

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y QUÍMICA DEL INTERVALO SEDIMENTARIO CRETÁCICO-MIOCENO TEMPRANO A MEDIO, EN EL POZO JU-222 DEL ÁREA JUNÍN, DE LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO (FPO)**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la profesora. Andreina Angulo  
Para optar al Título de Magister  
Scientiarum en Ciencias Geológicas

**Caracas 2022**

**© Angulo Victora Andreina del Valle 2022.**

**Hecho el Depósito de Ley.**

**Depósito legal DC2022000486**

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y QUÍMICA DEL INTERVALO SEDIMENTARIO CRETÁCICO-MIOCENO TEMPRANO A MEDIO, EN EL POZO JU-222 DEL ÁREA, JUNÍN DE LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO (FPO)**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Lenin González

TUTOR INDUSTRIAL: Franklin Ruiz & Solange Ortega

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la profesora. Andreina Angulo  
Para optar al Título de Magister  
Scientiarum en Ciencias Geológicas

**Caracas 2022**



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSTGRADO




VEREDICTO

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el **Trabajo Especial de Grado** presentado por la Especialista **ANDREINA ANGULO VICTORA**, portadora de la Cédula de Identidad No **18.457.435**, bajo el título “**CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y QUÍMICA DEL INTERVALO SEDIMENTARIO CRETÁCICO-MIOCENO TEMPRANO A MEDIO, EN EL POZO JU-222 DEL ÁREA JUNÍN, DE LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO (FPO)**”, a fin de cumplir con el requisito legal para optar al grado académico de Magister en Ciencias Geológicas; dejan constancia de lo siguiente:

1.- Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día 29 de octubre de 2021, a las 10:30 a.m., para que el autor lo defendiera en forma pública, lo que éste hizo en la plataforma en línea a través del cuenta **Zoom** de la Facultad de Ingeniería, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

2.- Finalizada la defensa del trabajo, el jurado decidió aprobarlo, por considerar, sin hacerse solidario con la ideas expuestas por el autor, que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado. Para este veredicto, el Jurado, los profesores M.Sc. Lenin González, Dr. Redescal Uzcátegui y M.Sc. Ricardo Alezones estimaron que la obra examinada representa en su conjunto un aporte importante. Esta investigación presenta un enfoque novedoso y el jurado por unanimidad le asigna la calificación de “**APROBADO**”.

En fe de lo cual se levanta la presente ACTA, a los VEINTINUEVE (29) días del mes de OCTUBRE del año 2021, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado, actuó como Coordinador del Jurado el M.Sc. Lenin González.



---

Dr. Redescal Uzcátegui  
C.I. 9.120.407  
(JURADO)  
(USB)



---

M.Sc. Ricardo Alezones  
C.I. V- 6.891.119  
(JURADO)  
(FI-UCV)



---

M.Sc. Lenin González  
C.I. 12. 259.380  
(TUTOR)  
(FI-UCV)

## DEDICATORIA

Esta parte de mi historia está dedicada a quien hoy es mi estrella más brillante.  
***“Porque si he llegado a la cima, es gracias a quien me dio la mano al pie de la montaña”.***

Gracias, por tanto

***EDGAR A. SUAREZ T.***

A Dios porque me lleva de la mano por la vida y me enseña que lo más importante no es la meta a la cual queremos llegar, sino disfrutar del camino que nos conduce a ella.

A Quien me enseñó a tener  
***“Metas grandes Poderosas y Audaces”***

***MAXIMILIANO BEZADA***

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a papá Dios por haberme llevado de la mano día a día, por consolarme en días de desolación y por darme fuerzas para pararme cada mañana a pesar de las adversidades.

A mis padres por el hecho grandioso de darme la vida. A mi súper hermanita Angie que jamás me abandona.

A la ilustre universidad Central de Venezuela por formarme como una profesional en el área de las geociencias.

A PDVSA-INTEVET por abrirme las puertas, brindarme todo el apoyo y formarme como una profesional integral.

A mi tutor académico Lenin González, por su apoyo incondicional, su paciencia y sus enseñanzas.

A mis tutores industriales Franklin Ruiz y Solange Ortega quienes han sido mis maestros, de no ser por ustedes nada fuera posible.

A mi amiga Rosemary Castellanos, quien puso su confianza en mí, recomendándome con mis tutores industriales para que todo este proyecto fuera posible.

Al personal del laboratorio, Onís Rada Arlis Díaz, Aleixandre Chirinos, Jesús Carrero, José Brito, Jesús Brito, Yoni Pérez Blas Delgado y Bárbara Briache y Ariana González, quienes pusieron su granito de arena para llevar a cabo este proyecto.

A compañero Daniel González quien puso su granito de arena en la realización de los mapas finales.

De manera muy especial a los compañeros y amigos Ismael Mosquera, Fredy Negrón y Fredy Angulo, quienes compartieron con mi persona sus conocimientos para que yo pudiera separar e identificar minerales pesados, sin sus aportes, este proyecto no pudiera haber culminado tan exitosamente, además gracias por esas charlas de laboratorio y esa compañía en el largo

camino en el metro en las tardes de regreso a casa. Hoy sé que aparte de ser mis maestros, son también mis amigos.

A Alejandro González., Carlos Linares y Avelino Moya por acompañarme cada día en este camino, por ser buenos amigos, incondicionales, por alegrarme la vida y por no dejar que me desboronara cuando las situaciones personales me agobiaron.

A mi bella compañera y mi amiga Gladys Almeida, quien ha estado conmigo este último año apoyándome con los ajustes finales de esta tesis, acompañándome por este camino, enseñándome lecciones de vida y dándome parte de su buena vibra.

Y por último y de manera muy especial quiero dar gracias a esa persona que me acompañó noches enteras de redacción en la última fase de este proyecto, soportando mi ansiedad y mi mal humor de a ratos, gracias por animarme a no perder el norte, por acompañarme y por hacer de mi vida un poco más dulce, gracias muchísimas gracias Daniel Gil...

Gracias

ANGULO V., ANDREINA V

**CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y QUÍMICA DEL  
INTERVALO SEDIMENTARIO CRETÁCICO MIOCENO  
TEMPRANO A MEDIO, EN EL POZO JU-222, DEL AREA JUNÍN  
DE LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO (FPO)**

**Tutor Académico:** Prof. González Lenin.

**Tutores Industrial:** Ruiz Franklin & Ortega Solange

**Palabras Claves:** almandino, petrografía, monacita, cratón, xenotima, microscopia electrónica de barrido, difracción de rayos X.

**RESUMEN**

Como parte del proyecto “Homologación estratigráfica del área de Junín”, se realizó la caracterización mineralógica y química del intervalo recuperado Cretácico-Mioceno temprano a medio del núcleo JU-222, cuya finalidad fue incluir métodos que aporten información sobre las diferencias mineralógicas a nivel vertical, e inferencias sobre la fuente de aporte sedimentario.

Se realizó una validación petrográfica de 17 secciones finas, se analizaron los difractogramas (roca total y arcillas) de 10 muestras, se realizó Fluorescencia de Rayos X en 95 muestras, para establecer unidades químicas; se identificaron Minerales Pesados (MP) en 21 muestras usando *picking*, Microscopia Electrónica de Barrido y Difracción de Rayos X; se infirieron fuentes de aporte sedimentario usando los diagramas ternarios.

Los resultados revelaron que el Cretácico se compone básicamente de cuarzo monocristalino, circón, rutilo, turmalina, fragmentos ígneos y caolinita; procedentes de un cratón estable. De acuerdo a lo anterior, se plantea que dichos sedimentos provienen de rocas félsicas probablemente erosionadas de la Provincia Cuchivero.

Por su parte, el Mioceno temprano se compone adicionalmente de; cuarzo policristalino, microclino, plagioclasas, granates, clinocloro, cloritoide, cromita, illita, chert y fragmentos metamórficos; algunas muestras proceden de orógeno reciclado. En este sentido, se infiere que, durante el Mioceno pudo haber un aporte adicional de rocas metamórficas, posiblemente erosionadas de las provincias Imataca y Pastora.

Dichas variaciones mineralógicas, se deben a que durante el Eoceno superior se acelera el levantamiento del Cratón y se reactivan antiguas fallas al noroeste del río Caura, creando mayor erosión, exponiendo antiguas áreas, como Imataca y Pastora, generando así un aporte de MP metamórficos adicionales a los ígneos de Cuchivero.

Con el estudio de MP se pudieron establecer diferencias entre los intervalos estudiados, distinguir cuál provincia cratónica (Imataca, Pastora o Cuchivero) sirvió de aporte sedimentario al área y asegurar que no necesariamente los sedimentos del Terciario son un reciclado de periodos anteriores.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>4</b>
1.4.1 Objetivo General .....	4
1.4.2 Objetivos Específicos .....	4
<b>1.5 ALCANCE</b> .....	<b>5</b>
<b>1.6 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION</b> .....	<b>5</b>
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>12</b>
<b>MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y LOCAL</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 GEOLOGÍA REGIONAL DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA</b> .....	<b>12</b>
2.1.1 Subcuenca Maturín .....	13
2.1.2 Subcuenca Guárico.....	13
<b>2.2 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA</b> .....	<b>14</b>
2.2.1 Fase “pre-rift” en el Paleozoico: .....	14
2.2.2 Fase de Rift del Jurásico.....	15
2.2.3 Fase de margen pasivo Cretácico- Paleógeno.....	15
2.2.4 Fase de Colisión Oblicua. Oligoceno- Mioceno.....	16
<b>2.3 MARCO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL</b> .....	<b>18</b>
<b>2.4 LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO (FPO)</b> .....	<b>19</b>
2.4.1 Área de Junín .....	20
<b>2.5 MARCO ESTRATIGRÁFICO DE LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO</b> .....	<b>20</b>
<b>2.6 FORMACIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>21</b>
2.6.1 Paleozoico.....	21
2.6.2 Cretácico .....	23
2.6.3 Oligoceno y Mioceno .....	25
<b>CAPITULO III</b> .....	<b>28</b>
<b>MARCO TEORICO Y METODOLOGIA</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1 MARCO TEORICO</b> .....	<b>28</b>
3.1.1 Minerales Pesados (MP) .....	28
3.1.2 Geoquímica en rocas sedimentarias: .....	38

3.1.3	Análisis de procedencia .....	39
<b>3.2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>44</b>
3.2.1	Fase preliminar.....	45
3.2.2	Fase de laboratorio .....	45
	<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>65</b>
	<b>ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>
<b>4.1</b>	<b>ANALISIS PETROGRÁFICO .....</b>	<b>65</b>
4.1.1	Intervalo Cretácico (1798' A 1749') .....	66
4.1.2	Intervalo Mioceno temprano a medio (1709'9"-1421').....	73
4.1.3	Correlación de elementos petrográficos entre las unidades estratigráficas en el pozo ju-222. ....	85
<b>4.2</b>	<b>CARACTERIZACION MINERALOGICA MEDIANTE DRX EN ROCA TOTAL Y ARCILLAS .....</b>	<b>87</b>
4.2.1	Mineralogía presente en roca total .....	87
4.2.2	Análisis de mineralogía de arcillas presentes en la fracción menor a dos micras.....	90
<b>4.3</b>	<b>CARACTERIZACION QUÍMICA .....</b>	<b>94</b>
4.3.1	Definición de unidades químicas .....	94
4.3.2	Clasificación geoquímica según esquema de HERRON, 1988) .....	98
4.3.3	Diagramas binarios entre elementos mayoritarios .....	101
<b>4.3.4</b>	<b>CARACTERIZACION DE MINERALES PESADOS .....</b>	<b>103</b>
4.3.5	Identificación visual ( <i>Picking</i> ) .....	103
4.4.2	Identificación de minerales pesados por Difracción de Rayos X (DRX).....	111
4.4.3	Análisis de minerales pesados por Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).....	115
4.4.4	Correlación entre minerales pesados identificados por Picking, DRX y MEB entre las unidades estratigráficas Cretácico y Mioceno temprano a medio del pozo JU-222 y su posible fuente de aporte .....	122
<b>4.5</b>	<b>ANALISIS DE PROCEDENCIA .....</b>	<b>124</b>
4.5.1	Áreas de aporte sedimentario en el pozo ju-222 .....	124
<b>4.6</b>	<b>INTEGRACION DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>128</b>
4.6.1	Intervalo Cretácico .....	128
4.6.2	Intervalo mioceno temprano a medio .....	131
	<b>CAPITULO V.....</b>	<b>136</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>1366</b>
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>136</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>140</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>141</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Mapa de ubicación de la Faja Petrolífera del Orinoco.....	2
<b>Figura 2.1:</b> Cuencas Petrolíferas de Venezuela, basada en la distribución de sus Provincias Sedimentarias.....	14
<b>Figura 2.2:</b> Sección esquemática de la evolución de la Cuenca Oriental de Venezuela. ....	18
<b>Figura 2.3:</b> Ubicación geográfica de la faja petrolífera del Orinoco y el área Junín.....	20
<b>Figura 2.4:</b> Estratigrafía regional de la Faja Petrolífera del Orinoco.....	21
<b>Figura 3.1:</b> Peso específico de los minerales más comunes y de los líquidos usados en la separación de minerales.....	29
<b>Figura 3.2:</b> Esquema básico de las diferentes señales generadas a raíz de la interacción del haz primario con la superficie de la muestra...	37
<b>Figura 3.3:</b> Proceso de detección de elementos mediante Fluorescencia de, rayos X.....	39
<b>Figura 3.4:</b> Distribución de las arenas derivadas de diferentes procedencias con base en los diagramas QFL y QmFL.....	40
<b>Figura 3.5:</b> Contenido modal de las areniscas procedentes de diferentes ambientes tectónicos a partir de los diagramas QFL.....	41
<b>Figura 3.6:</b> Diagramas de discriminación de ambientes tectónicos con base en la concentración de elementos mayores en arenas y areniscas.....	43
<b>Figura 3.7:</b> Resumen de los procesos de laboratorio para la caracterización mineralógica y química.....	46
<b>Figura 3.8:</b> Resumen de los procesos de laboratorio para la separación e identificación de los minerales pesados.....	47
<b>Figura 3.9:</b> Intervalos muestreados para la separación e identificación de minerales pesados en los pozos JU-222.....	48
<b>Figura 3.10:</b> Métodos e instrumentos usados durante la separación granulométrica.....	50
<b>Figura 3.11</b> Instrumentos utilizados durante el proceso de separación por densidad.....	51
<b>Figura 3.12:</b> Instrumentación adecuada en momento de la separación mediante líquidos densos.....	52
<b>Figura 3.13:</b> Procesos de separación de minerales pesados.....	53
<b>Figura 3.14:</b> Separador Magnético Frantz.....	55
<b>Figura 3.15:</b> Equipos e instrumentos utilizados para la identificación visual o <i>Picking</i> .....	56
<b>Figura 3.16:</b> Microscopio Electrónico de Barrido.....	58
<b>Figura 3.17:</b> Porta muestras con minerales pesados montados para MEB después de <i>Picking</i> .....	58
<b>Figura 3.18:</b> Difractómetro de rayos X.....	60
<b>Figura 3.19:</b> Equipo de Fluorescencia de Rayos X.....	61

<b>Figura 3.20:</b> Instrumentos y equipos usados en la realización de las pastillas de FRX.....	<b>62</b>
<b>Figura 3.21:</b> Microscopio petrográfico.....	<b>63</b>
<b>Figura 4.1:</b> Sección de núcleo recuperado del pozo JU-222.....	<b>66</b>
<b>Figura 4.2.</b> Escogimiento y tamaño del grano del intervalo Cretácico recuperado en el pozo JU-222.....	<b>67</b>
<b>Figura 4.3:</b> Características texturales Madurez textural en los sedimentos encontrados en el intervalo Cretácico recuperado en el pozo JU-222 .....	<b>68</b>
<b>Figura 4.4:</b> Fotomicrografías del intervalo Cretácico recuperado en el pozo JU-222. ....	<b>69</b>
<b>Figura 4.5:</b> Porcentaje promedio de los componentes detríticos encontrados en el intervalo Cretácico.....	<b>70</b>
<b>Figura 4.6:</b> Clasificación de arenitas del intervalo Cretácico.....	<b>71</b>
<b>Figura 4.7:</b> Fotomicrografías del intervalo Cretácico recuperado en el pozo JU-222. Minerales pesados.....	<b>72</b>
<b>Figura 4.8:</b> Escogimiento y Tamaño del intervalo Mioceno temprano a medio del núcleo recuperado en el Pozo JU-222.....	<b>74</b>
<b>Figura 4.9:</b> Fotomicrografías del intervalo Mioceno temprano a medio recuperado en el pozo JU-222. Características texturales.....	<b>75</b>
<b>Figura 4.10:</b> Madurez textural en los sedimentos encontrados en el intervalo Mioceno Temprano a medio.....	<b>76</b>
<b>Figura 4.11:</b> Porcentaje promedio de los componentes detríticos encontrados en el intervalo Mioceno temprano a medio.....	<b>77</b>
<b>Figura 4.12:</b> Clasificación de Arenitas del pozo JU-222, intervalo Mioceno temprano a medio.....	<b>78</b>
<b>Figura 4.13:</b> Fotomicrografías del intervalo Mioceno temprano a medio recuperado en el pozo JU-222. Componentes detríticos.....	<b>79</b>
<b>Figura 4.14:</b> Fotomicrografías del intervalo Mioceno temprano a medio recuperado en el pozo JU-222. Fragmentos líticos.....	<b>80</b>
<b>Figura 4.15:</b> Fotomicrografías del intervalo Mioceno temprano a medio recuperado en el pozo JU-222. Minerales pesados.....	<b>81</b>
<b>Figura 4.16:</b> Fotomicrografías del intervalo Mioceno temprano a medio recuperado en el pozo JU-222. Componentes autigénicos.....	<b>82</b>
<b>Figura 4.17:</b> Distribución en profundidad de los minerales presentes en roca total, del intervalo Mioceno temprano a medio.....	<b>88</b>
<b>Figura 4.18:</b> Distribución en profundidad de los minerales presentes en roca total, del intervalo Cretácico del pozo JU-222.....	<b>88</b>
<b>Figura 4.19:</b> Difractogramas apilados de la mineralogía presente en la Roca total del intervalo Mioceno temprano a medio.....	<b>89</b>
<b>Figura 4.20:</b> Distribución en profundidad de los minerales de arcillas presentes en la fracción menor a 2 micras, del intervalo Mioceno temprano a medio del pozo JU-222.....	<b>90</b>
<b>Figura 4.21:</b> Distribución en profundidad de los minerales de arcillas presentes en la fracción menor a 2 micras, del intervalo Cretácico.....	<b>91</b>

<b>Figura 4.22:</b> Difractogramas apilados de los análisis de fracción menor a 2 micras del intervalo recuperado Cretácico-Mioceno Temprano.....	<b>92</b>
<b>Figura 4.23:</b> Perfiles químicos de concentración de elementos y definición de unidades químicas.....	<b>99</b>
<b>Figura 4.24:</b> Clasificación de <b>HERRON</b> (1988) para lutitas y areniscas en el intervalo recuperado Cretácico- Mioceno temprano.....	<b>100</b>
<b>Figura 4.25:</b> Diagramas binarios entre los elementos mayoritarios...	<b>102</b>
<b>Figura 4.26:</b> Vista general de los Minerales pesados identificados en el intervalo recuperado Cretácico del pozo JU-222, según el grado de susceptibilidad magnética.....	<b>105</b>
<b>Figura 4.27:</b> Fotomicrografías de los minerales pesados identificados en el intervalo recuperado Cretácico del pozo JU-222.....	<b>106</b>
<b>Figura 4.28:</b> Fotomicrografías de los Minerales pesados no magnéticos, identificados en el intervalo recuperado Cretácico.....	<b>106</b>
<b>Figura 4.29:</b> Vista general de los minerales pesados identificados en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio del pozo JU-222, según el grado de susceptibilidad magnética.....	<b>107</b>
<b>Figura 4.30:</b> Fotomicrografía de los minerales pesados identificados en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio.....	<b>108</b>
<b>Figura 4.31:</b> Fotomicrografía de los minerales pesados identificados en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio.....	<b>109</b>
<b>Figura 4.32:</b> Fotomicrografía de los minerales pesados identificados en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio del pozo JU-222, Minerales Diamagnéticos.....	<b>110</b>
<b>Figura 4.33:</b> Difractogramas de la fracción pesada 0.4 y 0.8 Amper de las muestras estudiadas en el intervalo recuperado Cretácico.....	<b>111</b>
<b>Figura 4.34:</b> Difractogramas de la fracción pesada 0.4 y 0.8 Amper de las muestras estudiadas en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio del pozo JU-222.....	<b>112</b>
<b>Figura 4.35:</b> Difractogramas de la fracción pesada 0.4 y 0.8 Amper de las muestras estudiadas en los intervalos recuperados Cretácico y Mioceno temprano a medio del pozo JU-222.....	<b>114</b>
<b>Figura 4.36:</b> Vista general de la muestra 1795' del intervalo recuperado Cretácico y su composición elemental generalizada.....	<b>116</b>
<b>Figura 4.37:</b> Minerales pesados identificados en el intervalo Cretácico mediante MEB.....	<b>117</b>
<b>Figura 4.38:</b> Vista general de la muestra 1535' del intervalo recuperado Mioceno temprano a medio y su composición elemental generalizada...	<b>118</b>
<b>Figura 4.39:</b> Minerales pesados identificados en el intervalo Mioceno temprano a medio mediante MEB.....	<b>119</b>
<b>Figura 4.40:</b> Minerales pesados identificados en el intervalo Mioceno temprano a medio mediante MEB.....	<b>120</b>
<b>Figura 4.41:</b> Minerales pesados identificados en el intervalo Mioceno temprano a medio mediante MEB.....	<b>121</b>

<b>Figura 4.42:</b> A) Diagrama QtFLt y B) Diagrama QmFLt; ambos de discriminación del ambiente tectónico en el área de aporte en el intervalo recuperado Cretácico del pozo JU-222.....	<b>125</b>
<b>Figura 4.43:</b> A) Diagrama QtFLt y B) Diagrama QmFLt; ambos de discriminación del ambiente tectónico en el área de aporte en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio del pozo JU-222.....	<b>126</b>
<b>Figura 4.44:</b> Corte esquemático de las condiciones tectonoestratigráficas de la FPO durante el Cretácico.....	<b>129</b>
<b>Figura 4.45:</b> Mapa esquemático de la posible fuente de aporte de sedimentos durante el periodo Cretácico en el pozo JU-222.....	<b>131</b>
<b>Figura 4.46:</b> Corte esquemático de las condiciones tectonoestratigráficas de la FPO durante el Mioceno temprano a medio.	<b>132</b>
<b>Figura 4.47:</b> Mapa esquemático de la posible fuente de aporte de sedimentos durante el periodo Mioceno temprano a medio.....	<b>135</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 3.1:</b> Asociación de minerales pesados según su fuente.....	30
<b>Tabla 3.2:</b> Características de algunas especies de Minerales pesados.....	32
<b>Tabla 3.3:</b> Composición química promedio (% en peso) de las rocas sedimentarias.....	38
<b>Tabla 3.4:</b> Determinación de la procedencia y ambiente tectónico a partir de la composición QFL de las areniscas.....	42
<b>Tabla 3.5:</b> Concentración promedio de algunas relaciones de elementos mayoritarios y traza, en diferentes ambientes tectónicos.....	44
<b>Tabla 3.6:</b> Abundancia para análisis cualitativo de los minerales.....	57
<b>Tabla 4.1:</b> Características texturales de las muestras tomadas en el intervalo Cretácico–Mioceno temprano a medio del pozo JU-222.....	83
<b>Tabla 4.2:</b> Componentes mineralógicos el intervalo Cretácico- Mioceno temprano a medio del pozo JU-222.....	84
<b>Tabla 4.3:</b> Correlación de elementos petrográficos entre los intervalos sedimentarios Cretácico y Mioceno temprano a medio.....	86
<b>Tabla 4.4:</b> Mineralogía presente en roca total y fracción menor a 2 micras del núcleo recuperado JU-222.....	93
<b>Tabla 4.5:</b> Muestras seleccionadas para identificación de Minerales pesados en el pozo JU-222.....	104
<b>Tabla 4.6:</b> Correlación de minerales pesados identificados mediante Picking, DRX y MEB en los intervalos sedimentarios Cretácico y Mioceno temprano a medio del pozo JU-222.....	123
<b>Tabla 4.7</b> Datos petrográficos normalizados usados para la realización de los diagramas ternarios Qt-F-L y Qm-F-L en los intervalos sedimentarios Cretácico y Mioceno temprano a medio. Del pozo JU-222	127

## **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

La Cuenca Oriental de Venezuela (COV) es la segunda cuenca petrolífera más importante del país, ocupa los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas, Delta Amacuro y Sucre prolongándose hasta el sur de la isla de Trinidad y abarcando una extensión aproximada de 800 km de longitud, la misma está limitada al norte por la Cordillera de La Costa, al sur por el río Orinoco, al este por la plataforma deltaica del río Orinoco y al oeste por el Lineamiento del Baúl. Su configuración estructural, está definida como una cuenca antepaís que se desarrolló en el Neógeno sobre un margen pasivo del Mesozoico tardío del Cratón de Suramérica (**PARNAUD et al.1995**).

La COV ha sido subdividida operacionalmente en dos subcuencas, Guárico y Maturín; la primera posee los campos del estado Guárico y norte de Anzoátegui, su flanco norte se encuentra asociado al límite de deformación donde se ubica el sistema de fallas de Guárico, el cual sobrecarga rocas cretácicas y terciarias produciendo un marco tectónico complejo; hacia el sur se evidencian depresiones estructurales en las que se conservaron también rocas Jurásicas y Paleozoicas con acuñamiento de las secuencias Cretácicas y Terciarias (**YORIS & OSTOS, 1997**); esta cuenca se ha caracterizado por poseer alto rendimiento en la explotación de crudo en Venezuela.

Al sur de la COV se encuentra la Faja Petrolífera del Orinoco (FPO), esta consiste en un cinturón que bordea el límite norte del río Orinoco y que almacena las mayores reservas de crudos pesados y extra pesados de Venezuela y posiblemente del mundo. Este cinturón está dividido en cuatro áreas: Boyacá, Junín, Ayacucho y Carabobo (Figura 1.1). En la parte media Central de la FPO se encuentra ubicada el Área Junín antiguamente conocida como Zuata, esta tiene una superficie aproximada de 14.500 km<sup>2</sup> y unos dos tercios del área pertenecen al estado Anzoátegui. Limita al sur con

el río Orinoco, al este con el área de Ayacucho, al oeste con el área de Boyacá y al norte con las asignaciones de los campos de Oficina y Guárico. (PDVSA 1983).

La depositación en el área Junín comienza en el Paleozoico con la Formación Hato Viejo depositada en discordancia sobre el Basamento Precámbrico, a esta la suprayace la Formación Carrizal, mientras que en el Cretácico fue depositado el Grupo Templador con las formaciones Tigre y Canoa. En el Eoceno está presente una discordancia sobre la cual se depositó una secuencia transgresiva representada por las Formaciones Merecure y Oficina (LEV, 1970).

### 1.1 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

Este estudio se realiza específicamente en el pozo JU-222 en el bloque 1 del Área de Junín de la Faja Petrolífera del Orinoco. (Figura 1.1).



Figura 1.1 Mapa de ubicación de la Faja Petrolífera del Orinoco. Tomado y modificado de Ruiz 2019.

### 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Son muchos los proyectos desarrollados en la FPO, entre estos, el proyecto “Magna Reservas de Petróleo”, este consistió en la perforación de nuevos pozos estratigráficos con el fin de generar una nueva base de datos

que sirvió para la actualización de los modelos estratigráficos preliminares, seguido de una nueva cuantificación de las reservas de petróleo en FPO.

Otro proyecto desarrollado en el área fue “Oportunidades Tempranas en el Cretácico” llevado a cabo por el equipo multidisciplinario de la Gerencia de Exploración de PDVSA INTEVEP, en el cual, el equipo de geoquímica sedimentaria mostró particular interés en el Campo Dobokubi el cual presenta unas secciones de arenas cretácicas de alta radioactividad no asociada a las arcillas y de baja resistividad contentivas de petróleo lo cual se consideró como una anomalía.

Tomando como referencia el interés del equipo de geoquímica sedimentaria del proyecto antes mencionado **BARITTO & DAUBRONT (2017)** realizaron un estudio con el fin de analizar e interpretar toda la información geoquímica obtenida a partir de los registros de pozos, en este, los autores reportan un incremento de torio que coteja perfectamente con un incremento de gadolinio y señalan, que el mismo es generado por la monacita, mineral pesado rico en mencionados elementos químicos. En vista de lo antes expuesto los autores recomiendan realizar futuros estudios sobre minerales pesados en otros pozos con núcleo del Cretácico en la FPO, al igual que estudios geoquímicos de caracterización del torio y la serie de elementos Tierras Raras en roca total, así como en las diferentes fracciones granulométricas que se obtengan de las muestras.

