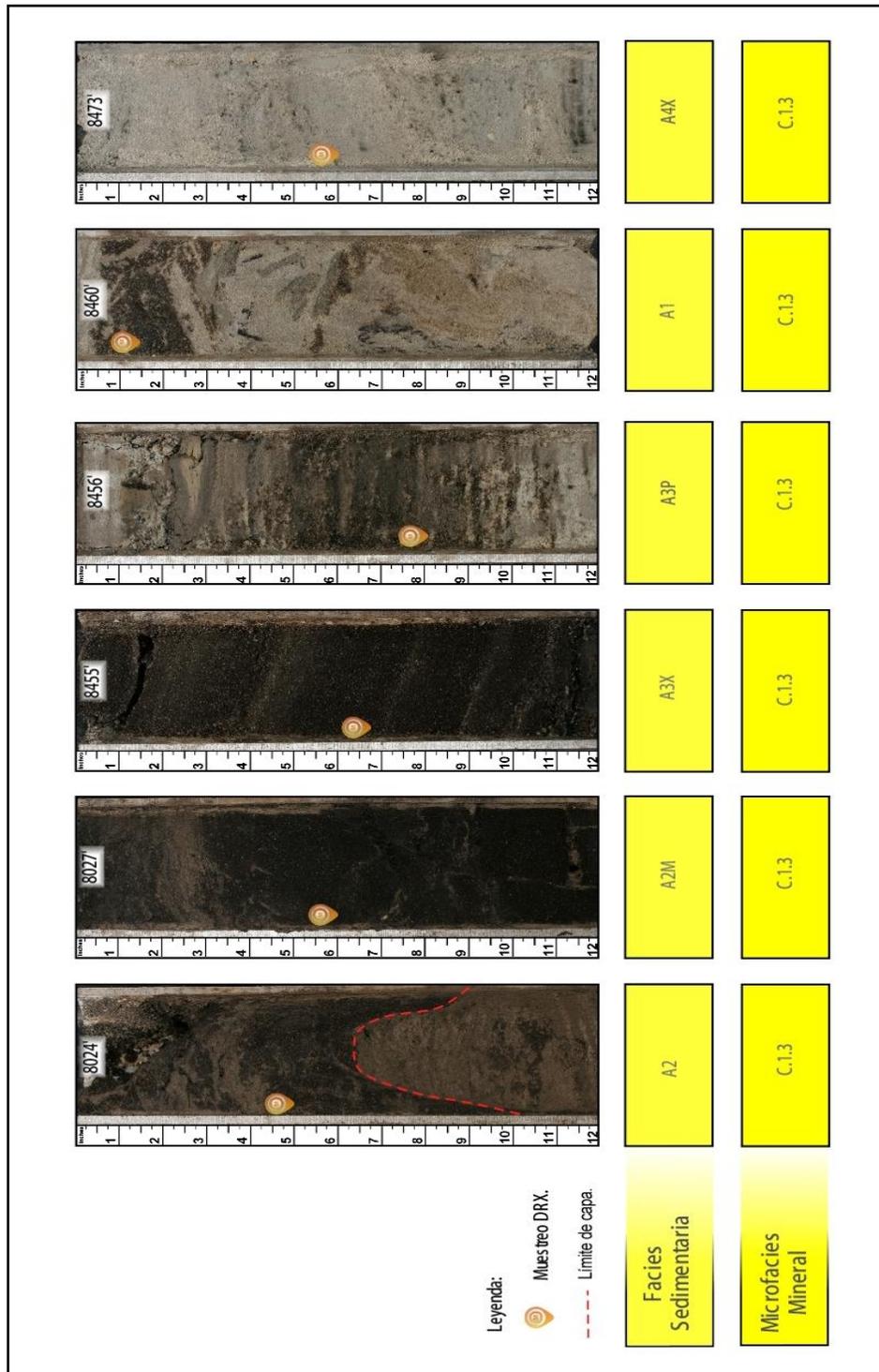


Figura 5.12 Comparación de Facies sedimentarias y Facies C.1.3 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.

#### **5.2.3.1.4 Microfacies C.1.4**

Posee un abundante contenido de cuarzo  $81\pm 5\%$ , pocos granos gruesos, con predominio del tipo medio y medio a fino, subredondeados. Además, moderado contenido de filosilicatos del tipo caolinita, poco feldespato potásico, este corresponde a la mayor presencia en comparación a C1.1 y C1.2, escasa presencia de dolomita e ilita.

Las facies sedimentarias A4M, A4P, A2P, A2B y A1P, coinciden con las microfacie C.1.4, puede ser considerada como arenas moderadamente limpias y de moderado a buen escogimiento. La escasa presencia de dolomita es un indicativo de leve influencia de aporte marino al depósito, que, debido a los niveles energético de las mareas y corrientes, es lavado y no permite una depositación generosa en la misma.

Las densidades se ubican entre 1.6 a 1.97 gr/cc, con porosidades entre 25 a 32%Ø, en relación a las otras microfacies definidas, no existe mucha correlación entre la disposición del estrato (masivo, estratificación ondulada y ondulada paralela), referente a las densidades, permeabilidades (700 – 3200 mD) y porosidades, puede encontrarse con porosidades buenas pero bajas permeabilidades y viceversa (Figura 5.13).

#### **5.2.3.1.5 Microfacies C.1.5**

Es la última microfacies del grupo C, representan a arenas con abundante contenido de cuarzo  $71\pm 5\%$ , poco contenido de feldespato potásico y escasas plagioclasas, dolomita, siderita y pirita. En virtud de la presencia de dolomita y siderita, más aun, la observación de estructuras espina de pescado, estratificación paralela y ondulada corresponde a un intervalo en el

cual los niveles de energía marinos están levemente por encima de la energía continental en la deposición.

Las facies sedimentarias son A4P, A4M, A3X, A3M, A2P, A2, A1P y A1, encontrándose estructuras cruzadas, paralelas y masiva. Las densidades no superan los 2.22 gr/cc, es decir, entre 1.80 a 2.22 gr/cc. Posee buenas porosidades (17 a 28% Ø), y las permeabilidades bajas (42 a 100 mD) corresponden a arenas tipo A1P (Figura 5.14).

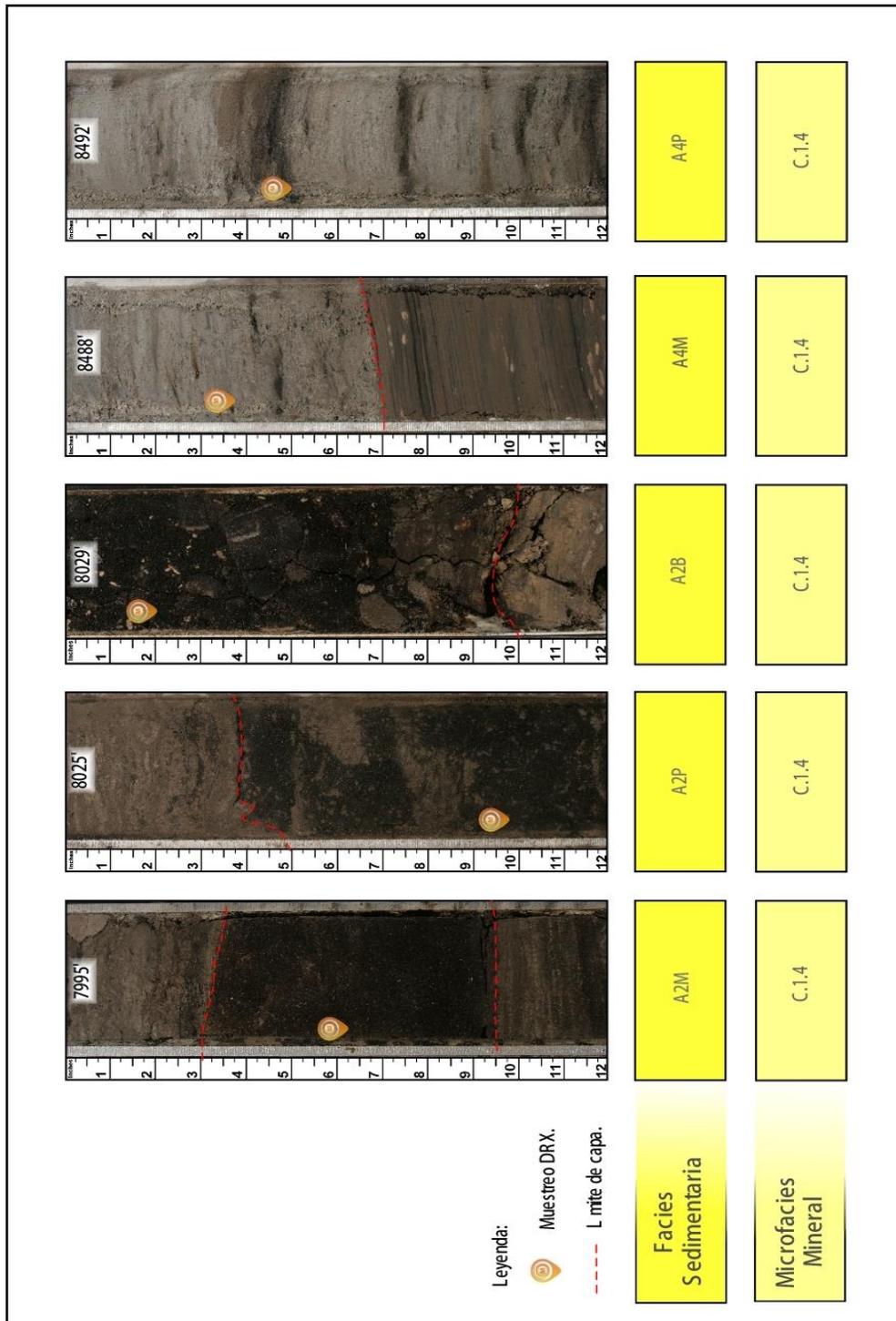


Figura 5.13 Comparación de Facies sedimentarias y Facies C.1.4 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.

### 5.2.3.2 Facies C2

Corresponden a arenisca de grano fino a muy fino, subangulares, de buen a moderado escogimiento, con moderado cuarzo  $60\pm 5\%$  y filosilicatos ( $20\pm 5\%$ ) dominado por caolinita y trazas esmectita, poco feldespato potásico, pirita y dolomita, además, escasas plagioclasa, calcita y siderita.

La facies suele asociarse a A1P y A1X, con espesores no mayor a un pie, la presencia de minerales carbonaticos (Calcita, dolomita y siderita de  $7\pm 5\%$  la sumatoria) nos refiere a un canal de influencia de mareas, es decir, con origen marino somero o próximo costero.

Las permeabilidades rondan entre 100 a 115 mD, y porosidades de 23 a  $27\% \emptyset$ , que correlacionan muy bien con las densidades similares entre 1,95 a 2.00 gr/cc.

### 5.2.4 Facies D

Esta facie se denomina una secuencia heterolítica de areniscas y lutitas, con mayor porcentaje de arenisca, las capas de arenisca son de grano muy fino, subredondeados, blanco, con restos de carbón, laminaciones onduladas de materia orgánica y lutita, escasamente bioturbada sin diferenciar, a 8509' 0" posibles planolites. Hacia la base son poco diferenciable las capas por el grado de bioturbación (Suárez, 2017).

Los resultados obtenidos por DRX (Figura 5.15) para la muestra @8510' 5" se aprecia que presenta una composición de abundante cuarzo, moderado calcita y arcilla y muy escasa presencia de feldespato potásico, dolomita y pirita; la evidente presencia de calcita y dolomita permite inferir que el ambiente de deposición es marino somero y que debido a la erosión

continua del continente adyacente, el ambiente marino poco profundo recibe grandes cantidades de sedimentos derivados de la tierra emergida (Tarbuck, 2003). Por su parte el análisis de la fracción menor determina que el mayor grupo de filosilicatos es la caolinita, con escasa illita y moderada presencia de illita-esmectita.

Su correlación a nivel de facies sedimentarias (Suárez en el 2017) es equivalente a H. En referencia, a nivel de núcleo, puede establecerse masiva hacia la base del tramo, con laminaciones onduladas y/o relleno de bioturbación @8510' 5", producidas por canales de desembocaduras (Pettijhon, 1964); resulta claro que los restos de carbón y la presencia de alto porcentaje de carbonatos (calcita) confirman que su proveniencia es de orígenes continentales con contacto marino somero. La facie D coincide con relleno generado por bioturbación en la facie H, de manera que puede añadirse la letra B de donde B sería el relleno por bioturbación (<1 pulg de espesor), quedando HB. En virtud de estos planteamientos, estas especificaciones pueden observarse en la (Figura5.15), de manera tal que se puede constatar lo antes mencionado a partir del muestreo realizado y lo descrito por sedimentología.

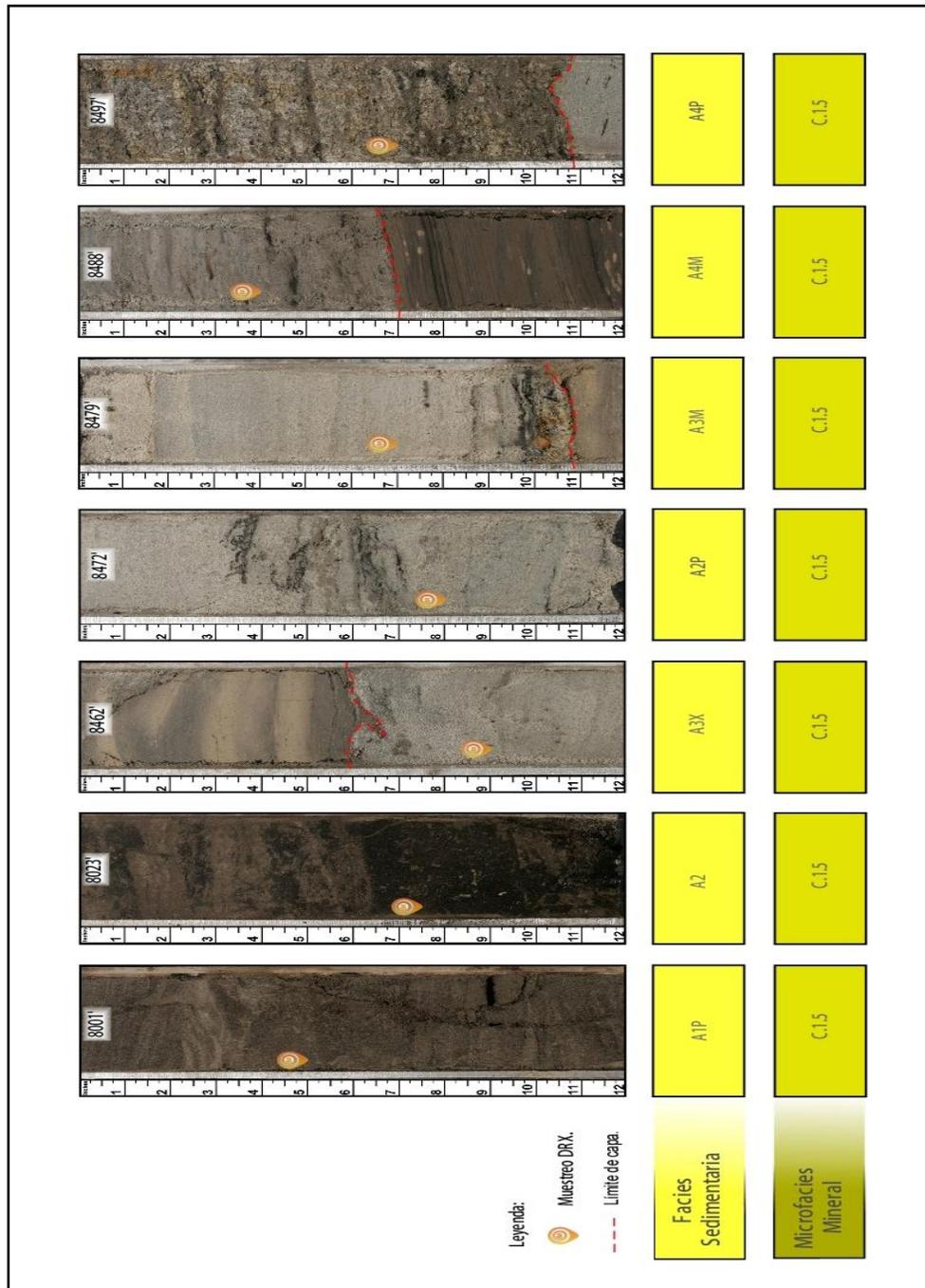


Figura 5.14 Comparación de Facies sedimentarias y Facies C.1.5 en intervalos de núcleos descritos y muestreados.

En base al análisis precedente a los parámetros de porosidad y permeabilidad se puede concluir que la facie posee una calidad de roca regular en función de su permeabilidad (Concepción, 2005) y en lo que se refiere a su porosidad la calidad de roca es pobre (Da Silva, 2011) como resultado del análisis convencional realizado.

Una vez entendido las inferencia y similitudes de las facies y microfacies minerales con las facies sedimentarias definidas en el pozo BN-848, es posible establecer una relación de permeabilidades versus porosidades como la Figura 5.17A y 5.18B, donde es observable el buen cotejo de datos y discriminación de acuerdo con la integración, considerando las arenas de las facies C y respectivas microfacies como las zonas de mejor calidad de arena, observable no solo la impregnación del núcleo, sino también por las propiedades petrofísicas de las mismas. No obstante, las facies B es posible tener buenas propiedades, con impregnación visible, pero de espesores que llegan a pequeñas capas de arena muy fina dentro de las limolitas.

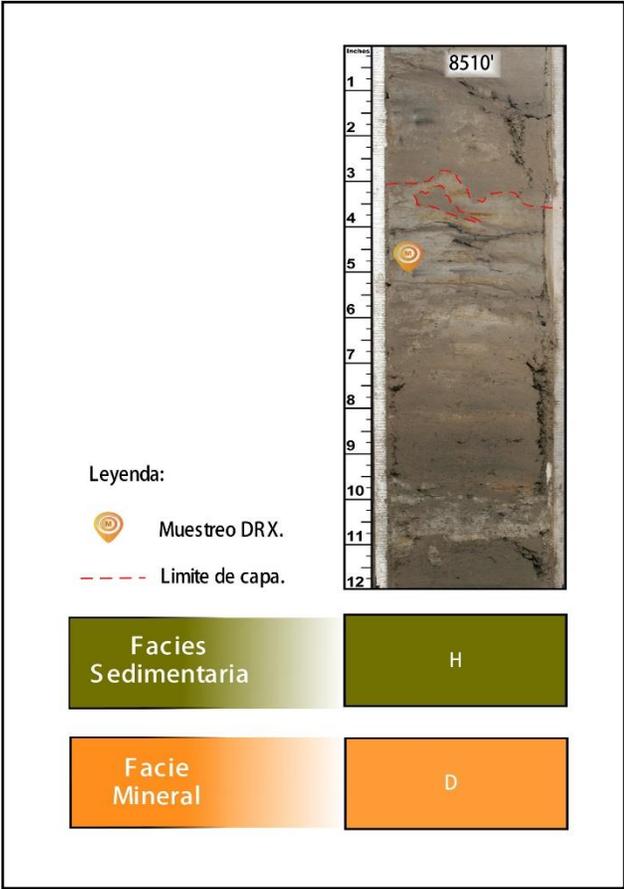


Figura 5.15 Comparación de Facies sedimentarias y Facies D en intervalos de núcleos descritos y muestreados.