Actualmente, PDVSA-INTEVEP desarrolla el proyecto “Homologación estratigráfica de la Faja Petrolífera del Orinoco”, este pretende integrar todos los estudios realizados en años anteriores en la FPO además de alcanzar un mayor detalle estratigráfico en cada una de las áreas. No obstante, a la fecha aún se presentan incertidumbres al momento de ubicar o definir algunos límites (topes, superficies) de las unidades estratigráficas, con los datos y herramientas disponibles (perfiles eléctricos/datos bioestratigráficos, entre otros). En este contexto, es necesario incluir métodos más precisos ya que la información petrofísica suministrada no posee la resolución necesaria para

dilucidar la mineralogía con más detalle, en este caso deben ponerse en práctica técnicas que ayuden a determinar de manera cuantitativa y semicuantitativa la composición mineralógica del área de estudio, así como las asociaciones de minerales pesados presentes y la composición química de las formaciones a estudiar; además de hacer comparaciones entre los sedimentos encontrados en el Mioceno y en el Cretácico, asimismo indagar sobre la fuente de aporte de los sedimentos.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Este estudio se justifica pues permitirá establecer diferencias a nivel vertical en el pozo JU-222, para ello se establecerá una caracterización mineralógica implementando métodos en conjunto para la identificación de Minerales Pesados (MP), mediante técnicas como Difracción de Rayos X (DRX), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), adicionalmente se realizarán estudios geoquímicos de Fluorescencia de Rayos X (FRX), los cuales permitirán tener un mejor control de la identificación y afectación de los MP encontrados en núcleo JU-222 de intervalo recuperado. Asimismo, a partir de estos análisis se va a inferir la fuente de aporte en esta cuenca.

### **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Caracterizar mineralógica y químicamente el intervalo sedimentario Cretácico-Mioceno temprano a medio recuperado en el pozo JU-222 del área Junín de La Faja Petrolífera del Orinoco.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar los minerales pesados existentes en el intervalo recuperado, mediante las técnicas: *Picking*, Microscopía electrónica de barrido y Difracción de rayos X.

2. Determinar los elementos mayoritarios mediante la técnica de Fluorescencia Rayos X para definir unidades químicas a partir de las tendencias observadas en perfiles verticales de elementos mayoritarios.
3. Establecer las características mineralógicas y texturales en el intervalo recuperado a partir de las técnicas petrografía y Difracción de Rayos X.
4. Inferir la fuente de aporte de sedimentos en el pozo JU-222 de Área Junín a partir de la metodología de **DICKINSON & SUCZEK (1979)**.
5. Correlacionar resultados mineralógicos y químicos obtenidos en el intervalo sedimentario Cretácico con los obtenidos en el intervalo Mioceno temprano a medio recuperado en el pozo JU-222.

### **1.5 ALCANCE**

Este trabajo tiene como finalidad realizar una caracterización mineralógica a partir de la identificación de minerales pesados usando para ello técnicas como la petrografía, Difracción de rayos X y Microscopia electrónica de barrido, además establecer las características petrográficas y texturales de la roca en el intervalo Cretácico- Mioceno temprano a medio del núcleo recuperado del pozo JU-222.

En el mismo intervalo se pretende también determinar los elementos mayoritarios para caracterizar químicamente el intervalo antes mencionado además de realizar una integración de los resultados obtenidos.

### **1.6 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION**

- **FEO-CODECIDO (1956)**, realiza una revisión sobre los métodos más usados para el estudio y análisis de la fracción pesada en los sedimentos, la utilidad que tiene la determinación de las asociaciones de minerales pesados en una unidad determinada a fin de resolver problemas de correlación entre unidades a partir de la deducción de la roca fuente.
- **DICKINSON & SUCZEK (1979)**, plantean que los diferentes tipos de areniscas reflejan una configuración específica y que si se conoce la

proporción de cuarzo (Q), feldespatos (F) y fragmentos de roca (L) presentes en la roca, es posible conocer la configuración tectónica de la roca fuente. **DICKINSON** y su compañero utilizaron diagramas ternarios con el fin de identificar los ambientes tectónicos según la abundancia de los granos de Q, F, y L, estos autores presentaron tres tipos de ambiente tectónico según la ubicación de las muestras en el triángulo, un bloque continental, un orógeno reciclado y otro de arco de Islas.

➤ **BATHIA** (1983) propone una clasificación clara agrupando elementos mayoritarios como potasio  $K_2O/CaO$ ,  $NaO$  en un gráfico triangular además realiza comparaciones de las muestras estudiadas con los parámetros químicos de ambientes tectónicos conocidos a nivel mundial, este tipo de estudios son indispensables y pudieran usarse para hacer comparaciones con datos obtenidos con petrografía y análisis de minerales pesados.

➤ **ROSER & KORSCH** (1986) Realizan un estudio en el que tienen como objetivo determinar el ambiente tectónico del cual procedían las rocas grises de Nueva Zelanda usando para ello diagramas bivariantes donde se exponen las relaciones  $K_2O/NaO$  y  $SiO_2$ , los autores plantean que existe una relación sistemática entre estas relaciones y la variación en el tamaño del grano, sin embargo, las relaciones pueden usarse en sedimentos de grano más fino, este tipo de estudio discrimina perfectamente el ambiente tectónico del cual procedieron, además coinciden con la configuración tectónica conocida.. En el mismo sentido los autores concluyen que el enfoque químico es un complemento útil para el análisis petrográfico, y los dos métodos combinados son una herramienta poderosa para el examen de la procedencia y la determinación del entorno tectónico. Sin embargo, plantean que en condiciones donde el sedimento pueda haber sido afectado por metamorfismo o por procesos postdeposicionales no es muy recomendable el uso de la relación  $K_2O/Na_2O$  ya que su inmovilidad en estas condiciones no está muy determinada.

- **HERRON** (1988) Diseña gráficos para clasificar los tipos de arenisca solo usando elementos mayores y plantea que las relaciones entre dos o más elementos implican madurez textural como es el caso de la relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , así mismo la relación  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ , puede ser un indicativo de estabilidad mineralógica.
- **PALOMARES** (1989) realiza un estudio en de minerales pesados con el fin de determinar las fuentes de aporte de la zona del sistema central en España, el autor asegura que la mayor parte de los minerales pesados transparentes son encontrados en arenas finas y que cada conjunto de ellos está ligado a un tipo de roca fuente, sin embargo el autor señala que las asociaciones de minerales pesados de arenas plutónicas y metamórficas son muy similares y que por ende se debe tener mucho cuidado a la hora de establecer un tipo de fuente, además de eso que las diferencias más notables pueden evidenciarse en las proporciones en que aparecen las diferentes especies de minerales pesados transparentes.
- **Cox et al** (1995) proponen que las diferencias composicionales existentes en las rocas pueden ser evaluadas mediante el estudio de elementos mayoritarios analizando el índice de variabilidad composicional (ICV), este realiza una estimación entre la abundancia relativa de aluminio respecto a otros cationes mayoritarios de la roca, para ello los autores generaron la siguiente fórmula:  $\text{ICV} = [(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2) / \text{Al}_2\text{O}_3]$ . Estos autores utilizan el resultado obtenido a partir de esta fórmula como un indicador de madurez textural de las rocas, tomando en cuenta la abundancia relativa de minerales no arcillosos y las arcillas, así los mayores índices de ICV indican menor madurez composicional, **Cox** y otros también establecen que si las rocas presentan alto contenido de feldspatos los valores estarán entre 0,54-0,87 y para un alto contenido de arcilla varía entre 0,3-0.78, a partir de este tipo de estudios se puede conocer las condiciones las rocas fuentes.

- **ARIZA. M.** (2006) Determinó las concentraciones en porcentaje en peso de los óxidos mayoritarios ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ). En las lutitas dominan los óxidos  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{K}_2\text{O}$  usando FRX y caracterizó quimioestratigráficamente del límite Eoceno-Oligoceno en el área surcentral de la cuenca de Falcón, además mediante el uso de los diagramas de **BATHIA** (1983), realizó una definición de los ambientes tectónicos que corresponden a cada formación.
- **RAIGEMBORN M.** (2007) En su tesis doctoral propone la utilización de diversas herramientas aplicables al análisis sedimentológico de sucesiones continentales capaces de permitir la elaboración de un modelo a través del cual sea posible explicar el origen y diferenciación de los depósitos pertenecientes al Grupo Río Chico. A partir de los estudios petrográficos pudo determinar la fuente de aporte del área de estudio, conjuntamente realiza una identificación de elementos mayoritarios y trazas que le permitió caracterizar químicamente el intervalo estudiado.
- **PINDEL et al** (2009) realizaron un estudio donde definen seis dominios clásticos primarios a partir del análisis de minerales pesados de las rocas del Cretácico al Pleistoceno del este de Venezuela, Barbados y Trinidad, dicho estudio les permitió refinar sus mapas paleogeográficos y relacionarlos con distintas etapas del desarrollo tectónico.
- **QUEVEDO** (2009) Realizó un análisis mineralógico y químico de minerales pesados de sedimentos fluviales de la cuenca del río Aro en Venezuela, el trabajo tenía como propósito determinar los minerales pesados que contengan altas concentraciones de uranio, torio, lantano y cerio. Para ello utilizó técnicas como petrografía DRX y MEB. El autor concluye que la monacita es el mineral que aporta las mayores concentraciones de los elementos antes mencionados exceptuando el uranio y que este sólo se detectó en inclusiones de uraninita dentro de granos de circón.
- **PARALES** (2009) En su informe de pasantías realizadas en el Instituto de Geología y Minas (INGEOMIN) compara la eficiencia que tiene la separación

de minerales pesados por el sistema hidrodinámico y la separación por líquidos densos; el primero de ellos está basado en la acción de la gravedad; una corriente ascendente del fluido de agua que se regula de forma tal que permita la sedimentación de los minerales pesados y el arrastre de minerales livianos de la muestra que se desea separar; este método suele ser sencillo, práctico y económico, pero solo se puede separar una muestra por vez. Por su parte la técnica más usada es la separación por líquidos densos entre ellos los más mencionados son el bromoformo y el tetrabromoetano, con esta técnica los minerales pesados decantan al fondo mientras los livianos flotan en la superficie del líquido, este método es sencillo rápido y se pueden procesar varias muestras a la vez sin embargo es muy costoso y se debe tener especial cuidado durante su manipulación. En este trabajo el autor concluye que ambos métodos son muy eficientes y que el éxito de cada método dependerá del tipo de muestra que se procese.

- **RAMADÁN et al (2012)** realizan un estudio que consistió en la identificación de minerales pesados en depósitos costeros de Egipto a partir de un conteo modal en secciones finas, su propósito final era describir las asociaciones de minerales pesados y así poder determinar el tipo de roca fuente que aportó el sedimento, a partir de este estudio los autores identificaron varias fuentes de aporte.
- **COELLO (2012)** Realiza un trabajo cuyo objetivo principal era elaborar un modelo evolutivo de la Formación Guárico mediante la interpretación del área fuente la cual se dedujo a partir del estudio petrográfico de minerales pesados en este estudio se pudo comprobar que las rocas fuentes fueron de tipo ígneas, sedimentarias y metamórficas. La procedencia de las mismas es de bloque continental en la mayoría de los casos. En este estudio además de los minerales pesados también se tomó en cuenta la fracción liviana y se usó en método propuesto por **DICKINSON & SUCZEK (1979)**.
- **SPALLETI (2014)** realiza un estudio en una secuencia de lutitas en cuenca Neuquina, Argentina usando la química inorgánica de los sedimentos

como indicador de procedencia y ambiente sedimentario. Su estudio le permitió definir varios tipos litológicos usando para ellos diferentes diagramas y tomando como referencia los valores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, (elementos mayoritarios), Th, Lu, Hf, Sc y Zr (elementos inmóviles) y tierras raras como el estroncio.

- **ESTEVE** (2015) Realiza un estudio de minerales pesados en materiales detríticos de la cuenca Neógeno de Vallés; en el cual expone consideraciones prácticas para la mejora en la metodología de separación e identificación de los minerales pesados. Su trabajo es un estudio completo (morfológico y fisicoquímico) de minerales pesados, para ello usó MEB igualmente estima la procedencia de las muestras estudiadas.
- **EJEH et al** (2015) realizaron un estudio en areniscas del río Níger con el fin de determinar la procedencia y las condiciones de meteorización del área de origen y el entorno tectónico; para ello se realizó petrografía y se revisaron las características geoquímicas de los minerales pesados encontrados. El conjunto de minerales encontrados (opacos, circón, rutilo y turmalina) reveló que las arenas de la formación estudiada son mineralógicamente maduras e implican una rápida desintegración química de los sedimentos que son principalmente de origen reciclado. Además de ello las arenitas fueron clasificadas geoquímicamente como Fe-arenitas. Los autores sugieren que la región fuente fue predominantemente félsica y fue sometida a intensa meteorización química.
- **DUHAMEL M** (2016) realiza un estudio de minerales pesados en la cuenca oriental de Venezuela usando para ello técnicas como petrografía, difracción de rayos X y microscopía electrónica de Barrido; Analiza la influencia que tienen algunos de estos minerales, sobre la variabilidad de registros petrofísicos con el Gamma Ray. Además, utiliza la metodología de **DICKINSON & SUCZEK** (1979) para proponer cual fue la fuente de aporte de los sedimentos cretácicos en el campo Dobokubi de la FPO.

- **BARITTO & DAUBRONT (2017)** realizaron un estudio con el fin de analizar e interpretar toda la información geoquímica obtenida a partir de los registros espectrales y mineralógicos, en un conjunto de pozos ubicados en los diversos bloques de la FPO a nivel del Cretácico, todo ello con el fin de analizar las anomalías radioactivas que se visualizan en el Campo Dobukubi, para así poder establecer su extensión horizontal y temporal.
- **SÁNCHEZ (2017)** plantea que el análisis cuantitativo consiste en una observación cuidadosa y detallada de la textura y de la determinación de la composición de sus fragmentos, tanto monocristales como poliminerales, además, los estudios petrográficos tanto cualitativos como cuantitativos son fundamentales para la determinación de la procedencia de los sedimentos.

Tomando en cuenta las investigaciones realizadas durante décadas por los autores antes mencionados no cabe duda que tanto las técnicas convencionales tales como el estudio de la fracción liviana (cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos) y las asociaciones de minerales pesados, así como también los estudios de elementos mayoritarios minoritarios y en el mejor de los casos elementos trazas son indispensables para la realización de caracterizaciones del registro sedimentario de una cuenca, así como para hacer comparaciones entre áreas de depositación y establecer límites estratigráficos difíciles de definir y por su puesto los estudios geoquímicos son un complemento de los estudios convencionales a la hora de identificar el tipo de roca fuente y el ambiente tectónico de origen de los sedimentos.

Comúnmente la fracción pesada extraída es muy pequeña, sin embargo el estudio de minerales pesados posee un gran valor práctico en la identificación y correlación de unidades estratigráficas, así como ayuda a descifra los eventos en la historia geológica, además se ha demostrado que estos minerales son un complemento útil para la correlación de unidades litoestratigráficas y pueden dar información importante sobre la fuente de origen de un sedimento y sobre las condiciones existentes antes, durante y luego del depósito.

## CAPITULO II

### MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y LOCAL

Uno de los aspectos más importantes que se deben tomar en cuenta en una investigación geológica es conocer a fondo las características geológicas y estratigráficas del área de estudio; es por ello que en este capítulo se exponen de manera sencilla pero completa los aspectos más resaltantes de la Cuenca Oriental de Venezuela y la Petrolífera del Orinoco.

#### 2.1 GEOLOGÍA REGIONAL DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA

La Cuenca Oriental de Venezuela (COV) puede considerarse como una depresión topográfica y estructural que se formó por la compleja interacción entre las placas Sudamérica y Caribe; está situada al noreste de Venezuela entre los 8° y 11° de latitud norte y los 61° y 66° de longitud oeste, en la región centro oriental de Venezuela; se extiende por los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas, Delta Amacuro, Sucre y que se prolonga hasta el sur de Trinidad. Limita al norte por el corrimiento de la Serranía del Interior y el cinturón metamórfico Araya-Paria, al este continua sobre la corteza del Atlántico, al oeste limita con el Arco del Baúl y en el sur con el Escudo de Guayana siguiendo el curso del río Orinoco (**DI CROCE**, 1999); (Fig. 2.1) La misma posee aproximadamente una longitud de 800 km de extensión oeste-este y 200 km de norte a sur. La COV constituye una cuenca de antepaís que se desarrolló en el Neógeno sobre un margen pasivo del Mesozoico tardío del Cratón de Suramérica (**PARNAUD et al.**, 1995).

La COV es asimétrica y elongada en la cual el flanco sur buza ligeramente hacia el norte, mientras que el flanco norte presenta fallamientos y cabalgamientos con la Serranía Del Interior (**DI CROCE**, 1999); Toda la cuenca se inclina hacia el este, debido a esto su parte más profunda está ubicada al noreste hacia Trinidad **GONZÁLEZ DE JUANA et al** (1980).

Según sus características tectónicas y estratigráficas la Cuenca Oriental de Venezuela puede subdividirse en dos subcuentas: la Subcuenca de Guárico hacia el oeste y la Subcuenca de Maturín hacia el este las mismas están separadas por el sistema de fallas de Anaco y sus estructuras asociadas (**DI CROCE**, 1999).

### **2.1.1 Subcuenca Maturín**

La Subcuenca de Maturín tiene una extensión 112.785 km<sup>2</sup>, limita al norte por la Serranía del Interior, al sur con el Escudo de Guayana, al este con la plataforma deltaica del rio Orinoco, al noreste con la Subcuenca de Paria y al oeste con la Subcuenca de Guárico. Esta subcuenca es asimétrica con el flanco norte sobrecorrido por terrenos alóctonos compuestos principalmente por sedimentos cretácicos, Paleoceno y Eoceno de la Serranía del Interior oriental. Posee un eje estructural de orientación este-oeste y pasa cerca de la ciudad de Maturín en el estado Monagas, posee un fuerte declive hacia el este excepto en el extremo occidental donde el declive es hacia el noreste (**KISER**, 1987).

### **2.1.2 Subcuenca Guárico**

La Subcuenca de Guárico posee una extensión de 49.895 km<sup>2</sup>, limita al norte con la cordillera del Caribe al sur con el escudo de Guayana, oeste con el Arco del Baúl y al este con la Subcuenca de Maturín de la cual está separada arbitrariamente por el Arco de Anaco; es asimétrica con el flanco norte sobrecorrido por terrenos alóctonos compuestos principalmente por sedimentos y rocas metamórficas del Mesozoico Paleoceno y Eoceno que componen la Cordillera del Caribe. Su eje estructural está cubierto por los corrimientos del norte del estado Guárico y su rumbo; varia de noroeste-sureste en el Cretácico y norte-sur en el Mioceno (**KISER**, 1987).



**Figura 2.1:** Cuencas Petrolíferas de Venezuela, basada en la distribución de sus Provincias Sedimentarias (Modificado de Pérez de Mejía et. Al., 1980). L.E.B. = Lineamiento de El Baúl, Límites de la Cuenca de Oriente (Tomado del YORIS & OSTOS 1997)

## 2.2 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA

La formación de la Cuenca Oriental de Venezuela puede dividirse en cuatro fases según **PARNAUD et al** (1995), las dos primeras en el Paleozoico y Cretácico respectivamente, y las dos siguientes durante el Terciario. A continuación, se explica brevemente la reconstrucción del evento depositacional y tectónico. (Fig 2.2)

### 2.2.1 Fase “pre-rift” en el Paleozoico:

Corresponde a la mega secuencia existente antes de la apertura proto-oceánica; de esta etapa se preservaron las rocas de edad Paleozoica, asociadas a las formaciones Carrizal y Hato Viejo en la Subcuenca de Guárico, estos depósitos están constituidos por areniscas de grano fino, ligeramente calcáreas con intercalaciones de conglomerados y lutitas verdes con espesores entre 3 y 5 km de espesor, fueron depositadas en ambientes marinos costeros y neríticos **PARNAUD et al** (1995).

Los mismos autores proponen para esta la fase de pre- rift, una edad Paleozoico medio, sin embargo, estudios más recientes realizados por de **DI**

**GIACOMO** (1985), afirma que es posible redefinir la edad de esta fase y asignarle una edad Cámbrico temprano, correspondiente a las formaciones antes mencionadas debido a la presencia de ciertos fósiles de edad Cámbrica temprana.

### 2.2.2 Fase de Rift del Jurásico

Esta fase está caracterizada por un levantamiento vertical del borde del Cratón de Guayana, actividad volcánica en el Macizo del Baúl. Así como por un largo periodo de erosión en la Cuenca Oriental de Venezuela.

Durante el Triásico tardío-Jurásico temprano y al separarse Norteamérica de Sudamérica se crea un sistema extensional en el margen norte de Sudamérica, esta fase no está asociada a grandes adelgazamientos corticales, ni a subsidencias (**PARNAUD et al** 1995), sino más bien a la tendencia en aceptar un sistema de fallas rumbo deslizantes o transformantes con actividad tectónica durante la separación entre Sudamérica y Norteamérica (**ERLICH & BARRETT** 1992). Este proceso está evidenciado posteriormente en los basaltos y capas rojas de la Formación Ipire depositadas en el Graben de Espino cuya edad es del Jurásico medio.

### 2.2.3 Fase de margen pasivo Cretácico- Paleógeno

Esta fase fue también llamada margen pasivo, durante la misma tuvieron lugar tres eventos transgresivos principales de norte a sur, en el *Turonense*, Paleoceno-Eoceno temprano y Oligoceno respectivamente **PARNAUD et al** (1995).

a) En la primera fase transgresiva se depositan las arenas basales de la Formación Barranquín más al norte el avance transgresivo se inicia con la sedimentación de las lutitas carbonáticas de la Formación García, seguida por las formaciones El Cantil, Querecual y San Antonio; al sur, la Formación Tigre marca el máximo transgresivo de esta época. Es en este período de tiempo cuando se sedimentan las rocas madre de la Cuenca de Oriente,

compuestas por sedimentos finos de ambientes batiales ricos en materia orgánica; estas rocas fuente, corresponden a las formaciones Querecual y San Antonio de edad Cretácico, las cuales son comparables con los depósitos de la plataforma carbonática del sur representada por la Formación Tigre (PARNAUD *et al* 1995).

b) La segunda transgresión de la fase de margen pasivo, ocurre durante el Paleoceno-Eoceno, se deposita la Formación San Juan (PARNAUD *et al* 1995).

c) La transgresión final tiene lugar en el Oligoceno y se inicia con la depositación de la Formación Merecure la cual cambia hacia el norte a ambientes de plataforma afuera representadas por las formaciones Areo y Carapita (PARNAUD *et al* 1995).

#### 2.2.4 Fase de Colisión Oblicua. Oligoceno- Mioceno

Esta fase está enmarcada por el periodo de colisión oblicua entre las placas del Caribe y Sudamérica la cual comenzó finales del Oligoceno y terminó en el Mioceno temprano (PARNAUD *et al* 1995). Como consecuencia de dicha colisión se generó un sistema rumbo-deslizante y compresivo-transpresivo entre las dos placas antes mencionadas dando origen a una cuenca de antepaís o cuenca *foreland*. Las secuencias sedimentarias depositadas durante esta fase suprayacen a los depositados durante el margen pasivo y se crean las trampas asociadas a las fallas. Como consecuencia de la carga litoestática que se genera por las napas producidas por la colisión al norte, ocurre una flexión isostática de la litosfera provocando el levantamiento de la zona sur de la cuenca y exponiéndola a la erosión (YORIS & OSTOS, 1997).

Por su parte PARNAUD *et al* (1995), señalan que cuenca antepaís es dividida en tres áreas: la primera al sur representada por una zona de plataforma, comprendida entre Cerro Negro y Oritupano; la segunda desde Acema Casma hasta Pirital, y la tercera al norte de la falla de Pirital

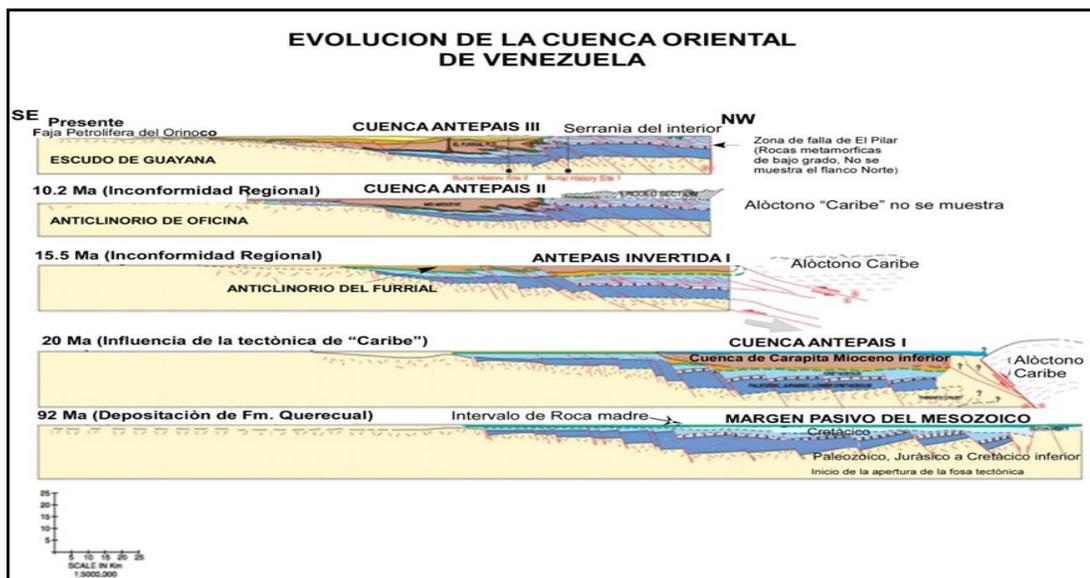
correspondiente a la zona de sobrecorrimientos. En la parte más profunda de la cuenca, se deposita inicialmente la Formación Carapita, la cual es el sello de las formaciones Freites y Oficina del Oligoceno-Mioceno depositado en ambientes continentales a marinos, finalmente en el Plioceno-Pleistoceno se depositan las formaciones La Pica y Las Piedras en ambientes marino someros a continentales.

A finales del Eoceno y debido a la pulsación orogénica, se inician una serie de cambios en la estructura y geometría de la Cuenca Oriental de Venezuela, y comienza su desarrollo como cuenca petrolífera. Durante este periodo ocurren dos fenómenos fundamentales en su evolución; el primero de ellos es el hundimiento de la parte occidental en el área de Guárico, que ocasionó la invasión marina y la subsecuente sedimentación de las formaciones La Pascua y Roblecito durante el Eoceno tardío y parte del Oligoceno, y el segundo es el levantamiento de la Serranía del Interior, marcado por el hiato paleontológico constatado entre la Formación Caratas, Miembro Tinajitas, y la Formación Los Jabillos. Como producto de la fuerte deformación tectónica que sufre la Cuenca Oriental de Venezuela a finales del Eoceno-Oligoceno, su estructura presenta diferentes características morfológico-estructurales tanto al NE como al occidente (**GONZÁLEZ DE JUANA et al.** 1980), Durante el Mioceno una serie de levantamientos espasmódicos están marcados por gruesos intervalos conglomeráticos. Renovados empujes con una fuerte componente norte-sur ocasionaron grandes líneas de sobrecorrimiento hacia el sur, como son los corrimientos de Pirital y Anaco”.

Según **GONZÁLEZ DE JUANA et al.** 1980, la deformación tectónica fue más intensa en el flanco norte mientras que el flanco sur apoyado sobre el borde cratónico no sufrió deformaciones tectónicas de mayor importancia; debido a lo anterior, la estructura del área de Temblador, la Faja Petrolífera del Orinoco y el Área Mayor de Oficina se caracterizan por la presencia de homoclinales suaves inclinados hacia el norte-noreste, cortados por alineamientos de fallas normales con rumbo entre este-oeste franco y este-

noreste, algunas de las cuales buzan y presentan desplazamientos hacia el norte y otras hacia el sur.

Actualmente la Cuenca Oriental de Venezuela se caracteriza por una topografía de extensas mesas y planicies correspondientes a la Formación Mesa. Esta superficie, en proceso de erosión, está generalmente recubierta por una costra de grava ferruginosa endurecida, de aspecto masivo y poco espesor, considerada como un paleosuelo del Pleistoceno Superior.



**Figura 2.2** Sección esquemática de la evolución de la Cuenca Oriental de Venezuela. (Tomado y modificado de **SUMMA et al.**, 2003)

### 2.3 MARCO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL

La cuenca oriental de Venezuela está dividida en dos provincias tectónicas, una autóctona que se extiende desde el eje de la cuenca hasta el río Orinoco, esta provincia es extensional y se caracteriza por presentar fallas normales que afectan los depósitos cretácicos y paleocenos, es en esta donde se encuentra la Faja Petrolífera del Orinoco. Por su parte también posee una provincia tectónica alóctona que se encuentra ubicada en la zona norte de la cuenca y se extiende desde la Falla del Pilar hasta el eje de la cuenca, esta provincia es caracterizada por varias secuencias plegadas las cuales están limitadas por corrimientos en sus bases (**PARNAUD et al**, 1995).

## 2.4 LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO (FPO)

La faja petrolífera del Orinoco, consiste en un cinturón que bordea el límite norte del río Orinoco y que almacena las mayores reservas de crudos pesados y extra pesados de Venezuela y posiblemente del mundo. Este cinturón está dividido en cuatro áreas mencionadas a continuación de oeste a este: Boyacá, Junín, Ayacucho y Carabobo; las dos primeras conocidas anteriormente como Machete y Zuata se encuentran separadas por la falla de Altamira, encontrándose Junín al este y Boyacá al oeste (Fig 2.3).

El marco estratigráfico fue descrito por **GONZÁLEZ DE JUANA** *et al* (1980) como dos subconjuntos de formaciones en el Terciario, el primero compuesto por la Pascua, Roblecito y Chaguaramas, al oeste de la falla de Ipire, en el área de Machete (conocido actualmente como Boyacá), Merecure y Oficina para el área de Zuata (conocido actualmente como Junín); El autor menciona también la probabilidad que durante el Eoceno superior-Oligoceno en la Subcuenca Guárico, los mares existentes en la zona más oriental y Trinidad estuvieran separados por una extensión de tierras bajas y pantanosas, lo que explicaría la ausencia de sedimentación en el Eoceno superior.