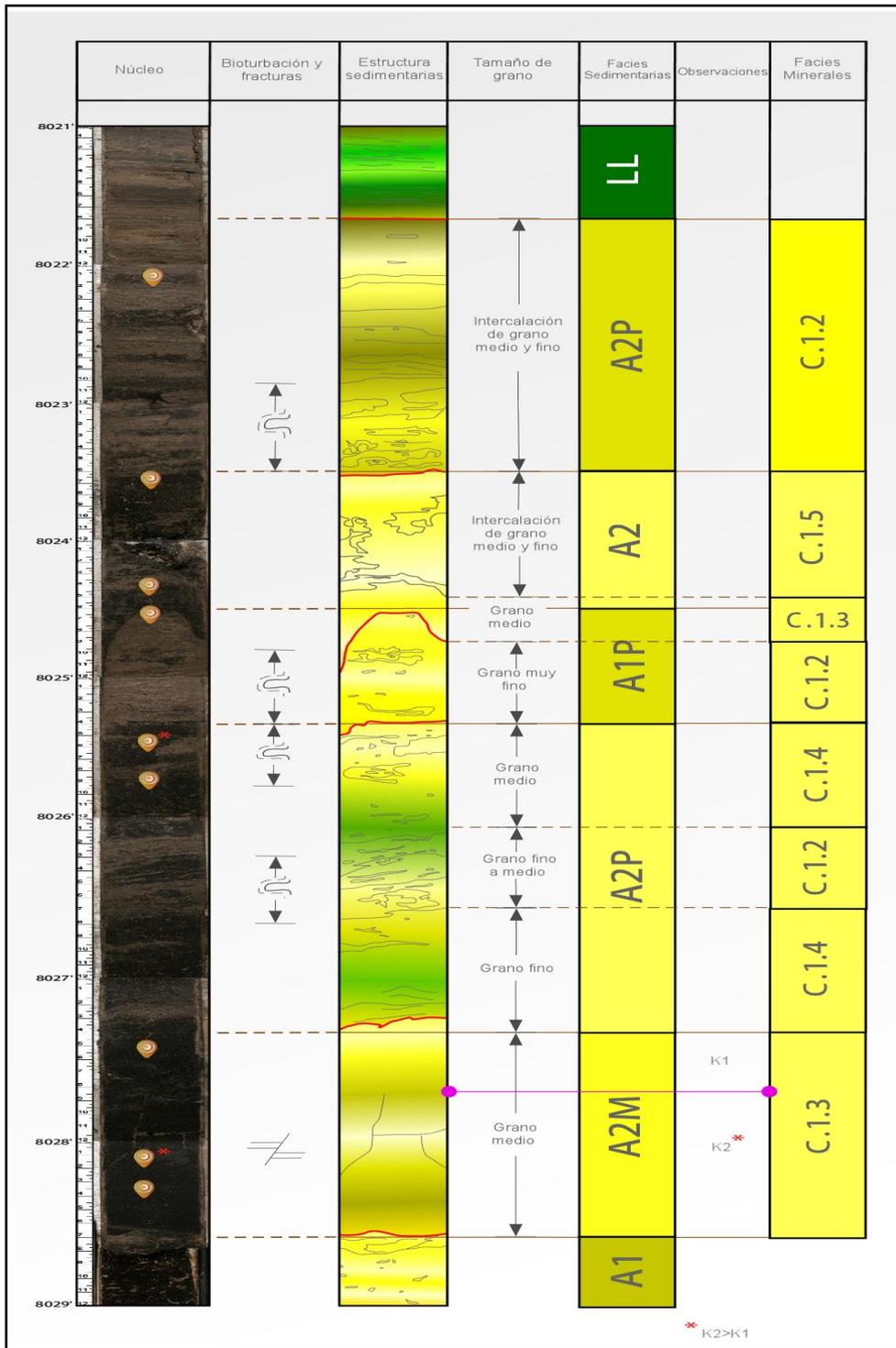


Figura 5.16 Comparación, integración y ajuste de facies sedimentarias con facies y microfacies minerales en un tramo de núcleo.

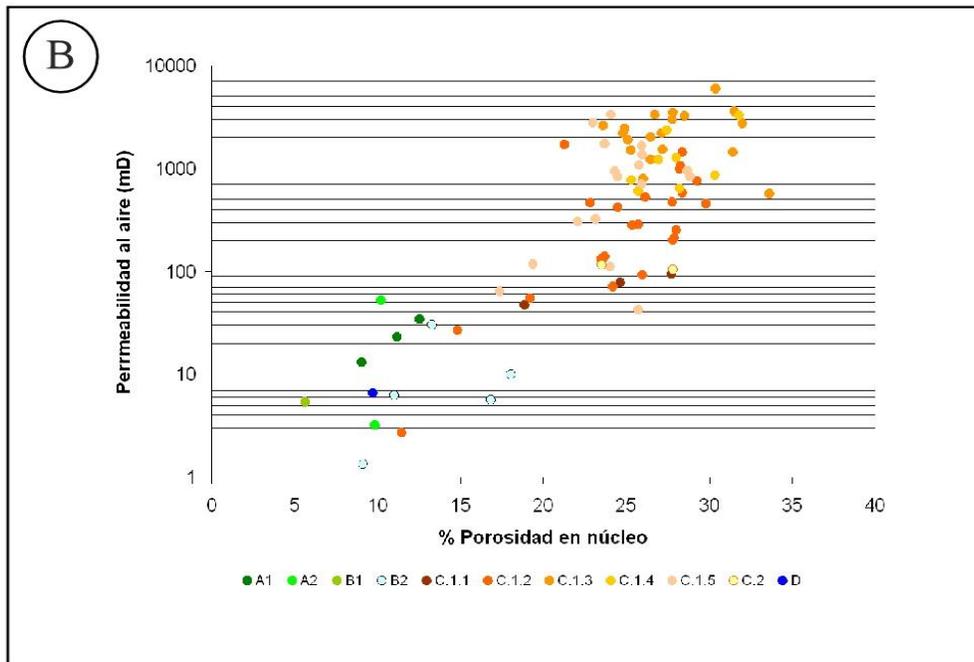
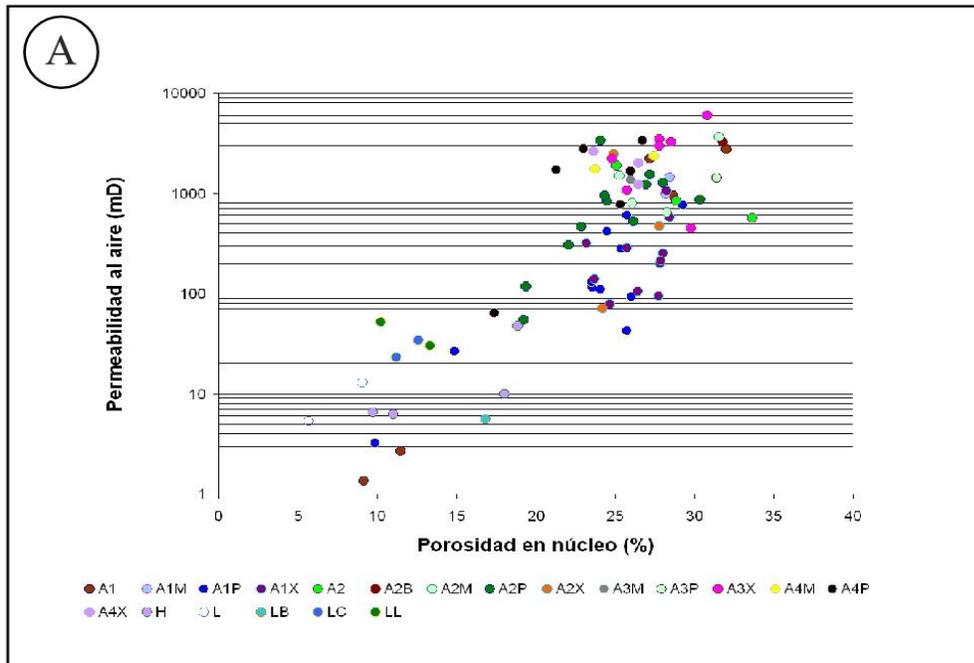


Figura 5.17 A) Comparación permeabilidades y porosidades ubicada con las Facies sedimentarias

Figura 5.18 B) Comparación permeabilidades y porosidades ubicada con las Facies y microfacies minerales determinadas.

Las Lutitas corresponden a buenos sellos, con escasas a trazas de capas mixtas de arcillas (I/S) y en algunas esmectitas de procedencia más marina. En la Figura 5.19 se muestra el modelo teórico del ambiente de depositación definido a partir de la sedimentología, ubicando las facies y microfacies minerales aquí definidas.

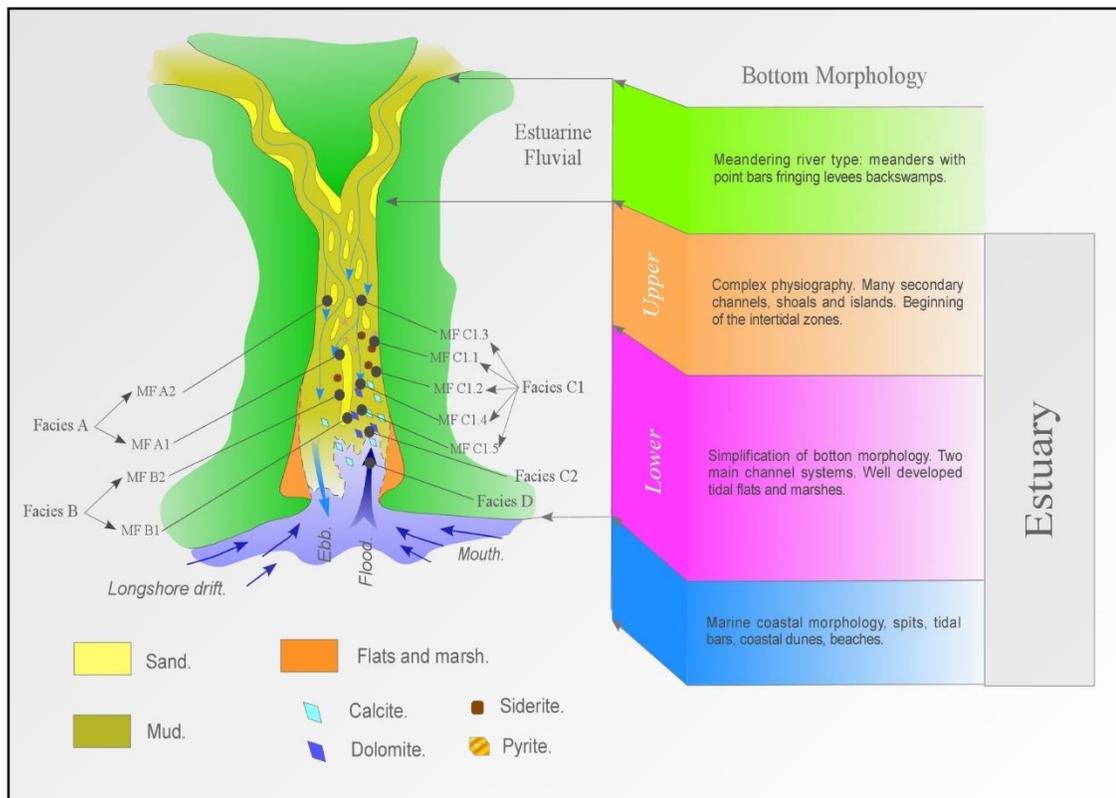


Figura 5.19 Ubicación de facies y microfacies minerales determinadas (Tomado y modificado de Richard en el 1985).

### **5.3 Análisis e interpretación química por FRX**

La técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX) consistió en preparar, capturar y analizar los resultados obtenidos para 20 muestras (Anexo D), realizados con la finalidad de constatar y validar las facies minerales obtenidas en el análisis multivariable con DRX a partir de la composición química, además, de posibles óxidos que me pudieran afectar los poros u otras propiedades de la roca para futuras recuperación mejorada.

#### **5.3.1 Identificación de componentes químicos por FRX**

Se sabe que las intensidades de los picos FRX característicos están directamente relacionados con las concentraciones de los elementos presentes en la muestra (Beckhoff et al., 2007). Sin embargo, la intensidad registrada de una sola línea de emisión es una función de varios factores, como la fuente de rayos X, la sensibilidad del detector, la muestra geometría, la eficiencia del detector, el espectro de energía, los efectos de la matriz y la intensidad de los rayos X emocionantes (Beckhoff et al., 2007).

A través de la Figura 5.20 se puede observar la composición química promedio de los ejemplares seleccionados (Anexo D y E). De todo esto se desprende que el elemento en mayor proporción de la mayoría del muestreo es el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) mostrando un porcentaje del 81,74%, donde resulta claro que la validación de la data obtenida por DRX, debido a que el cuarzo corresponde el constituyente detrítico fundamental en las areniscas (65-98%) como se observó en la composición mineral Rt que según Guzmán en el 2012, el cuarzo  $\text{SiO}_2$  es el principal constituyente de las arenas de sílice y procede de rocas ricas en sílice, tanto intrusivas como extrusivas, además de sedimentarias (areniscas entre otras). Si bien es cierto, se presentan otros

elementos químicos que componen a un 3,97% de la data obtenida, los cuales se consideran trazas, cuya variación es pudiera atribuirse al ambiente de deposición de los minerales observado en las facies por DRX.

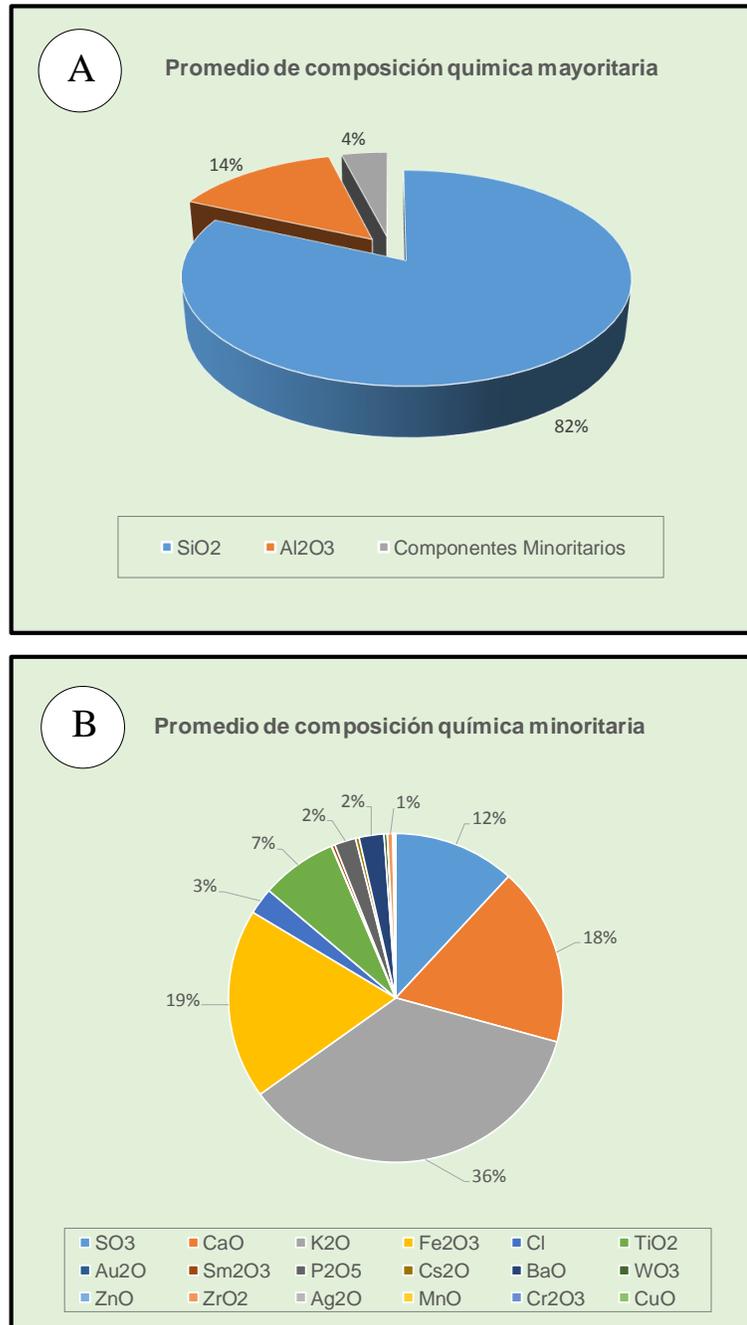


Figura 5.20 A y B Promedio de elementos químicos mayoritarios y minoritarios, respectivamente, de los resultados obtenidos en técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX) del Pozo BN – 848.

La Figura 5.21 y 5.22 se ve claramente que el óxido de silicio se presentó en cantidades importantes en los ejemplares, mientras que el aluminio, azufre, calcio, potasio y hierro fueron presentes en cantidades menores y otros elementos se presentaron en forma de trazas. Es posible analizar los contenidos de trazas en las muestras coincidiendo la poca presencia de pirita en algunas, así como discriminando los posibles feldespatos alcalinos y plagioclasas.

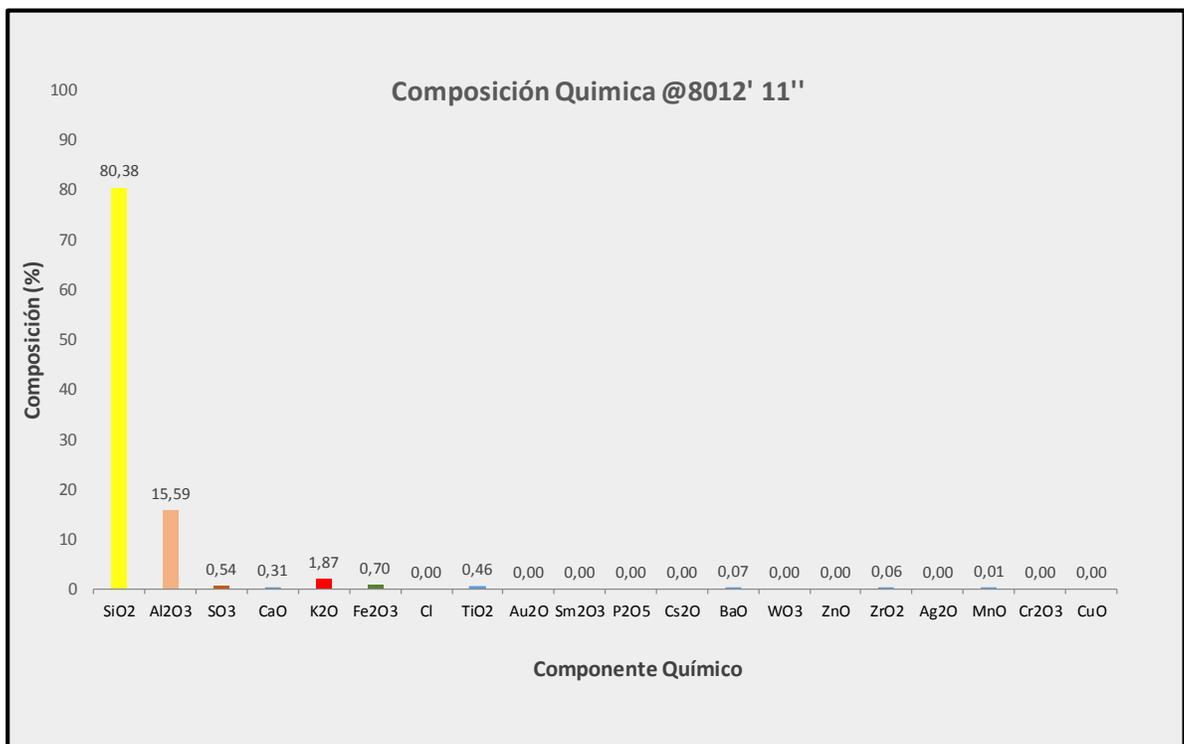


Figura 5.21 Composición química obtenidos en técnica de FRX a profundidad de 8012' 11''.

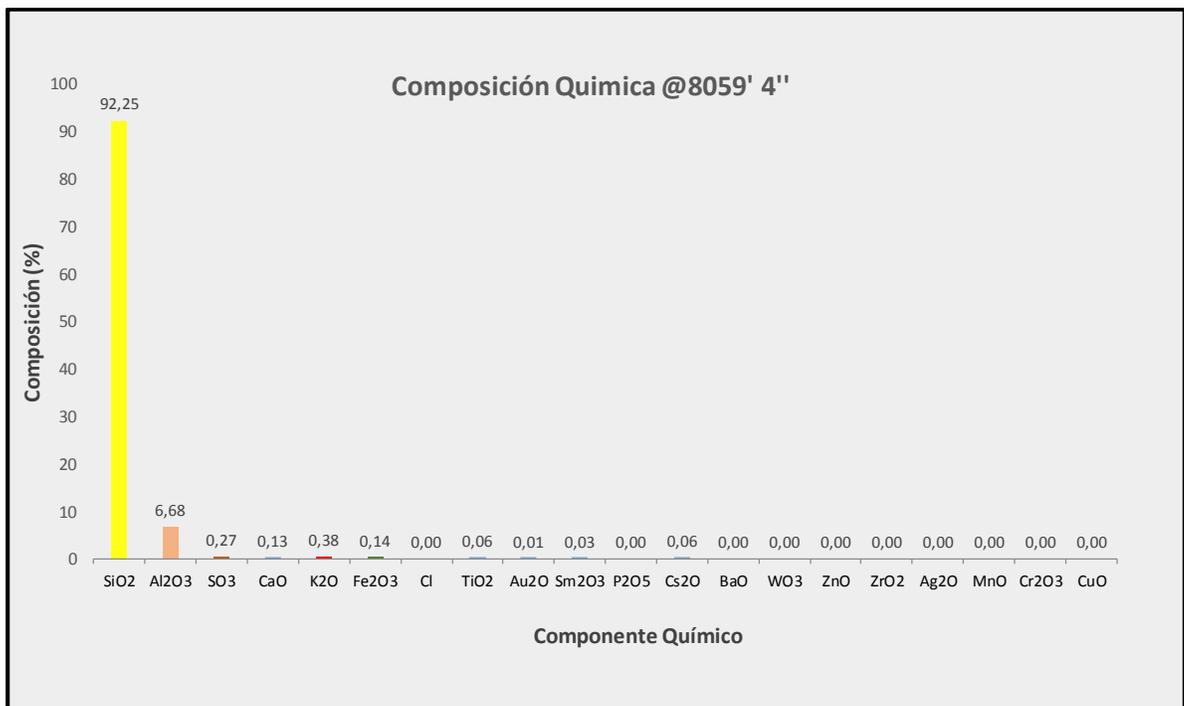


Figura 5.22 Composición química obtenidos en técnica de FRX a profundidad de 8059' 4''.

Sobre la base de los resultados promedios del análisis químico obtenidos se confirma que se trata de una serie arenosa donde el cuarzo es el constituyente detrítico fundamental en las areniscas (81,74%).

### 5.3.2 Análisis de agrupación multivariable para FRX

Una vez obtenida la composición mineral se obtuvo una valoración estadística de las mismas, el dendograma derivado (Figura 5.23) a partir de la combinación de 20 variables, siendo 2 de ellas correspondientes a los elementos mayoritarios y 18 elementos considerados trazas (< 5%), en virtud de esto, se aprecia el agrupamiento definitivo con semejanza de 88%., mediante el cual se logró agrupar en 5 familias con 2 variaciones internas entre ellas.

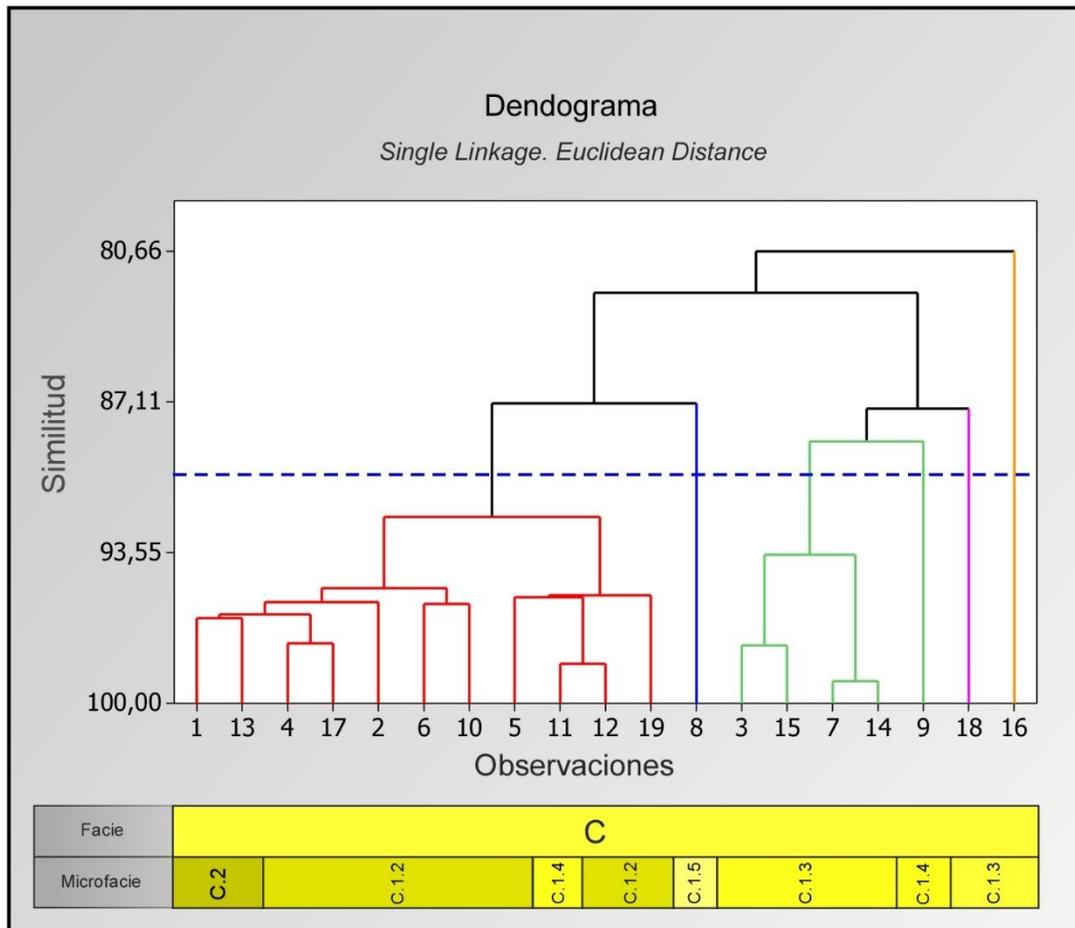


Figura 5.23 Dendograma del agrupamiento definitivo para determinar si la composición química (FRX) se ubica en la mineralogía definida (DRX), con CutOff al 88% (línea segmentada en azul)

Con base a la situación descrita, a través de la Tabla 5.1 se puede observar las familias a nivel de composición química, describiendo grupos semejantes que van desde las letras “A” a la “E” con las respectivas variaciones. El análisis precedente al agrupamiento multivariable verifica que las muestras por FRX corresponden a la sección arenosa con mayor influencia continental por encontrarse en su totalidad dentro de la Facie mineral definida como “Facies C” (con las respectivas variaciones definidas en la sección 5.2.3).

Tabla 5.1 Agrupamiento multivariable de ejemplares seleccionados para FRX y su clasificación de acuerdo a la facie mineral correspondiente por DRX.

Fluorescencia de Rayos X (FRX)			Facies minerales		Núcleo
Nº en cluster	Profundidad	Cluster FRX	Facie	Microfacie	
1	8006' 6"	A.1*	C	C.2	Núcleo1
13	8003' 7"				
4	8004' 6"				
17	8022' 2"				
2	8002' 7"				
6	8007' 8"				
10	7997' 8.5"				
5	8010' 3"	A.2*		C.1.2	
11	7995' 6,25 "			C.1.4	
12	7998' 9.75"			C.1.2	
19	8012' 11'			C.1.5	
8	8001' 5"	B*		C.1.3	Núcleo 3
3	8456' 8"	C.1*			
15	8458' 2"				
7	8459' 4"				
14	8460' 1.5"				
9	8029' 2"	C.2*		C.1.4	Núcleo 1
18	8024' 5"	D*		C.1.3	Núcleo 3
16	8455' 8.25"	E*			

La Tabla 5.2 y la Figura 5.24 describen que la facie predominante dentro de las muestras fue la Facie Mineral C con la Microfacie o variación C.1.2 con un 42% representando un total de 8 muestras respecto 19 en estudio, validando la data obtenida por DRX donde las arenas pertenecientes a este grupo contienen de abundante a muy abundante contenido de cuarzo 72% y así avalar el gran porcentaje de dióxido de silicio registrado en el análisis por FRX, de igual manera, complementa las variaciones de plagioclasas de albita a andesita de acuerdo a sus variaciones de Ca y Na encontrados en los componentes minoritarios, mientras que de feldespatos alcalinos poco contenido de sanidina, cuyos minerales pueden ser incorporados a las zonas libre de muestreo por FRX pero que son asociados por las facies de DRX

que se localizan y que son visibles a nivel de electrofacie dentro del registro del pozo.

Tabla 5.2 Clasificación de las microfacies validadas en FRX y su porcentaje de acuerdo a la contabilidad del muestreo.

Microfacie	%	Muestreo
C.1.2	42	8
C.1.3	32	6
C.1.4	11	2
C.1.5	5	1
C.2	11	2
Total	100	19

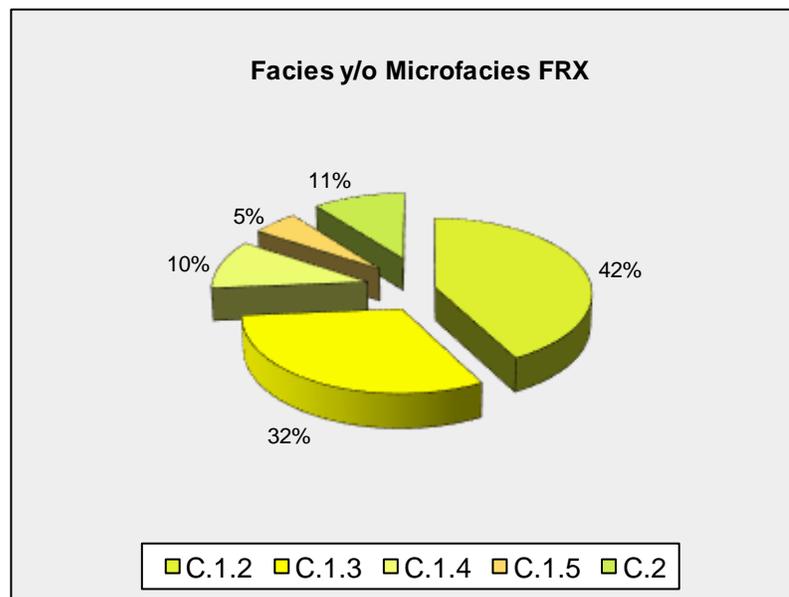


Figura 5.24 Diagrama de torta para la composición de las facies minerales validadas por FRX.

## **5.4 Análisis e interpretación petrográfica**

El análisis petrográfico es una herramienta de gran utilidad que complementa al estudio sedimentológico de un área, permitiendo observar características microscópicas y reconstruir las condiciones originales de depositación a partir de los sedimentos, las características y propiedades observadas, identifican los eventos de un cuerpo rocoso cuya composición y textura particular ha experimentado, influenciando en algunos casos para mejorar o afectar la calidad de la arena yacimiento.

### **5.4.1 Descripción y clasificación de imágenes petrográficas**

El análisis petrográfico permitió cuantificar, caracterizar y describir rasgos petrográficos particulares (textura, mineralogía, fábrica, porosidad, permeabilidad, entre otros), igualmente, documentar en fotografía las características observadas y que sirvieron para complementar el estudio (Layman. J, 2002). A través del anexo E se pueden observar las planillas generales que presentan la información detallada de los aspectos texturales, componentes y matriz entre otros, solo tres secciones finas puesto que no fue posible obtener el montaje de toda la columna muestra por razones de manipulación, es decir, la poca cementación de los minerales ocasiona la disgregación fácil de las arenas.

El objetivo principal del análisis es conocer el tipo de roca que comprende las secuencias estratigráficas involucradas en el núcleo principalmente, además, los factores diagenéticos y las relaciones entre las características texturales y composicionales de los cuerpos de arena.

#### **5.4.1.1 Descripción petrográfica a Profundidad de 7993' 5''**

Las rocas corresponden a intervalos de lutitas limosas, gris oscuro, micácea, con laminaciones horizontales delgadas discontinuas y lentes de arena, en partes carbonosa y localmente con franjas que van desde marrón a rojizo oscuro según sedimentología (Suárez, 2017).

Presenta un tamaño de grano mínimo de 0,03mm y máximo de 0,09mm dando un promedio de 0,06mm, escogimiento que varía de pobre a moderado, subredondeados a redondeados con contacto entre ellos de forma puntual, además entre sus estructuras sedimentarias se pudo observar laminaciones finas de lutitas o material arcilloso.

La sección está compuesta por cuarzo monocristalino (30%). Abundan la matriz arcillosa con 40%. Aunado a esto, se presenta se observa materia orgánica con 20%, en forma de laminaciones horizontales (0,01 a 0,02mm) (Ver Figura 5.25). A partir de tal detalle se clasifican como una Waca arenosa o cuarzosa (Pettijohn *et al.* 1972).

La muestra puede integrarse a pocos pies (@7991'6''), punto de control estadístico correspondiente al muestreo de unión por DRX y a nivel macroscópico es homogéneo el intervalo. Puede unificarse a la microfacies A1 de lutitas con mayor contenido de arcillas y menor contenido de cuarzo, así como materia orgánica y estructuras sedimentarias ya observadas en núcleo, por lo tanto, se identificará como wacas arenosa o cuarzosa tipo 1 extrapolándose a las otras microfacies A.1 identificadas en el pozo. Dentro de estas características también es posible definir la facies A como Wacas, puesto que se verifica por este método los litotipos minerales por DRX.

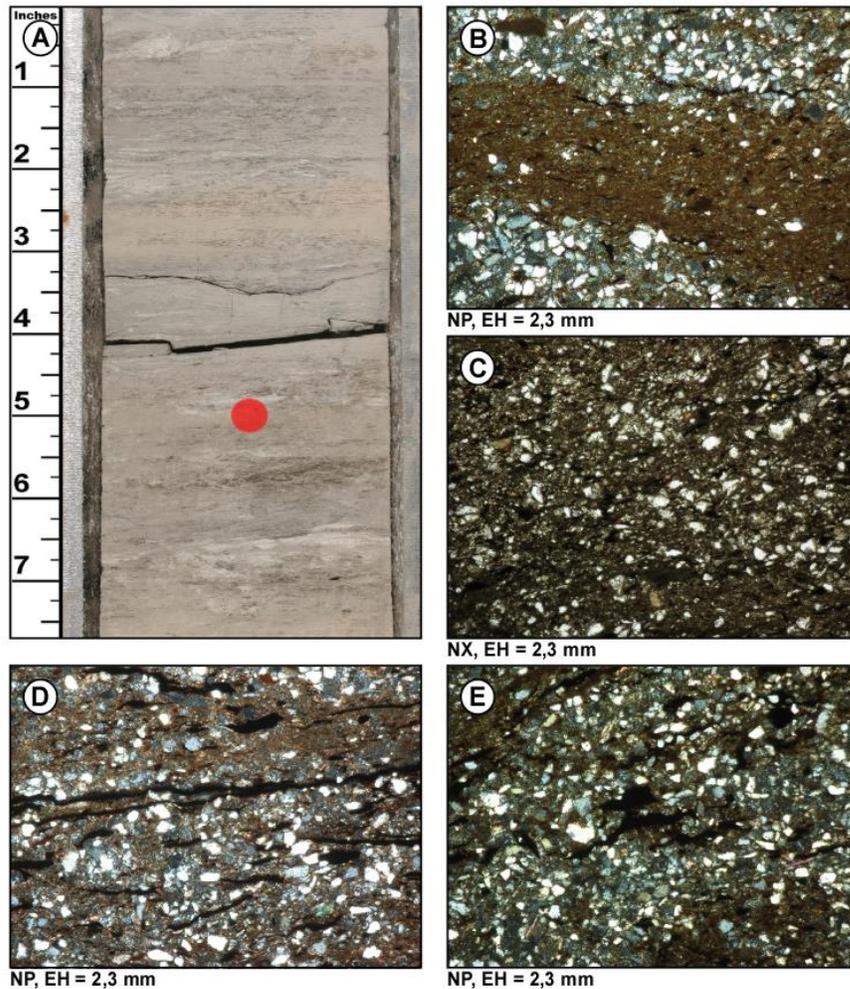


Figura 5.25 Fotografía de la sección fina tomada en el conglomerado basal @7993'5". (A) Fotografía del núcleo y muestreo (punto rojo). (B) Fotomicrografía mostrando lámina de arcilla y materia orgánica en conjunto con láminas de arena con matriz arcillosa. (C) Se muestra la mezcla de arena fina de contacto flotante y puntuales con matriz arcillosa dentro de la lámina. (D) Muestra láminas continuas y discontinuas, horizontales, de materia orgánica y levemente abierta (porosidad). (E) Materia orgánica puntuales dentro de la lámina de arena fina de contacto puntual y longitudinal, además se observan pocas micas. Núcleo 1 del Pozo BN-848.

#### **5.4.1.2 Descripción petrográfica a Profundidad de 8491'**

La litología en esta zona del pozo corresponden a arenisca de grano grueso a muy grueso (0,19 y 1,73mm), presentando un tamaño promedio de grano de 0,96mm, beige, friable, tipo sal y pimienta (los granos negros son fragmentos de carbón), escogimiento de pobre a moderado, subangular y contacto que varían desde puntal a longitudinal. Se observan restos de carbón y arcilla en láminas paralelas, onduladas, continuas y discontinuas. Las laminaciones aumentan su contenido hacia el tope.

Dentro de los componentes detríticos se pudo observar el cuarzo monocristalino (50%) y policristalino (10%). De igual manera feldespatos potásicos (8%) y fragmentos sedimentarios sin diferenciar, además se evidenció la presencia de algunos accesorios como micas en trazas. La roca presenta una matriz relleno de poros (2%) y delineándolos (8%), la porosidad visual varía de 10-12%, mayormente intergranular y otras módicas en pequeña escala o posible porosidad inducida por preparación de la lámina (Ver Figura 5.26).

Los distintos tipos de arenisca presentan baja madurez textural, evidenciada principalmente por la redondez de los clastos, los cuales varían de subangulares a subredondeados, siendo principalmente subangulares.

De acuerdo con esta sección fina el diagrama descrito por Pettijohn *et al.* (1972) la roca se puede clasificar como una arenisca cuarzosa validando nuevamente la facie C descrita por DRX y adjunta a la microfacies C.1.5.

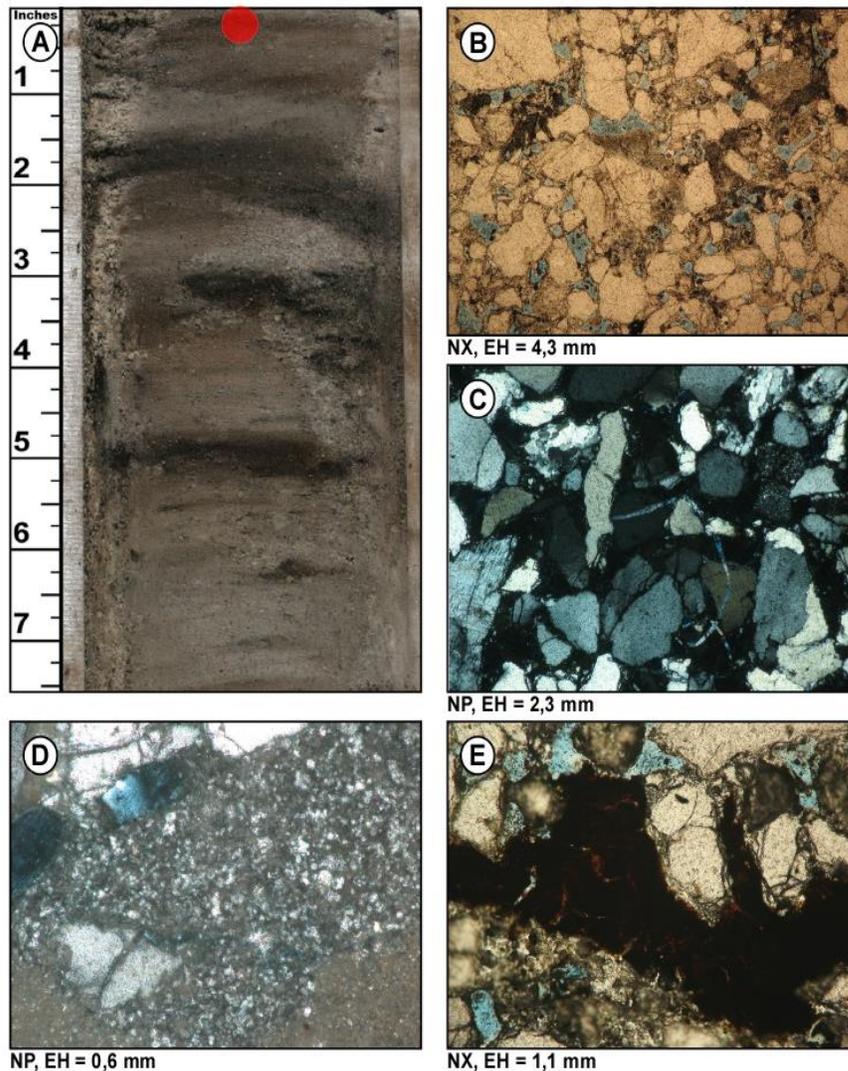


Figura 5.26 Fotografías de la sección fina tomada en el conglomerado basal @8491”.

(A) Fotografía de núcleo y muestreo (punto rojo). (B) Fotomicrografía mostrando la porosidad interpartículas y granos de arena media y fina subredondeados y anguloso. (C) Se muestra granos de arena fina longitudinales, algunos caolinitizados, asimismo monocristalinos en su mayoría y pocos policristalinos. (D) Muestra matriz caolinitizada. (E) Material carbonatico (siderita) puntuales dentro de la matriz que soporta los granos de cuarzo finos. Núcleo 3 del Pozo BN-848.