Por su parte el Cretácico comprende las formaciones Canoa y el Grupo Temblador, estas dos últimas pueden evidenciarse en gran parte de las dos áreas mencionadas anteriormente; en algunos pozos al norte de Boyacá puede también observarse parte de la Formación Ipire, la cual fue depositada durante el Jurásico y constituye el relleno del Graben de Espino.

Desde el punto de vista estructural, la Faja Petrolífera del Orinoco es un gran monoclinial con buzamiento hacia el norte. El petróleo generado en la Cuenca Oriental de Venezuela migró buzamiento arriba a través de los sedimentos clásticos poco profundos hacia el sur y quedó entrampado en una combinación de trampa estructural/estratigráfica la cual forma la Faja Petrolífera del Orinoco.

### 2.4.1 Área de Junín

Antiguamente conocida como Zuata el área de Junín está ubicada en la parte media central de la Faja Petrolífera del Orinoco, tiene una superficie aproximada de 14.500 km<sup>2</sup> y unos dos tercios del área pertenecen al estado Anzoátegui (Fig 2.3) Limita al sur con el río Orinoco, al este con el área de Ayacucho, al oeste con el área de Boyacá y al norte con las asignaciones de los campos de Oficina y Guárico. (PDVSA 1983).

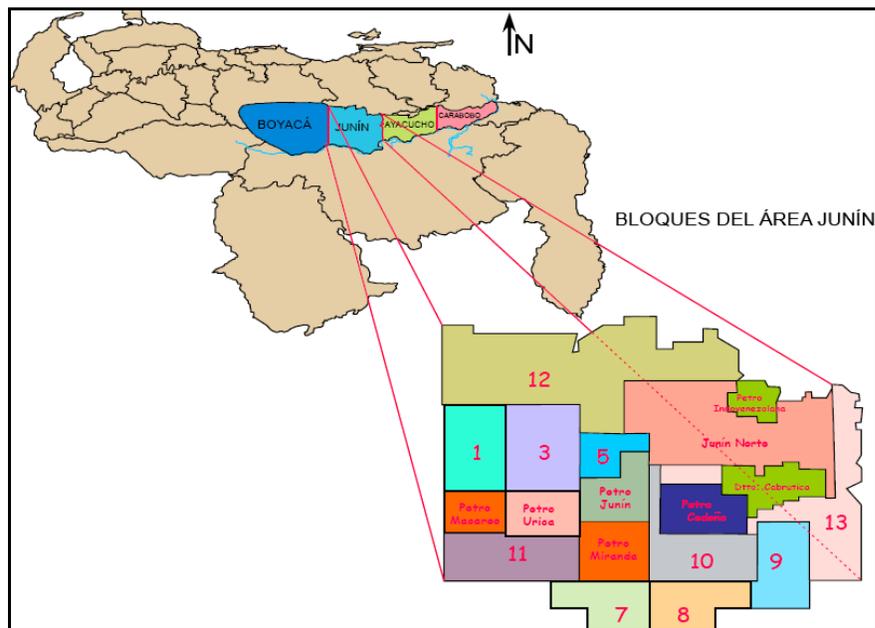


Figura 2.3 Ubicación geográfica de la faja petrolífera del Orinoco y el área Junín. Tomado de Ruiz 2017

## 2.5 MARCO ESTRATIGRÁFICO DE LA FAJA PETROLÍFERA DEL ORINOCO

La Cuenca Oriental de Venezuela esta estratigráficamente conformada por las formaciones expuestas en la figura 2.4. El área de estudio se encuentra en el flanco sur de la cuenca por lo que la sección sedimentaria preservada abarca desde el Paleozoico. PDVSA S.A-RYDER SCOT COMPANY (2011).

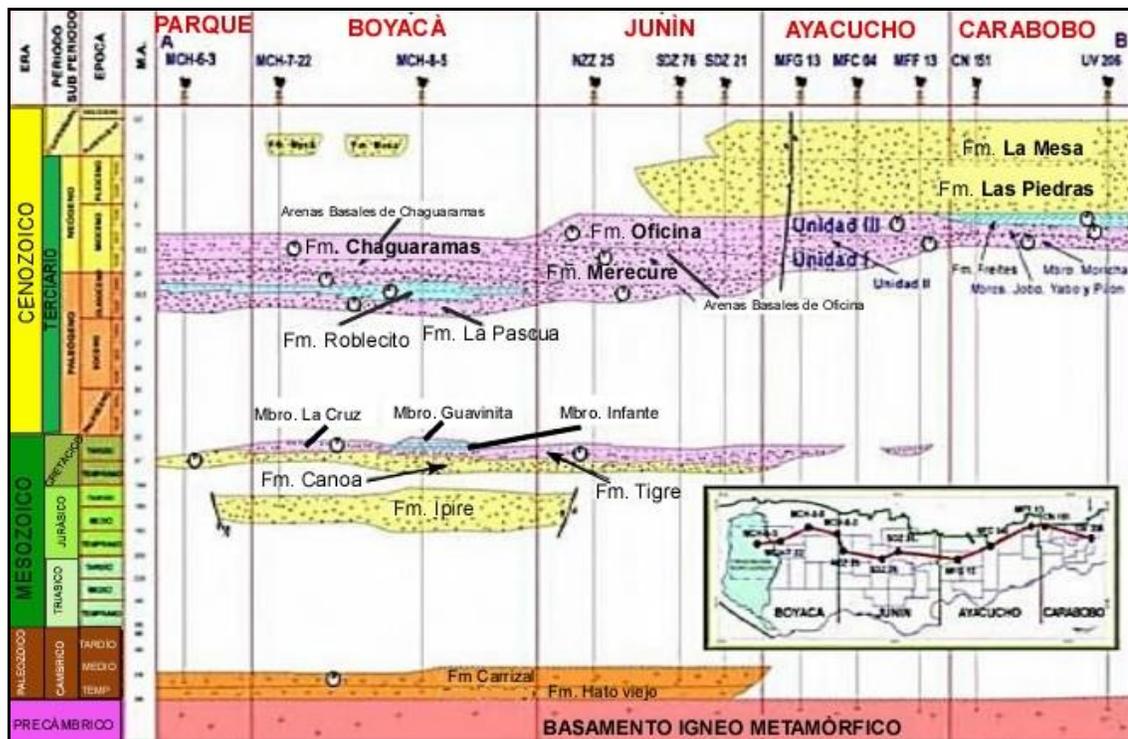


Figura 2.4. Estratigrafía regional de la Faja Petrolífera del Orinoco (Tomado y modificado de PDVSA-CVP 2010)

## 2.6 FORMACIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.6.1 Paleozoico

#### 2.6.1.1 Formación Hato Viejo (Cámbrico temprano)

HEDBERG,(1942), atribuye esta unidad esencialmente a una arenisca de grano fino a grueso, colores gris-rosado, gris y gris oscuro, friable, dura, maciza y áspera, ligeramente calcárea y en partes muy micácea y pirítica; los granos son redondeados y muy bien cementados. La arenisca contiene conglomerados y peñas de cuarcita a intervalos irregulares; localmente, se presentan vetas de calcita a lo largo de fracturas. Ciertas secciones de la arenisca muestran características cuarcíticas; otras son muy feldespáticas, verdes y glauconíticas; Tiene un espesor aproximado de unos 91 m. **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA 1997).**

La Formación Hato Viejo desaparece al este de Anzoátegui meridional, donde el Grupo Temblador del Cretácico, es discordante sobre rocas Precámbricas del Escudo de Guayana, y parece ser relativamente delgada, en la mayoría de los pozos perforados en el estado Guárico. Esta formación infrayace a la Formación Carrizal, con la cual guarda estrecha relación, y suprayace discordantemente a las rocas precámbricas del escudo de Guayana. El ambiente de sedimentación es continental, y sus sedimentos representan el relleno de cuenca (facies fluvial y/o piedemonte) de una fase erosiva, contemporánea o subsiguiente a un período de intensa actividad tectónica. **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA 1997).**

#### 2.6.1.2 Formación Carrizal (Cámbrico temprano)

Está constituida por una espesa secuencia de arcillitas verdosas a gris oscuro, duras, masivas y densas, ocasionalmente teñidas de rojo, duras y compactas. Contiene algunas capas de limolita y areniscas. Generalmente está fuertemente bioturbada. Es notablemente homogénea, pese a su contenido variable de limo, con intercalaciones locales de areniscas o conglomerados de guijarros. Intercaladas, y generalmente hacia la base de la formación, se han observado cuerpos de arena; ocasionalmente, se presenta calcita como cemento en las capas de limolita y en diaclasas verticales. **HEDBERG (1942).**

En esta unidad se pueden encontrar minerales como lo son: granate, biotita, feldespatos, cuarzo, chert, moscovita y glauconita, y es claramente diferenciable en los registros eléctricos, en base a la respuesta de las curvas de rayos gamma y potencial espontáneo, típico de sedimentos lutíticos. El tope de la Formación Carrizal es siempre erosional, estando cubierto por sedimentos precretácicos, por el Grupo Temblador o por la Formación Oficina. En la base suprayace a la Formación Hato Viejo, con la cual guarda estrecha relación. **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA 1997).**

## 2.6.2 Cretácico

### 2.6.2.1 Grupo Templador (Cretácico tardío)

El Grupo Temblador es una secuencia sedimentaria cretácica conocida en el subsuelo de Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro, que descansa inconformemente sobre el flanco norte del Escudo de Guayana. **HEDBERG**, (1942).

El Grupo Temblador, en la parte sur de Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro se subdivide en dos formaciones denominadas de más antigua a más joven, Canoa, de ambiente continental y Tigre de ambiente marino (**GONZÁLEZ DE JUANA et al**, 1980).

➤ Formación Canoa (*Aptiense – Albiense*)

Descrita por **HEDBERG et al.** (1947) para referirse a la parte inferior del Grupo Temblador, esta formación se encuentra distribuida en el subsuelo de las áreas Boyacá y Junín en Faja Petrolífera del Orinoco. Está constituida por conglomerados de grano fino y areniscas conglomeráticas, areniscas, limolitas y arcilitas generalmente moteadas con manchas grises, gris verdoso, amarillas, marrones, rojas, púrpura. En el subsuelo de Guárico, consta de lutitas y arcilitas irregularmente estratificadas, típicamente abigarradas, en tonos de gris, verde, rojo, amarillo y morado, con algunas areniscas moteadas. (**PATTERSON & WILSON**, 1953). El conjunto de minerales pesados característicos de esta unidad, corresponden a una suite verde (magnetita-ilmenita-zircón-turmalina-epidota-zoisita); y menores cantidades de estauroлита y anfíboles sin diferenciar (**ESCALONA**, 1985).

Tiene un espesor de al menos 100 metros de espesor en la sección tipo y según (**GONZÁLEZ DE JUANA et al**, 1980) varía de cero a varios cientos de metros ya que en el área de Boyacá; la unidad se adelgaza hasta desaparecer al sur, hacia el Escudo de Guayana, así como hacia el área de Hamaca. El contacto inferior es marcadamente discordante sobre una

superficie aparentemente peneplanada, constituida por rocas ígneas y metamórficas del basamento, o localmente con las formaciones Hato Viejo y Carrizal. El contacto superior es transicional y marca un cambio de facies predominantemente continental. (LEV, 1970).

➤ **Formación Tigre** (*Turonense - Maastrichtense*)

El nombre de Formación Tigre, fue usado primeramente por HEDBERG *et al.* (1947), para referirse a la parte superior del Grupo Temblador; En la región tipo, en Monagas meridional, la formación es una secuencia variable, irregularmente estratificada, de areniscas y limolitas de grano fino, glauconíticas, gris a gris verdoso areniscas gruesas friables y espesas, limolita gris a gris verdoso y lutitas carbonosas y fosfáticas. Hay intercaladas en la sección, calizas dolomíticas y dolomías en capas blanquecinas, delgadas, duras y con frecuencia fosilíferas y glauconíticas. (LEV, 1970) En el estado Guárico la formación está dividida en tres miembros

a) **Miembro La Cruz (inferior)** constituido por un miembro inferior de areniscas lenticulares, caoliníticas, de grano grueso, con intercalaciones menores de lutita negra, carbonosa y fosilífera, y uno superior que se inicia con una lutita negra fosilífera y continua con areniscas de grano fino, calcáreas y glauconíticas que presentan intercalaciones delgadas de lutita muy fosilífera, El conjunto de minerales pesados característicos de este miembro es la asociación magnetita ilmenita zircón turmalina epidota estaurolita cianita-glaucófana (suite naranja-púrpura) y cantidades variables de actinolita, hornablenda sódica u otras especies de anfíboles no identificables (ESCALONA, 1985).

b) **El Miembro Infante (medio)** constituido por una caliza densa, compacta y fosilífera, gris, localmente glauconítica. Hacia el sur y noroeste se va haciendo más arenoso hasta convertirse en areniscas que no se pueden diferenciar de los miembros infra- y suprayacentes (PATTERSON & WILSON,

1953), destacan al norte de la Subcuenca de Guárico el carácter marcadamente margoso de este intervalo.

c) **El Miembro Guavinita (Superior)** Está constituido por un intervalo basal lutítico de unos 15 m de espesor, seguido de intercalaciones de areniscas, lutitas, margas, calizas delgadas y ftanitas negras, todas con restos de peces y/o nódulos fosfáticos, con un espesor de unos 30. El intervalo superior, está caracterizado por lutitas arenosas o limolitas, que se adelgazan y desaparecen hacia, el SSE del área de Macaira-Uveral. (**LEV, 1970**).

Los conjuntos de minerales pesados, característicos tanto del Miembro Infante como Guavinita, son una asociación compuesta de magnetita-ilmenita-zircón-turmalina-estauroлита-epidota y glaucofana; suite púrpura; (**ESCALONA, 1985**).

La Formación Tigre tiene un contacto inferior diacrónico y transicional sobre los sedimentos continentales de la Formación Canoa y un contacto superior discordante, de carácter erosional, por debajo de las formaciones La Pascua o Merecure, según la región de estudio. Este contacto corresponde a un hiatus considerable (**GONZÁLEZ DE JUANA et al, 1980**).

### 2.6.3 Oligoceno y Mioceno

#### 2.6.3.1 Formación Merecure (Oligoceno-Mioceno temprano).

En el Área Mayor de Oficina, **HEDBERG (1947)** incluyó a la Formación Merecure en la parte basal de la Formación Oficina como las arenas "U". La Formación Merecure posee un espesor de 520 m. Se compone de areniscas, de color gris claro a oscuro, masivas, mal estratificadas y muy lenticulares, duras, de grano fino a grueso, incluso conglomerática; dichas arenas se separan por láminas e intervalos delgados de lutitas de color gris oscuro a negro, carbonáceas,. Su contenido mineralógico es localmente igual al

conjunto granate-cloritoide de la Formación Oficina y en otros sectores son más abundantes la brookita y anatasa. (LEV, 1970)

#### 2.6.3.2 Formación Oficina (Mioceno temprano- Medio)

La Formación Oficina fue descrita por HEDBERG (1947) como una alternancia de lutitas grises, gris oscuro y gris marrón, intercaladas e interestratificadas con areniscas y limolitas de color claro y grano fino a grueso; posee componentes menores como lo son las capas delgadas de lignitos y lutitas ligníticas, arcilitas verde y gris claro, con esférulas de siderita, areniscas siderítico-glaucioníticas y calizas delgadas con estructuras cono en cono. El conjunto de minerales pesados es generalmente granate-cloritoide, sin embargo, el cloritoide disminuye con la profundidad y hacia el este, y así en la parte oriental del área mayor de Oficina, este conjunto granate-cloritoide es reemplazado por el conjunto granate-estauroлита con abundante ilmenita. (LEV, 1970).

La Formación Oficina subyace concordantemente a la Formación Quiamare; en el Campo de Cerro Pelado está discordante bajo la Formación Las Piedras, mientras que, en la mayor parte del área de Anaco, su tope es concordante con la base de la Formación Freites; Oficina pasa lateralmente a la Formación Carapita y a la parte media y superior de la Formación Chaguaramas (GONZÁLEZ DE JUANA, *et al.*, 1980).

#### 2.6.3.3 Formación Freites (Mioceno Medio- Tardío basal)

Presenta lutitas físis verdes a gris verdoso, con areniscas en el tope y la base, que permiten la subdivisión de la unidad en tres intervalos: un intervalo superior de unos 100 m, con capas delgadas de areniscas arcillosas de grano fino, de color blanco verdoso, algo glauconíticas y muy persistentes lateralmente. Un intervalo predominantemente lutítico, y un intervalo inferior de aproximadamente 100 m de lutitas intercaladas con areniscas verde-amarillentas, de grano medio a grueso, glauconíticas, calcáreas o sideríticas

y muy fosilíferas. Posee espesores que van de 335 m a 610 m; suprayace concordantemente a la Formación Oficina en casi toda su extensión, excepto en el Área de Anaco, donde se presenta una discordancia, hacia el tope, la Formación es concordante con la Formación Las Piedras suprayacente. (LEV, 1970).

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO Y METODOLOGIA

#### 3.1 MARCO TEÓRICO

##### 3.1.1 Minerales Pesados (MP)

Antes de dar una definición al término “Mineral Pesado” es importante saber que la densidad es una propiedad característica que tienen todas las sustancias. Gracias a la densidad o peso específico un objeto puede flotar sobre un fluido que posea una densidad mayor o decantar si la densidad de este es menor; Todo, absolutamente todo posee un peso específico incluyendo por su puesto los minerales. Existen compuestos líquidos con densidades mucho mayor a la del agua que son usados para separar los componentes minerales encontrados en un conjunto de sedimentos. Los más utilizados para separar minerales son el bromoformo,  $\text{CHBr}_3$  cuya densidad  $2,89 \text{ gr/cm}^3$  y tetrabromoetano ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$ ) también conocido como líquido de Muthmann cuyo peso específico es  $2,97 \text{ g/cm}^3$ .

En este sentido **FEO CODECIDO** 1956 aplica el término “Mineral pesado” a todos aquellos accesorios presentes en la roca que presentan un peso específico superior a  $2,89 \text{ gr/cm}^3$  usando como referencia el peso específico del bromoformo; siendo este el más usado en la separación de minerales; en este caso al aplicar una fracción de sedimentos sobre el líquido denso, todos aquellos minerales cuya densidad sea superior a la de él, caerán al fondo mientras que los más livianos permanecen flotando en la superficie de este. Los MP se presentan en cantidades muy pequeñas en las rocas, es por ello que son llamados minerales accesorios. En la Figura 3.1 se puede visualizar el peso específico de los minerales más comunes y su relación pesada/liviana con respecto a la densidad del bromoformo.

<b>FRACCION LIVIANA</b>		<b>FRACCION PESADA</b>	
MINERAL	PESO ESPECIFICO g/cm <sup>3</sup>	MINERAL	PESO ESPECIFICO g/cm <sup>3</sup>
Glauconita	2,3	Muscovita	2,9
Yeso	2,32	Glaucofano	3,07
Caolinita	2,6	Turmalina	3,1
Cuarzo	2,65	Hornblenda	3,15
Feldespato	2,66	Andalusita	3,2
Calcita	2,71	Silimanita	3,24
Dolomita	2,85	Zoisita	3,3
		Epidoto	3,37
		Cloritoide	3,41
		Titanita	3,48
		Cianita	3,64
		Estaurrolita	3,71
		Granate	3,8
		Anatasa	3,88
		Brookita	3,95
		Leucoxeno	4
		Rutilo	4,21
		Circon	4,7
		Ilmenita	4,75
		Monacita	5,15
		Magnetita	5,17

<b>Bromoformo</b>	<b>2,89</b>
-------------------	-------------

<b>Tetrabromoetano</b>	<b>2,97</b>
------------------------	-------------

**Figura 3.1** Peso específico de los minerales más comunes y de los líquidos usados en la separación de minerales. Las densidades expuestas fueron tomadas de **FEO CODECIDO 1956**

**3.1.1.1 Rocas fuentes y tipos de minerales Pesados**

Los minerales pesados son propios de rocas ígneas y metamórficas una vez que se encuentran en los sedimentos, estos se pueden clasificar en alogénicos o detríticos cuando derivan de una roca anterior y han sobrevivido a la destrucción por meteorización, abrasión y descomposición, estos minerales también se les conoce como minerales resistentes, que son todos aquellos minerales que son más resistentes a los procesos químicos y físicos, como productos de la meteorización mantienen la misma composición química y mineralógica que tenían cuando formaban parte de la roca original. Se distribuyen en el ambiente de sedimentación según su

equivalente hidráulico. El cuarzo es uno de los minerales más resistentes, pero en el caso de los MP los resistentes son el circón, la magnetita, Ilmenita, rutilo, oro y platino; a los minerales secundarios que se han formado en el lugar donde se les encuentra se les conoce como autigénicos. Muchos minerales inestables y angulares pueden ser indicativos de un origen ígneo o metamórfico, mientras que los granos minerales bien redondeados sugieren haberse derivado de rocas sedimentarias pre-existentes. Los sedimentos contienen minerales metaestables. **FEO CODECIDO 1960.**

**3.1.1.2 Minerales asociados:**

Son aquellos que suelen encontrarse de forma habitual y en cierta abundancia junto a un mineral.

**Tabla 3.1** Asociaciones de minerales pesados según su fuente. (Tomado de Feo-Codecido 1960)

<b>ASOCIACIÓN DE MINERALES PESADOS</b>	<b>ROCA FUENTE</b>
Apatito, Biotita, Broquita, Circón Hornblenda, Monacita, Moscovita, Rutilo, Titanita y Turmalina Rosada	Rocas Ígneas Ácidas
Casiterita, , Fluorita, Granate, Monacita, moscovita, Topacio, Turmalina Azul, Wolfranita; Xenotima.	Pegmatitas graníticas
Auguita, Cromita, Diópsido, Hipersteno,, Ilmenita; Magnetita; Olivino, Picitita; Pleoanatas	Rocas Ígneas Básicas
Andalucita, Condrodita, Corindón; Estautrolita, Flogopita, Granate, Topacio, Vesubianita, Wolastonita, Zoisita.	Rocas metamórficas de contacto
Andalucita, Cianita; Cloritoide; Epidoto; Estaurolita; Glaucofano; Granate; Silimatita; Titanita, Zoisita y Clinozoisita	Rocas metamórficos Dinamotermiales
Barita; Circón (Redondeado); Leucoxeno, Minerales de hierro, Rutilo; Turmalina( Redondeado)	Rocas sedimentarias

**3.1.1.3 Grupos de minerales pesados**

Según **FOLK (1974)** los minerales pesados se estudian generalmente de acuerdo con los siguientes Grupos:

- **Minerales Opacos:** Son aquellos que no tramiten luz cuando se examinan en lámina delgada. Estos minerales poseen un peso específico muy alto debido a su contenido de hierro como la magnetita, ilmenita y pirita; estos son solo algunos de los minerales opacos más comunes (**SÁMANO Y VARGAS, 2014**)
- **Micas:** generalmente no se toman en cuenta en los estudios de MP, pero algunas poseen una gravedad especifica ligeramente mayor a la del bromoformo.
- **Minerales Ultra- Estables:** Pueden ser retrabajados muchas veces. (citrón; turmalina y rutilo) La abundancia de los dos primeros implica que el sedimento sufrió abrasión prolongada y/o ataque químico o que los minerales provienen de sedimentos preexistentes. **FOLK (1974)**
- **Minerales estables y moderadamente estables:** no son tan resistentes como los anteriores y poseen poca resistencia a la alteración química, (olivino, anfíboles, pirógenos, granate, epidota, zoisita, cianita, silimanita, andalucita, estaurolita, entre otros. **FOLK (1974)**)

#### 3.1.1.4 Importancia de los Minerales Pesados

- a) Determinación de proveniencia, la naturaleza y carácter del área fuente.
- b) Delineación de provincias petrológicas-sedimentarias.
- c) Adecuada delimitación y correlación de los distintos cuerpos de arena.
- d) Indicación de la acción del régimen hidráulico y los procesos de depositación.

**Tabla 3.2** Características de algunas especies de minerales pesados. Información recopilada del manual de mineralogía de Dana. **HURLBUT & KLEIN 1997**

NOMBRE	FÓRMULA QUÍMICA	DUREZA	HÁBITO	COLOR	GRADO DE ESTABILIDAD	RESISTENCIA A LA ALTERACIÓN QUÍMICA	SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	ROCA ORIGEN
<b>Circón</b>	ZrSiO <sub>4</sub>	7,5	Prismas Bipiramidales de sección cuadrada	Incoloro y tonalidades suaves	Ultra-estable	Muy Alta	Diamagnético	Ígneas y metamórficas
<b>Turmalinas</b>	<b>Chorlo</b> Na(Fe <sup>2+</sup> ) <sub>3</sub> Al <sub>6</sub> (Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> )(BO <sub>3</sub> )(OH) <sub>3</sub> (F,OH)	7 a 7,5	Prismas alargados hexagonal con caras estrechas estriadas/ prismas cortos achaparrados	Negro	Ultra-estable	Alta	0,3 a 0,8 Amper	Pegmatitas, y Venas hidrotermales de alta temperatura, accesorio en rocas ígneas y metamórficas
	<b>Dravita</b> Na(Mg <sub>3</sub> )Al <sub>6</sub> (Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> )(BO <sub>3</sub> )(OH) <sub>4</sub>	Arreglados radiales, prismas con caras bipiramidales	Marrón pálido y negruzco	Calizas cristalinas o dolomías metamorizadas, Rocas ígneas básicas				
<b>Rutilo</b>	TiO <sub>2</sub>	6 a 6,5	Prismas alargados y estriados	Rojo, negro, naranja	Ultra-estable	Muy Alta	Diamagnético	Intrusivas de alta presión y temperatura
<b>Granates</b>	<b>Piropo</b> Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	6,5 a 7,5	Rombododecaedros y/o Trapezoedros o combinaciones de ambos	Rojo Vino	Estable	Alta	0,15 a 0,6 Amper	Micaesquistos resultantes del metamorfismo regional de sedimentos arcillosos y/o metamorfismo de contacto en rocas Pelíticas y en ígneas ácidas
	<b>Almandino</b> Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>			Rojo pardo				
	<b>Espesartina</b> Mn <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>			Anaranjado a amarillento				

Continuación de la tabla 3.2 Características de algunas especies de minerales pesados. Información recopilada del manual de mineralogía de Dana. HURLBUT & KLEIN 1997

NOMBRE	FÓRMULA QUÍMICA	DUREZA	HÁBITO	COLOR	GRADO DE ESTABILIDAD	RESISTENCIA A LA ALTERACIÓN QUÍMICA	SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	ROCA ORIGEN
<b>Estaurolita</b>	$(Fe,MgZn)_2Al_9Si_4O_{22}(OH)_2$	7 a 7,5	Cristales prismáticos, ocasionalmente equidimensionales	pardo amarillento y pardo rojizo a negro	Estable	Media	0,5a 0,8 A	Metamorfismo regional de bajo grado a medio en rocas sedimentarias ricas en aluminio ( Pizarras, filitas, Micacitas) o en aureolas de contacto de macizos graníticos
<b>Titanita esfena</b>	$CaTiSiO_4(O,OH,F)$	5 a 5,5	Cristales aplanados en forma de cuña. Prismáticos Rombos	Amarillo verdoso y marrón	Estable	Alta	> 0,8 Amper	Plutónicas y filonianas, Metamórficas(gneis, anfibolita y esquisto)
<b>Ilmenita</b>	$FeTiO_3$	5 a 6	Cristales tabulares con trincaduras romboédricas	Gris plomo a negro	Estable	Alta	0,1 a0,4 Amper	Complejos graníticos alcalinos, Complejos básicos,
<b>Magnetita</b>	$Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$	5,5 a 6,5	Octaedros, romboedros y recubrimientos	Gris a negro	Estable	Alta	Ferromagnético	Rocas ígneas
<b>Goethita</b>	$Fe^{2+}O(OH)$	5 a 5,5	Agregados aciculares y formas botriodales	Pardo rojizo	Estable	Alta	0,1 a 0,8	Generalmente producidos por alteración y también detrítica

Continuación de la tabla 3.2 Características de algunas especies de minerales pesados. Información recopilada del manual de mineralogía de Dana. HURLBUT & KLEIN 1997

NOMBRE	FÓRMULA QUÍMICA	DUREZA	HÁBITO	COLOR	GRADO DE ESTABILIDAD	RESISTENCIA A LA ALTERACIÓN QUÍMICA	SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	ROCA ORIGEN
<b>Hematita</b>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5 a 6	prismas, tabulares , masas compactas	Gris acero a rojo oscuro	Estable	Muy Alta	Ferromagnético	Generalmente producidos por alteración
<b>Epidoto</b>	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>3+</sup> Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(SiO <sub>4</sub> )O(OH)	6 a 7	Cristales prismáticos, biterminado y estriados al eje "b"	Verde pistacho	Moderadamente estable	Baja	0,20 a 0,80 A	Asociado a metamorfismo regional de bajo grado (esquistos verdes con anfíboles cálcicos y clorita)
<b>Clinocloro</b>	(Mg,Fe <sup>2+</sup> ) <sub>5</sub> Al((OH) <sub>8</sub> /AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )	2 a 3	Hexagonales pseudo hexagonales, Masas granulares Gruesas	Varios tonos de verde	Moderadamente estable	Baja	0,20 a 0,80 A	Asociado a metamorfismo regional de bajo grado (facies de esquistos verdes) Rocas ígneas como alteración de la biotita
<b>Apatito</b>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH, F, Cl)	5	Concoidea	Incoloro	Moderadamente estable	Baja	0,8 a 1,3 Amper	Rocas ígneas ácidas
<b>Zoisita</b>	Ca <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(SiO <sub>4</sub> )O(OH)	6 a 7	Cristales columnares estriados o masivo	Variable	Moderadamente estable	Media	0,8 a 1,3 Amper	Metamorfismo regional de grado medio, eclogitas y rocas metamórficas de facies de esquistos azules.