#### **5.4.1.3 Descripción petrográfica a Profundidad de 8508' 3''**

El intervalo se describe como unasecuencia heterolítica de areniscas y lutitas, con mayor porcentaje de arenisca, donde las capas de arenisca (blanco o gris claro), son de grano muy fino (0,08 - 0,18 mm), con un promedio entre ellos de 0,13 mm, escogimiento moderado, redondez con variaciones de subangular a subredondeados y el contacto entre granos de puntual a longitudinal, además de restos de carbón y laminaciones onduladas de materia orgánica y lutitas, escasamente bioturbada sin diferenciación.

La roca está compuesta principalmente por cuarzo monocristalino (60%), feldespato potásico (5%), igualmente de fragmentos de rocas sedimentarias indeterminadas y micas en pequeñas cantidades (2%). La matriz se encuentra relleno de poros (15%) y delineando poros (3%). La presencia de materia orgánica (5%). La porosidad mayormente observada es intergranular (Ver Figura 5.27). De acuerdo a los resultados y aplicando la clasificación de Pettijohn *et al.* (1972), la muestra se clasifica como una arenisca cuarzosa denominada por DRX como microfacie C.1.1 corrigiendo y validando la facie C como areniscas cuarzosas.

Para los distintos tipos de arenisca presentes, la baja madurez textural, permite suponer una rápida depositación de los sedimentos y poco transporte de los mismos.

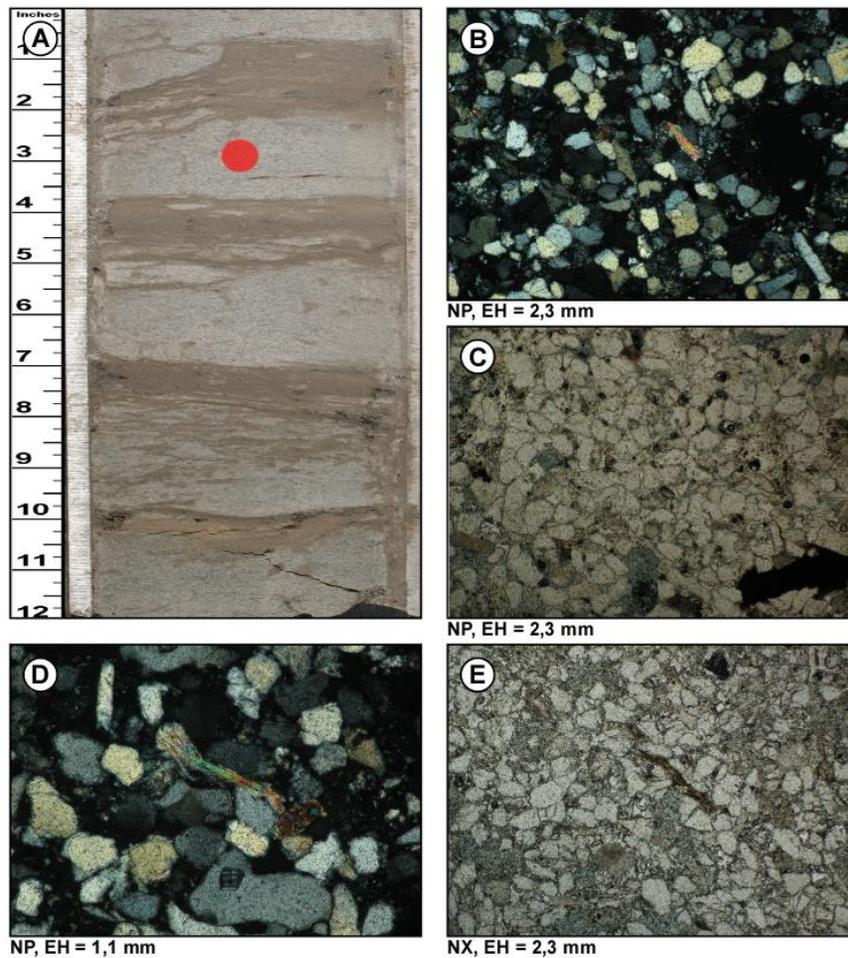


Figura 5.27 Fotografía de la sección fina tomada @8508'3".

(A) Fotografía de núcleo y muestreo (punto rojo). (B) Fotomicrografía mostrando los granos de arena fina y muy fina subredondeado y anguloso, así como trazas de micas. (C) Se muestra granos de arena fina, además de matriz cementada y poca porosidad interpartículas, puntualmente materia orgánica. (D) Muestra fragmentos de mica y pocos cuarzos caolinitizados. (E) Se observa poca matriz arcillosa (caolinitizada). Núcleo 3 del Pozo BN-848.

### 5.5 Análisis e interpretación granulométrica de agregados finos y gruesos

En las Figuras 5.28, 5,29 y 5.30 se exponen los histogramas resultantes (ASTM D-75) para la clasificación de las arenas finas, medias y gruesas, igualmente se reflejan las características resaltantes (Anexo F). Sumado a lo expuesto se infiere una distribución del 68% de arenas finas, un 21% arenas medias y 11% para arenas de grano grueso (Ver Tabla 5.3 y Figura 5.31).

A partir del porcentaje mayoritario de arena fina coincide con los estudios de DRX corresponden a la microfacie C.1.2, descrita con tamaño de grano de grueso – medio a fino, subangulares a subredondeados, con moderada presencia de arcillas, quedando validado el tamaño de grano por esta técnica cuantitativa.

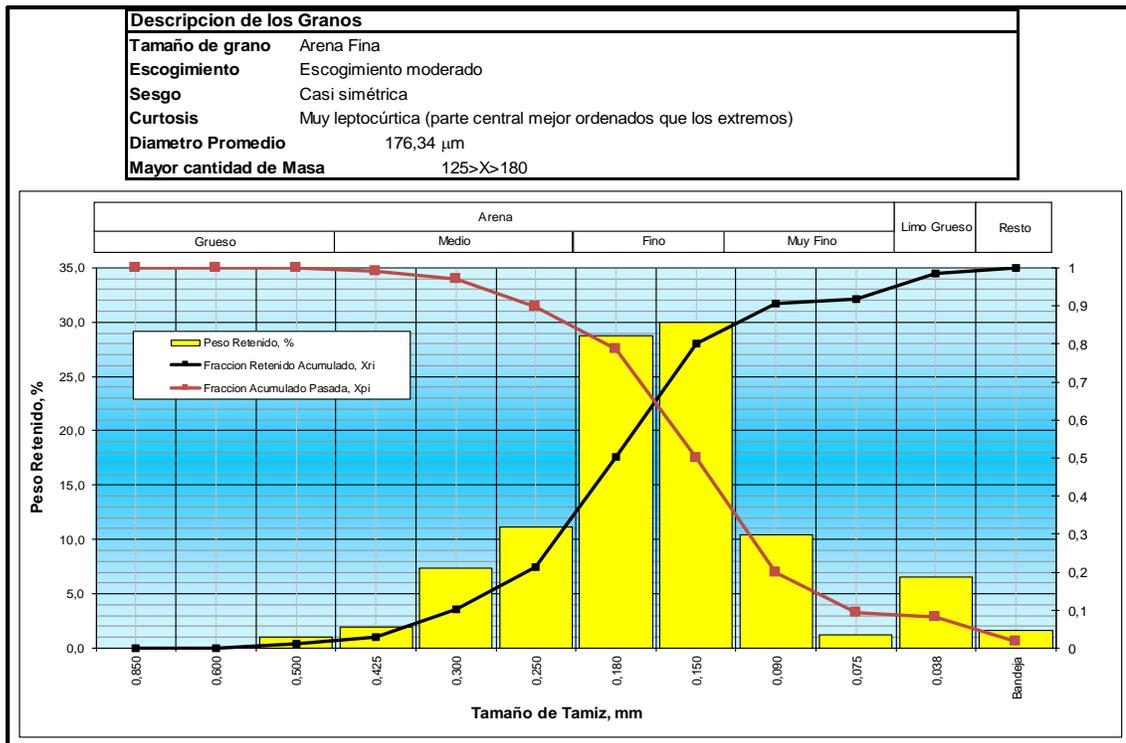


Figura 5.28 Histograma para la descripción y clasificación de muestra @7995' 6,25".

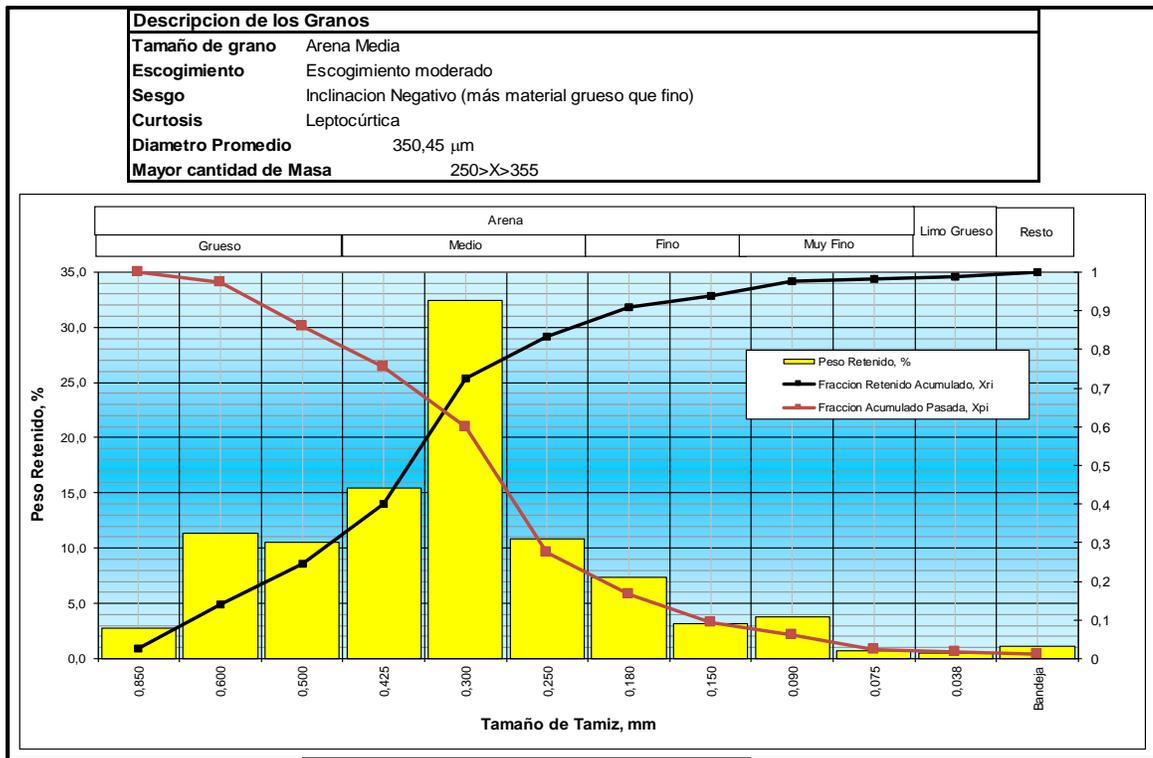


Figura 5.29 Histograma para la descripción y clasificación de muestra @8459' 4''.

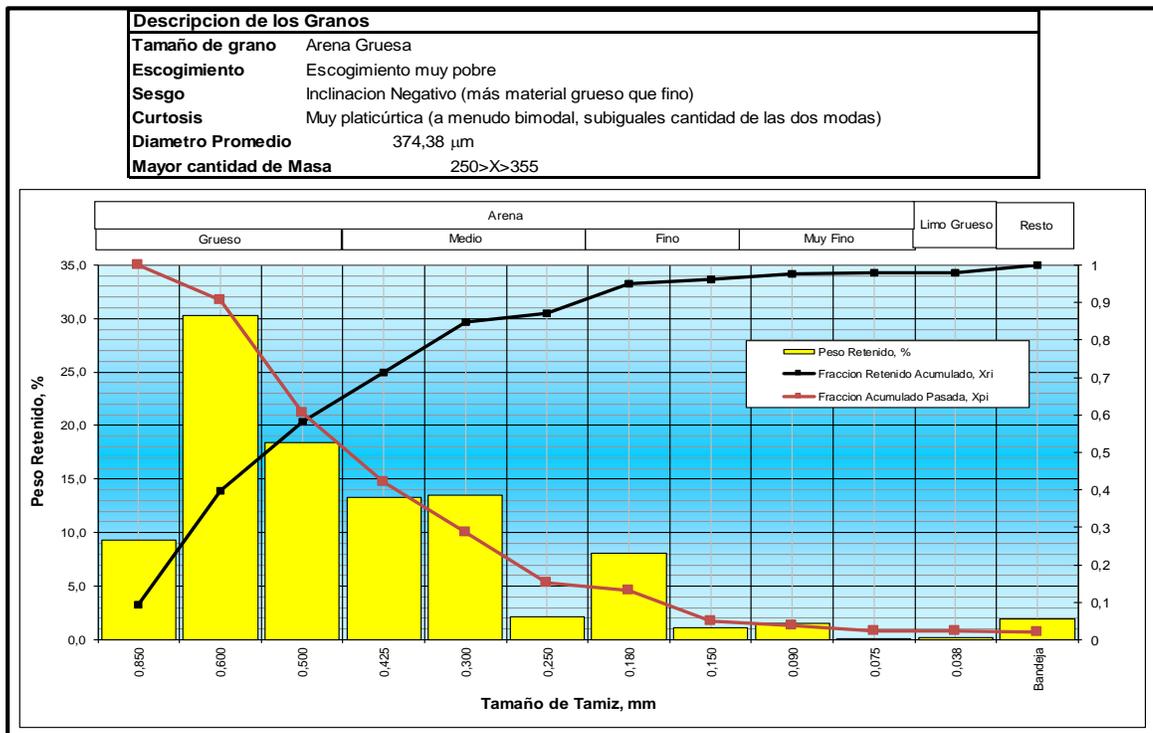


Figura 5.30 Histograma para la descripción y clasificación de muestra @8458' 2''.

Sumado a lo expuesto se realizó una tabla y un diagrama con los resultados de forma general del estudio granulométrico para los ejemplares de interés del pozo, en este sentido, arrojan una distribución de un 68% para arenas finas como predominio de tamaño granular, además de 21% para arenas medias y 11% para arenas de grano grueso (Ver Tabla 5.3 y Figura 5.31).

Tabla 5.3 Distribución de diámetros de partícula y clasificación según Wentworth, 1922.

Tamaño de grano	Muestreo	%
Arena Fina	13	68
Arena Media	4	21
Arena Gruesa	2	11
Total	19	100

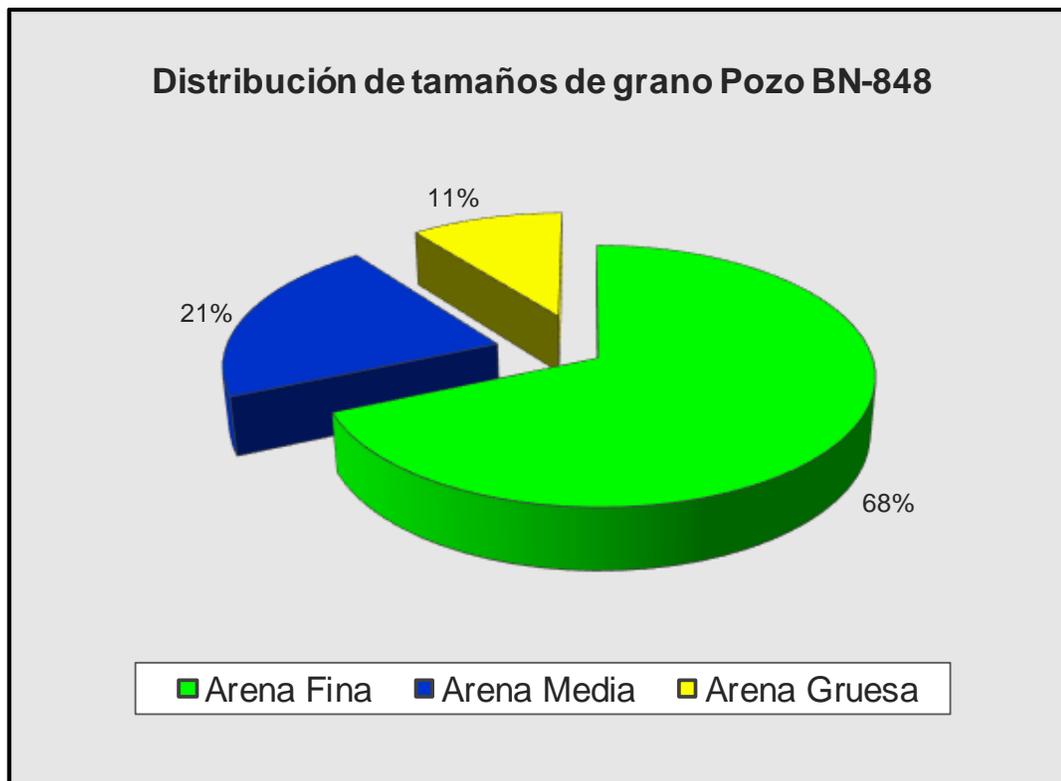


Figura 5.31 Distribución del tamaño de granos para 19 muestras seleccionadas del Pozo BN-848.

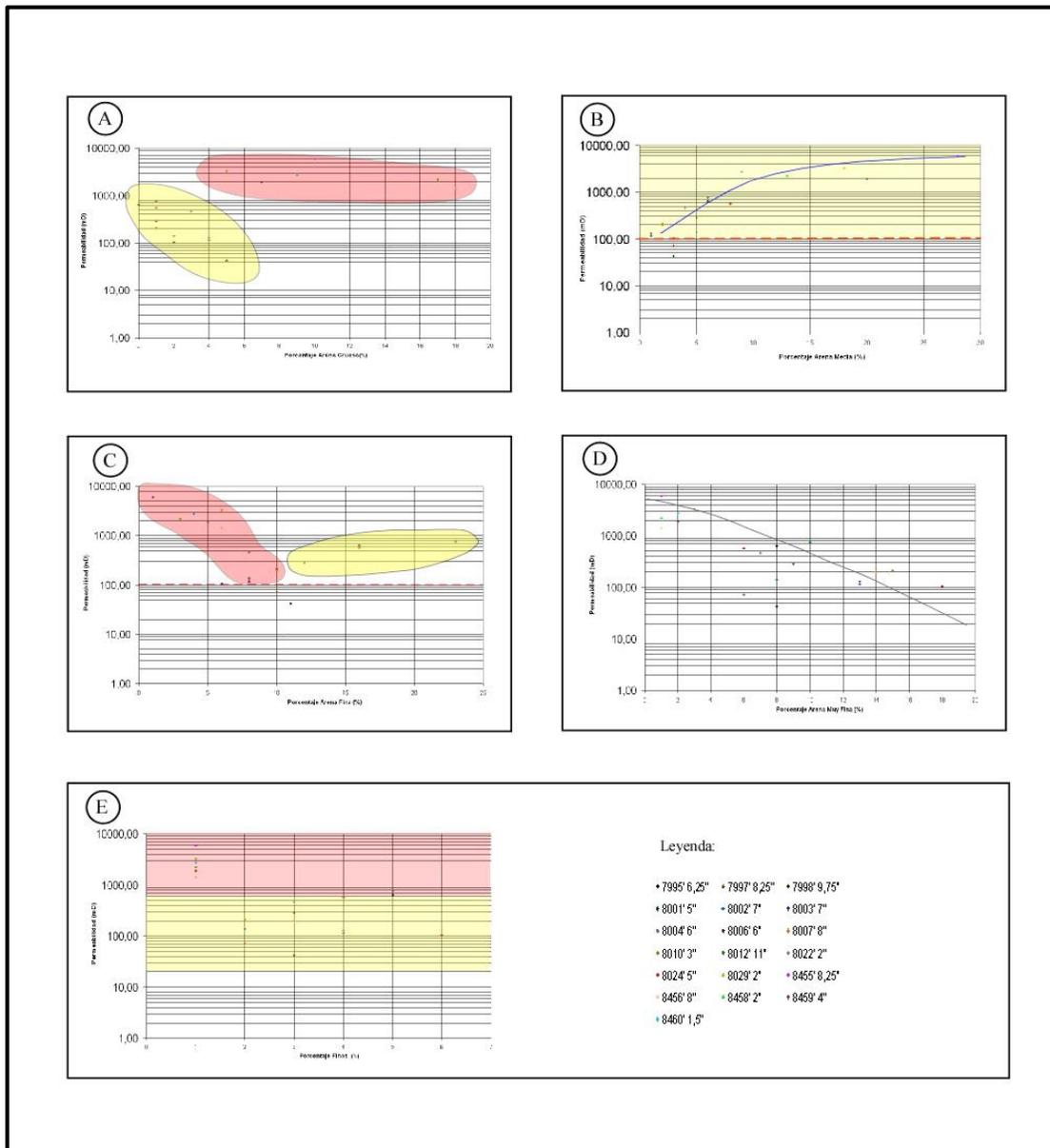
Cuatro muestras representan el 21% de la microficies C.1.3 y C.1.4, descritas con variaciones de grano grueso a medio, subredondeados. En otro sentido, el 11% de las arenas gruesas corresponden a la microficie C.1.3 validando los estudios anteriores de manera que esta microficies puede tener dominio de grano grueso o medio. A través de la tabla 5.4 se puede observar de manera detallada el porcentaje de granos obtenido entre los límites del tamaño y la clasificación para cada una de las profundidades seleccionadas para este estudio.

Tabla 5.4 Distribución de diámetros de partícula y clasificación según Wentworth, 1922.

Muestra	Arenas				Limos y arcillas	Tamaño de grano	Dens. (g/cm3)	Pors. (%)	Permb. (mD)
	%Grano Grueso	% Grano medio	% Grano fino	% Grano muy fino	% Finos				
7995' 6,25"	0	6	16	8	5	Arena fina	1,92	28,25	640,31
7997' 8,25"	4	3	10	6	2	Arena fina	2,00	24,19	71,24
7998' 9,75"	1	5	12	9	3	Arena fina	1,96	25,74	283,96
8001' 5"	5	3	11	8	3	Arena fina	2,04	25,74	42,35
8002' 7"	2	5	8	8	2	Arena fina	1,92	23,71	138,90
8003' 7"	4	1	8	13	4	Arena fina	2,00	23,55	115,88
8004' 6"	4	1	8	13	4	Arena fina	1,95	23,49	130,02
8006' 6"	2	3	6	18	6	Arena fina	1,95	27,81	104,16
8007' 8"	1	2	10	14	3	Arena fina	1,94	27,81	199,86
8010' 3"	1	2	10	15	2	Arena fina	1,99	27,89	210,06
8012' 11"	1	6	23	10	5	Arena fina	1,85	29,26	760,93
8022' 2"	3	4	8	7	3	Arena fina	2,05	22,84	464,52
8024' 5"	1	8	16	6	4	Arena fina	1,66	33,64	564,21
8029' 2"	5	18	6	3	1	Arena media	1,62	31,80	3268,36
8455' 8,25"	10	28	1	1	1	Arena media	1,84	30,38	5985,04
8456' 8"	18	9	6	1	1	Arena gruesa	1,85	31,42	1430,82
8458' 2"	17	13	3	1	1	Arena gruesa	1,86	27,17	2204,71
8459' 4"	7	20	5	2	1	Arena media	1,96	25,11	1895,66
8460' 1,5"	9	14	4	2	1	Arena media	1,85	32,01	2726,56

En la figura 5.32 se muestra la relación de porcentaje del tamaño de arena (gruesa, media fina y muy fina) y finos (arcillas y limos) respecto a la permeabilidad, destacando particularmente que existe posibles efecto por aumento del contenido de arenas media mejorando la permeabilidades medidas en los intervalos debido a la uniformidad de los granos, además, el incremento de arenas muy fina con la media tiende a disminuir las permeabilidad pero manteniendo los valores de porosidad similares (Figura 5.32A y 5.32B). Otro punto a considerar es la relación de uniformidad con el contenido de arena gruesa y media mejorando porosidades y

permeabilidades muy buenas con menor contenido de finos (arcillas y limo) dentro de la composición de la arena yacimiento. Las figuras 5.32D y 5.32E representan la relación de permeabilidades y el porcentaje de finos (arcillas y limo) mostrando las variaciones del incremento porcentual del tamaño de grano y el efecto de disminución de la permeabilidad y viceversa.



En resumidas cuentas, los tamaños de grano predominantes en el estudio, pertenecen en su totalidad a las facies “C” con sus respectivas variaciones internas, la microfacies C.1.2 predomina con un 42%, asimismo, las muestras pueden ser consideradas como psamita o arenisca de grano fino mayoritariamente, de esta manera podemos clasificarla usando los resultados de DRX y calibrando con petrográficas y dar el nombre de la arena según su textura a partir del diagrama triangular (Okrusch. M. & Matthes. S., 2005).

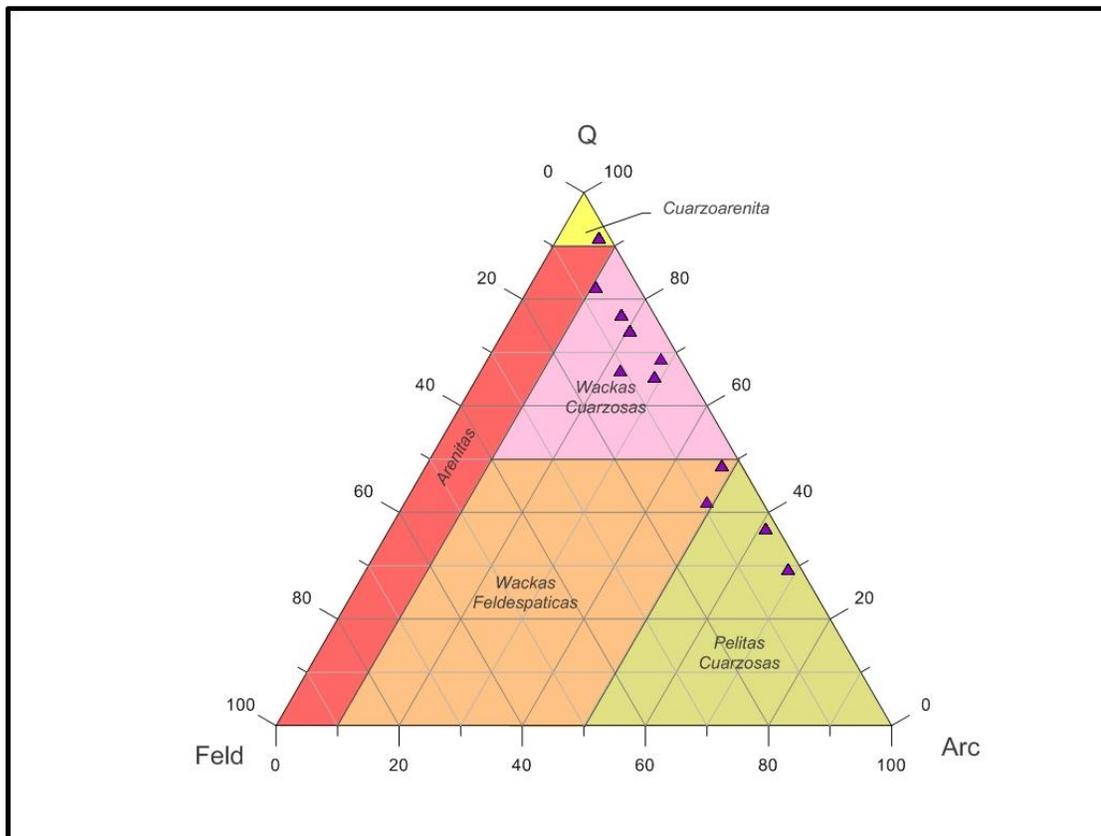


Figura 5.33 Diagrama triangular de calificación textural a partir de los resultados DRX (Tomado y modificado de Dott, 1986)

## **5.6 Análisis e interpretación de petrofacies (Winland R35)**

A través del anexo G se puede dar lugar a la tabla de la caracterización de las muestras con los resultados del radio poral definido por el método de Winland (R35).

Una vez realizada la identificación de petrofacies y algunos análisis de las características sedimentológicas y minerales de las rocas, se procedió a la identificación de las zonas con las mejores características para almacenar y producir hidrocarburos.

### **5.6.1 Identificación y caracterización de petrofacies**

A través de la Figura 5.34 se puede observar de manera cualitativa el grado de dispersión y la tendencia de los puntos que tienden a agruparse bajo distintas modalidades de relación  $K / \emptyset$ , lo cual indica heterogeneidad en la sección arenosa, presumiendo de esta forma la existencia de distintos tipos de roca o múltiples radios de garganta porales en las muestras analizadas para el pozo.

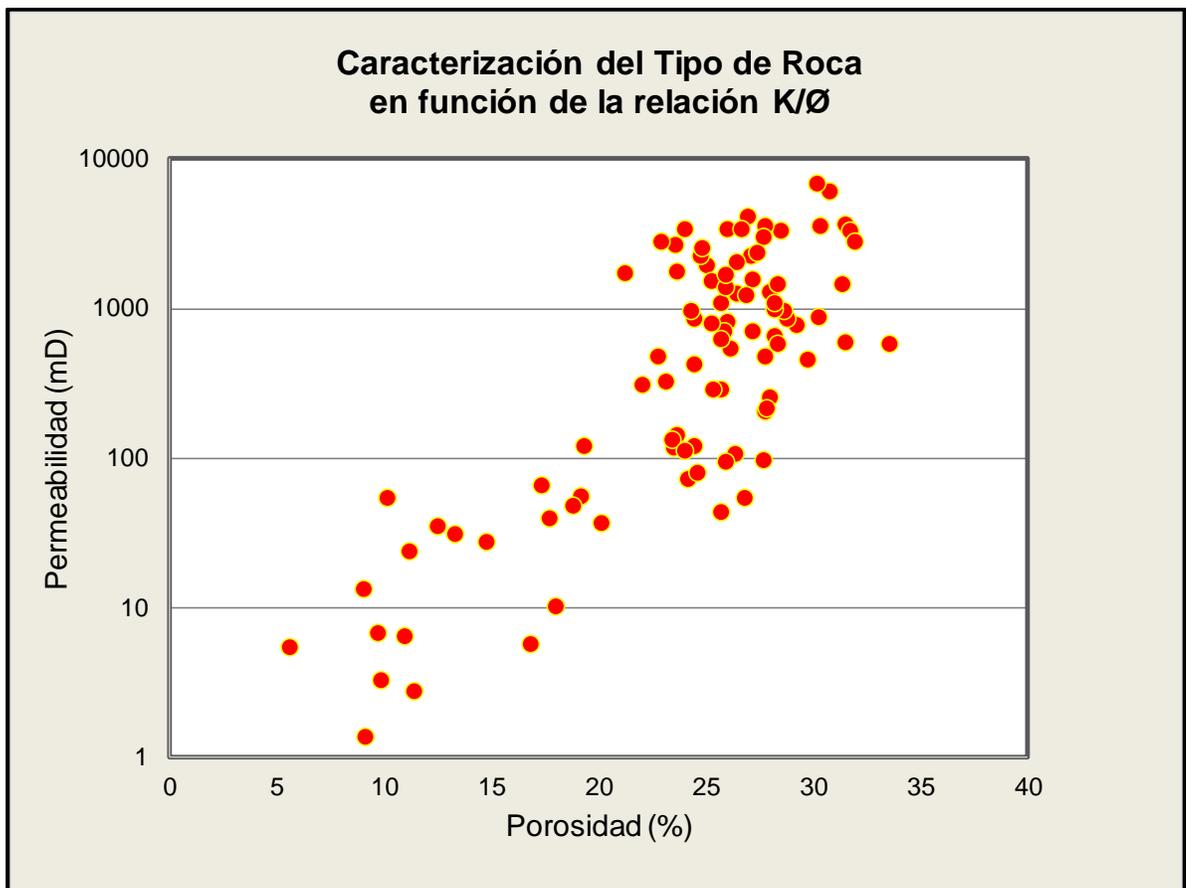


Figura 5.34 Caracterización del tipo de roca en función de la relación  $K/\emptyset$ .

### 5.6.2 Descripción del sistema poral y petrofacies

Como una primera aproximación para determinar el tipo de roca, se realizaron gráficos de  $K / \emptyset$ , con los datos de porosidad y permeabilidad obtenidos de los análisis convencionales a los núcleos.

Es de hacer notar que los radios que dominan el flujo son aquellos que representan los tamaños de garganta iguales o menores a aquellos para los cuales la saturación de fluido contribuye al flujo y no al almacenamiento. Los radios de garganta considerados en el presente trabajo como los que dominan el flujo son los radios que satisfacen matemáticamente las

condiciones necesarias para identificar una distribución de radios de garganta dada, coherente con respecto a los valores de permeabilidad esperados para arenas no consolidadas (Lafage 2008). Es importante mencionar que cada tamaño de poro tiende a estar asociado a un rango limitado de tamaños de gargantas de poro, por lo que diferentes tamaños y tipos de poros forman circuitos de flujo casi independientes, presentando un tamaño de garganta característico. Esto quiere decir que no hay una única clase modal de tamaño de garganta de poro que sirva como predictor de los valores de porosidad y permeabilidad. Estas observaciones se verifican a partir de los estudios realizados por Winland (R35), quienes proponen diferentes percentiles de saturación como los mejores indicadores de la permeabilidad para areniscas y carbonatos.

Utilizando las ecuaciones establecidas por Winland y con los datos convencionales, se determinó los radios de garganta poral para la saturación @35% para las muestras del pozo en estudio (Ver anexo G).

Seguidamente, al extrapolar la ecuación de Winland R35 a todos los datos convencionales y al construir el gráfico semi-log de Porosidad vs. Permeabilidad de las unidades siliciclásticas del campo Boscán del Pozo BN-848 (Figura 5.35).

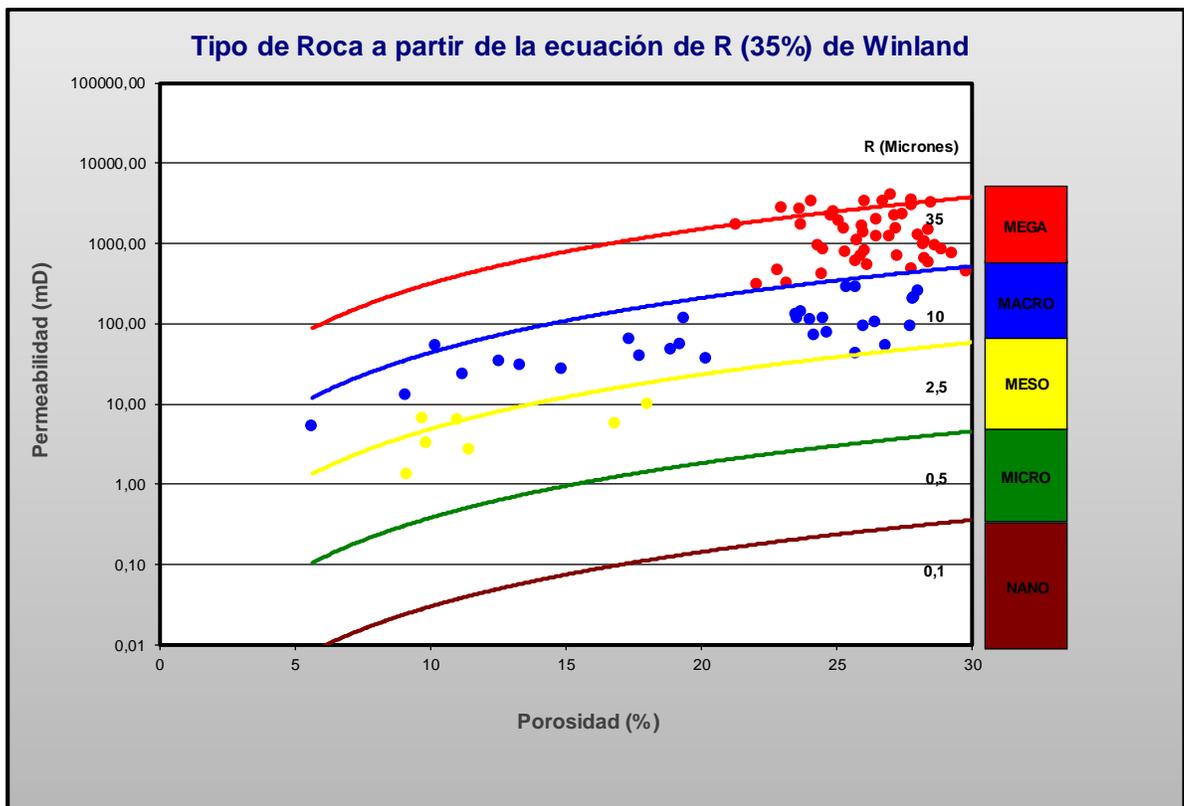


Figura 5.35 Caracterización del tipo de roca en función de la relación  $K/\emptyset$ .

Se corrobora la heterogeneidad en el tipo de poro y algunas muestras quedan en la interface entre dos tipos de roca. Las líneas diagonales representan valores iguales de  $K/\emptyset$ , por lo tanto, los puntos graficados a lo largo de la misma línea representan rocas de calidad similar. A partir del gráfico se determinó que los radios de garganta megaporos son los que dominan el flujo para las muestras del pozo BN-848 con permeabilidades del orden de los  $10^3$  darcies asociados al percentil 35 sugerido por Winland para areniscas y carbonatos.

### **5.6.3 Análisis y determinación de la calidad de la roca**

Como seguimiento a esta actividad, se presenta una descripción sistemática del sistema poral del muestreo en estudio, con un enfoque que va de lo macro a lo micro precisando detalles de las petrofacies a partir del análisis por métodos empíricos de Winland (R35).

De este modo el Pozo BN-848 muestra una distribución de tres tipos de roca, que van desde las petrofacies mesoporosa a megaporosa, resultando dominación de megaporos con un 61%, seguido de 32% de macroporo y finalmente un 7% de mesoporo (Figura 5.36 y Tabla 5.5).

Sumado a lo expuesto, se puede decir que la distribución dominante (megaporoso), presentada por 13 muestras del núcleo 1 y 44 del núcleo 3, posee características litológicas semejantes de acuerdo a la sedimentología descrita por Suarez en el 2017, se sostiene una abundancia de tamaño de grano que varía de media a grueso y escogimiento moderado. Además, comparando los resultados obtenidos en la distribución con los adquiridos en DRX se puede afirmar que la facie mineral dominante es la "C", con existencia de variaciones o microfacies C.1.3, C.1.4 y C.1.5.

Por otro lado, se tiene que 18 muestras pertenecientes al núcleo 1, 3 al núcleo 2 y 9 del núcleo 3 describen la distribución macroporosa corresponde a un tamaño de grano fino a medio, con escogimiento moderado, presencia de lutitas, lutitas carbonosas y pocas secuencias heterolíticas. La facie mineral que domina es la facie mineral "C", especificando que las variaciones corresponden a las microfacies C.1.2 y C.2 definidas en la sección 5.3.

En la misma forma, la distribución definida como mesoporosa, conformada por un muestreo de 2 para el núcleo 1, 3 de núcleo 2 y 3 al núcleo 3, es

descrita por tamaños de grano fino de escogimiento moderado y presencia de areniscas y lutitas con secciones heterolíticas dominantes dentro de la distribución. Cabe destacar que la facie mineral definida dominante es la “B” con presencia de algunas facies minerales especificadas como “A” y “D”.

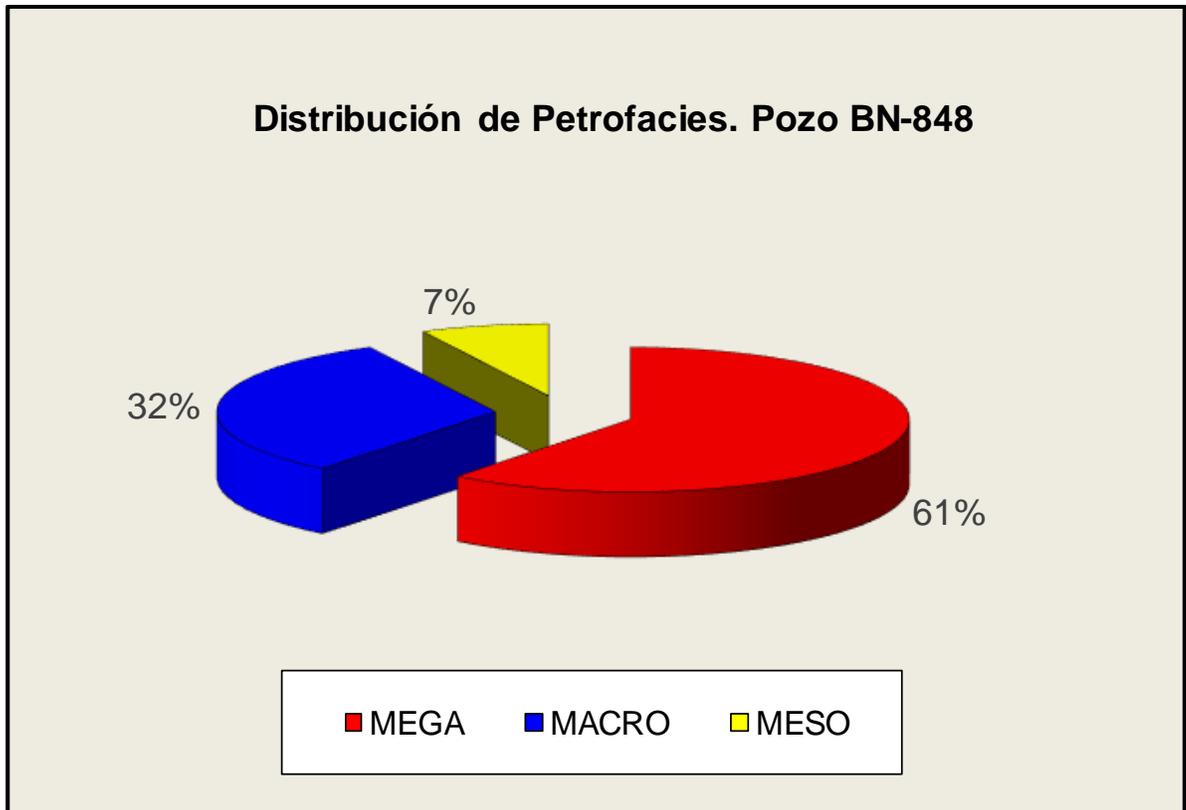


Figura 5.36 Distribución de Petrofacies para el Pozo BN-848.