Continuación de la tabla 3.2 Características de algunas especies de minerales pesados. Información recopilada del manual de mineralogía de Dana. **HURLBUT & KLEIN 1997**

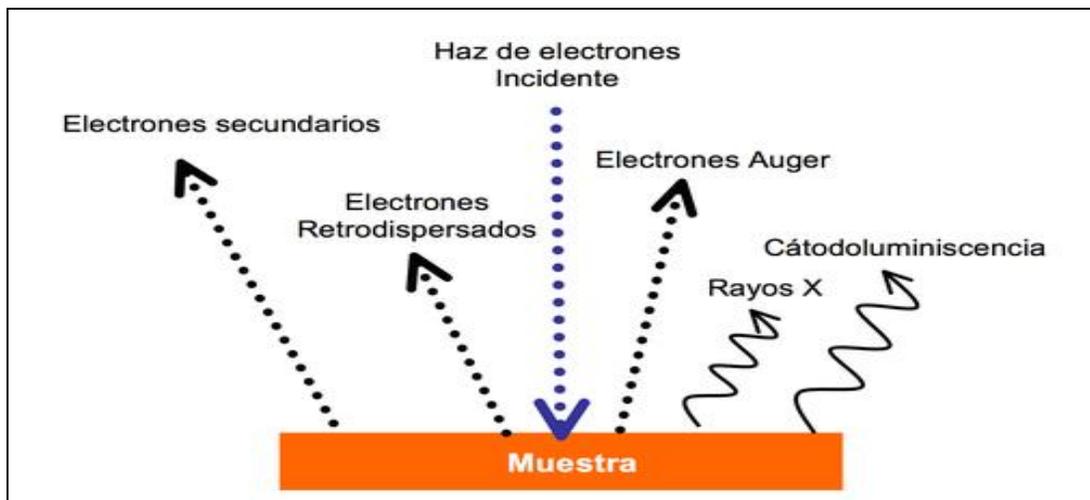
NOMBRE	FÓRMULA QUÍMICA	DUREZA	HÁBITO	COLOR	GRADO DE ESTABILIDAD	RESISTENCIA A LA ALTERACIÓN QUÍMICA	SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA	ROCA ORIGEN
<b>Cianita</b>	$Al_2SiO_5$	5 a 7	Cristales columnares aplanados y alargados.	Azul y otras variedades	Moderadamente estable	Media	Diamagnético	metamorfismo regional de roca sedimentarias, Argilitas, esquitos y Gneis
<b>Pirita</b>	$FeS_2$	6 a 6,5	Cubos y octaedros	amarillo latón	Inestable	Escasa	Diamagnético	varios orígenes

### 3.1.1.5 Técnicas usadas para el estudio de los Minerales pesados

➤ **Petrografía:** es una técnica que permite identificar las características textuales, mineralógicas y diagenéticas de la roca en dos dimensiones. (MALAVÉ 2004) acompañada con otras técnicas es una herramienta muy poderosa a la hora del estudio de minerales a nivel microscópico. Esta técnica consiste en analizar una sección delgada de la roca (previa preparación) a través de un microscopio petrográfico. El análisis petrográfico permite identificar las siguientes propiedades en los minerales: translucidez, color, pleocroísmo, planos de maclas, forma, extinción, relieve, inclusiones

➤ **Microscopía Electrónica de Barrido (MEB):** El microscopio electrónico de barrido es un instrumento compuesto por un sistema óptico-electrónico que explora la muestra por medio de un haz móvil de electrones que, como resultado de la interacción electrón-materia, provoca la generación de diversas radiaciones. Mejor conocido por sus siglas en inglés **SEM** (*Scanning Electron Microscope*) es un sistema que utiliza electrones altamente acelerados, por lo tanto, puede operar con un haz cuya longitud de onda resultante sea varios órdenes de longitud menor con respecto a otras partículas. La imagen final del monitor consiste en un patrón de barrido bidimensional de valores de escala de grises (BARGALLÓ, 1971)

El choque del haz de electrones altamente acelerado con los átomos de la muestra da como resultado la producción de varios tipos de radiación que puede ser detectada y analizada por detectores específicos. Estas señales revelan una valiosa información acerca de la muestra como la morfología y topografía de la superficie, la composición elemental entre otros. Los principales fenómenos que se producen al interactuar el haz de electrones con la muestra es la emisión de electrones secundarios, emisión de electrones retrodispersados, electrones absorbidos emisión de rayos X, emisión de fotones entre otros como se puede apreciar en la Figura 3.2.



**Figura 3.2:** Esquema básico de las diferentes señales generadas a raíz de la interacción del haz primario con la superficie de la muestra. Tomada y modificada de PARDELL(2017)

➤ **Difracción de Rayos X (DRX):** es una técnica muy utilizada en la caracterización mineral, pues permite conocer de manera semicuantitativa las presentes en la muestra, siempre y cuando está presente una estructura cristalina. Los rayos X son una radiación electromagnética obtenida mediante el bombardeo con electrones a un cátodo de cobre, produciéndose  $K\alpha$  del elemento antes mencionado, que puede tener una longitud de onda comparable a los espaciados de las sustancias cristalinas, en consecuencia, un cristal puede actuar como una red de difracción (BERMÚDEZ, 1981).

Los rayos X después de filtrarse se hacen incidir con una muestra de tamaño de partícula inferior a 50 micras que esta desorientada (método de polvo). El registro del espectro de difracción obtenido sobre una banda de papel se denomina difractograma y consta de una serie de máximos de intensidad distribuidos en función de los valores angulares. Los minerales, al ser sólidos cristalinos presentan fases cristalinas y por ende un difractogramas característico. Es por ello que se emplea el método de análisis del polvo, lo que consiste en reducir la muestra a polvo fino, se extiende sobre una porta muestras y se sitúa en el difractor de rayos (BERMÚDEZ, 1981).

### 3.1.2 Geoquímica en rocas sedimentarias:

En las rocas sedimentarias, su fuente de aporte, su grado de meteorización, el reciclado de los sedimentos y la diagénesis actuante, pueden ser inferidos a partir del análisis de los elementos mayoritarios, minoritarios, traza y tierras raras **BATHIA** (1983); los elementos químicos son un excelente conjunto de datos para establecer estos parámetros, al mismo tiempo que permiten crear consideraciones respecto al ambiente tectónico. Cada tipo de roca presenta conjuntos específicos de elementos químicos, en la tabla 3.3 se puede apreciar el conjunto de elementos mayoritarios que presentan las rocas ígneas (de manera general), calizas, lutitas, areniscas y sedimentos.

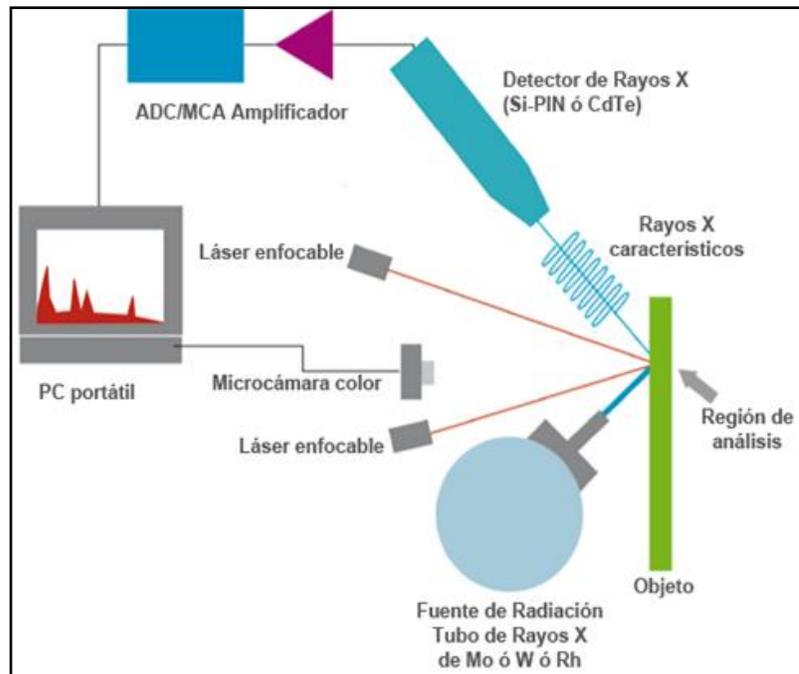
**Tabla 3.3** Composición química promedio (% en peso) de las rocas sedimentarias (tomado de **MASON Y MOORE**, 1982)

Elemento	Rocas Ígneas	Calizas	Lutitas	Areniscas
SiO <sub>2</sub>	59,14	5,19	58,10	78,33
TiO <sub>2</sub>	1,05	0,06	0,65	0,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,34	0,81	15,40	4,77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,08	0,54	4,02	1,07
FeO	3,80	-----	2,45	0,30
MgO	3,49	7,89	2,44	1,16
CaO	5,08	42,57	3,11	5,50
Na <sub>2</sub> O	3,84	0,05	1,30	0,45
K <sub>2</sub> O	3,13	0,33	3,42	1,31
H <sub>2</sub> O	1,15	0,77	5,00	1,63
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30	0,04	0,17	0,08
CO <sub>2</sub>	0,10	41,54	2,63	5,03
SO <sub>3</sub>	-----	0,05	0,64	0,07
BaO	0,06	-----	0,05	0,05
C	-----	-----	0,80	-----
total	99,56	99,84	100,00	100,00

#### 3.1.2.1 Fluorescencia de Rayos X por Energía Dispersiva (EDXRF)

La fluorescencia de rayos X por energía dispersiva, es una técnica de muestreo versátil, rápida y no destructiva, que reconoce un gran número de elementos químicos. La radiación de fluorescencia es característica para cada elemento químico. Por lo tanto, es posible identificar un elemento

dentro del espectro de la muestra si se conoce la energía entre los orbitales atómicos implicados (longitud de onda). La concentración de cada elemento se detecta midiendo la intensidad de la energía asociada a cada transición de electrones. Es decir, la salida de un análisis EDXRF es un espectro que muestra la intensidad de radiación en función de la energía. (Figura 3.3).



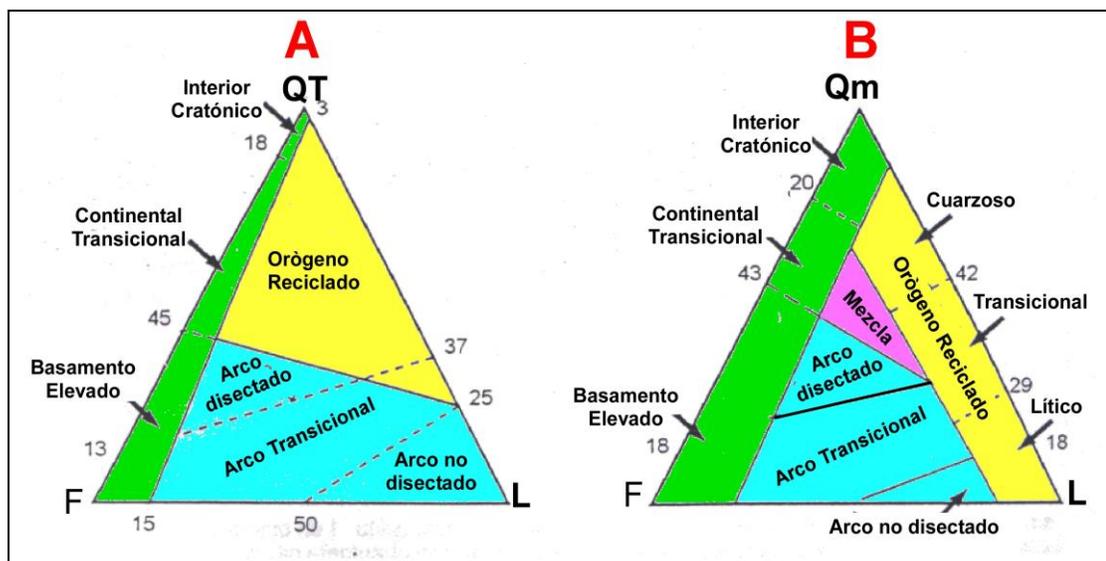
**Figura 3.3:** Proceso de detección de elementos mediante Fluorescencia de rayos X. Tomada de **UNAM** (2018)

### 3.1.3 Análisis de procedencia

Entender la dinámica de los diferentes procesos que intervienen en la formación de los sedimentos y en su transporte, así como conocer la procedencia de los mismos es importante, ya que, a partir de la determinación de estos procesos, es posible llevar a cabo la reconstrucción de los ambientes de depósito y sus probables correlaciones, lo que aporta evidencias clave para el conocimiento de la evolución geológica de una región en particular y su evolución paleogeográfica en un contexto global. **SÁNCHEZ** (2017). En este orden de ideas, la petrografía y la geoquímica son las herramientas más importantes en este tipo de análisis.

➤ **Petrografía:** Es utilizada para la reconstrucción de los procesos dinámicos, considerando el tipo de roca preexistente (sedimentaria, ígnea o metamórfica) y su grado de resistencia al intemperismo ya que estos parámetros condicionan la relación de procesos químicos y mecánicos que la afectan, los cuales, junto con el transporte y las condiciones ambientales del área de aporte y de depósito, determinan la geometría, tamaño, distribución y composición de los sedimentos. Las areniscas son las rocas sedimentarias más utilizadas en los estudios de procedencia por petrografía.

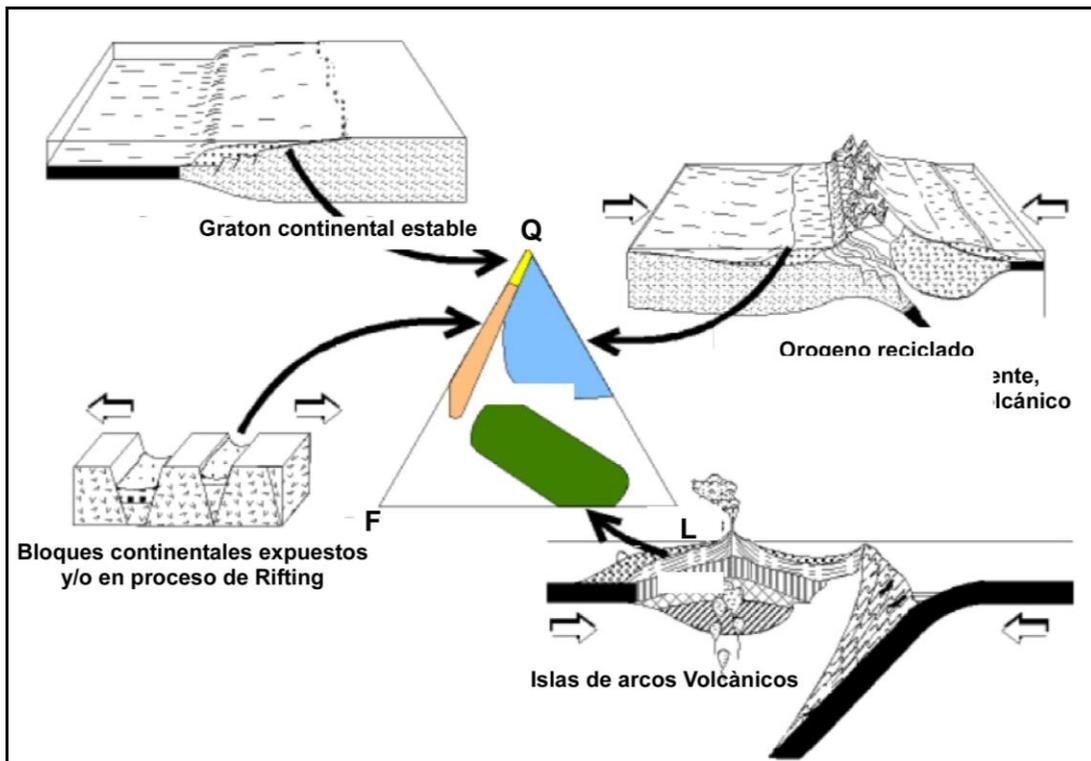
**DICKINSON Y SUCZEK (1979)** Encontraron una relación muy estrecha entre la composición de las areniscas y el ambiente tectónico al que se asocian las grandes cuencas sedimentarias donde se depositan. A partir de esta observación, los autores generaron una serie de diagramas ternarios a partir de los datos obtenidos en la petrografía.



**Figura 3.4** Distribución de las arenas derivadas de diferentes procedencias con base en los diagramas QFL y QmFL de **DICKINSON (1985)**

En general las areniscas derivadas de zonas continentales y depositadas en márgenes pasivas, zonas de *rift* intracontinental, y cuencas cratónicas están compuestas de cuarzo y feldespato principalmente. En el caso de las areniscas depositadas en las cuencas asociadas a cinturones de deformación están enriquecidas en cuarzo y lócalos, estos últimos de muy

variada composición. En cambio, las cuencas asociadas a arcos volcánicos, contienen areniscas con abundantes fragmentos feldespáticos y líticos (principalmente volcánicos y plutónicos) y menor cantidad de cuarzo (Figuras 3.4 A y B y la figura 3.5.). En la tabla 3.4 se muestra una descripción más detallada de las características petrológicas de las areniscas, en relación al ambiente tectónico al que se asocian las cuencas donde se depositaron y la naturaleza de la fuente de aporte de los sedimentos (**DICKINSON** 1985).



**Figura 3.5** Contenido modal de las areniscas procedentes de diferentes ambientes tectónicos a partir de los diagramas QFL de **DICKINSON** (1986). Q=cuarzo total; F=feldespatos monocristalinos totales; L=fragmentos líticos totales. Tomado y modificado de **FICHER & POCHÉ**, (1993)

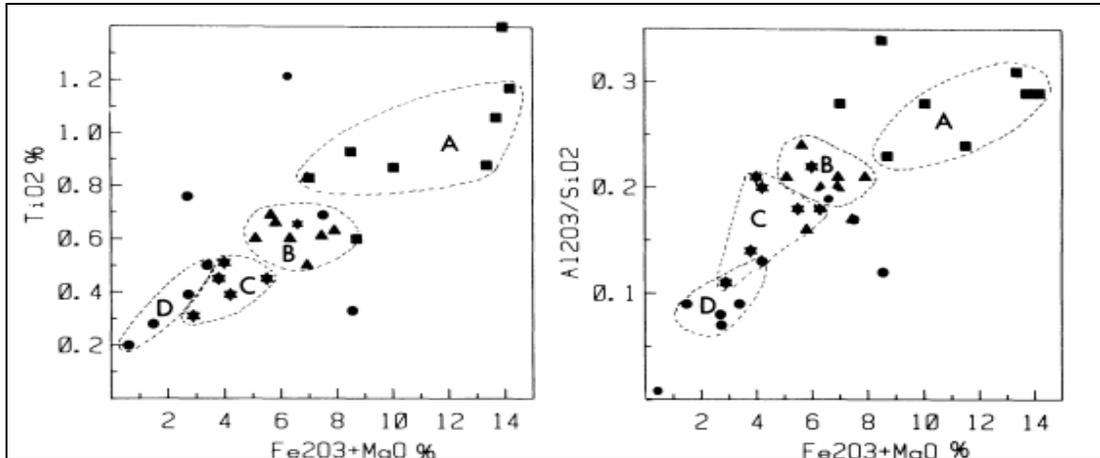
**Tabla 3.4:** Determinación de la procedencia y ambiente tectónico a partir de la composición QFL de las areniscas. Tomado de **DICKINSON** (1985)

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

➤ **Métodos Geoquímicos:** La aplicación de la geoquímica en la caracterización de los procesos geológicos ha tenido un gran desarrollo en los últimos años. Para el caso de los estudios de procedencia de sedimentos terrígenos, estas técnicas han complementado enormemente la información obtenida por medio de la petrografía. Las rocas sedimentarias que favorecen este tipo de análisis son las terrígenas de grano fino (lutitas, limolitas y areniscas finas), ya que el reducido tamaño de grano permite contar con una muestra homogénea de tamaño pequeño. **SÁNCHEZ** (2017).

**BATHIA** (1983) propone una clasificación de los sedimentos finos (lutitas y limolitas) en función al ambiente tectónico en el que se depositan y la procedencia de dichos sedimentos a partir de su contenido de elementos mayores. Dicha clasificación se basa principalmente en las proporciones de

TiO<sub>2</sub> versus Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total + MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> versus Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total + MgO, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O versus Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total + MgO y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO + Na<sub>2</sub>O) versus Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total + MgO A partir de estas relaciones el autor determina cuatro ambientes tectónicos relacionados con una procedencia específica: **(A)** arco de islas oceánico; **(B)** arco de islas continental; **(C)** margen continental activa (MCA), y **(D)** margen continental pasiva (Figura 3.6).



**Figura 3.6:** Diagramas de discriminación de ambientes tectónicos con base en la concentración de elementos mayores en arenas y areniscas. Tomado de BATHIA, 1983.

En el mismo sentido el autor observó que los valores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total + MgO, TiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> aumentan mientras que los valores de K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO + Na<sub>2</sub>O) disminuyen en los ambientes de margen continental pasivo y activo con respecto a los ambientes de arcos continentales y arcos de islas oceánicas; además el ambiente de margen continental pasivo presenta variaciones importantes en la concentración de las relaciones mencionadas, sin embargo, por lo regular muestra un enriquecimiento en SiO<sub>2</sub> y empobrecimiento en Na<sub>2</sub>O, CaO y TiO<sub>2</sub>, con una relación K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O muy superior a 1. BATHIA, (1983). Las concentraciones promedio de algunos elementos químicos y sus relaciones en los diferentes ambientes tectónicos se ven reflejadas en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5** Concentración promedio de algunas relaciones de elementos mayores y traza, en diferentes ambientes tectónicos: Tomada de **BATHIA & CROOK**, (1986)

Elemento/Relaciones	Arco de isla oceánico	Arco de isla Continental	Margen continental activo	Margen continental pasivo
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total + MgO	8-14%	5-8%	2-5%	0.5-3.5%
TiO <sub>2</sub>	0.8-1.4%	0.5-0.7%	0.25-0.45%	0.2-0.5%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub>	0.24-0.33%	0.15-0.20%	0.1-0.2%	0.6-1.3%
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.2-0.4%	0.4-0.8%	0.65-1.45%	1.2-2%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(CaO + Na <sub>2</sub> O)	1-2%	0.5-2.5%	1.5-3.5%	2.7-7%
Ti/Zr	>40	10-30	-	<10
La/Sc	<1	1-3	3-6	3-9
La/Y	<0.5	0.5-1.0	1-1.5	-
Sc/Cr	<0.6	0.2-0.4	-	<0.2
Zr/Th	61.4-34.6	23.8-19.1	10.4-8.8	13.3-24.9

### 3.2 METODOLOGIA

Una caracterización es un proceso que implica diversos conocimientos sobre la aplicabilidad de herramientas y técnicas modernas, para así interpretar lógicamente todos los datos obtenidos a partir de ellas; en otras palabras y para el caso de este proyecto, una caracterización es un conjunto de procesos orientados a la definición y estudio de las características geológicas, geoquímicas y petrográficas que presenta el intervalo recuperado Cretácico-Mioceno temprano a medio en el pozo JU-222.

A continuación, se presentan una serie de procedimientos y métodos utilizados cumplir con los objetivos planteados en este trabajo.

### **3.2.1 Fase preliminar**

#### **3.2.1.1 Recopilación de la información**

Durante esta etapa se consultó toda la información referente a la zona de estudio, tanto en informes técnicos de los pozos involucrados como de los pozos vecinos, también se tomó en cuenta, artículos relacionados con la dinámica geológica y otros aspectos del área estudiada.

#### **3.2.1.2 Selección y muestreo**

Parte de las muestras tomadas por este estudio fueron facilitadas ya lavadas, puesto que parte de las mismas iban a ser usadas en otros estudios, estas estaban ordenadas en bolsas con pesos entre 15 y 20 gramos. De igual manera se tomaron en cuenta las fotos, la columna sedimentológica y estudios previos del pozo para así obtener una selección que conlleve a la realización de los objetivos de este trabajo.

### **3.2.2 Fase de laboratorio**

Los procesos de laboratorio mediante los cuales se pudo llevar a cabo este trabajo se pueden ver resumidos en la figura 3.7.

#### **3.2.2.1 Separación e identificación de minerales pesados.**

Todos los procedimientos de separación e identificación de los minerales pesados obtenidos en el área de estudios pueden ser visualizados en la figura 3.8 de manera esquematizada.

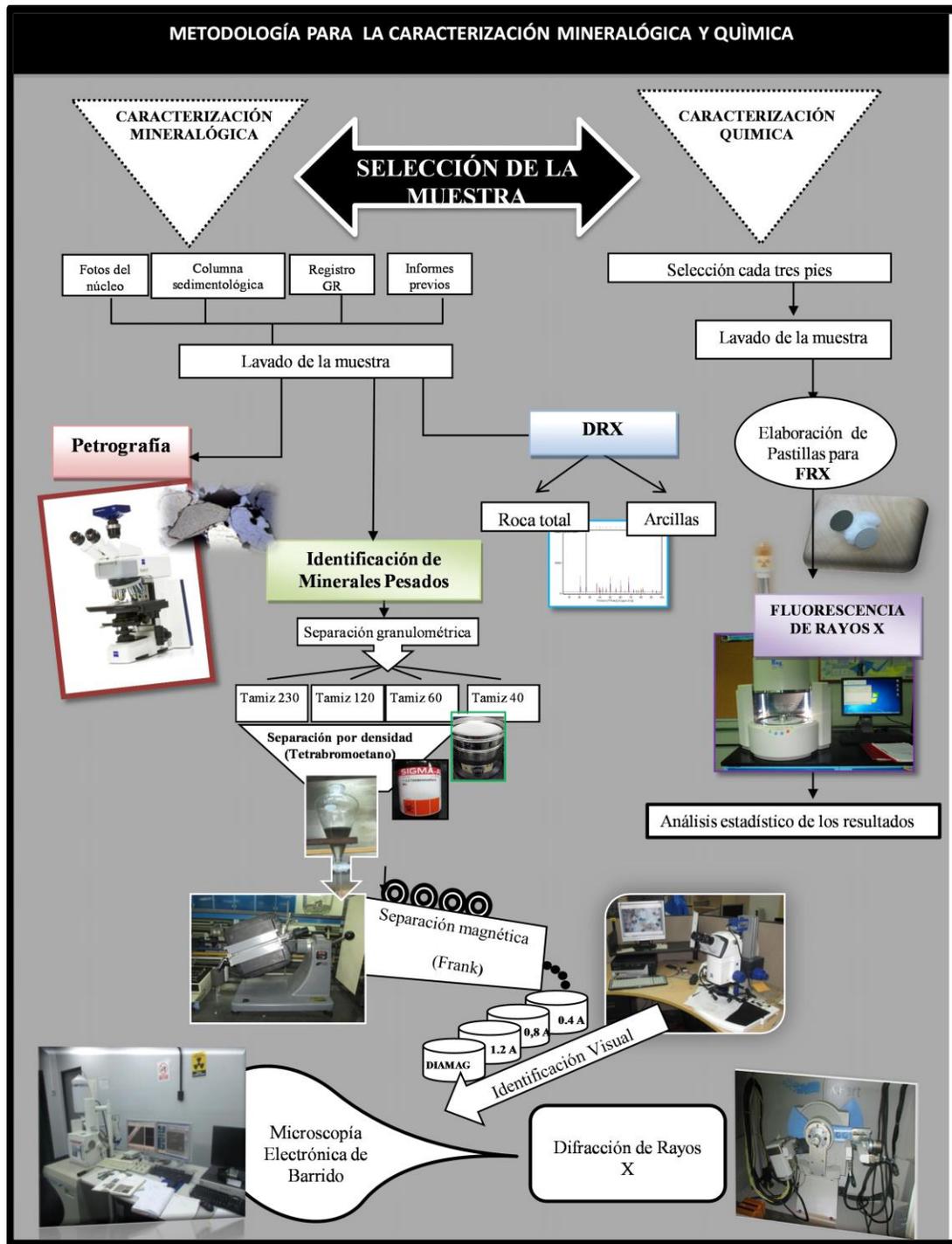


Figura 3.7 Resumen de los procesos de laboratorio para la caracterización mineralógica y química

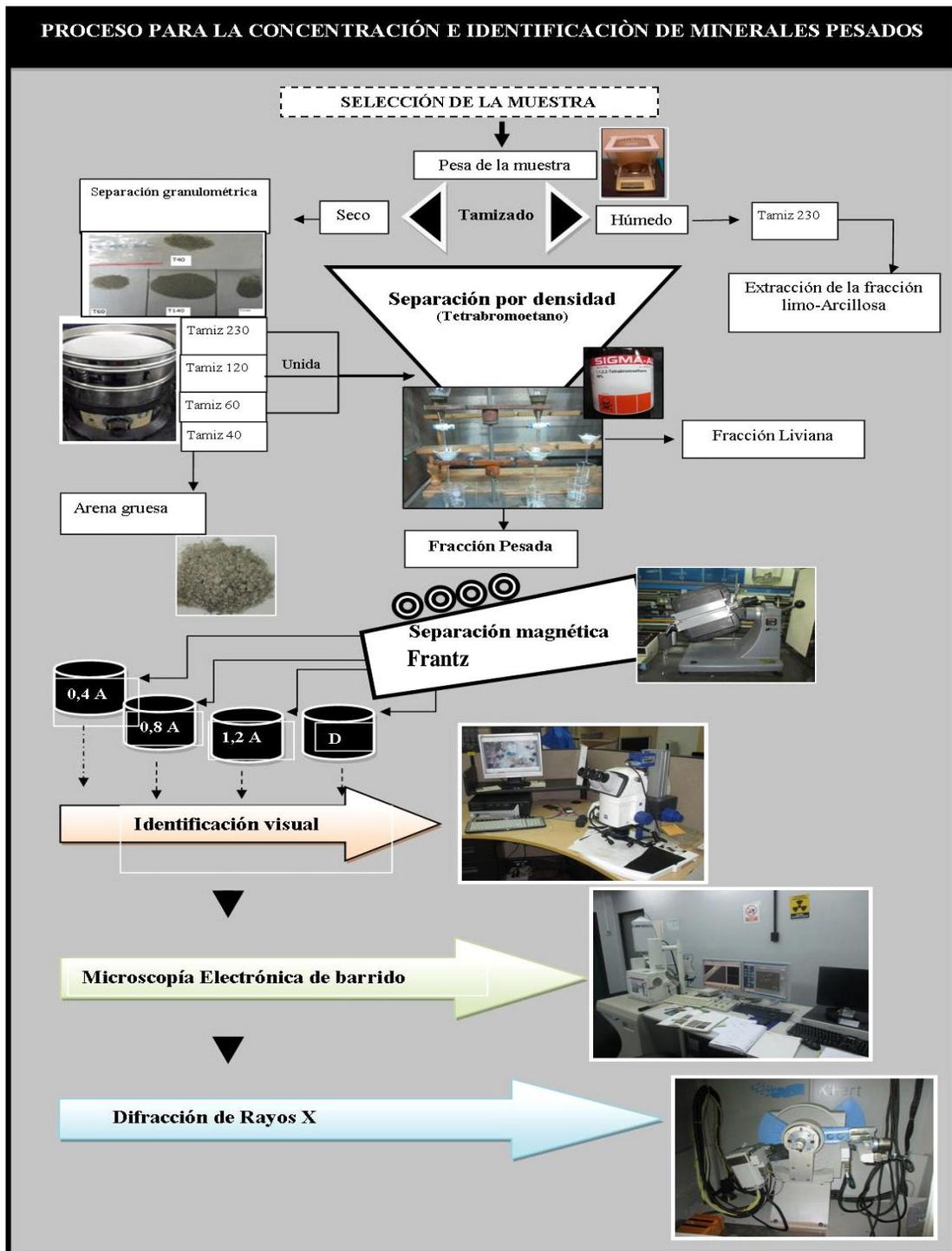
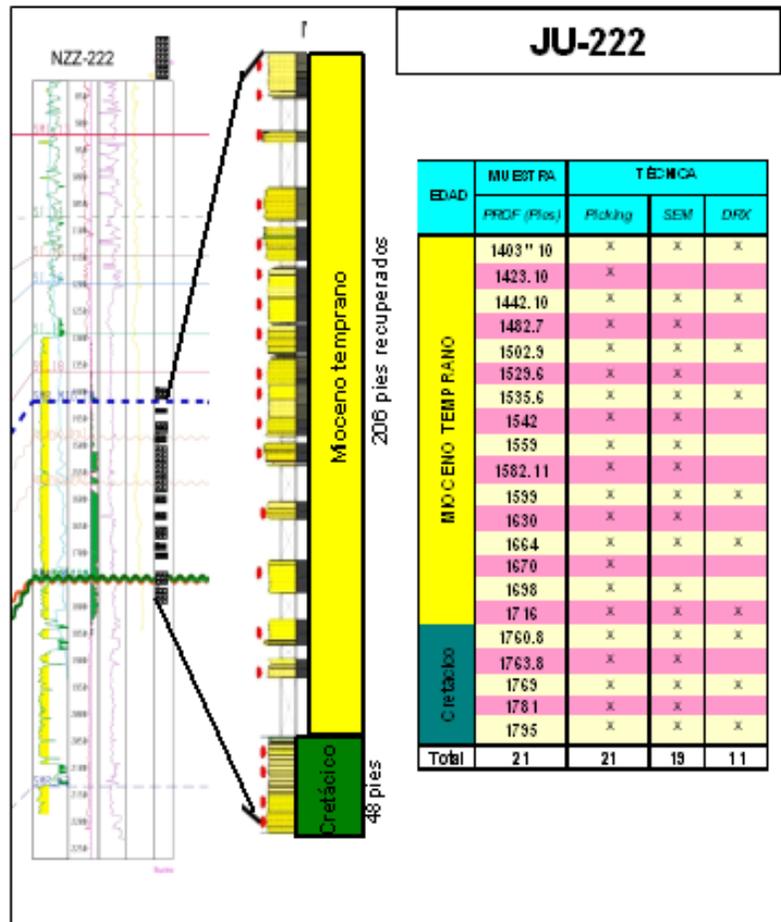


Figura 3.8 Resumen de los procesos de laboratorio para la separación e identificación de los minerales pesados.