Tabla 5.5 Clasificación de las facies petrofísicas y su porcentaje de acuerdo a la contabilidad del muestreo.

Petrofacie	Porcentaje	Muestreo	Porosidad (%)	Permeabilidad (mD)
MEGA	61	57	21 - 32	300 - 7000
MACRO	32	30	5 - 26	5 - 280
MESO	7	7	9 - 17	1 - 7
<b>Total</b>	100	94		

Sobre la base de los resultados descritos anteriormente, se puede decir que, la sección del pozo en estudio presenta características petrofísicas heterogéneas. Las rocas con mejor capacidad de flujo corresponden a aquellas que presentan los valores más altos de permeabilidad y porosidad.

De esta manera resulta claro que las secuencias arenosas correspondientes a las facies mineral "C", en específico las variaciones "C.1.3, C.1.4 y C.1.5" indican la presencia de reservorios buena calidad y desarrollo prospectivo. Así mismo, la calidad de la roca o yacimiento disminuye en este pozo hacia las facies minerales "A" y "D" por efecto de la presencia de caolinita.

## CONCLUSIONES

1. La metodología empleada en Difracción de Rayos X permitió obtener los resultados de un total de 110 muestras pertenecientes al Pozo BN – 848. Los porcentajes minerales promedio analizados en muestra en polvo, logran definir que se tratan de arenas, con ciertas variaciones de porcentajes de cuarzo, además, moderado contenido de filosilicatos, y poco a escasos contenido de feldespato, pirita, calcita y dolomita, en lo que se refiere a estos dos minerales carbonáticos, dan indicio de la existencia de dos procesos en la sedimentación. Aunado a esto los resultados de la fracción menor ( $<2\mu$ ) determinaron un dominio del  $80\pm 5\%$  de caolinita, y escasa trazas de illita, capaz mixtas (I/S) y esmectita.
2. El análisis multivariable para el agrupamiento logró discriminar de manera concisa los orígenes, procesos y correlación (petrofísica y sedimentología) en las muestras analizadas. Mediante el software HighXperts se agruparon 12 familias en lo esencial para lograr una relación en las facies sedimentarias. Además, se procedió al aguzamiento definitivo a partir de las cuantificaciones obtenidas y reportadas por las muestras no orientadas mediante la herramienta estadística MiniTab, generando un dendograma final con 4 facies minerales (A, B C y D) y 10 variaciones internas con una semejanza entre muestras de un 88%. Las facies y microfacies minerales definidas en el pozo presentan un buen cotejo con las porosidades y permeabilidades en los mismos intervalos.
3. La técnica de Fluorescencia de Rayos X, resultó adecuada para el análisis de las muestras seleccionadas. Del método se obtiene, que el elemento que se encuentra presente en mayor proporción en la mayoría

del muestreo es el dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), resultando clara la validación de la data obtenida en DRX. Además, en su composición minoritaria se presentan elementos artificiales considerados trazas, cuya variación es atribuida al ambiente de depositación.

4. El agrupamiento multivariable en cuanto a la composición química de las 19 muestras de estudio, confirmó que los ejemplares seleccionados corresponden a la sección arenosa con mayor influencia continental atribuidos a la facie mineral C, específicamente con microfacie mineral dominante C.1.2 representando el 42% del muestreo total.
5. El estudio granulométrico arrojó una distribución dominada por arenas finas, dicho porcentaje mayoritario de acuerdo con los estudios de DRX corresponden a la facie mineral definida como “C.1.2”, validando de manera cuantitativa la granulometría predominante. Robusteciendo la descripción sedimentológica.
6. El análisis de imágenes provee un método rápido para obtener mediciones directas de porosidad visual, área y forma del poro, escogimiento, mineralogía, cemento, matriz y componentes detríticos a partir de secciones delgadas. Permitiendo la validación de los resultados de al menos tres muestras de DRX, clasificándolas en wacas y arenitas. El manejo de la información, estimando su cantidad y calidad permitió estimar la confiabilidad de los resultados obtenidos en los otros ensayos.
7. Se logró un ajuste del 80% entre las facies minerales y sedimentarias definidas por Suárez en 2017. De estas evidencias se puede observar que los agrupamientos coinciden con respecto a las litologías descritas en la sedimentología del pozo BN-848; se logró un mayor ajuste en las

facies definidas como arenas, caso contrario con las facies definidas como lutitas y limolitas.

8. Sobre la base de los resultados de DRX se pudo inferir que son depósitos continentales marginales, es decir, transicional, donde la interacción de los procesos detríticos se mezcla con los procesos marinos, pero de manera sutil, lo que da a entender que los límites marinos son próximos costeros a pesar que observamos en los resultados un porcentaje no mayor a  $\pm 23\%$  de calcita, reflejando de esta manera la zona más marina de la secuencia por ello el análisis precedente señala a un depósito transicional con mayor dominio continental.
  
9. La ecuación empírica de Winland (R35) resultó idónea para la determinación de los petrofacies presentes en función de los análisis convencionales del Pozo BN-848, considerando que no se contó con análisis especiales de núcleo.
  
10. A partir de la relación permeabilidad vs porosidad se identificaron tres tipos de rocas. Resultando dominación de megaporos con un 61%, seguido de 32% de macroporo y finalmente un 7% de mesoporo donde los radios de garganta de poro de mayor tamaño corresponden a las mejores características de porosidad y permeabilidad con promedio de 26% y 3600mD respectivamente.
  
11. Las zonas con mejores propiedades y calidad de roca están representadas por las secuencias arenosas correspondientes a las facies mineral "C", en específico las variaciones o microfacies minerales "C.1.3, C.1.4 y C.1.5". De esta forma se sigue afirmando que las facies C corresponden a la mejor opción como sección para posibles exploraciones y producciones del pozo.

12. En la base de este trabajo está la integración de todos los datos adquiridos y una fluida comunicación interdisciplinaria (petrofísica, geología e ingeniería de yacimiento).

## RECOMENDACIONES

- Elaborar mapas de isopropiedades para cada unidad sedimentológica, que permita definir la geometría externa de los depósitos sedimentarios, su orientación y distribución areal.
- Realizar un estudio integrado en el área que permita correlacionar las unidades sedimentarias con el resto de los pozos para ver su extensión areal.
- Estudiar secciones finas para todo el pozo en cuestión o en su defecto para las 19 muestras catalogadas de interés, con la finalidad de validar la data obtenida en el ensayo de petrografía del estudio realizado.
- Complementar los datos y el análisis de los resultados obtenidos en el presente trabajo, definiendo las unidades de flujo correspondientes al pozo, ya que, se encuentran definidas las petrofacies.
- Realizar correlaciones con los datos obtenidos en los pozos adyacentes a los analizados, para establecer de manera concreta la ubicación de la fuente de aporte del área.
- Resulta claro que es recomendable obtener mayor cantidad de muestreo para posibles estudios granulométricos.
- Con la finalidad de mejorar la definición de las petrofacies del pozo, es recomendable realizar ensayos especiales (presión capilar) con la finalidad de determinar la saturación de mercurio que represente el radio de poro dominante.

- Es recomendable desarrollar las ecuaciones empíricas de Pittman y determinar el coeficiente de correlación que mejor se ajuste al radio de poro dominante y corroborar la heterogeneidad del tipo de roca.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahr, W (2008). *Geology of carbonate reservoirs: The identification, description, and characterization of hydrocarbon reservoirs in carbonate rocks*. Texas: A John Wiley & Sons INC. 296 p.
- Angulo M., Leila M., Jurado G., Maryuly Y. (2004). *Estudio petrográfico de las rocas del macizo Avila, recolectadas entre los ríos Miguelena y Camurichico, y las quebradas Tacamahaca y Chacaito, Estado Vargas*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Arias D., Iván R. (2004). *Estudio de minerales de arcilla presentes en muestras de sedimentos superficiales y núcleos de la fachada Atlántica venezolana*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Azar C., Elías J. (2015). *Quimioestratigrafía isotópica (O y C) y elemental en el intervalo Oligo-Mioceno de la plataforma carbonática "Perla" al noreste del golfo de Venezuela: implicaciones en estudios de correlaciones y paleoambientes*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Azpirixaga, Isaskun. (1985). *Modelo geológico Área Piloto Campo Boscán*. Nota Técnica, INT-01208,85. PDVSA Intevp. Los Teques. Venezuela.
- Bermúdez Polonio, J. (1981). *Métodos de difracción de rayos x: Principios y aplicaciones*. Ed. Pirámide. 462 pp.

Brandt L., Rodrigo G., García Mariano. (1980). *Análisis sedimentario de los afloramientos de la formación Mesa en la Cuenca del río Curito, Distrito independencia, estado Anzoátegui. Trabajo especial de grado.* Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Chacín O., Claudia C. (2003). *Caracterización química y adiométrica de muestras de canal correspondientes a cuatro pozos del campo petrolífero la concepción, estado Zulia.* Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Colmenares C., Omar Andres. (1997). *A Quantitative Palynostratigraphic Study of Five Wells from the Boscan Field, Zulia State, Venezuela,* Los Teques, PDVSA Intevep, INT – 3788,1997.

Concepción F., Mónica I.(2005). *Efectividad de las Ecuaciones de Pittman y de Winland para el Cálculo de Permeabilidad de Areniscas.* Trabajo especial de grado. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Edo. Miranda, Venezuela.

Correns, C.W. (1969). *Introduction to mineralogy, crystallography, and petrology.* Second edition. Springer Berlin.

Cullity, B.D. (1967). *Elements of X-Ray Diffraction.* Addison-Wesley Publishing Company. 514 pp

Da Silva, Ángel. (2011). *Curso de Propiedades de la Roca Yacimiento (Universidad Central de Venezuela).* Consultado el 12 de febrero de 2018. Disponible en internet:

<http://www.lacomunidadpetrolera.com/cursos/propiedades-de-la-roca-yacimiento/>

Da Silva R., Melia R. (2011). *Análisis de las relaciones Porosidad y Permeabilidad en Sedimentos No Consolidados*. Trabajo especial de grado. Universidad Simón Bolívar. Caracas.

Ekwere, P (1995). *Petrophysics. Department of Petroleum & Geosystem Engineering*. The University of Texas at Austin. 1049 p.

Escalante, Norelys. (2002). *Modelo sedimentológico-estratigráfico del yacimiento C-5 (Formación Misoa), área VZLA-12. Bloque I. Lago de Maracaibo*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

*Espectrometría de fluorescencia de rayos x*. Consultado el 03 de marzo de 2018 de [http://www.uned.es/cristamine/mineral/minbas\\_mrc.htm](http://www.uned.es/cristamine/mineral/minbas_mrc.htm)

Fleischer M., Mandarino A. *Mineral Species*. Tucson, 1999, 280 p.

Frisneda, M. I. (2005). *Efectividad de las Ecuaciones de Pittman y Winland para el Cálculo de Permeabilidad en Areniscas*. Trabajo especial de gado. Universidad Simón Bolívar. Sartanejas.

Galán H., Mirete M. (1979). *Introducción a los minerales de España*. Madrid, IGME. 420 p.

Gamora, Cristian. (2011). *Petrografía y diagénesis a partir de núcleos de perforación de las rocas sedimentarias de la cuenca San Juan, Chocó*. Colombia.

- Gunter, G.W., Finneran, J.M., Hartmann, D.J. and Miller J.D., Early. *Determination of Reservoir Flow Units Using an Integrated Petrophysical Method*, SPE 38679, Annual Technical Conference and Exhibition.
- Hartman, D & Coalson, E (1990). Evaluation of the Morrow sandstone in Sorrento field, Cheyenne County, Colorado, in S.A. Sonnenberg, L.T Shannon, K. Rader, W.F. von Drehle, and G.W. Martin, eds., *Morrow Sandstones of Southeast Colorado and adjacent areas. Presented in RMAG Symposium*, pp. 91-100.
- Hammond C. (2001). *The basics of crystallography and diffraction*. Oxford University Press, New York, USA.
- Herrera R., Willians J. (2006). *Análisis del comportamiento del lodo-cemento como material de construcción*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- INTER-ROCK, C.A. (2008). *Modelo Petrofísico Integrado, Reservorio Pata Mora, Miembro La Tosca*, U. E. Rincón de Los Sauces.
- INTER-ROCK, C.A. (2008). *Modelo Petrofísico Integrado Basado en Tipos de Roca, Campo Desfiladero Bayo, Reservorios Rayoso Clástico, Troncoso Inferior y Agrio Superior*, U. E. Rincón de Los Sauces.
- Jabbour, G. Márquez, R. & Guerra, I. (2009). A sandstones classification model. *Artículo de Investigaciónb Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 30, No. 3, pp. 219-228*
- Jackson, M. L. (1956). *Soil Chemical Analysis, advanced course*. Privately

published, Madison. Wisconsin.

Klein C., Hurlbut C. S. JR. (1997). *Manual de mineralogía (basado en la obra de J.D. Dana)*, 4ª ed. Tomo II. Reverté. 360-679 p.

Kostov I. Mineralogy. (1968). London, Oliver and Boyd. 587 p.

Lanas, Luis., Proaño, Sebastian. (2011). *Desarrollo para procedimientos para ensayos de micrografía, dureza, espectometría de rayos x y análisis de la microestructura de productos laminados para la mejora del control de calidad en la empresa Novacero S.A.* Trabajo especial de grado. Sangoloqui.

Marín, Z (2013). *Caracterización petrofísica del banco carbonatico "Perla", basado en la fábrica de roca, Golfo de Venezuela.* Trabajo especial de grado no publicado. Universidad Simón Bolívar. Sartanejas.

Martinez G., José A., Moreno., Sol, Negrón Z., Freddy F. y Saavedra Álvaro. (2015). *Resultados de Difracción de Rayos X (DRX) en muestras de afloramiento en los intervalos 1 y 2 de las localidades de La Azulita, Zea y Las Hernández.* Nota técnica, PDVSA INTEVEP, en imprenta.

Martínez G. Gladys J y Valletta A. Graziana. (2008). *Petrografía de las facies gruesas de la Formación Matatare y otras unidades del Centro-Occidente de Venezuela.* Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Mazuelas, Ángel, E., (1992). *Caracterización por difracción de rayos x de interestructuras de semiconductores 111-y. Aplicación al diseño de*

*súper redes tensadas para epitaxias de GAS/SI.* Centro nacional de microelectrónica, CSIC. Madrid.

Méndez, J (2009). *Carbonatos, origen y sedimentación.* Facultad de ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas. 159 p.

Mora, Cristian G. (2011). *Petrografía y diagénesis a partir de núcleos de perforación de las rocas sedimentarias de la cuenca San Juan, Chocó.* Trabajo especial de grado. Manizales.

Morales B. Omar E. (2014). *Estimación del factor de recobro de petróleo mediante la inyección de agua en el yacimiento IB / BS 101 del Campo Boscán.* Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Moore, D.M. & R. C. Reynolds JR. (1989). *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals.* Oxford University of Press, Oxford, 332 pp.

Mujica B., Gabriel J. (2010). *Estudio de la estabilidad de emulsiones de sistemas crudo boscán – agua.* Trabajo especial de grado. Universidad Simón Bolívar. Sartanejas.

Nichols, Gary. (2013). *Sedimentology and Stratigraphy.* Jhon Wiley & Sons. London.

Obstalecki M., Wong S., Dawson P., R y Miller, Matthew P. (2014). *Quantitative analysis of crystal scale deformation heterogeneity during cyclic plasticity using high-energy X-ray diffraction and finite-element*

*simulation*. Sibley School of Mechanical and Aerospace Engineering, Upson Hall. Cornell University. Ithaca, NY, USA.

Okrusch. M. & Matthes. S. (2005). *Mineralogie. Eine Einführung in die spezielle Mineralogie Petrologie und Lagerstättenkunde*. 5° Edicion. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.

Ortega, S (2017). Descripciones petrográficas P-29, PDVSA-Intevep.

Palacios M. Yessy J. (2013). *Caracterización del sistema poroso en rocas carbonáticas mediante el análisis digital de imágenes de secciones delgadas en el Golfo de Venezuela*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Perkins, Dexter. (2014). *Mineralogy*. Third edition. Pearson. Edinburgh Gate.

Perillo M., Gerardo E. (1995). *Geomorphology and Srdimentology of estuaries*. Second edition. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.

Pérez V., Alba R. (2013). *Estudio geológico de la Formación Socorro en elCcampo La Vela, estado Falcón*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Pettijohn F., J. (1964). *Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures*. Springer-Verlag. Berlin. Germani.

Pettijohn, F. (1975). *Sedimentary rocks*, (2da ed.): Harper Brothers.

Pittman, Edward D. (1992) *Relationship of Porosity and Permeability to Various Parameters Derived from Mercury Injection – Capillary*

*Pressure Curves for Sandstone*. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. Tulsa, U.S.A., pp. 191-198.

Povarennykh, A. S. (1972). Crystal chemical classification of minerals. Vol.1,2. New York, Plenum Press. 766p.

Richard a., Davis Jr. (1985). Coastal Sedimentary Environments. Second revised, expanded edition. Springer-Verlag.

Schlumberger, 2009. *Log interpretation chart*. Schlumberger: Texas. 180 p.

Schlumberger, 2017. Oilfield glossary [Glosario en línea]. Consultado el 01 de diciembre de 2017). Disponible en:

[http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/c/cation\\_exchange\\_capacity.aspx](http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/c/cation_exchange_capacity.aspx)

Siachoque P. Gerson G., Conde R. Carlos R. (2004). *Factibilidad técnica de la aplicación de la tecnología de mejoramiento in situ (M.I.S.) en un yacimiento de crudos medianos. Trabajo especial de grado*. Universidad Simón Bolívar. Caracas.

Snyder, R., Jenkins, R. (1996). Introduction to X-Ray Powder Diffractometry, New York: Wiley, 1996, pp 48-170.

Tarback Edward J y Lutgens Frederick K. (2005). *Ciencias de la Tierra, Una Introducción a la Geología Física*. 8° Edición. Paerson Educación S.A., Madrid, España.

Valentinuzzi, María C., (2008). *Análisis por fluorescencia de rayos x: Implementación de guías de haces en reflexión total*. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

**ANEXOS**

Anexo A. Semicuantificación mineral del Pozo BN-848 bajo normas ASTM-323.

**SISTEMA DE GESTIÓN PARA LA CALIDAD – ISO/IEC: 17025:2005**

Laboratorio: Análisis de Difracción de Rayos X

Cliente: Oswaldo Zamora Correo: Zamoraon@Pdvsa.com

Dirección: Intevep , Gerencia de Estudio de Yacimiento (EYEY)



**Resultados de Roca Total**

Gerencia Departamental de Exploración, Laboratorio de Difracción de Rayos X,  
Edificio Sur 1, Nivel 2, Lab. N°2, Sector El Tambor, Los Teques, estado Miranda, zona postal 1201

**ENSAYO REALIZADO**

Código	Título	Norma
IT-EYEX -XXX	Análisis mineralógico por DRX	ASTM - 323

**ANALISTA**

Realizado por	Revisado por:	Aprobado por:
Jefferson Gómez	José Martínez	Javier Pérez
Fecha de recepción:	Fecha de ejecución:	Fecha de reporte:
04/07/2017	28/08/2017	09/10/2017

EQUIPO	CONDICIONES	ROCA TOTAL (RT)
X-Perts Philips	Raw Data Origin	XRD measurement (XRDML)
	Scan Axis	Gonio
	Start Position ( $^{\circ}2\theta$ )	2,000
	End Position ( $^{\circ}2\theta$ )	45,000
	Step Size ( $^{\circ}2\theta$ )	0,05
analítico	Time per Step (s)	1,000

	<i>Generate Settings</i>	20 mA, 40 kV
	<i>Anode Material</i>	Cu
	<i>K-Aplhal (A°)</i>	1,5406
	<i>K-Aplha2 (A°)</i>	1,5443



## Resultados de Roca Total

Gerencia Departamental de Exploración, Laboratorio de Difracción de Rayos X,

IF – DRX – 2017 - 249 Edificio Sur 1, Nivel 2, Lab. N°2, Sector El Tambor, Los Teques, estado Miranda, zona postal 1201

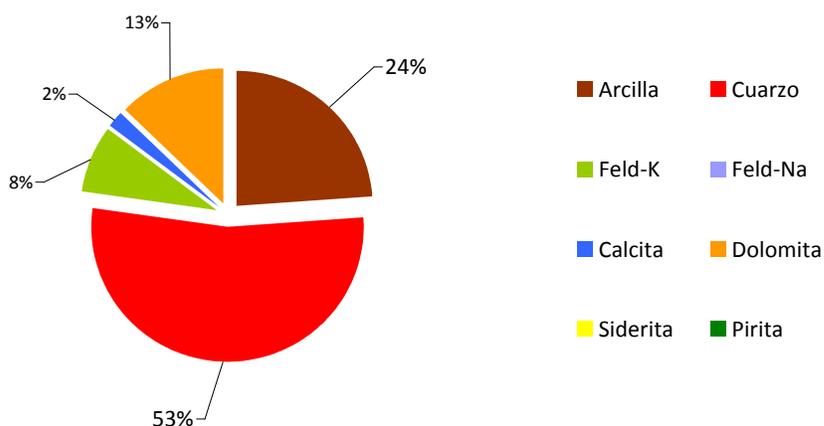
### IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Nombre de la muestra o pozo:	Coordenadas UTM / Profundidad	Código único del Laboratorio
BN - 848	8003' 7"	DRX – 2017 - 249

### RESULTADOS DE ROCA TOTAL

Mineral	Fac. de int. 100%	Int. de Fase (cuentas)	% Sin Normalizar	% Normalizado	% Aprox	Mineral
Arcilla	734	1031,00	14,0463	23,9353	24	Arcilla
Cuarzo	4767	14934,00	31,3279	53,3835	53	Cuarzo
Feld-K	6459	2968,00	4,5951	7,8302	8	Feld-K
Feld-Na	6446	0,00	0,0000	0,0000	0	Feld-Na
Calcita	6417	768,00	1,1968	2,0394	2	Calcita
Dolomita	7350	5526,00	7,5184	12,8115	13	Dolomita
Siderita	6021	0,00	0,0000	0,0000	0	Siderita
Pirita	2918	0,00	0,0000	0,0000	0	Pirita
			58,6845	100	100	

### DIAGRAMA PORCENTUAL DE COMPOSICIÓN MINERAL TOTAL



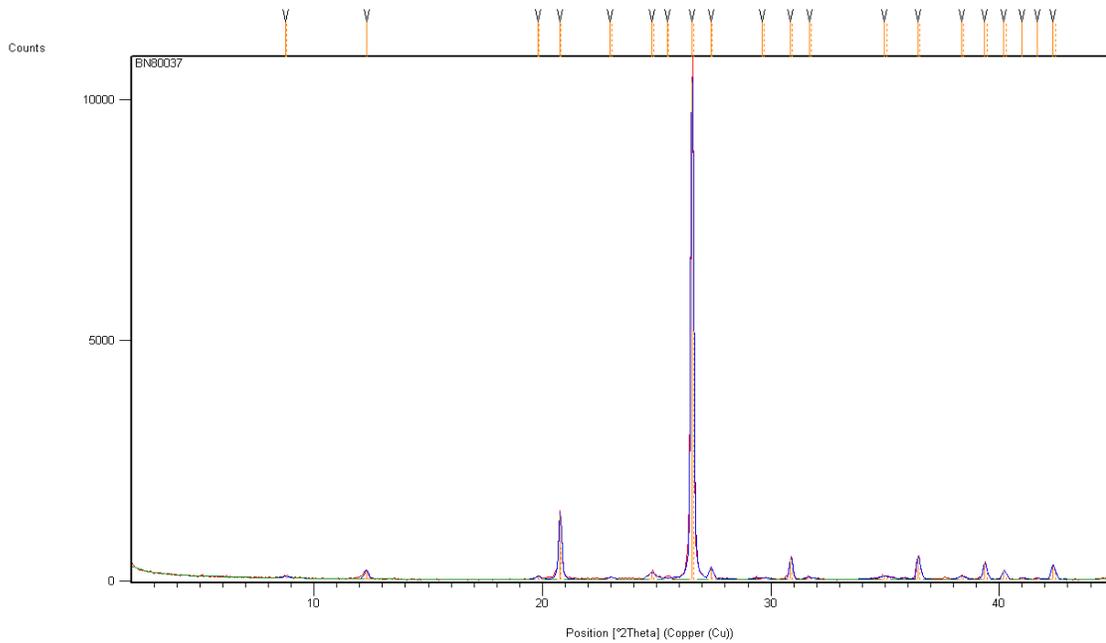
La información técnica contenida en este documento es propiedad de INTEVEP, S.A., filial de PDVSA  
Se prohíbe su uso y reproducción sin autorización previa y por escrito de INTEVEP, S.A.



## Resultados de Roca Total

Gerencia Departamental de Exploración, Laboratorio de Difracción de Rayos X,  
 IF – DRX – 2017 - 249 Edificio Sur 1, Nivel 2, Lab. N°2, Sector El Tambor, Los Teques, estado Miranda, zona postal 1201

### DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA



### FICHAS MINERALES

N°:	Mineral	N°:	Mineral
-	Cuarzo	-	Dolomita
-	Felds. K	-	Arcilla
-	Calcita	-	

La información técnica contenida en este documento es propiedad de INTEVEP, S.A., filial de PDVSA  
 Se prohíbe su uso y reproducción sin autorización previa y por escrito de INTEVEP, S.A.





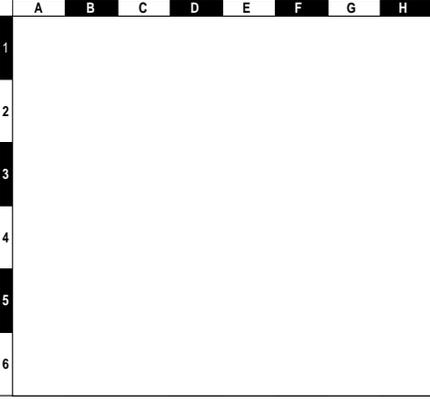
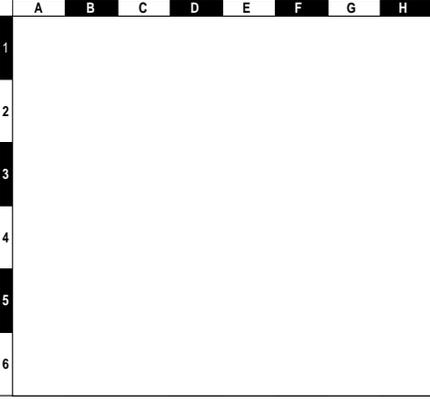
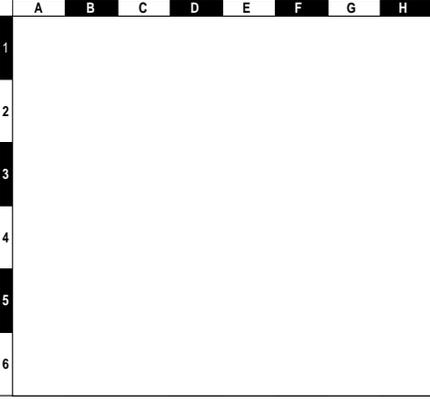
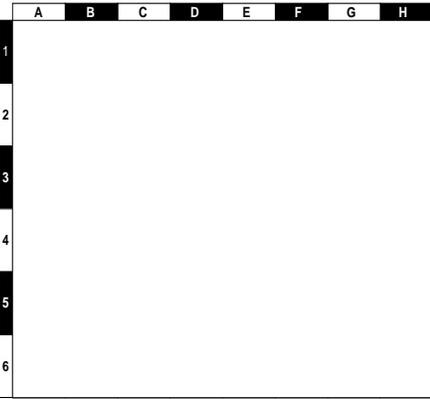
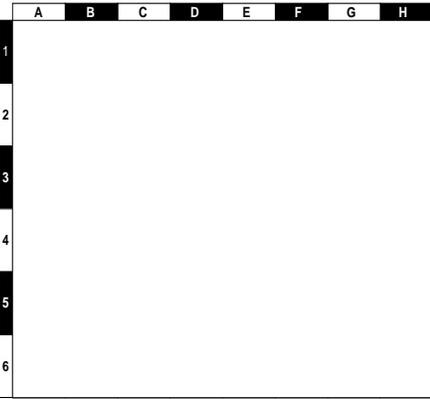
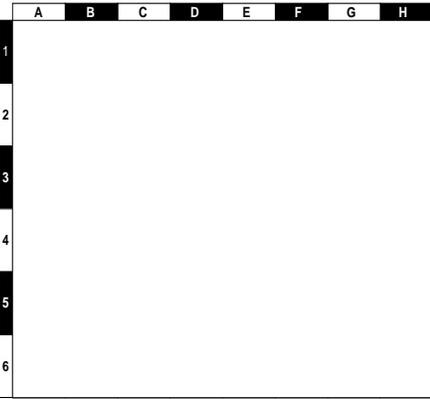
Anexo C. Porcentaje de Roca total y facies sedimentarias definidas.

Pozo	Núcleo	Profundidad	Nombre	Cuarzo	Felds - K	Felds - Na	Calcita	Dolomita	Siderita	Pirita	Acilla	Total	Porosidad	Permeabilidad mD	Densidad de grano	Facies
POZO BN-348	Núcleo 1	7994 7	CCAL 0 1	50	4	0	0	0	0	0	46	100	9.14	1.34	2.34	A1
		7995 1	CCAL 0 2	59	7	0	0	2	0	0	32	100	11.46	2.68	2.21	A1
		7995 6.25 "	CCAL 0 3	84	2	0	0	2	1	0	11	100	28.25	640.31	1.92	A2M
		7996 4	CCAL 0 4	72	8	0	0	2	0	0	18	100	28.41	573.89	1.91	A1X
		7996 4.25 "	CCAL 0 4V	73	7	0	0	1	1	0	17	100	24.52	117.04	1.97	A1X
		7997 8.5 "	CCAL 0 5	68	7	2	0	2	1	0	20	100	24.19	71.24	2.00	A2X
		7997 9.75 "	CCAL 0 6	73	8	0	0	2	0	0	17	100	27.78	471.49	1.96	A2X
		7998 9.75 "	CCAL 0 7	79	4	0	0	2	0	0	15	100	25.74	283.96	1.96	A1X
		8000 3 "	CCAL 0 8	65	5	0	3	4	1	0	22	100	28.03	251.43	1.91	A1X
		8001 5 "	CCAL 0 9	68	4	0	0	3	4	0	20	100	25.74	42.35	2.04	A1P
		8002 7 "	CCAL 0 10	66	5	0	0	4	0	0	24	100	23.71	138.90	1.92	A1X
		8003 7 "	CCAL 0 11	53	8	0	2	13	0	0	24	100	23.55	115.88	2.00	A1P
		8004 6 "	CCAL 0 12	73	5	0	3	5	0	0	15	100	23.49	130.02	1.91	A1P
		8006 6 "	CCAL 0 13	64	6	0	3	9	0	0	18	100	26.45	104.16	1.95	A1X
		8007 8 "	CCAL 0 14	75	3	3	0	5	0	0	14	100	27.81	199.86	1.94	A1X
		8008 7 "	CCAL 0 15	62	7	2	0	2	2	0	25	100	24.05	110.02	1.98	A1P
		8009 9 "	CCAL 0 16	60	5	0	0	0	3	0	32	100	24.65	77.82	2.03	A1X
		8010 3 "	CCAL 0 17	75	5	1	0	1	1	0	17	100	27.89	210.06	1.99	A1X
		8010 10 "	CCAL 0 18	63	10	0	4	2	0	0	21	100	26.00	91.78	1.92	A1P
		8011 7 "	CCAL 0 19	62	8	3	0	1	2	0	23	100	27.75	94.06	1.95	A1X
		8011 6.5 "	CCAL 0 19V	61	7	5	0	0	2	4	20	100	26.83	53.51	1.96	A1X
		8012 11 "	CCAL 0 20	73	6	0	0	2	1	0	18	100	29.26	760.93	1.85	A1P
		8014 4 "	CCAL 0 21	55	0	0	0	0	0	0	45	100	13.32	30.06	2.33	LL
		8022 2 "	CCAL 0 22	59	7	0	2	4	0	0	28	100	22.84	464.52	2.05	A2P
		8023 7.5 "	CCAL 0 23	67	9	0	3	7	0	0	15	100	28.87	830.31	1.87	A2
		8024 5 "	CCAL 0 24	82	7	0	0	1	0	0	10	100	33.64	564.21	1.66	A2
		8024 7.5 "	CCAL 0 25	62	6	0	0	2	1	0	29	100	14.85	26.65	2.11	A1P
		8025 6.75 "	CCAL 0 25V	86	3	0	0	1	0	0	10	100	31.53	584.50	1.66	A2P
		8025 9.75 "	CCAL 0 26	79	9	0	0	2	1	0	9	100	30.34	861.46	1.80	A2P
		8027 6 "	CCAL 0 27	87	4	0	0	1	0	0	8	100	26.04	796.46	1.69	A2M
		8028 4.25 "	CCAL 0 28	86	4	2	0	1	0	0	7	100	31.53	3614.27	1.90	A2M
		8028 2 "	CCAL 0 28V	84	5	0	0	1	0	0	10	100	30.38	3521.30	1.88	A2M
		8029 2 "	CCAL 0 29	82	7	0	0	0	0	0	11	100	31.80	3268.36	1.62	A2B
		8032 10 "	CCAL 0 31	45	4	0	0	0	3	0	48	100	16.84	5.58	2.24	LB
		8038 6 "	CCAL 0 32	29	0	3	0	0	0	0	68	100	11.18	23.06	2.14	LC
		8040 5.5 "	CCAL 0 33	29	0	0	0	0	0	5	66	100	12.57	34.07	2.07	LC
		8041 6 "	CCAL 0 34	41	4	0	0	0	0	1	6	48	9.07	13.02	2.37	L
		8042 10 "	CCAL 0 35	46	3	0	0	0	9	0	42	100	11.01	6.21	2.40	H
		8455 6.75 "	CCAL 0 36	91	2	0	0	0	0	0	6	100	30.80	5985.04	1.84	A3X
		8455 8.25 "	CCAL 0 36V	95	0	0	0	0	0	0	5	100	30.26	6670.69	1.88	A3X
	8456 0.75 "	CCAL 0 37	75	0	0	0	1	12	0	12	100	28.67	948.40	1.92	A1	
	8456 8 "	CCAL 0 38	94	0	0	0	0	0	1	5	100	31.42	1430.82	1.85	A3P	
	8457 6 "	CCAL 0 39	73	5	2	0	1	0	0	19	100	26.16	526.83	1.75	A2P	
	8458 2 "	CCAL 0 40	93	0	2	0	1	0	0	5	100	27.17	2204.71	1.86	A1	
	8458 4 "	CCAL 0 41	73	0	0	0	0	3	0	24	100	19.23	54.32	2.12	A2P	
	8459 4 "	CCAL 0 42	96	0	0	0	0	0	0	4	100	25.11	1895.66	1.96	A2	
	8460 1.5 "	CCAL 0 43	89	0	0	0	2	0	0	9	100	32.01	2726.56	1.85	A1	
	8461 5.25 "	CCAL 0 44	93	0	0	0	1	0	0	6	100	25.29	1499.86	2.00	A2M	
	8462 3 "	CCAL 0 45	40	0	2	0	0	0	21	0	37	100	10.20	52.28	2.52	LL
	8462 8 "	CCAL 0 46	89	0	0	0	0	0	0	1	100	29.80	447.37	1.85	A3X	
	8462 9 "	CCAL 0 46V	71	0	0	0	0	0	0	29	100	25.93	696.96	1.92	A3X	
	8464 6.5 "	CCAL 0 48	79	3	0	0	0	0	0	6	12	24.08	3337.13	1.80	A2P	
	8465 2 "	CCAL 0 49	91	3	0	0	1	0	0	6	100	28.51	3243.29	1.90	A3X	
	8465 8 "	CCAL 0 50	94	1	0	0	0	0	0	5	100	27.80	3473.63	1.95	A3X	
	8465 8 "	CCAL 0 50V	92	1	0	0	0	0	0	7	100	27.00	4026.75	1.85	A3X	
	8466 9 "	CCAL 0 51	88	2	0	0	1	0	0	9	100	24.81	2210.19	1.99	A3X	
	8468 10 "	CCAL 0 52	92	0	0	0	0	0	0	8	100	24.89	2469.22	2.05	A2X	
	8470 4 "	CCAL 0 53	71	0	0	0	0	0	0	29	100	24.50	832.95	1.99	A2P	
	8471 5 "	CCAL 0 54	85	0	0	0	0	0	0	15	100	19.37	117.36	2.22	A2P	
	8472 8 "	CCAL 0 55	79	1	13	0	0	0	1	6	100	22.07	302.11	2.09	A2P	
	8473 6 "	CCAL 0 56	97	1	0	0	0	0	0	3	100	26.48	2006.10	1.99	A4X	
	8474 5 "	CCAL 0 57	90	2	0	1	0	1	0	6	100	23.63	2620.01	2.08	A4X	
	8475 1.5 "	CCAL 0 58	93	0	0	0	0	0	0	7	100	26.48	1217.53	1.96	A4X	
	8475 6 "	CCAL 0 58V	91	1	0	0	0	0	1	7	100	26.07	3284.44	1.97	A4X	
	8476 8 "	CCAL 0 59	76	9	9	0	0	0	0	7	100	25.76	1070.40	1.99	A3X	
	8477 10 "	CCAL 0 60	91	1	0	0	0	0	0	7	100	27.76	2975.96	1.97	A3X	
	8479 7 "	CCAL 0 61	94	0	1	0	0	0	0	5	100	25.99	1353.12	1.99	A3M	
	8481 8 "	CCAL 0 62	81	4	2	0	1	0	0	12	100	28.01	1265.54	1.98	A2P	
	8482 11 "	CCAL 0 63	91	0	0	0	0	0	0	9	100	27.19	1525.57	1.98	A2P	
	8482 11 "	CCAL 0 63V	87	3	0	0	1	0	0	10	100	27.26	694.34	1.93	A2P	
	8484 5 "	CCAL 0 64	40	6	3	0	2	2	0	47	100	5.65	5.33	2.38	L	
	8485 7 "	CCAL 0 65	80	5	0	0	2	0	0	13	100	26.95	1209.00	1.98	A2P	
	8487 2 "	CCAL 0 66	77	4	0	0	3	0	0	17	100	24.33	940.78	1.95	A2P	
	8488 3.5 "	CCAL 0 67A	84	7	0	0	1	0	0	8	100	27.45	2327.42	1.90	A4M	
	8488 4 "	CCAL 0 68A	64	23	0	0	1	0	0	11	100	23.72	1729.41	2.05	A4M	
	8491 8 "	CCAL 0 69	78	8	0	0	1	0	0	2	11	25.96	1659.70	1.94	A4P	
	8492 5 "	CCAL 0 70	80	6	0	0	1	0	0	12	100	25.31	770.41	1.92	A4P	
	8493 7 "	CCAL 0 71	89	3	0	0	1	0	0	6	100	26.72	3349.85	1.95	A4P	
	8494 11 "	CCAL 0 72	78	8	0	0	3	0	0	11	100	22.99	2764.48	1.99	A4P	
	8495 10 "	CCAL 0 73	67	5	0	0	0	0	5	22	100	21.28	1701.38	2.09	A4P	
	8497 7 "	CCAL 0 74	70	4	0	0	0	0	5	21	100	17.36	63.81	2.22	A4P	
	8497 6 "	CCAL 0 74V	66	4	0	0	0	0	4	27	100	20.18	36.23	2.15	A4P	
	8498 1 "	CCAL 0 75	75	4	0	0	0	0	0	21	100	28.22	977.92	1.98	A1M	
	8499 5 "	CCAL 0 76	79	3	0	1	1	0	0	16	100	28.26	1056.91	1.96	A1X	
	8501 1 "	CCAL 0 77	80	10	0	0	0	0	0	10	100	25.74	606.36	1.97	A1P	
8502 4 "	CCAL 0 78	72	0	1	0	8	0	0	19	100	23.17	319.70	1.92	A1X		
8504 8 "	CCAL 0 79	83	3	0	0	0	0	0	14	100	28.41	1440.66	1.94	A1M		
8505 8 "	CCAL 0 80	73	8	0	0	0	0	0	19	100	25.36	279.85	2.00	A1P		
8506 5.5 "	CCAL 0 81	73	3	0	0	1	0	0	23	100	24.48	416.19	2.02	A1P		
8506 7.25 "	CCAL 0 82	42	3	0	0	0	0	0	55	100	9.86	3.21	2.33	A1P		
8507 9.75 "	CCAL 0 83	60	5	0	0	1	0	0	33	100	18.88	47.05	2.16	H		
8507 9.75 "	CCAL 0 83V	69	3	2	0	0	0	0	26	100	17.74	38.58	2.12	H		
8509 3 "	CCAL 0 84	50	2	0	2	1	0	0	45	100	18.03	9.85	2.19	H		
8510 5 "	CCAL 0 85	50	2	0	23	1	0	0	3	21	9.72	6.55	2.36	H		