➤ **Selección de las muestras**

Para la separación y análisis de minerales pesados fueron seleccionadas 21 muestras del pozo JU-222 correspondientes al intervalo sedimentario Cretácico-Mioceno a medio, para dicho muestreo se tomó en consideración la columna sedimentológica del pozo, de tal manera que pudieran tomarse en cuenta la mayoría de los intervalos recuperados, además de ello se tomaron aspectos como, el tamaño del grano (arenas de finas a muy finas) la cantidad de material fino (limo y arcilla), entre otros. El muestreo de cada pozo puede visualizarse en la figura 3.9.



**Figura 3.9** Intervalos muestreados para la separación e identificación de minerales pesados en el pozo JU-222

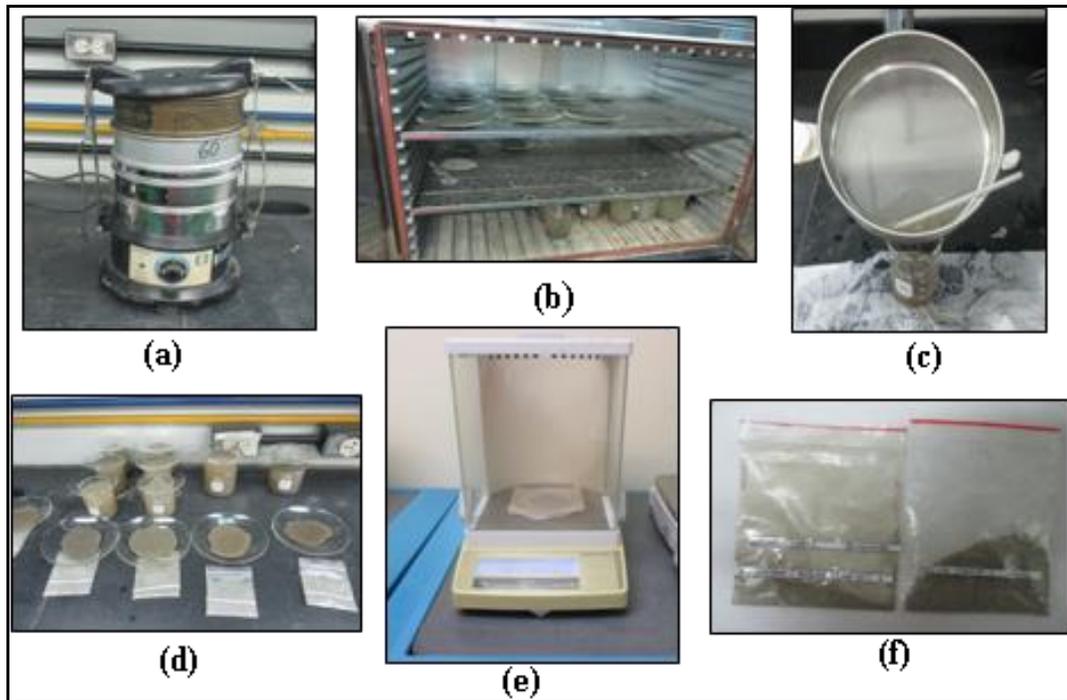
➤ **Lavado de las muestras**

Fueron seleccionadas 21 muestras del pozo JU-222, para ser lavadas en húmedo para extraer el material fino limo-arcilla de las mismas, ya que este interfiere con los próximos procedimientos; para ello, se usó una malla de 230 de acero inoxidable (Figura 3.10 c). Finalmente, las muestras de arena se colocaron en un vidrio reloj y llevadas a la estufa por 24 horas 60°C; las fracciones finas obtenidas fueron igualmente secadas y almacenadas con el fin de que puedan ser utilizadas para posteriores análisis. (Figura 3.10 b, d y f).

➤ **Separación granulométrica**

Las muestras mencionadas anteriormente fueron pesadas en una balanza METTLER TOLEDO AB204-S (Figura 3.10 e) y llevadas a separación granulométrica según el interés del proyecto, Se usaron para dicha separación los tamices 40, 60, 120 y 230 adicionalmente se colocó la bandeja para recuperar sedimentos finos en el caso de que quedaran; para dicho procedimiento se usó un separador eléctrico tambor MEINZER 11, el mismo vibró durante 5 min con cada muestra (Figura 3.10 a).

Posteriormente cada fracción fue pesada por separado; sin embargo, solo se usó para el próximo procedimiento las fracciones sostenidas en los tamices 60,120 y 230 esto debido a que la fracción retenida en el tamiz 40 es demasiado grande para ser separada en el embudo de separación.



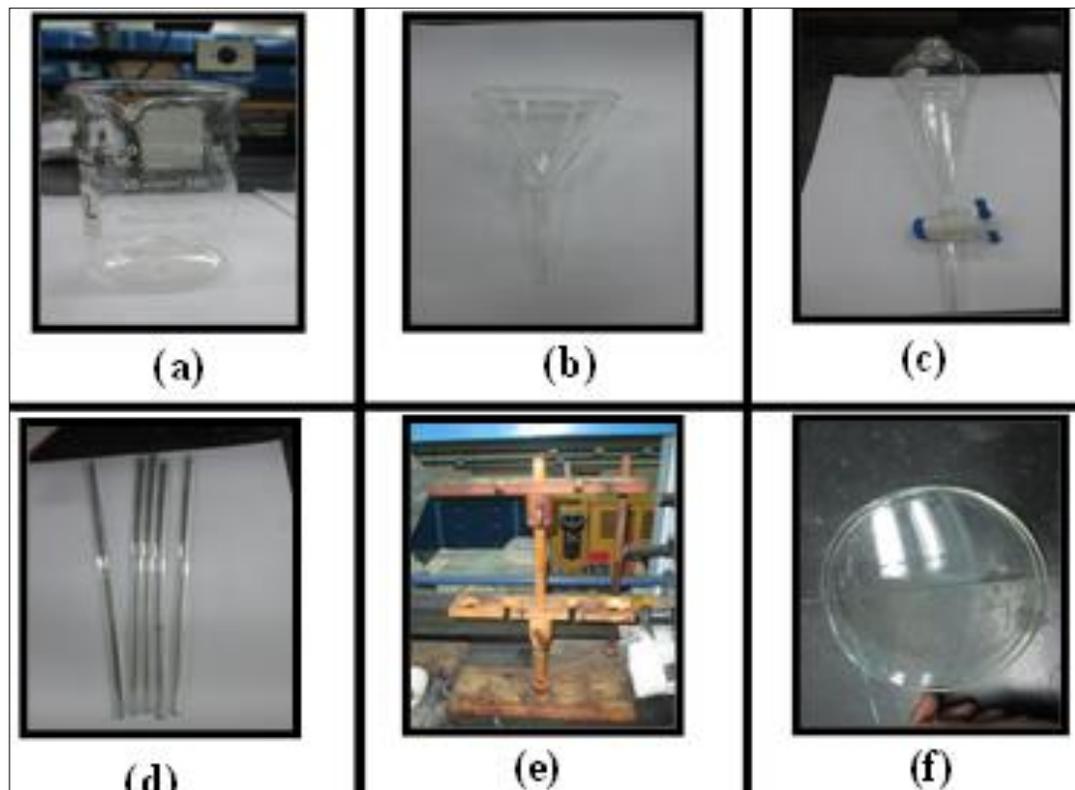
**Figura 3.10** Métodos e instrumentos usados durante la separación granulométrica: (a) tambor eléctrico para tamizar (b) estufa (c) tamizado en húmedo con una malla 230 (d) muestras tamizadas en húmedo (e) balanza analítica (f) fracciones separadas de arena y arcilla.

### ➤ Separación por densidad

El mecanismo de separación de minerales pesados (MP) por líquidos densos se realiza tomando en consideración parte de lo propuesto por **FEO-CODECIDO** (1960), para la separación de MP en muestras de areniscas, solo que en este caso se usó tetrabromoetano ( $C_2H_2Br_4$ ), también conocido como líquido de Muthmann cuyo peso específico es  $2,97 \text{ g/cm}^3$ .

El procedimiento consistió básicamente en hacer pasar cada muestra a través del líquido denso con la finalidad de que los minerales con una densidad mayor o igual a la del tetrabromoetano caigan al fondo del balón mientras que los minerales livianos se queden sostenidos en la superficie. Se debe tomar en consideración que muchos minerales livianos son arrastrados hacia el fondo al paso de minerales con densidades mayores o bien porque presentan inclusiones de minerales pesados, caen al fondo del instrumento de separación; es por ello que en muestras ya separadas se pueden

presentar algunos minerales ligeros. Para la separación por densidad se utilizaron los instrumentos mostrados en la figura 3.1.



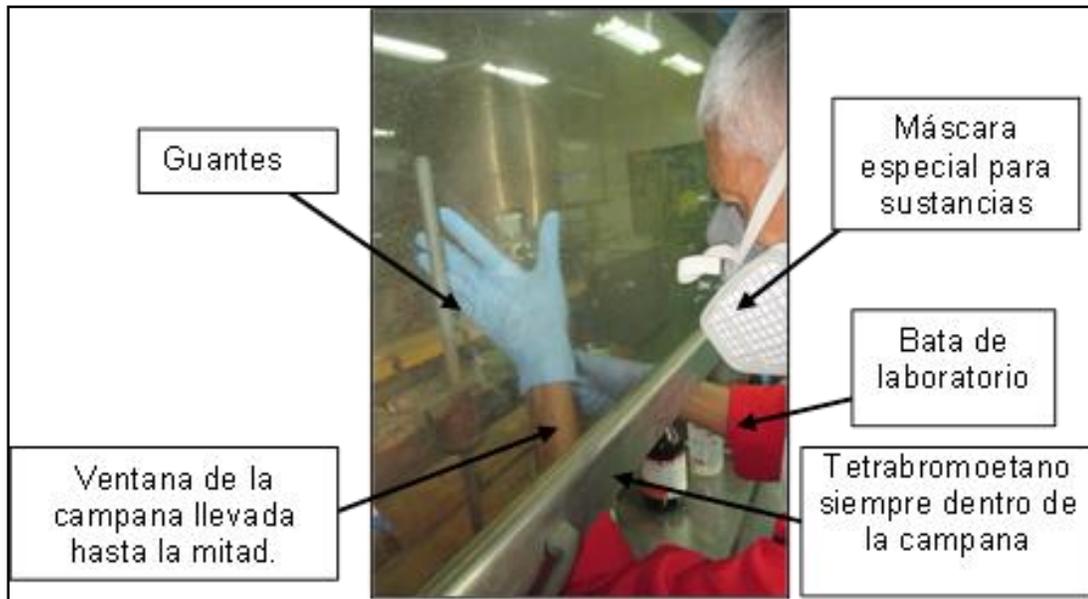
**Figura 3.11** Instrumentos utilizados durante el proceso de separación por densidad: (a) becker, (b) embudo común (c) embudo de separación con llave (d) agitadores de vidrio (e) soporte universal doble, (f) vidrio de reloj.

➤ **Procedimiento de separación de MP por tetrabromoetano**

Es importante saber que el tetrabromoetano al igual que el bromoformo es un compuesto que puede ser perjudicial para la salud, es por ello que todo el procedimiento fue realizado bajo la campana, esta debe tener la ventana protectora al menos a la mitad. Además de ello, se usó bata, guantes y máscara de seguridad para sustancias orgánicas. (Figura 3.12).

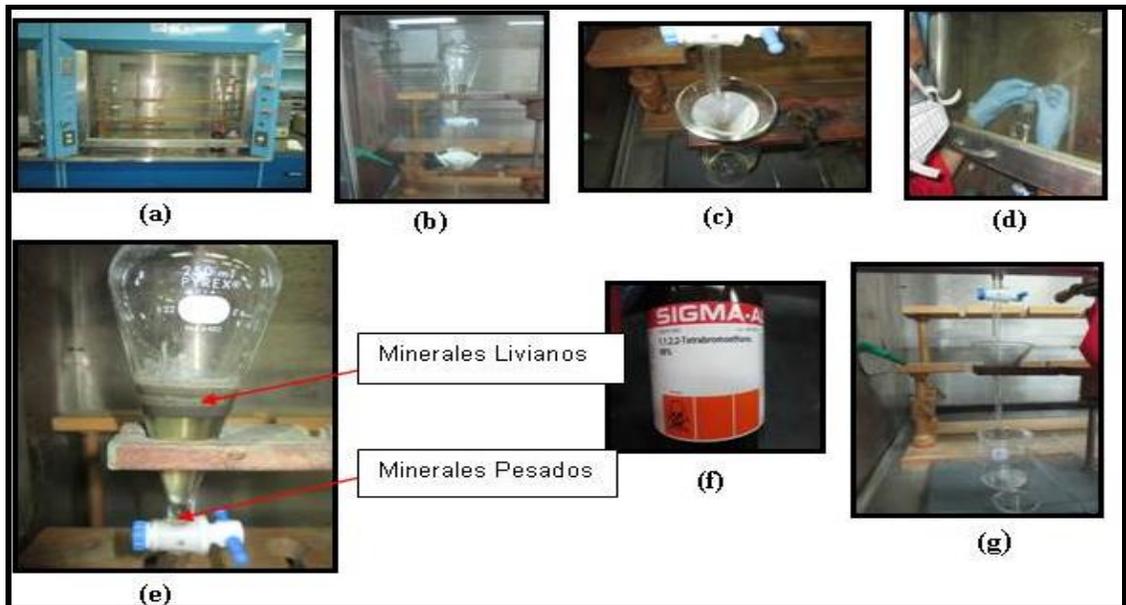
a) En un embudo especial de separación de 60 ml, se colocó el líquido denso que para el caso de este estudio es tetrabromoetano, este debe colocarse hasta la mitad del embudo o donde la línea blanca indica que son 60 ml. El embudo se instaló en el sostenedor más alto de un soporte universal de doble sostén como se muestra en la figura (3.13b), se coloca la

muestra dentro del embudo y se agita con un agitador de vidrio, luego aplicamos un poco más del líquido denso con la finalidad de despegar la muestra adherida al agitador; la muestra dentro del embudo comienza su separación, los minerales más pesados descienden dejando una separación marcada con los minerales más livianos; esto puede tardar unos 10 min.



**Figura 3.12** Instrumentación adecuada en el momento de la separación mediante líquidos densos.

b) En el sostén que queda debajo del embudo de separación se colocó otro embudo sencillo de vidrio con un papel filtro de pase rápido y porosidad gruesa previamente rotulado, y un vaso precipitado de 100 ml. Después que se separaron los pesados de los livianos, se abrió la llave del embudo especial, se dejaron pasar los minerales pesados al papel filtro y se recuperaron en ese momento. Posteriormente, se cerró nuevamente la llave una vez que no hay minerales negros y se deja escurrir hasta poder recuperar el tetrabromoetano concentrado, este último fue luego filtrado para evitar contaminaciones en la próxima muestra.



**Figura 3.13** Procesos de separación de minerales pesados (a) campana (b) embudos (c) minerales densos decantados en un embudo común (d) colocación de la muestra dentro del embudo (e) muestra separada en tetrabromoetano (f) tetrabromoetano (g) proceso de recuperación del tetrabromoetano.

Luego en otro vaso de precipitado con otro embudo sencillo de vidrio y otro filtro se dejó salir los minerales livianos y se deja escurrir para recuperar la mayor cantidad del líquido denso.

c) Luego se lavó la muestra en el embudo de separación y las recuperadas en el embudo sencillo con alcohol para este estudio se usó 1 Propanol; las mismas fueron lavadas con abundante alcohol para extraer la mayor cantidad de líquido denso de los sedimentos, en este caso luego de usar alcohol se usó también agua destilada.

d) Todos estos productos del lavado fueron desechados por el canal para desechar líquidos de la campana y posteriormente agregar abundante agua al mismo.

e) Una vez que las muestras estuvieron libres de tetrabromoetano se colocaron en pares en un vidrio reloj, es decir, se coloca la fracción liviana y la fracción densa de cada profundidad en un mismo Vidrio; estas se llevaron a la estufa a 60 °C por 24 h.

f) Al día siguiente cuando las muestras estuvieron libres de humedad fueron pesadas y almacenadas en bolsas realizadas para dicho fin.

➤ **Separación magnética**

Las muestras fueron sometidas a un separador magnético Frantz modelo LFC-2 (Figura 3.14) el mismo está compuesto por un imán, un vibrador y un riel de dos canales: en uno de ellos, estarán los minerales no magnéticos o de menor susceptibilidad magnética, y en el otro, los minerales magnéticos o con mayor susceptibilidad magnética. Este riel se encuentra entre dos bobinas que generan un campo magnético variable controlado por un amperímetro el cual se ajustó a 0,2 A, 0,4 A, 0,6 A, 0,8 A y 1,2 A respectivamente (LÓPEZ & UZCÁTEGUI, 2014). Este instrumento fue facilitado por el Instituto de Geología y Minas (INGEOMIN); para la separación se utilizó un amperaje de 0.4 A, 0,8 A, 1,2 A respectivamente. El proceso de separación magnética es el siguiente:

- a) Se procedió a colocar el amperaje siendo inicialmente 0.4 Amper; antes de encender el vibrador se verifica que los contenedores para retener los minerales estén colocados en su lugar también se debe verificar que el imán este activo, para ello se procede a colocar cualquier utensilio de metal sobre el mismo.
- b) Cada una de las muestras se introdujo por el orificio superior destinado para ello y se procede encender el vibrador.
- c) Cada muestra va pasando lentamente por los canales del separador este procedimiento tomó unos 15 min y depende de la cantidad de muestra.
- d) Una vez que ya no estaba cayendo más muestra en los contenedores se apagó el electroimán y se deja el vibrador, de tal manera todos aquellos minerales que se adhirieron al electroimán caigan por el canal; luego de apagar el vibrador y se tomó las muestras retenidas en ambos contenedores.
- e) La muestra retenida en el recipiente destinado para almacenar los minerales magnéticos a 0.4 Amper se pesó y se almacena en una pequeña

bolsa de papel realizada y rotulada con este fin; La parte de la muestra retenida en el envase destinado para minerales no magnéticos a 0,4 Amper es sometida de nuevo al procedimiento anterior solo que en este caso el amperaje será de 0.8 Amper. posteriormente se realizó el mismo procedimiento con un amperaje de 1.2 Amper solo que en este caso debe también pesarse y almacenarse la porción de la muestra que fue retenida en el envase destinado para los Diamagnéticos a 1.2 Amper.

f) De esta manera se obtuvo con el separador magnético cuatro muestras de menor cantidad que la inicial de esta manera se puede obtener una mejor discriminación a la hora de identificar los minerales pesados por medio de *Picking*.

Es importante mencionar que debido a que algunas muestras presentaron muy poca cantidad, la fracción pesada solo se separó en dos partes, una magnética a 1.2 a y otra Diamagnética a 1.2 A.



Figura 3.14: Separador Magnético Frantz de Instituto de geología y minas INGEOMIN

- **Identificación visual por Pickingng**, fue realizada en la sala de Micropaleontología de PDVSA-INTEVEP para ello fue utilizada una Lupa Zeiss-Stereo Discovery. V8- Plans 10X Fw 81 mm que posee sobre ella una cámara Carl Zeiss Microscopy GMBH-37081- Axiocam ERC 5s- Reu 22-17 5V DC/2.5W de tecnología alemana (Figura 3.15).

También se utilizó conjuntamente el programa AxioVision Rel 4.8, todo conectado a una computadora.



**Figura 3.15** Equipos e instrumentos utilizados para la identificación visual o *Picking*.

El proceso de identificación visual consiste básicamente en separar los minerales densos por sus características visuales como: color, hábito, redondez, esfericidad y grado de preservación.; para ello se usó como material de apoyo varios atlas de mineralogía como lo son: (ORTIZ, 2017), (PAIROT, 2007), (DEVISMES, 1978) y (CORNELIUS & HURLBUT 1974) de esta manera se puede realizar un anisáis cualitativo de cada muestra, en este caso se tomó y modificó la tabla 3.6 de abundancia de (FEO CODECIDO, 1956).

Durante la identificación visual, granos con características similares fueron agrupados, identificados y colocados en un porta muestras de metal cubierto con un pegamento especia para ser llevados a microscopia electrónica de Barrido.

**Tabla 3.6** Tabla de abundancia para análisis cualitativo de los minerales tomada y modifica de FEO CODECIDO (1956)

> 35	Muy abundante
35-25	Abundante
20-15	Común
15-5	Poco Común
5-2	Raro
1 o 2	Muy Raro

➤ **Microscopia Electrónica de Barrido**

Se seleccionaron 19 muestras del pozo JU-222 para ser analizadas por Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) Para dichos análisis se contó con el microscopio JEOL JSM-6480LV *Scanning Electron Microscope*. (Figura 3.16); Este instrumento se encuentra equipado con tres detectores: 1) Detector de electrones secundarios (SEI: *Secondary Electron Image*), el cual permite observar la morfología de la muestra y obtener imágenes de alta resolución; 2) Detector de electrones retrodispersados (BEI: *Backscattered Electron Image*), que permite obtener imágenes de composición por contraste (depende fuertemente del número atómico de la muestra) y topografía de la superficie; y por último, 3) Detector de energía dispersiva (EDS: *Energy Dispersive Spectrometer*), el cual captura los rayos X generados por la muestra, lo que permite obtener mediante un software su composición química elemental estequiométricamente; para este estudio solo se usaron las herramientas SEI, BEI y EDS para obtener la morfología y composición química elemental de cada grano Es importante que el analista sepa que esta última herramienta permite conocer solo de manera semicuantitativa, la composición de una parte de la muestra, además que todos aquellos elementos cuya masa atómica sea inferior a 11 no serán reflejados ni en la tabla resumen de porcentajes ni en el espectro.



**Figura 3.16** Microscopio Electrónico de Barrido. Pdvsa Intevep

Luego de una previa visualización en la lupa, los cristales fueron separados por color y morfología, se colocaron en unos porta muestras especiales para análisis SEM (Figura 3.17) cada porta muestras se le colocó una cinta con doble pegamento que impedía que los minerales allí colocados se extraviaran. Luego fueron llevados al laboratorio de microscopía electrónica de barrido donde fueron recubiertos con Oro-Paladio para su análisis.



**Figura 3.17.** Porta muestras con minerales pesados montados para MEB después de *Picking*

Luego de obtener los reportes del laboratorio Microscopia Electrónica de Barrido se aplicó estequiometría a los datos obtenidos de cada EDS conjuntamente con la microfotografía que permite visualizar la morfología de cada cristal y de esta manera determinar cuál es el nombre del mineral.

➤ **Difracción de rayos X**

Se seleccionaron para este análisis 11 muestras de minerales pesados del pozo JU-222, tomando en consideración solo aquellas que resultaron magnéticas a 0,4 y 0,8 Amper, esto se debe a que en las fracciones menos magnéticas aumenta el contenido de cuarzo, este mineral puede causar cierta interferencia a la hora de identificar minerales accesorios por esta técnica; además se seleccionaron las muestras cuya cantidad fuese la suficiente para el análisis por DRX. Cada muestra fue pulverizada y colocada en una porta muestra especial para muestras pequeñas.

Se usó un Difractor de rayos X Panalitica X' Pert Pro de 5 a 90° 2 teta con un tamaño de paso de 0.5° y a un voltaje de 45kv\_20mA, la radiación usada fue de cobre, el mismo es perteneciente a la Gerencia de Química Analítica de PDVSA INTEVEP (Figura 3.18).

➤ **Análisis MEB del polvo de difracción**

Para una mejor identificación de los MP encontrados en la muestra se realizó una selección aleatoria de entre las 11 muestras seleccionadas para DRX tomando en consideración la información obtenida a partir de los difractogramas, de esta manera se seleccionaron 9 muestras pulverizadas para realizar un análisis más a detalle, con el fin de encontrar minerales que debido a su tamaño y poca abundancia no hayan sido visualizados por *Picking* ni por DRX, además de verificar la información obtenida en los difractogramas. Este análisis incluyó EDS y SEI. Y BEI del polvo de difracción.



**Figura 3.18** Difractómetro de rayos X. gerencia de Química Analítica de PDVSA - INTEVEP

### 3.2.2.2 Fluorescencia De Rayos X (FRX)

Se seleccionaron 95 muestras del pozo JU-222 tomadas cada tres pies aproximadamente. Para la corrida de las muestras se usó un equipo de mesa marca SHIMADZU-ENERGY DISPERSIVE X-RAY ESPECTROMETER, EDX modelo 720, conectado a una computadora con el programa PC-EDX; el equipo fue facilitado por el laboratorio de Mineralogía INGEOMIN (Figura 3.19) dicho análisis se realizó con la finalidad de determinar elementos mayoritarios y minoritarios en los intervalos recuperados del pozo anteriormente mencionado sin embargo, la corrida de las muestras se hizo en condiciones ambientales, lo cual impidió la detección de elementos livianos como Sodio y Magnesio. Para el funcionamiento del detector se usó Nitrógeno líquido. Para la realización de las pastillas se usó una prensa

eléctrica marca SAMPLEPROP modelo 3635 y se aplicaron 19 toneladas por un minuto a cada pastilla.



Figura 3.19 Equipo de Fluorescencia de Rayos X, Laboratorio de Mineralogía de INGEOMIN

➤ **Pulverizado de la muestra**

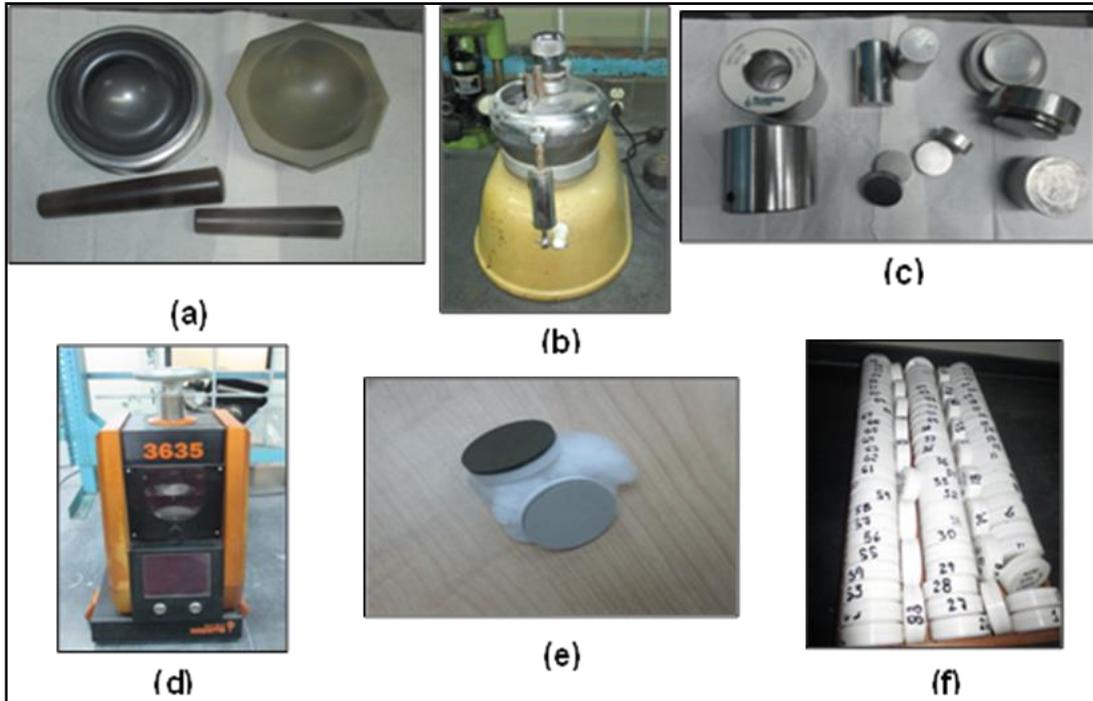
Se pulverizaron las muestras hasta obtener un tamaño de partículas no mayor a  $150\ \mu\text{m}$  (150), es decir las muestras deben tener pulverización total.

➤ **Elaboración de pastillas para FRX**

Para la realización de cada pastilla se utilizaron tres gramos de muestra, cinco gramos de ácido bórico y tres gotas de etiglicol. Los instrumentos usados se muestran en la figura 3.20 El preparado se realiza de la siguiente manera:

1. Anterior al proceso de realización de cada pastilla se colocó tanto la muestra como el ácido bórico en la estufa a  $60^\circ \pm 3^\circ\text{C}$  por 24 horas para extraer la humedad de la misma, una vez que se encuentran libres de humedad fueron colocadas en un desecador para evitar la humedad y bajar la temperatura de las mismas al ambiente.

2. Cada muestra fue mezclada y macerada conjuntamente con cinco gotas de alcohol polivinil en un mortero de ágata hasta obtener una pasta homogénea.
3. Se colocó en el dado, la pastilla metálica (Figura 3.20 c) sobre esta, se adicionaron 5 gramos de ácido bórico como base y se aplanó con el accesorio tubular del dado. Para luego agregar la muestra sobre el ácido bórico y colocar la otra pastilla de metal y terminar de armar el dado.
4. Para completar el procedimiento se colocó el dado de metal bajo la prensa hidráulica con 19 toneladas de presión por un minuto.
5. Finalmente se retiró el dado de la prensa y se colocó invertido con el otro accesorio para de forma manual aplicar presión para finalmente obtener la pastilla al desarmar de forma correcta el dado.
6. Cada pastilla fue rotulada y almacenada en un envase limpio diseñado para tal fin y previamente rotulado.



**Figura 3.20** Instrumentos y equipos usados en la realización de las pastillas de FRX y las pastillas: (a) morteros y mazos (b) pulverizador (c) dados para pastillas (d) prensa (e) pastillas (f) pastillas de FRX ordenadas según la profundidad

### 3.2.2.3 Análisis Petrográficos

Se tomaron 17 secciones finas del núcleo recuperado JU-222 correspondientes al intervalo sedimentario Cretácico-Mioceno temprano a medio, las mismas se tomaron de estudios previos realizados por **MEDINA** (2010) para ser validadas y realizar la identificación de minerales pesados en cada una de ellas.

Para esta tesis, se le realizó un conteo modal de 350 puntos en diez muestras, seleccionadas aleatoriamente, de manera de validar la información suministrada por **MEDINA** (2010); para dicha validación se utilizó un microscopio petrográfico marca Zeiss –Axioskop 40, el cual posee una cámara fotográfica en su parte posterior PowerShot A640 de 10 megapíxeles conectada a una computadora, el programa usado para la toma de las microfotografías fue PsRemote. (Figura 3.21).

Se tomaron nuevas microfotografías para ser usadas en esta tesis. Adicionalmente se determinaron parámetros como: esfericidad y redondez y se estableció la madurez textural de los sedimentos a partir de **Folk** (1951).



**Figura 3.21** Microscopio petrográfico. Gerencia de exploración PDVSA-INTEVEP

**3.2.2 FASE DE OFICINA****3.2.2.1. Análisis de procedencia**

Para inferir la fuente de aporte se usó información obtenida en el análisis petrográfico; se realizaron diagramas ternarios Qt-F-L y Qm-F-L (Figura 3.4 y 3.5) a partir de la metodología de **DICKINSON & SUCZEK (1979)**, los mismos se realizaron con el programa estadístico "*Ternary diagrams software*"- *Tridraw versión 2.6.1.7*, el cual fue adquirido mediante un CD de venta comercial. Por su parte los minerales pesados encontrados también son de gran importancia para los estudios de procedencia es por ello que conjuntamente con la metodología antes mencionada pueden ayudar a inferir el tipo de roca que sirvió de aporte a la cuenca tanto durante el cretácico como el Paleógeno.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

A continuación, se exponen los resultados obtenidos a partir de técnicas como: identificación visual, petrografía, difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X y microscopia electrónica de barrido mediante las cuales se realizó una caracterización mineralógica y química del intervalo sedimentario Cretácico-Mioceno temprano a medio en el núcleo JU-222.

#### **4.1 ANÁLISIS PETROGRÁFICO**

Las Areniscas tienen tres propiedades básicas, ellas son composición mineral, la textura y la estructura, estas se integran para clasificarlas, y se usan para interpretar su génesis (KRYNINE, 1948).

En esta parte se analizaron las propiedades mineralógicas y texturales de los sedimentos del el intervalo Cretácico-Mioceno temprano a medio, recuperado en el pozo JU-222; se realizó una revisión petrográfica de 17 secciones finas. Este estudio parte, de la validación de los resultados petrográficos existentes, para ello, se realizó un conteo modal de 350 puntos en 10 muestras escogidas de manera aleatoria, se determinó parámetros de esfericidad y redondez en todas las muestras, fueron tomadas nuevas fotomicrografías y se estableció la madurez textural de los sedimentos a partir de FOLK (1951). Las tablas .4.1 y 4.2 de este capítulo fueron realizadas luego de la validación realizada para esta tesis.

Para determinar los tipos de arenitas se utilizó (DOTT 1964). Las siglas usadas son (NC) para nicoles cruzados y (NP) para nicoles paralelos Se recuperaron 254 pies de núcleo (Figura 4.1) de los cuales 206' (1709' a 1400') son de edad Mioceno temprano a medio y 48 pies (1798' a 1749'), son edad Cretácico.

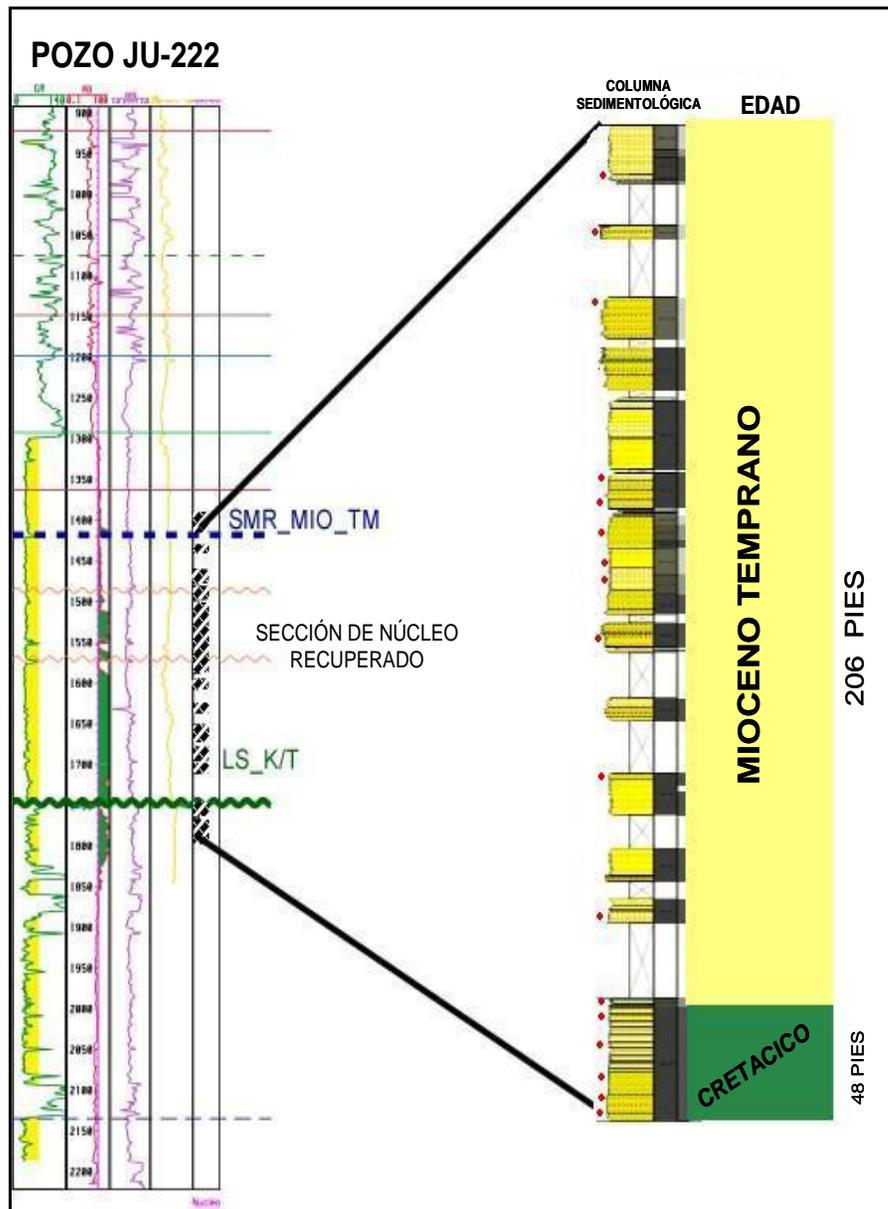


Figura 4.1 Sección de núcleo recuperado del pozo JU-222

#### 4.1.1 Intervalo Cretácico (1798' A 1749')

##### 4.1.1.1 Características sedimentológicas

Este intervalo se caracteriza por presentar arenas de grano medio a grueso hacia la base, sin estructuras sedimentarias visibles, con alta impregnación de hidrocarburo. Hacia el tope se presenta un intervalo

heterolítico, con laminación paralela, volviéndose más arcilloso hacia el tope, hasta llegar a 50% arenas /50% finos. el ambiente depositacional es de origen fluvial (MEDINA 2010).

4.1.1.2 Características Textuales

El tamaño del grano varía entre 0.08 y 2.77 mm, este intervalo posee un grano más grueso hacia la base del núcleo donde el promedio es de 0.68 mm y va disminuyendo hasta llegar a la muestra 1756' donde el tamaño del grano aumenta de manera considerable el escogimiento va de medianamente pobre a muy pobre. (Figura 4.2); Los granos van de angulosos a subangulosos y presentan baja esfericidad según la escala DE PETTIJOHN *et al.* (1973). (Figura 4.3 A, B y C). Estos parámetros pueden verse con más detalle en la tabla 4.1.

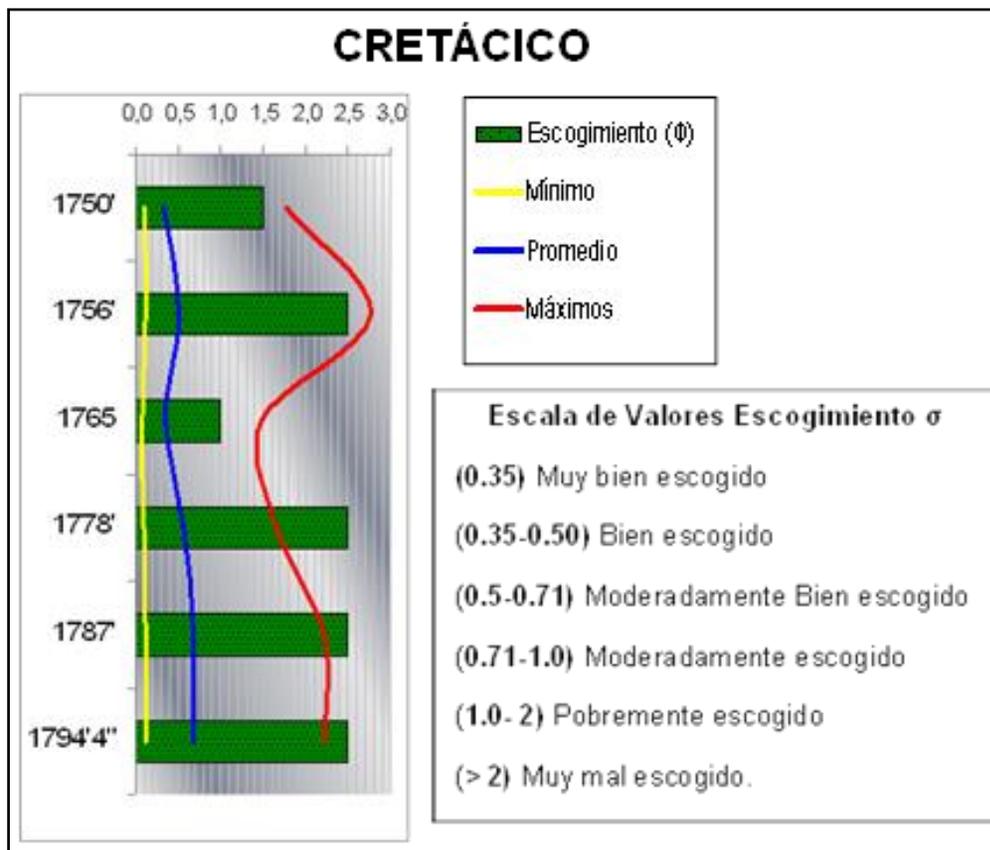


Figura 4.2. Escogimiento (σ) y tamaño del grano (Máximo, promedio y mínimo) del intervalo Cretácico recuperado en el pozo JU-222

4.1.1.3 Madurez textural

Las muestras analizadas contienen menos de 5% de arcillas, sin embargo, los granos de arena se encuentran mal seleccionados y no están redondeados, debido a ello los sedimentos fueron clasificados (Figura 4.4) como submaduros según la clasificación textural de **FOLK** (1980). Es de mencionar que las muestras (1787' y 1794'4") no contienen matriz y los sedimentos en ellas son muy pobremente seleccionados, es por ello que ambas se visualizan en la figura como una sola muestra.

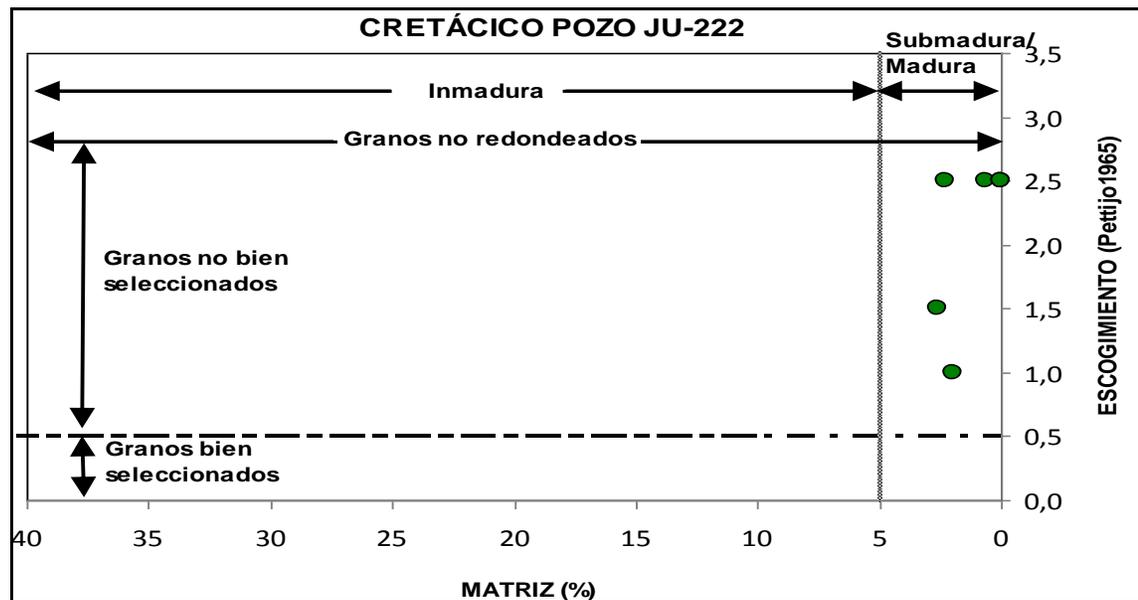
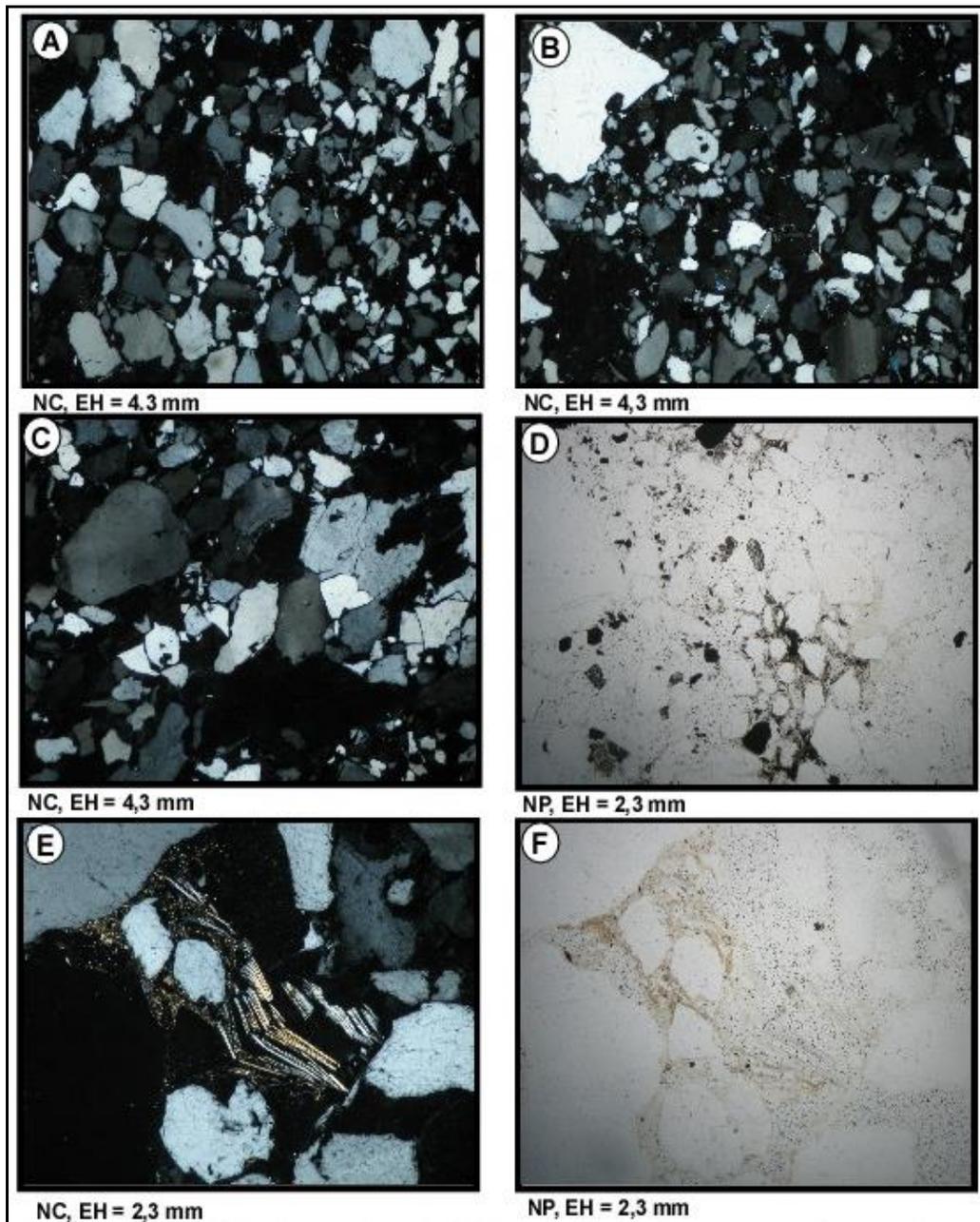


Figura 4.33 Madurez textural en los sedimentos encontrados en el intervalo Cretácico recuperado en el pozo JU-222



**Figura 4.4 Fotomicrografías del intervalo Cretácico recuperado en el pozo JU-222.** Características texturales (A) y (B) granos pobremente escogidos y subangulosos, @1778' y @1794'4", 2.5X; (C) granos muy pobremente escogidos, @1787', 2.5X; (D) minerales pesados con alto relieve (flechas rojas), @1765', 5X. (E) y (F) moscovita y cristales finos de siderita @1756, 5X.

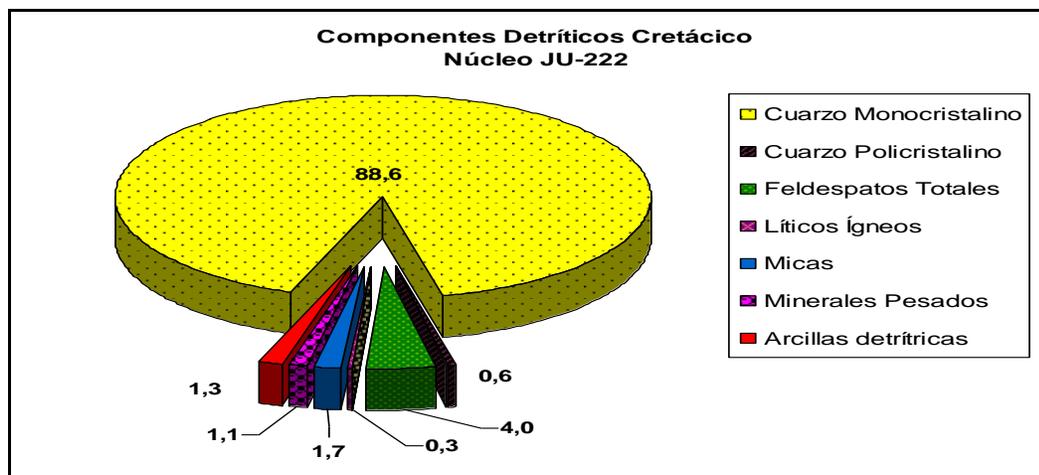
## 4.1.1.4 Componentes Mineralógicos

➤ **Componentes detríticos**

El material detrítico está constituido principalmente por cuarzo entre 85 y 95% con un claro dominio de granos monocristalinos, un 0,6% de cuarzo policristalino; 4 % de feldespatos potásicos que son de tipo ortosa; los fragmentos de roca son ígneos y no superan los 0,6 % (figura 4.5); el intervalo posee un promedio de 1.1% de minerales pesados, incrementa ligeramente en las muestras 1765´ y 1794´4” que llegan a 1,98% generalmente son del grupo ultra estable tipo circón y turmalina (Figura 4.7 A, B, E y F), y del grupo moderadamente estable tipo esfena (Figura 4.7 C); las micas, son de tipo moscovita y se encuentran entre 0.66 - 4.29 %. Los resultados del conteo petrográfico de las muestras analizadas, componentes detríticos y otros pueden ser visualizados en la tabla 4.2.

➤ **Componentes autigénicos**

En la validación de las muestras de la sección Cretácica, el material autigénico que se identificó fue siderita, en la muestra 1756´ con 2.31%, sin embargo, **MEDINA** (2010) menciona la presencia de caolinita de 0.33-0.66% y arcillas indeterminadas 0.66-1.92%.



**Figura 4.5** Porcentaje promedio de los componentes detríticos encontrados en el intervalo Cretácico recuperado en el núcleo JU-222

4.1.1.5 Tipo de Roca

Los datos obtenidos de cuarzo total, feldespatos y líticos totales fueron normalizados a 100% para realizar la clasificación de las arenitas (Figura 4.6), resultando que de las seis muestras analizadas corresponden a cinco (5) cuarzoarenitas y una (1) subarcosa.

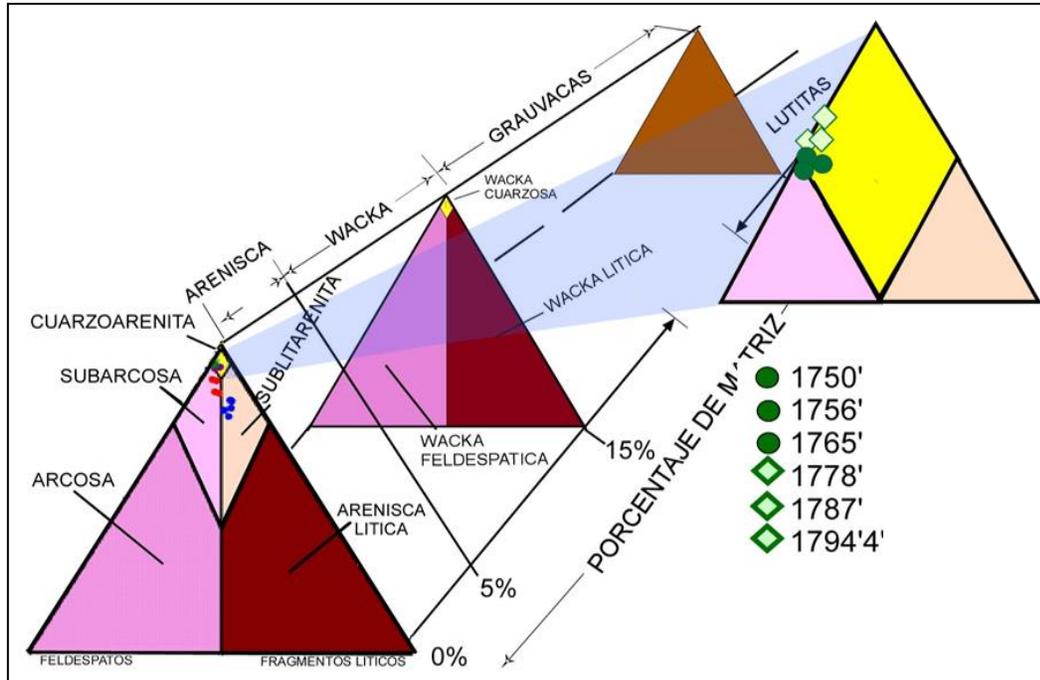
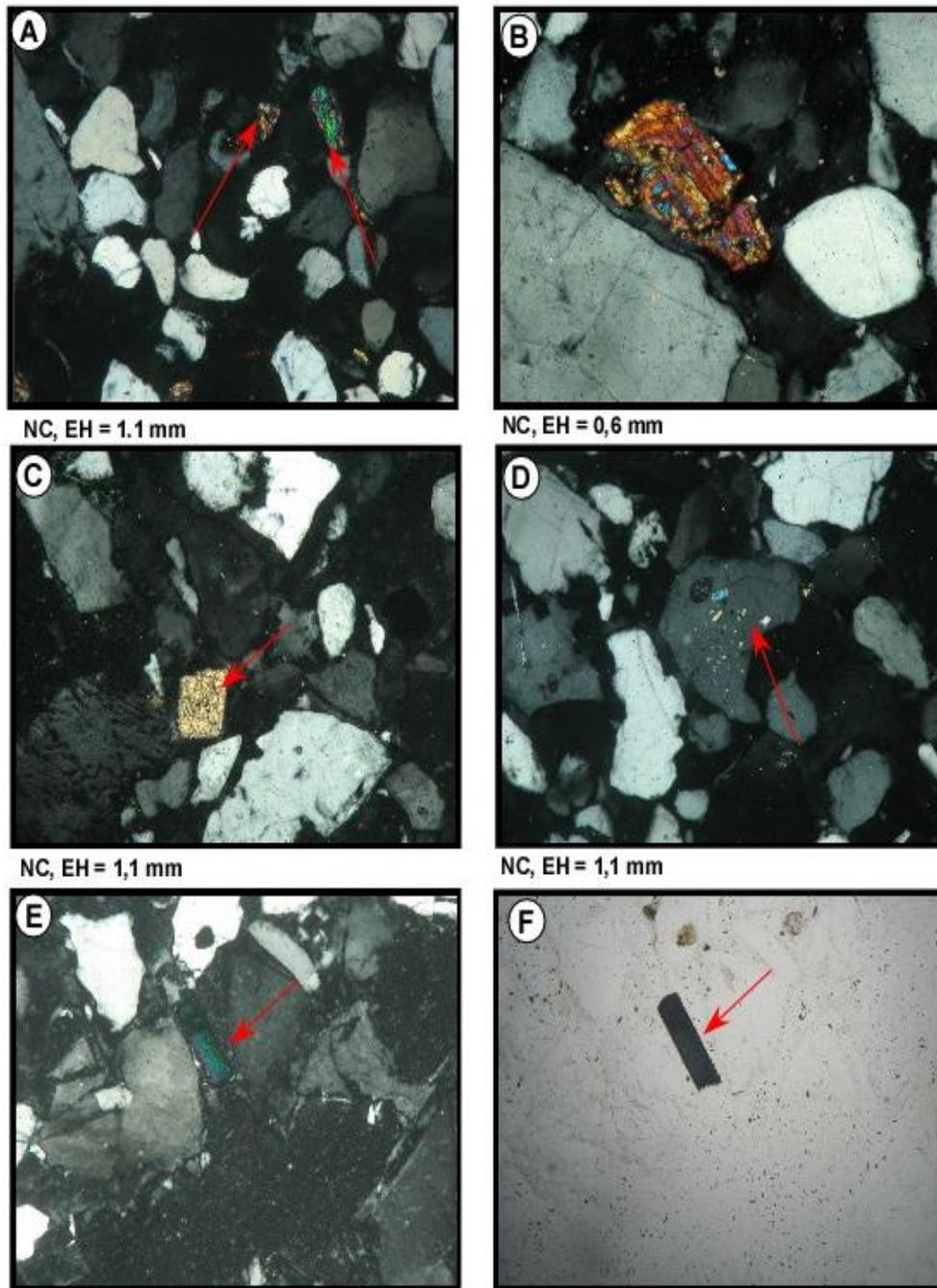


Figura 4.6 Clasificación de arenitas del intervalo Cretácico en el pozo JU-222; modificada por DOTY (1964) (F) feldespatos totales (Q) cuarzo total (R) fragmentos líticos (L).