Anexo D. Resultados de composición química por método de FRX (Data normalizada)

No	Sample Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total		
		Elementos																						
		SiO2	Al2O3	SO3	CaO	K2O	Fe2O3	Cl	TiO2	Au2O	Sm2O3	P2O5	Cs2O	BaO	WO3	ZnO	ZrO2	Ag2O	MnO	Cr2O3	CuO			
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
1	BN-848 8006 6	73.84	19.85	0.31	2.45	1.95	1.02	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
2	BN 848 8002 7	72.86	21.39	0.34	0.82	2.20	0.80	1.04	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
3	BN 848 8456 8	93.71	4.53	0.94	0.04	0.32	0.29	0.00	0.05	0.00	0.06	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
4	BN 848 8004 6	74.96	19.13	0.32	2.44	1.87	0.68	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
5	BN 848 8010 3	79.75	17.09	0.24	0.34	1.64	0.55	0.00	0.30	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
6	BN 848 8007 8	75.64	19.45	0.24	0.75	1.92	0.58	0.92	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
7	BN 848 8459 4	92.25	6.68	0.27	0.13	0.38	0.14	0.00	0.06	0.01	0.03	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
8	BN 848 8001 5	69.49	20.67	0.29	2.25	1.98	3.17	0.00	0.41	0.00	0.00	1.55	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
9	BN 848 8029 2	88.68	8.43	0.83	0.00	1.00	0.44	0.00	0.40	0.00	0.04	0.00	0.04	0.09	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
10	BN 848 7997 8 5	75.42	19.92	0.60	0.00	2.05	1.32	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.13	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	100.00	
11	BN 848 7995 6 2	77.88	18.09	0.48	0.00	2.08	0.79	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.11	0.00	0.04	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	100.00	
12	BN 848 7998 9 7	78.45	17.99	0.38	0.00	1.94	0.70	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	100.00	
13	BN 848 8003 7	73.33	20.81	0.37	1.69	2.01	1.06	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	100.00	
14	BN 848 8460 1 5	92.51	6.52	0.27	0.00	0.31	0.17	0.00	0.09	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
15	BN 848 8458 2	94.23	4.96	0.37	0.00	0.18	0.14	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	100.00	
16	BN 848 8455 8 2	99.26	0.00	0.46	0.00	0.14	0.13	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	100.00	
17	BN 848 8022 2	75.06	18.96	0.93	1.83	1.75	0.94	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
18	BN 848 8024 5	85.26	11.48	0.70	0.19	1.38	0.49	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.02	0.15	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
19	BN 848 8012 11	80.38	15.59	0.54	0.31	1.87	0.70	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	100.00	
		81,74	14,29	0,47	0,70	1,42	0,74	0,10	0,29	0,00	0,01	0,08	0,01	0,10	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	100,00	

Anexo E. Aspectos texturales, componentes detríticos y matriz de análisis de imágenes petrográficas (secciones finas).

		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%; text-align: left;">Otros Análisis</th> <th style="width: 50%; text-align: left;">Tipo de Teñido</th> </tr> <tr> <td>DRX: <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Feldespatos:</td> </tr> <tr> <td>MEB:</td> <td>Carbonatos:</td> </tr> <tr> <td>CATODO:</td> <td></td> </tr> </table>		Otros Análisis	Tipo de Teñido	DRX: <input checked="" type="checkbox"/>	Feldespatos:	MEB:	Carbonatos:	CATODO:																
Otros Análisis	Tipo de Teñido																									
DRX: <input checked="" type="checkbox"/>	Feldespatos:																									
MEB:	Carbonatos:																									
CATODO:																										
<b>Campo:</b> BOSCAN <b>Pozo:</b> BN-848 <b>Formación:</b> MISOA <b>Profundidad:</b> 8491'	<b>Muestra:</b> <b>Facies:</b> <b>Secuencia:</b> <b>Ambiente:</b>																									
<b>Fotomicrografía 1A</b>																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 5%;"> </th> <th style="width: 12.5%;">A</th> <th style="width: 12.5%;">B</th> <th style="width: 12.5%;">C</th> <th style="width: 12.5%;">D</th> <th style="width: 12.5%;">E</th> <th style="width: 12.5%;">F</th> <th style="width: 12.5%;">G</th> <th style="width: 12.5%;">H</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td colspan="8" rowspan="6" style="text-align: center; vertical-align: middle;">  </td> </tr> <tr><td>2</td></tr> <tr><td>3</td></tr> <tr><td>4</td></tr> <tr><td>5</td></tr> <tr><td>6</td></tr> </table>					A	B	C	D	E	F	G	H	1									2	3	4	5	6
	A	B	C	D	E	F	G	H																		
1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										
<b>Fotomicrografía 1B</b>																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 5%;"> </th> <th style="width: 12.5%;">A</th> <th style="width: 12.5%;">B</th> <th style="width: 12.5%;">C</th> <th style="width: 12.5%;">D</th> <th style="width: 12.5%;">E</th> <th style="width: 12.5%;">F</th> <th style="width: 12.5%;">G</th> <th style="width: 12.5%;">H</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td colspan="8" rowspan="6" style="text-align: center; vertical-align: middle;">  </td> </tr> <tr><td>2</td></tr> <tr><td>3</td></tr> <tr><td>4</td></tr> <tr><td>5</td></tr> <tr><td>6</td></tr> </table>					A	B	C	D	E	F	G	H	1									2	3	4	5	6
	A	B	C	D	E	F	G	H																		
1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										
Lámina 1A: <span style="float: right;">50 m μ</span> Lámina 1B: <span style="float: right;">50 m μ</span>																										
Debe incluir una descripción de las principales características texturales y granos detríticos. Tipo de objetivo usado (5 X, 10 X, 20 X, etc). Tipos de nicolas (paralelos o cruzados)																										
Observaciones: Porosidad: 12% Porosidad mayormente intergranular y otras moldicas, posible porosidad inducida.																										
<b>ASPECTOS TEXTURALES</b>																										
<b>Litología:</b> Arenisca <b>Clasificación (Pettijohn, 1987):</b> - <b>Tamaño de grano mínimo (mm):</b> 0,19 <b>Tamaño de grano máximo (mm):</b> 1,73 <b>Tamaño de grano promedio (mm):</b> 0,96 <b>Redondez:</b> Subangular <b>Escogimiento:</b> Pobre a moderado <b>Contactos entre los granos:</b> Puntual - Longitudinal <b>Madurez textural (Folk, 1980):</b> - <b>Estructuras Sedimentarias:</b> -																										
<b>COMPONENTES DETRITICOS (%)</b>		<b>COMPONENTES AUTIGÉNICOS (%)</b>																								
<b>Cuarzo</b> 60% Monocristalino 50% Policristalino 10% Microcristalino <b>Feldespatos</b> Feldespato potásico 8% Plagioclasa - Ortoclasa - Microclino - <b>Fragmentos sedimentarios</b> Lutitas: - Argiláceos: - Chert: - Fragmentos de Arenisca - Fragmentos Carbonático - Indeterminados: 10% <b>Fragmentos metamórficos</b> Filitas: - Esquistos: - Pizarra: - Gneis: - Indeterminado: -		<b>Fragmentos ígneos</b> Vidrio: - Basalto: - Andesita: - Silíceo: - Félsicos: - Máficos: - Alterados: - Indeterminad: - <b>GRANOS ACCESORIOS</b> <b>Micas</b> Tz Moscovita: - Biotita: - Otros: - <b>Fragmentos fósiles</b> Carbonáticos: - Fosfáticos: - <b>Minerales pesados</b> Circón: - Epidoto: - Turmalina: - Rutilo: - Leucoxeno: - Granate: - Otros: - <b>Minerales opacos</b> Titanita: - Otros: - Materia Orgánica:																								
		<b>TOTAL: 78%</b>																								
<b>MATRIZ (%)</b>																										
Rellenando Poros: 2% Delineando poros: 8% Laminada - Pseudomatriz: - <b>TOTAL: 10%</b>																										

Anexo F. Informe de ensayo para la caracterización granulométrica de finos y gruesos.



INFORME DE ENSAYO

Gerencia Departamental de Estudio de Yacimiento

INF-IRF-2017-126

QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

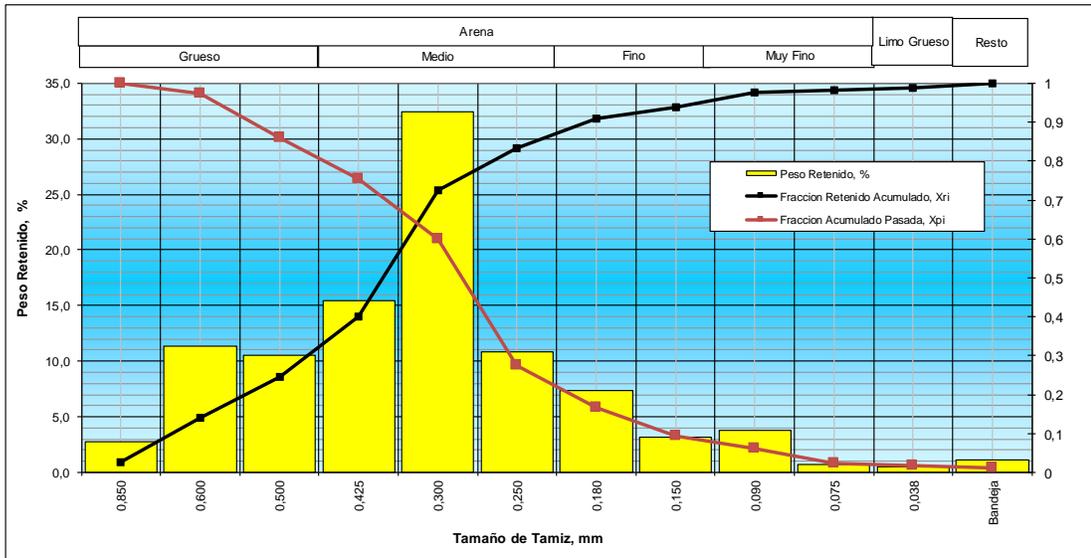
SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD - ISO/IEC 17025:2005

<b>Laboratorio</b>	Análisis Convencionales de Nucleos		
<b>Cliente</b>	Jefferson Gómez	<b>Dirección</b>	Sur 1, Piso 1
<b>Area</b>	Petro	<b>Pozo</b>	BN-848
<b>Tipo de Muestra</b>	Núcleo	<b>Profundidad</b>	8459' 4"
<b>Fecha de Ingreso</b>	2017-08-10	<b>Fecha de Reporte</b>	2017-08-11

ENSAYOS REALIZADOS

Código	Título	Norma		
IT-EYEE-025	Caracterización granulométrica de agregados finos y gruesos	D-75, E-11		
Código	Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	Peso Xi (%)	Incertidumbre Xi (%)
IRF-2017-0420	0,850	0,350	2,74%	0,13
	0,600	1,450	11,35%	0,18
	0,500	1,340	10,49%	0,17
	0,425	1,980	15,49%	0,21
	0,300	4,150	32,47%	0,38
	0,250	1,390	10,88%	0,17
	0,180	0,940	7,36%	0,15
	0,150	0,400	3,13%	0,13
	0,090	0,480	3,76%	0,13
	0,075	0,090	0,70%	0,13
	0,038	0,070	0,55%	0,13
	Bandeja	0,140	1,10%	0,13
	Total		12,78	

Descripción de los Granos	
<b>Tamaño de grano</b>	Arena Media
<b>Escogimiento</b>	Escogimiento moderado
<b>Sesgo</b>	Inclinación Negativo (más material grueso que fino)
<b>Curtosis</b>	Leptocúrtica
<b>Diametro Promedio</b>	350,45 µm
<b>Mayor cantidad de Masa</b>	250>X>355



Observaciones

Aprobado por: \_\_\_\_\_  
Fecha: \_\_\_\_\_

Anexo G. Caracterización petrofísica y definición de petrofacies para el Pozo BN-848 del Campo Boscán.

POZO	NUCLEO	Profundidad	PROF. Núcleo	PHI (%)	K (mD)	R535 WINLAND	Tipo de Roca R35W	Facies Sedimentarias
POZO BN-848		7995' 6.25"	7995,50	28,25	640,31	13,44	MEGA	A2M
		7996' 4"	7996,33	28,41	573,89	12,54	MEGA	A1X
		7997' 9.75"	7997,75	27,78	471,49	11,39	MEGA	A2X
		8012' 11"	8012,08	29,26	760,93	14,43	MEGA	A1P
		8022' 2"	8022,17	22,84	464,52	13,37	MEGA	A2P
		8023' 7.5"	8023,58	28,87	830,31	15,37	MEGA	A2
		8024' 5"	8024,42	33,64	564,21	10,73	MEGA	A2
		8025' 6.75"	8025,50	31,53	584,50	11,59	MEGA	A2P
		8025' 9.75"	8025,75	30,34	861,46	15,05	MEGA	A2P
		8027' 6"	8027,50	26,04	796,46	16,40	MEGA	A2M
		8028' 4.25"	8028,33	31,53	3614,27	33,82	MEGA	A2M
		8028' 2"	8028,17	30,38	3521,30	34,40	MEGA	A2M
		8029' 2"	8029,17	31,80	3268,36	31,65	MEGA	A2B
		8455' 6.75"	8455,50	30,80	5985,04	46,43	MEGA	A3X
		8455' 8.25"	8455,67	30,26	6670,69	50,25	MEGA	A3X
		8456' 0.75"	8456,00	28,67	948,40	16,72	MEGA	A1
		8456' 8"	8456,67	31,42	1430,82	19,67	MEGA	A3P
		8457' 6"	8457,50	26,16	526,83	12,81	MEGA	A2P
		8458' 2"	8458,17	27,17	2204,71	28,76	MEGA	A1
		8459' 4"	8459,33	25,11	1895,66	28,17	MEGA	A2
		8460' 1.5"	8460,08	32,01	2726,56	28,29	MEGA	A1
		8461' 5.25"	8461,42	25,29	1499,86	24,40	MEGA	A2M
		8462' 8"	8462,67	29,80	447,37	10,40	MEGA	A3X
		8462' 9"	8462,75	25,93	696,96	15,22	MEGA	A3X
		8464' 6.5"	8464,50	24,08	3337,13	40,74	MEGA	A2P
		8465' 2"	8465,17	28,51	3243,29	34,62	MEGA	A3X
		8465' 8"	8465,67	27,80	3473,63	36,84	MEGA	A3X
		8465' 8"	8465,67	27,00	4026,75	41,21	MEGA	A3X
		8466' 9"	8466,75	24,81	2210,19	31,16	MEGA	A3X
		8468' 10"	8468,08	24,89	2469,22	33,16	MEGA	A2X
		8470' 4"	8470,33	24,50	832,95	17,75	MEGA	A2P
		8472' 8"	8472,67	22,07	302,11	10,70	MEGA	A2P
		8473' 6"	8473,50	26,48	2006,10	27,82	MEGA	A4X
		8474' 5"	8474,42	23,63	2620,01	35,92	MEGA	A4X
		8475' 1.5"	8475,08	26,48	1217,53	20,74	MEGA	A4X
		8475' 6"	8475,50	26,07	3284,44	37,68	MEGA	A4X
		8476' 8"	8476,67	25,76	1070,40	19,69	MEGA	A3X
		8477' 10"	8477,08	27,76	2975,96	33,68	MEGA	A3X
		8479' 7"	8479,58	25,99	1353,12	22,43	MEGA	A3M
		8481' 8"	8481,67	28,01	1265,54	20,21	MEGA	A2P
	8482' 11"	8482,08	27,19	1525,57	23,15	MEGA	A2P	
	8482' 11"	8482,08	27,26	694,34	14,54	MEGA	A2P	
	8485' 7"	8485,58	26,95	1209,00	20,35	MEGA	A2P	
	8487' 2"	8487,17	24,33	940,78	19,18	MEGA	A2P	
	8488' 3.5"	8488,25	27,45	2327,42	29,43	MEGA	A4M	
	8488' 4"	8488,33	23,72	1729,41	28,04	MEGA	A4M	
	8491' 8"	8491,67	25,96	1659,70	25,32	MEGA	A4P	
	8492' 5"	8492,42	25,31	770,41	16,48	MEGA	A4P	

<b>POZO BN-848</b>		8493' 7"	8493,58	26,72	3349,85	37,32	MEGA	A4P
		8494' 11"	8494,08	22,99	2764,48	37,96	MEGA	A4P
		8495' 10"	8495,08	21,28	1701,38	30,50	MEGA	A4P
		8498' 1"	8498,08	28,22	977,92	17,26	MEGA	A1M
		8499' 5"	8499,42	28,26	1056,91	18,04	MEGA	A1X
		8501' 1"	8501,08	25,74	606,36	14,11	MEGA	A1P
		8502' 4"	8502,33	23,17	319,70	10,60	MEGA	A1X
		8504' 8"	8504,67	28,41	1440,66	21,55	MEGA	A1M
		8506' 5.5"	8506,42	24,48	416,19	11,81	MEGA	A1P
		7996' 4.25"	7996,33	24,52	117,04	5,59	MACRO	A1X
		7997' 8.5"	7997,67	24,19	71,24	4,23	MACRO	A2X
		7998' 9.75"	7998,75	25,74	283,96	9,03	MACRO	A1X
		8000' 3"	8000,25	28,03	251,43	7,81	MACRO	A1X
		8001' 5"	8001,42	25,74	42,35	2,95	MACRO	A1P
		8002' 7"	8002,58	23,71	138,90	6,37	MACRO	A1X
		8003' 7"	8003,58	23,55	115,88	5,76	MACRO	A1P
		8004' 6"	8004,50	23,49	130,02	6,17	MACRO	A1P
		8006' 6"	8006,50	26,45	104,16	4,89	MACRO	A1X
		8007' 8"	8007,67	27,81	199,86	6,87	MACRO	A1X
		8008' 7"	8008,58	24,05	110,02	5,48	MACRO	A1P
		8009' 9"	8009,75	24,65	77,82	4,38	MACRO	A1X
		8010' 3"	8010,25	27,89	210,06	7,06	MACRO	A1X
		8010' 10"	8010,08	26,00	91,78	4,61	MACRO	A1P
		8011' 7"	8011,58	27,75	94,06	4,42	MACRO	A1X
		8011' 6.5"	8011,50	26,83	53,51	3,27	MACRO	A1X
		8014' 4"	8014,33	13,32	30,06	4,26	MACRO	LL
		8024' 7.5"	8024,58	14,85	26,65	3,61	MACRO	A1P
		8038' 6"	8038,50	11,18	23,06	4,24	MACRO	LC
		8040' 5.5"	8040,42	12,57	34,07	4,82	MACRO	LC
		8041' 6"	8041,50	9,07	13,02	3,63	MACRO	L
		8458' 4"	8458,33	19,23	54,32	4,39	MACRO	A2P
		8462' 3"	8462,25	10,20	52,28	7,43	MACRO	LL
		8471' 5"	8471,42	19,37	117,36	6,87	MACRO	A2P
		8484' 5"	8484,42	5,65	5,33	3,23	MACRO	L
		8497' 7"	8497,58	17,36	63,81	5,28	MACRO	A4P
		8497' 6"	8497,50	20,18	36,23	3,32	MACRO	A4P
		8505' 8"	8505,67	25,36	279,85	9,07	MACRO	A1P
		8507' 9.75"	8507,75	18,88	47,05	4,10	MACRO	H
		8507' 9.75"	8507,75	17,74	38,58	3,85	MACRO	H
		7994' 7"	7994,58	9,14	1,34	0,95	MESO	A1
	7995' 1"	7995,08	11,46	2,68	1,17	MESO	A1	
	8032' 10"	8032,08	16,84	5,58	1,29	MESO	LB	
	8042' 10"	8042,08	11,01	6,21	1,99	MESO	H	
	8506' 7.25"	8506,58	9,86	3,21	1,48	MESO	A1P	
	8509' 3"	8509,25	18,03	9,85	1,70	MESO	H	
	8510' 5"	8510,42	9,72	6,55	2,28	MESO	H	
		<b>Núcleo 1</b>	<b>Núcleo 2</b>	<b>Núcleo 3</b>				