**Figura 4.7** Fotomicrografías del intervalo Cretácico recuperado en el pozo JU-222. Minerales pesados (A) y (B) circón, @1787', 10X y @1794'4''20X. (C) titanita o esfena, @1794'4'', 10X; (D) inclusiones en cuarzo @1794'4'', 10X. (E) y (F) turmalina, @1778'' 10X.

#### 4.1.2 Intervalo Mioceno temprano a medio (1709'9"-1421')

##### 4.1.2.1 Descripción sedimentológica

El intervalo Mioceno temprano presenta arenas de grano fino hacia la base con algunos intervalos de arena muy gruesa hacia los 1585', y en ocasiones laminaciones de limo, con alta impregnación de hidrocarburo. Hacia los 1550' posee arenas de grano medio con estratificación cruzada y clastos de material fino de 1 cm aproximadamente. Hacia los 1420' se presenta un intervalo heterolítico (80/20) que es más arenoso hacia la base, al disminuir la profundidad, la arena es de grano de fino a medio con algunos clastos y capas limolíticas; el ambiente depositacional es de origen fluvial. Este intervalo corresponde a la unidad litoestratigráfica Formación Oficina. (**MEDINA** 2010).

##### 4.1.2.2 Características textuales

El tamaño del grano varía 0.07 y 3.48 mm a lo largo de todo el intervalo (Figura 4.8). El escogimiento va de medio a pobre. Los granos suelen ser de angulosos a subangulosos volviéndose más subredondeados hacia el tope del intervalo (1444') y presentan esfericidad de baja a media según la escala de **PETTIJOHN et al.** (1973). (Figura 4.9). Estos parámetros pueden verse con más detalle en la tabla 4.1.

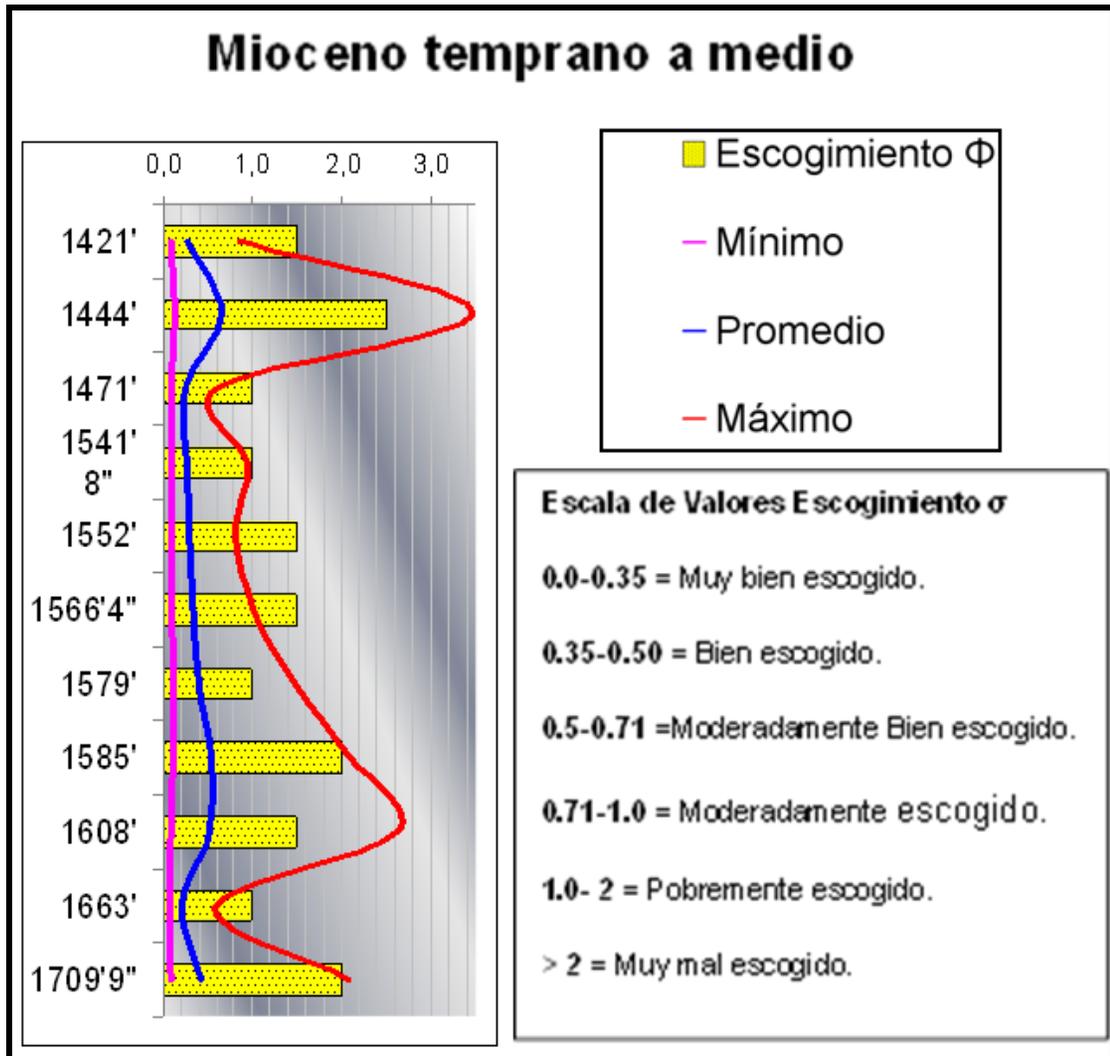
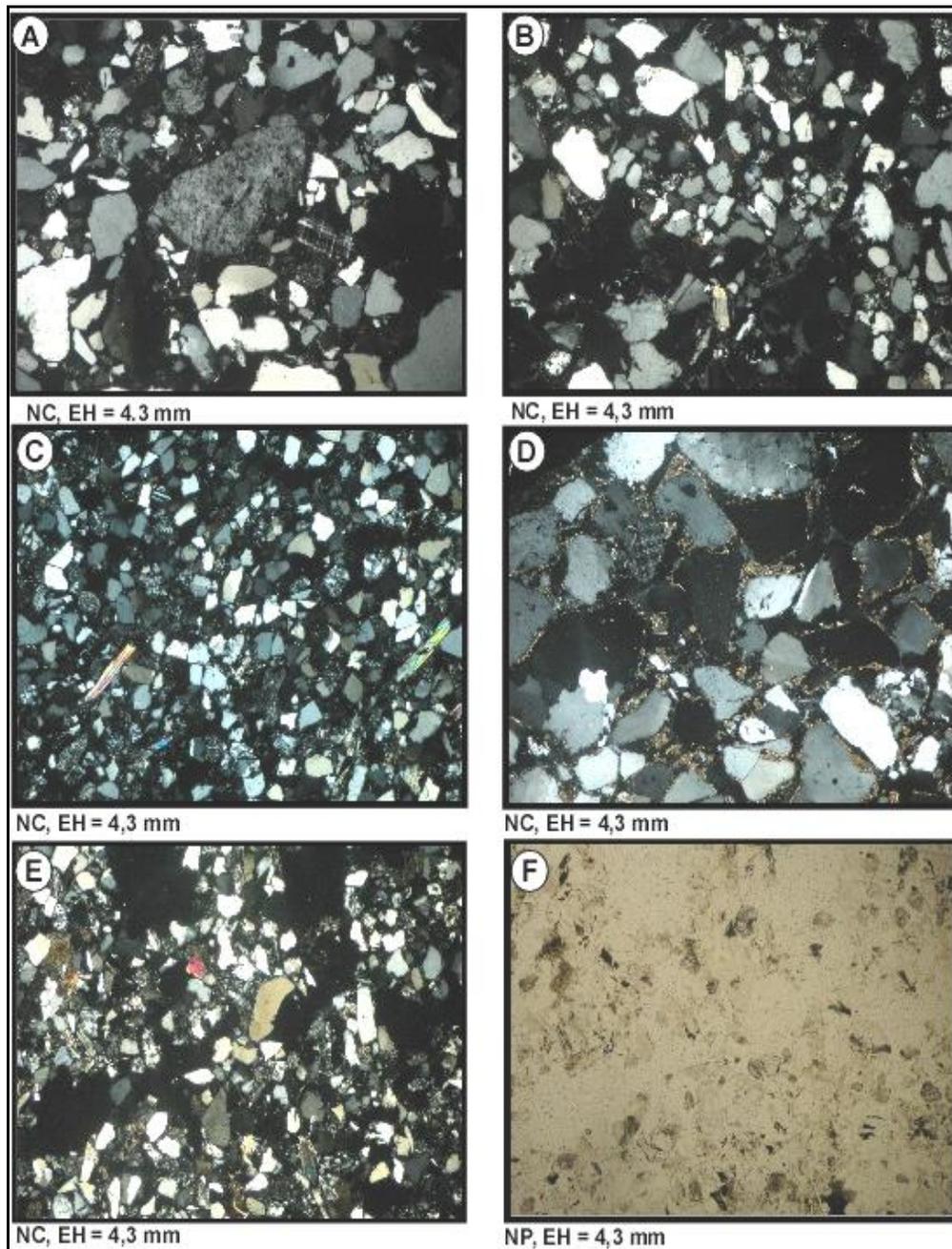


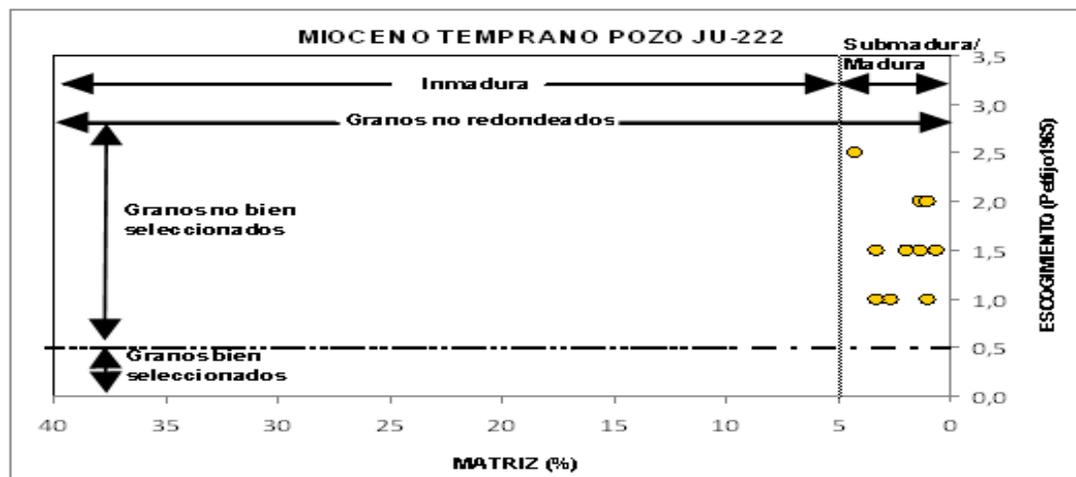
Figura 4.8 Escogimiento y Tamaño del grano mínimo, promedio y máximo en mm, del intervalo Mioceno temprano a medio del núcleo recuperado en el Pozo JU-222.



**Figura 4.9** Fotomicrografías del intervalo Mioceno temprano a medio recuperado en el pozo JU-222. Características texturales (A) granos pobremente escogidos y subangulosos @1585', 2.5X. (B) granos moderadamente escogidos y subangulosos @1579'2", 2.5X. (C) escogimiento de medio a buen, granos subangulosos, abundante moscovita, @1471', 2.5X; (D) granos muy pobremente escogidos y subangulosos, siderita bordeando los granos de cuarzo @1444', 2.5X. (E) y (F) escogimiento de medio a pobre y granos subredondeados, abundantes fragmentos líticos @ 1421', 2.5X

## 4.1.2.3 Madurez Textural

Las once muestras analizadas en el intervalo Mioceno temprano a medio contienen menos de 5% de arcillas, sin embargo, los granos de arena se encuentran mal seleccionados y no están redondeados, debido a ello, los sedimentos fueron clasificados como submaduros según la clasificación textural de **FOLK** (1980). Es de mencionar que las muestras (1471' y 1541'8") contienen 2.64 % matriz y los sedimentos en ellas, están moderadamente seleccionados, es por ello que ambas se visualizan en la figura como una sola muestra. (Figura 4.10).



**Figura 4.10** Madurez textural en los sedimentos encontrados en el intervalo Mioceno temprano recuperado en el pozo JU-222

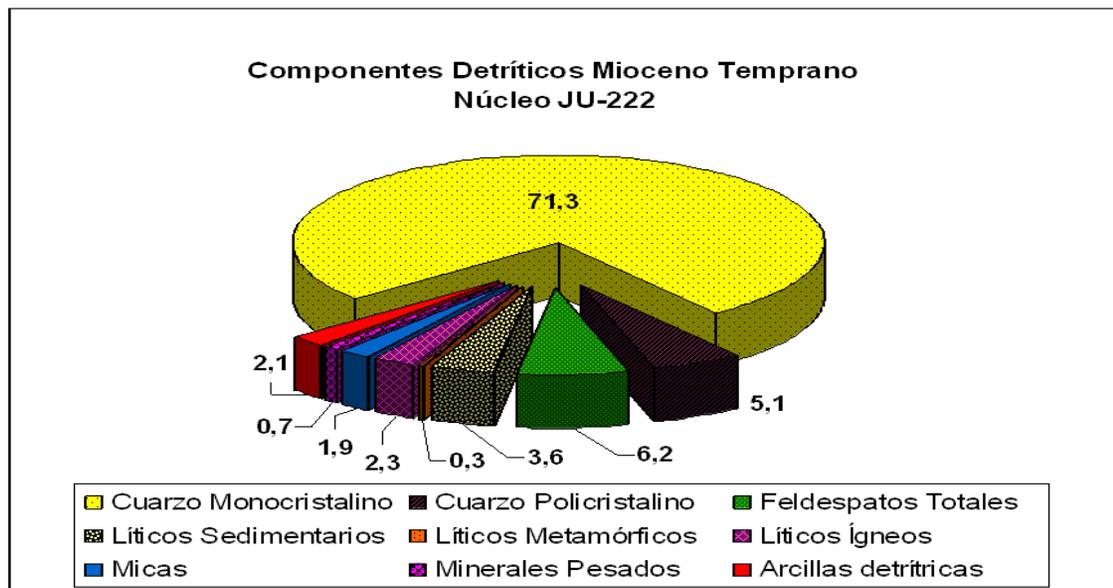
## 4.1.2.4 Componentes Mineralógicos

➤ **Componentes detríticos**

El material detrítico en el intervalo Mioceno temprano a medio (Figura 4.11) está constituido principalmente cuarzo monocristalino entre 49.83 y 85.50%, cuarzo policristalino con 5.1% en promedio, algunos de los granos de cuarzo presentan extinción ondulada. (Figura 4.13 A y B). Los feldspatos potásicos varían entre 2.97 y 8,25%, son de tipo ortosa y microclino (Figura 4.13 C y F). Algunas muestras presentan plagioclasas en trazas. (Figura 4.13 D y E).

Los fragmentos líticos están constituidos por ígneos 0.66-4.29%(Figura 4.14 A y B); metamórficos 0.66 -1.32% (Figura 4.14 C y D); y sedimentarios tipo chert 0.66-7.26%;(Figura 4.14 E y F).

El porcentaje de minerales pesados se encuentran entre 0.33 y 1.98, estos pertenecen al grupo de los minerales ultra estables principalmente circón y rutilo; en algunas ocasiones turmalina, el circón puede encontrarse también como inclusiones en granos de cuarzo. (Figura 4.15 B y C); También se presentan minerales del grupo metaestable como el granate (Figura 4.15 E y F). Por su parte las micas son generalmente moscovita, pero en algunas muestras como la 1463' se encontró también clorita. (Figura 4.15 A y D). Los resultados del conteo petrográfico de las muestras analizadas, componentes detríticos y otros pueden ser visualizados en la tabla 4.2.



**Figura 4.11** Porcentaje promedio de los componentes detríticos encontrados en el intervalo Mioceno temprano a medio recuperado en el núcleo JU-222

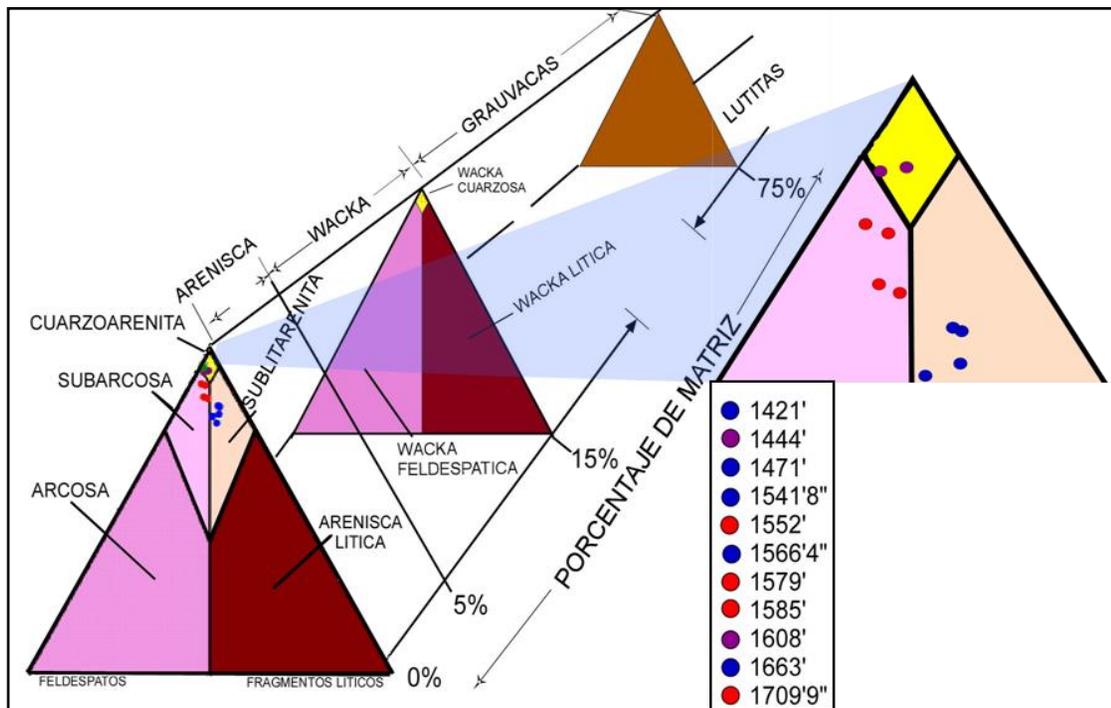
#### ➤ Componentes autigénicos

En la validación de las muestras del intervalo Mioceno temprano a medio, se identificó siderita, la misma se encuentra en forma de pequeños cristales finos que bordean los granos (Figura 4.16 A y E), esta varía entre

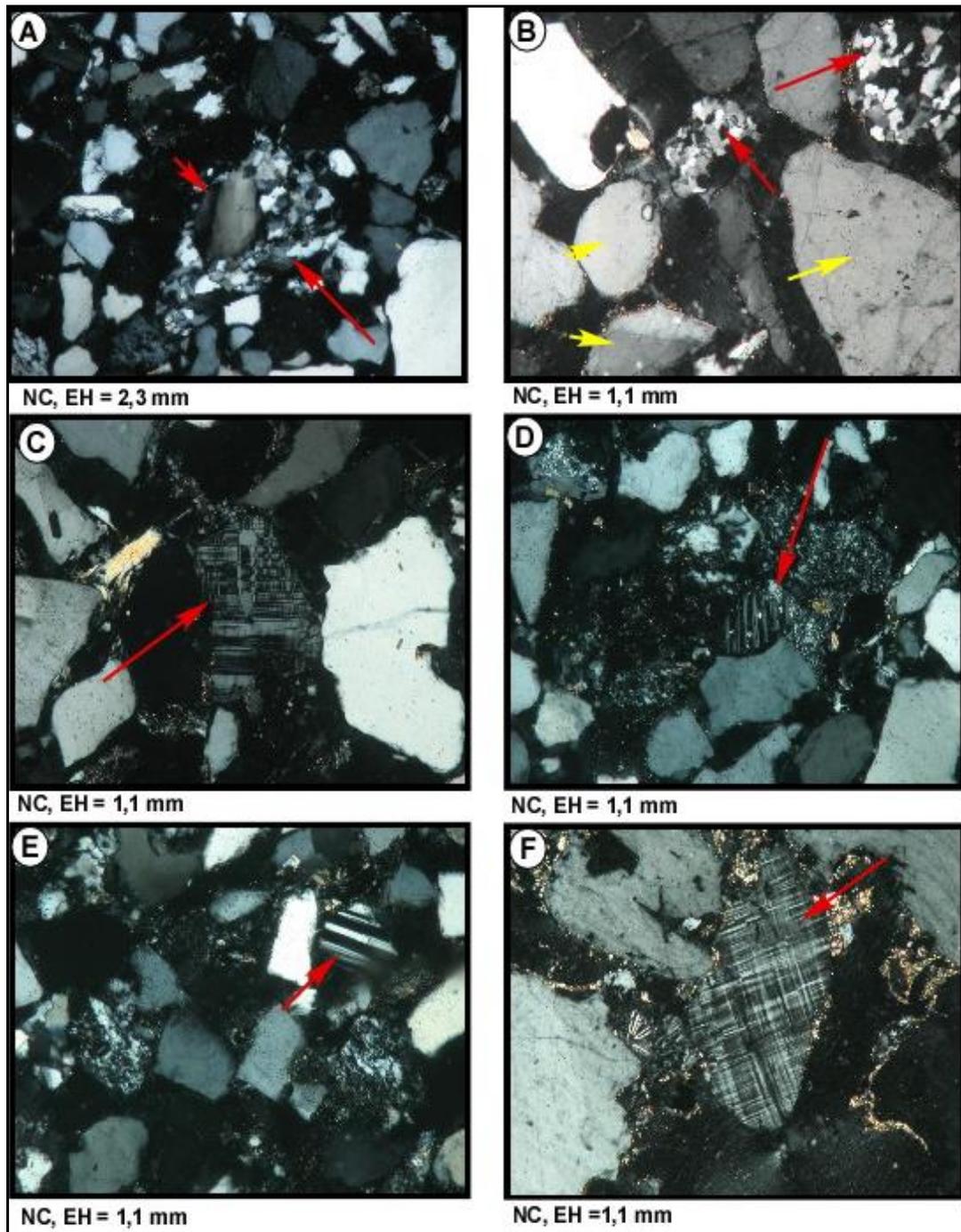
0.33 y 4.95 % a lo largo de todo el intervalo; además se identificó dolomita en algunas muestras (Figura 4.16 C, D y F); Sin embargo, **MEDINA** (2010) menciona la presencia de Caolinita de 0.33 y arcillas indiferenciables varían entre 0.33 y 3.96%. Además, indica que la muestra 1552' presenta 1.65 % y que la 1563' posee 14.52% de carbonatos indiferenciables. (Tabla 4.2).

4.1.2.5 Tipo de roca

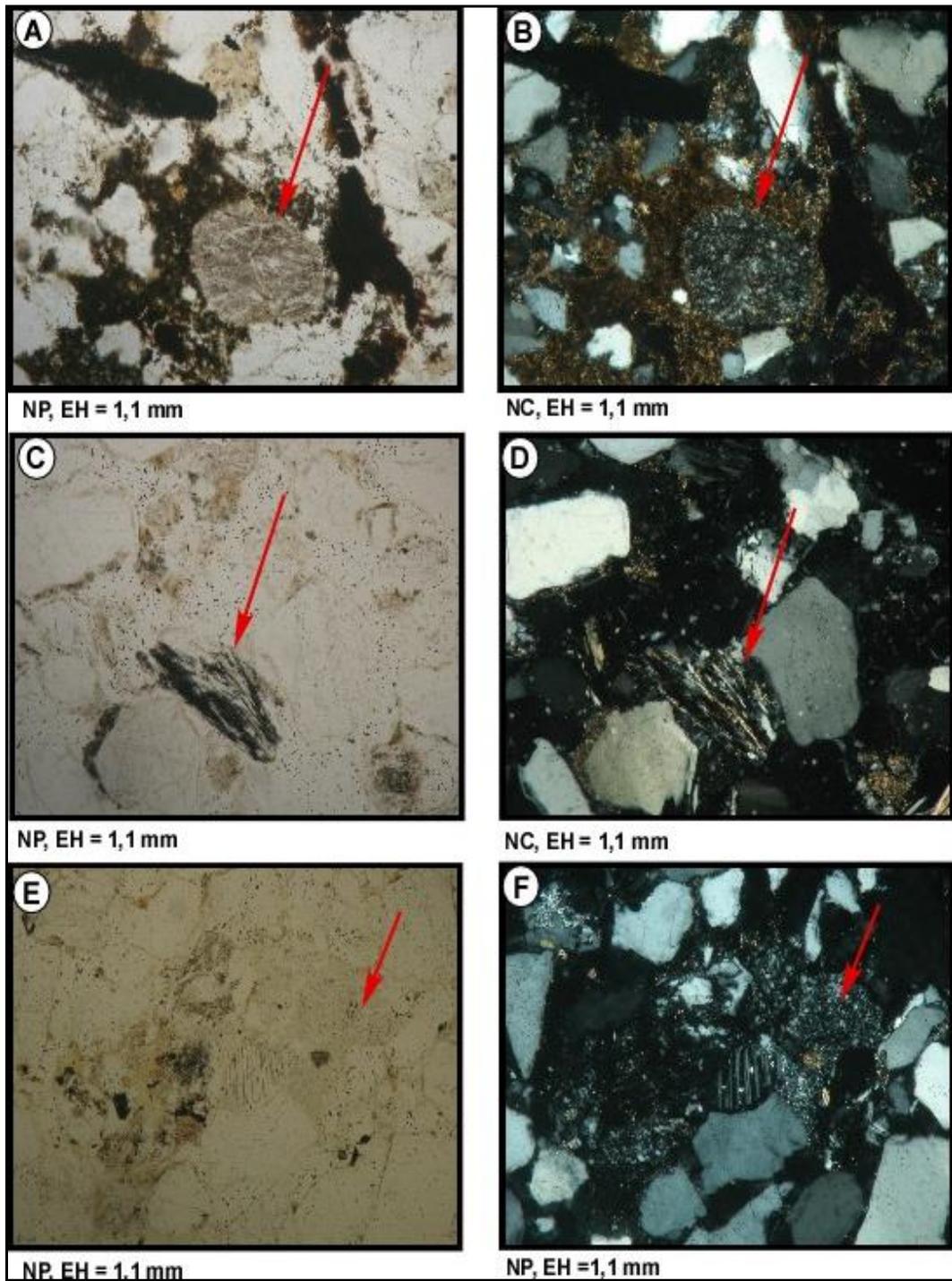
Los datos obtenidos de cuarzo total, feldespatos y líticos totales fueron normalizados a 100% para obtener la clasificación de las arenitas, mediante ella se obtuvo como resultado que de las once muestras analizadas en el segmento Mioceno temprano a medio cuatro son subarcosas, cinco son sublitoarenitas y dos fueron clasificadas como cuarzoarenitas. Para observar gráficamente la clasificación de las muestras ver figura 4.112.



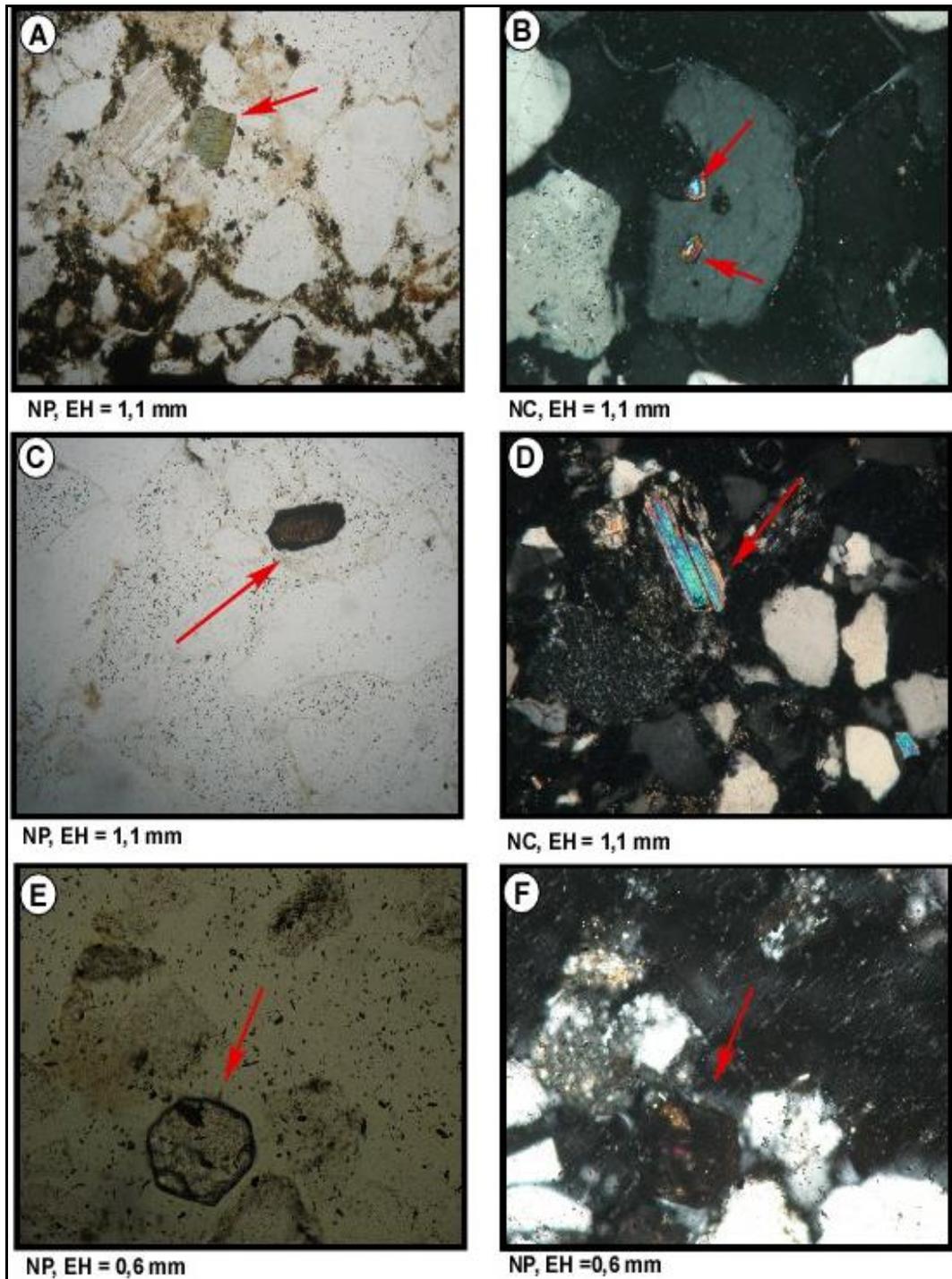
**Figura 4.12** Clasificación de arenitas del pozo JU-222, modificada por DOTT (1964) (F) feldespatos totales (Q) cuarzo Total (R) Fragmentos Líticos (L) Muestras del intervalo Mioceno temprano a medio.



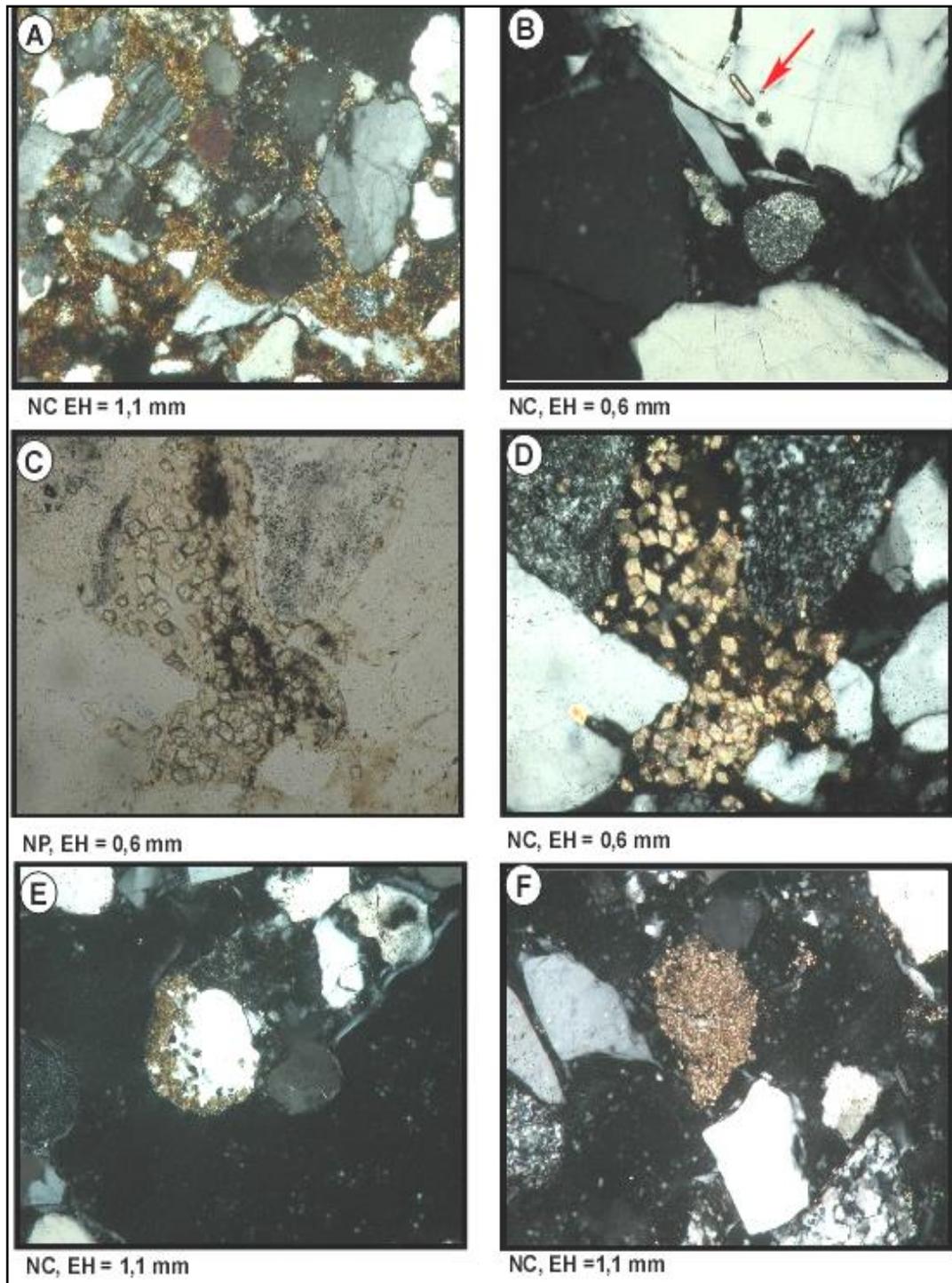
**Figura 4.13** Fotomicrografías del intervalo Mioceno temprano a medio recuperado en el pozo JU-222. Componentes detríticos (A) cuarzo policristalino y cuarzo con extinción ondulante @1709'9", 5X. (B) Cuarzo policristalino (flechas rojas), cuarzo monocristalino (flechas amarillas) @1579'2", 10X. (C) microclino @1566'4", 10X; (D) plagioclasa alterada @1566'4", 10X. (E) plagioclasa @1566'4", 10X. (F) microclino @ 1444', 10X.



**Figura 4.14** Fotomicrografías del intervalo Mioceno temprano a medio recuperado en el pozo JU-222. Fragmentos líticos (A) y (B) fragmento ígneo @1663', 10X. (C) y (D) fragmento metamórfico alterado @1541', 10X. (E) y (F) fragmento sedimentario tipo chert @ 1566'4", 10X.



**Figura 4.15** Fotomicrografías del intervalo Mioceno temprano a medio recuperado en el pozo JU-222. Minerales pesados (A) clorita @1663', 10X. (B) circón @1608', 10X (C) rutilo @1585', 10X; (D) moscovita @1541', 10X. (E) y (F) granate @1421', 20X



**Figura 4.16** Fotomicrografías del intervalo Mioceno temprano a medio recuperado en el pozo JU-222. Componentes autigénicos (A) cristales finos de siderita @1663', 10X. (B) inclusión en cuarzo @1608', 20X. (C) y (D) cristales de dolomita @1579', 20X (E) cristales de siderita bordeando un grano de cuarzo @1552', 10X. (F) dolomita @ 1541'8", 10X

**Tabla 4.1** Características texturales de las muestras tomadas en el intervalo Cretácico- Mioceno temprano del pozo JU-222. Tomada y modificada de **MEDINA** (2010).

POZO	MUESTRA		PROF (pies)	YACIMIENTO	FM	TAMAÑO DE GRANO (mm)			ESCOGIMIENTO		Redondez	CLASIFICACION MODIFICADA POR DOTT (1964)
	N°	TIPO				Mín	Promedio	Máx	Estimacion visual	$\sigma$		
JU-222	1	NÚCLEO	1421	MIOCENO TEMPRANO A MEDIO	OFICINA	0,08	0,27	0,85	Medio a Pobre	1,50	Subredondeado	Sublitarrenita
	2		1444			0,13	0,65	3,48	Muy Pobre	2,50	Subredondeado	Subarcosa
	3		1471			0,10	0,24	0,60	Medio	1,00	Anguloso/ Subanguloso	Sublitarrenita
	4		1541'8"			0,08	0,27	0,95	Medio	1,00	Anguloso/ Subanguloso	Sublitarrenita
	5		1552			0,10	0,30	0,81	Medio a Pobre	1,50	Anguloso/ Subanguloso	Subarcosa
	6		1566'4"			0,10	0,35	1,01	Medio a Pobre	1,50	Anguloso/ Subanguloso	Sublitarrenita
	7		1579			0,12	0,40	1,49	Medio	1,00	subanguloso	Subarcosa
	8		1585'			0,12	0,55	2,11	Pobre	2,00	Anguloso /Subanguloso	Subarcosa
	9		1608'			0,10	0,52	2,62	Medio a Pobre	1,50	Anguloso /Subanguloso	Subarcosa
	10		1663'			0,07	0,20	0,58	Medio	1,00	Subredondeado	Sublitarrenita
	11		1709'9"			0,10	0,44	2,07	Pobre	2,00	Subredondeado	Subarcosa
	12	1750'	CRETÁCICO	TIGRE	0,09	0,33	1,78	Medio a Pobre	1,50	Anguloso/ Subanguloso	Subarcosa	
	13	1756'			0,12	0,50	2,77	Pobre a Muy pobre	2,50	Anguloso/ Subanguloso	Subarcosa	
	14	1765			0,08	0,36	1,48	Medio	1,00	Anguloso/ Subanguloso	Subarcosa	
	15	1778'			0,10	0,56	1,66	Pobre a Muy pobre	2,50	Anguloso /Subanguloso	Arenita cuarzosa	
	16	1787'			0,12	0,68	2,22	Muy Pobre	2,50	Anguloso/ Subanguloso	Arenita cuarzosa	
	17	1794'4"			0,12	0,68	2,22	Pobre a Muy pobre	2,50	Anguloso/ Subanguloso	Arenita cuarzosa	

**Tabla 4.2** Componentes Mineralógicos del intervalo Cretácico- Mioceno temprano a medio del pozo JU-222. Tomada y modificada de MEDINA (2010).

POZO	Nº de la Muestra	YACIMIENTO	Formación	Profundidad	Tamaño de grano Promedio (mm)	MINERALOGÍA DETRÍTICA (%)																TOTAL DE DETRÍTICOS	ERALOGÍA AUTIGÉNICA				TOTAL DE AUTIGÉNICOS	Bitumen	TOTAL GENERAL
						CUARZO		FELDESPATOS		FRAGMENTOS LÍTICOS				ACCESORIOS			Arcillas Detriticas (%)	Cementos											
						Monocristalino	Policristalino	Cuarzo Total	Ortosa	Plagioclasas	Feldespatos Totales	Sedimentario		Metamórficos	Ígneos	Total Fragmentos Líticos		Micas	Materia Orgánica	Minerales Pesados	Caolinita		Arcillosos		Carbonatos				
												Chert	Argiláceos										Indiferenciables	Indiferenciable					
NZZ-222	1	MIOCENO TEMPRANO A MEDIO	OFICINA	1421'	0	68	2	70	5	TR	5	4	0	1	4	9	5	0	1	3	94	2	1	TR	2	6	0	100	
	2			1444'	1	79	5	84	3	0	3	1	0	0	1	2	1	0	0	4	94	0	0	0	5	6	TR	100	
	3			1471'	0	66	4	70	8	TR	8	7	1	1	3	12	3	0	0	3	96	1	2	0	1	4	0	100	
	4			1541'8"	0	68	6	74	5	0	5	7	0	0	2	10	2	0	1	3	94	0	2	1	2	5	0	100	
	5			1552'	0	71	7	78	7	0	7	3	0	0	3	6	2	0	2	2	97	0	0	2	0	2	1	100	
	6			1566'4"	0	67	7	74	9	0	9	6	0	0	4	10	2	0	0	1	96	2	2	0	0	4	0	100	
	7			1579'	0	77	5	82	8	0	8	4	0	0	1	5	1	0	1	1	97	1	1	TR	1	3	0	100	
	8			1585'	1	77	8	85	7	0	7	1	0	0	1	2	1	0	1	1	97	1	1	0	0	3	0	100	
	9			1608'	1	86	4	90	5	0	5	1	0	0	1	1	1	0	1	1	98	0	1	0	0	1	0	100	
	10			1663'	0	50	3	52	5	0	5	3	0	1	4	8	2	5	1	3	76	3	1	15	0	20	4	100	
	11			1709'9"	0	78	4	82	6	0	6	2	0	0	1	4	1	0	0	1	94	0	4	0	1	5	1	100	
12	1750'	0	85	0	85	4	0	4	0	0	0	1	1	4	0	0	3	97	0	2	0	0	3	0	100				
13	1756'	1	86	1	87	4	0	4	0	0	0	0	0	1	0	1	2	95	0	1	0	2	4	0	100				
14	1765'	0	87	0	88	4	0	4	0	0	0	0	0	1	0	2	2	97	1	1	0	0	3	0	100				
15	1778'	1	90	0	90	3	0	3	0	0	0	0	0	2	0	1	1	98	0	2	0	0	2	0	100				
16	1787'	1	93	1	94	4	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	99	0	1	0	0	1	0	100				
17	1794'4"	##	##	#	91,41	#	##	#	0,00	0,00	0,00	##	0,00	##	##	##	0,00	98,67	##	##	##	##	0,00	##	##	99,99			

### 4.1.3 Correlación de elementos petrográficos entre las unidades estratigráficas en el pozo ju-222.

Texturalmente las muestras analizadas del intervalo Cretácico recuperado en este pozo, se caracterizan por granos angulosos a subangulosos que van desde de medio a grueso (más grueso hacia la base), con escogimiento pobre a muy pobre y una baja esfericidad. En el Mioceno temprano a medio, el tamaño de grano es más heterogéneo; varía de medio a grueso, subangulosos a subredondeados, van de moderado a pobremente escogidos, y con baja a esfericidad que parece ser más alta al tope. En ambos intervalos, los sedimentos son submaduros, aunque presentan menos del 5% de matriz, los granos de arena están poco seleccionados (pobremente escogidos) y un importante contenido son subangulosos. (Tabla 4.3).

Las principales diferencias en el material detrítico entre ambas unidades estratigráficas son: En el Cretácico, el cuarzo policristalino no supera el 1%; los feldespatos son pocos (menor a un 5%) tipo ortosa, y los fragmentos de roca en cantidades trazas son de tipo ígneo. Los minerales pesados identificados son circón, turmalina, rutilo y esfena; las micas son de tipo moscovita. En el Mioceno temprano a medio, el contenido de cuarzo policristalino es mayor (2.31-8.58%) los feldespatos dominante potásicos son de tipo ortosa y microclino, algunas muestras, presentan plagioclasas en trazas. Los fragmentos líticos son comunes (hasta 11,55%) tipo ígneos, pero también hay importante contenido de chert y presencia de fragmentos metamórficos. Los minerales pesados identificados son los mismos del Cretácico (circón, turmalina, esfena y rutilo), más granate y cianita. Las micas son pocas principalmente moscovitas y trazas de clorita (Tabla 4.3)

En función de sus componentes las muestras fueron clasificadas (DOTT, 1964) para el Cretácico como cuarzoarenitas mayormente. En el Mioceno

temprano a medio, las areniscas son de tipo sublitoarenitas y subarcosas con escasas cuarzoarenitas.

Según lo expuesto anteriormente, es evidente que existen diferencias principalmente mineralógicas entre los sedimentos analizados del Mioceno temprano y el Cretácico. En el Mioceno temprano a medio pudo haber tenido un aporte adicional de origen metamórfico, esto se infiere por la presencia de fragmentos líticos de este tipo que no se visualizan en el intervalo recuperado Cretácico y la presencia de minerales de origen metamórfico como el granate, adicional a ello las muestras del Mioceno presentan microclino y plagioclasas, estos minerales estaban ausentes en las muestras del intervalo Cretácico.

**Tabla 4.3** Correlación de elementos petrográficos entre los intervalos sedimentarios Cretácico y Mioceno temprano a medio del núcleo JU-222

EDAD	ELEMENTOS PETROGRAFICOS					
	TEXTURAL	COMPONENTES MINERALOGICOS				TIPO DE ROCA
		Abundantes	Fragmentos de roca	Accesoros	Autigénicos	
<b>MIOCENO DE TEMPRANO A MEDIO</b>	Arena de media a gruesa Angulosos a subangulosos Escogimiento de media a pobre Grabos submaduros	5,1% cuarzo policristalino 3 a 8% ortosa y microclino trazas de plagioclasas	ígneos, metamórficos y sedimentarios	Circón, turmalina, Granate, clorita y Muscovita	Siderita y dolomita	4/11 subarcosa, 5/11 sublitoarenita y 2/11 cuarzoarenita
<b>CRETACICO</b>	Arena media a gruesa angulosos a subanguloso muy pobremente escogido sedimentos submaduros	0,6% cuarzo policristalino ortosa 3.96 - 4.30%	0,6% fragmentos ígneos	Circón, rutilo, turmalina, esfena y muscovita	2.31% de siderita en la muestra 1756'	5/6 cuarzoarenita y 1/6 Subarcosa

## **4.2 CARACTERIZACION MINERALOGICA MEDIANTE DRX EN ROCA TOTAL Y ARCILLAS**

A continuación, se presentan los resultados de la interpretación y resultados del análisis de difracción de rayos X (DRX) realizado en las muestras del pozo JU-222. Con este tipo de análisis se busca conocer de manera semicuantitativa (expresado en porcentaje en peso) los minerales presentes en cada muestra tanto de roca total como los minerales de arcilla.

Este análisis se realizó a partir de los resultados obtenidos de estudios previos, es por ello que se cuenta con solo algunos difractogramas. La presencia de arcillas expansivas fue corroborada por el análisis de muestras orientadas y glicoladas.

### **4.2.1 Mineralogía presente en roca total**

#### **4.2.1.1 Intervalo Cretácico (1796-1750)**

Se analizaron nueve muestras en el intervalo Cretácico, y se obtuvo como resultado que los componentes mayoritarios son cuarzo y minerales de arcilla, en la Fig. 4.18 se puede apreciar como el cuarzo supera el 80% en casi todo el intervalo, sin embargo, hacia el tope del mismo se observa un aumento de minerales arcillosos (1451'), de la misma manera ocurre hacia la base del intervalo donde además se puede apreciar 3% siderita y 5% piritita. Los resultados del análisis de roca total pueden ser visualizados en la tabla 4.4.

#### **4.2.1.2 Intervalo Mioceno temprano a medio (1750-1400)**

En el intervalo Mioceno temprano a medio el componente mayoritario es el cuarzo, sin embargo, a lo largo de todo el intervalo existen muestras que presentan alto contenido de minerales de arcilla lo que además coincide con un aumento de feldespato potásico; en algunas muestras se encontró feldespato sódico: hacia el centro del intervalo recuperado hay presencia de

dolomita y la muestra 1548' presenta siderita en un 11%. (Figura 4.17) Los resultados del análisis de roca total pueden ser visualizados en la tabla 4.4.

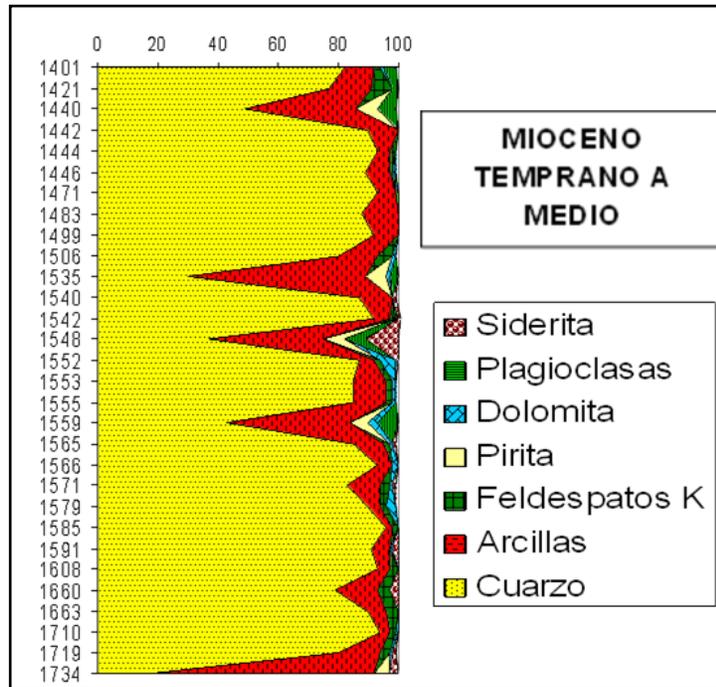


Figura 4.17 Distribución en profundidad de los minerales presentes en roca total, del intervalo Mioceno temprano a medio del pozo JU-222

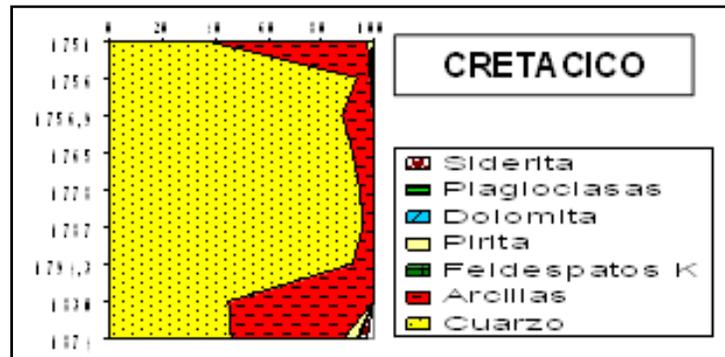


Figura 4.18 Distribución en profundidad de los minerales presentes en roca total, del intervalo Cretácico del pozo JU-222

#### 4.2.1.3 Correlación entre las unidades estratigráficas del pozo JU- 222- Roca Total

En la figura 4.19 se puede apreciar que tanto en el Cretácico como en el Mioceno temprano a medio, los componentes mayoritarios encontrados en el análisis de roca total son cuarzo y minerales de arcilla. Los feldespatos se presentan muy escasos el intervalo recuperado Cretácico, del mismo modo ocurre con la siderita.

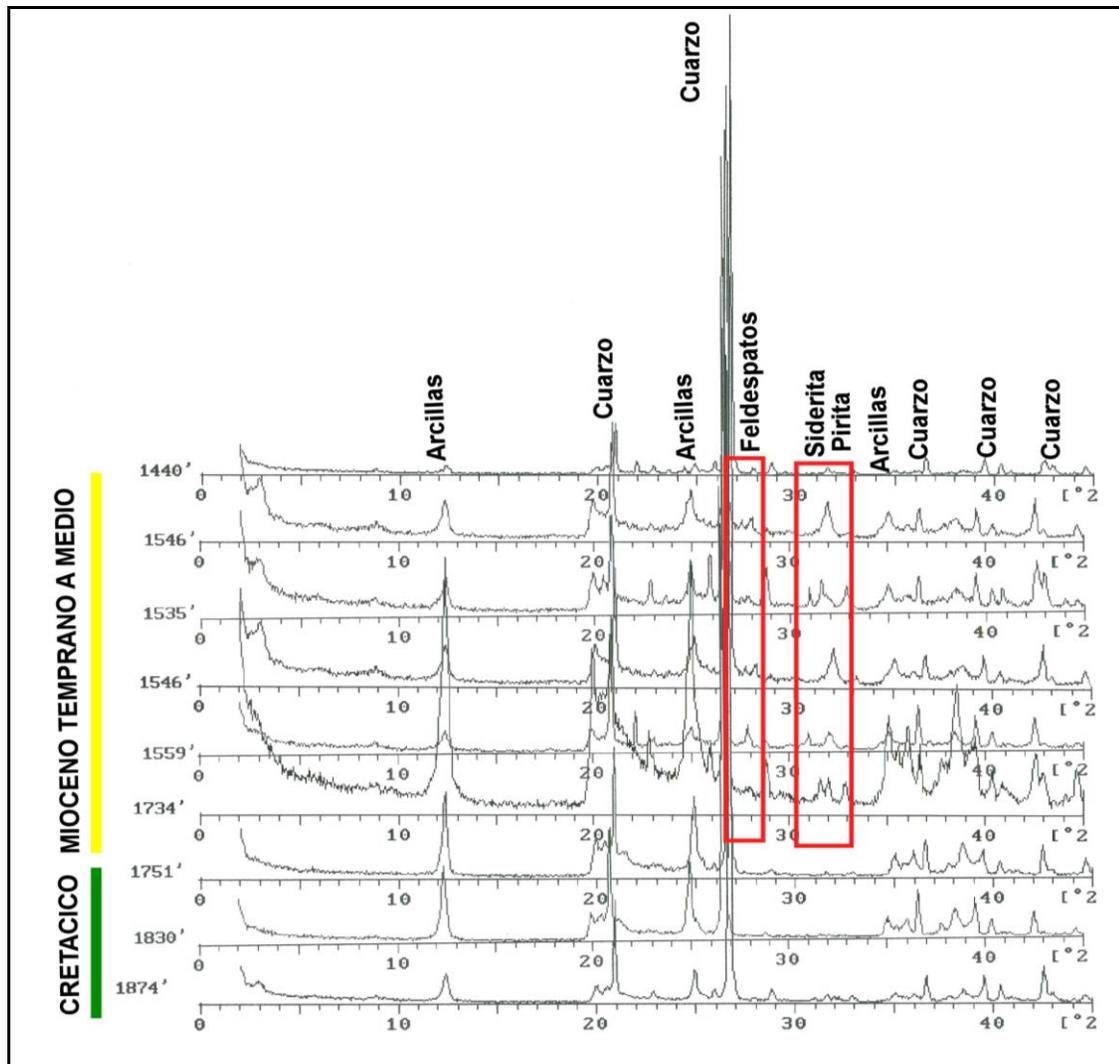


Figura 4.19 Difractogramas apilados de la mineralogía presente en la roca total del intervalo Cretácico al Mioceno temprano a medio del pozo JU-222

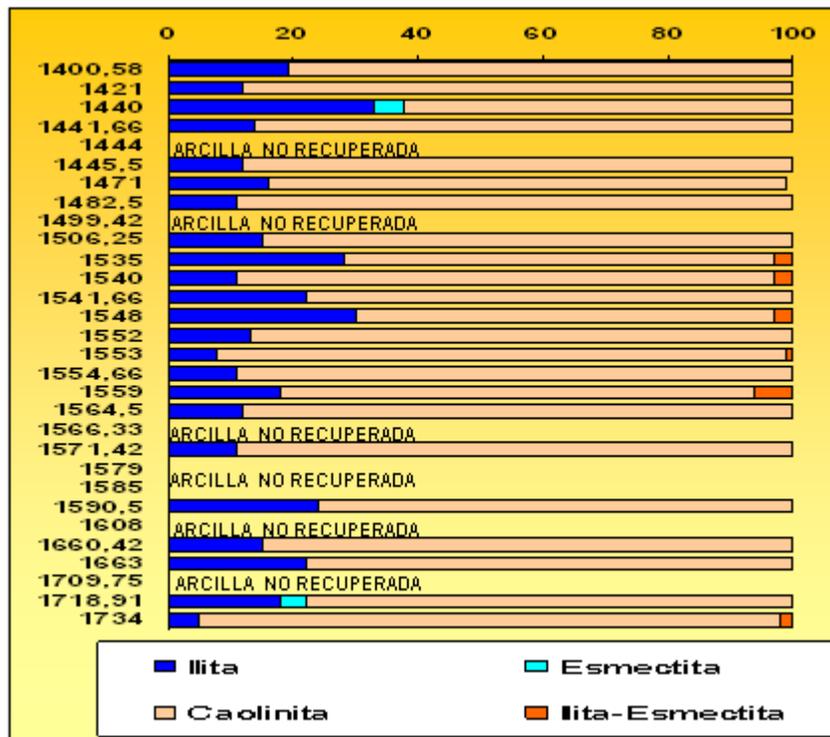
**4.2.2 Análisis de mineralogía de arcillas presentes en la fracción menor a dos micras**

**4.2.2.1 Intervalo Cretácico (1796-1750)**

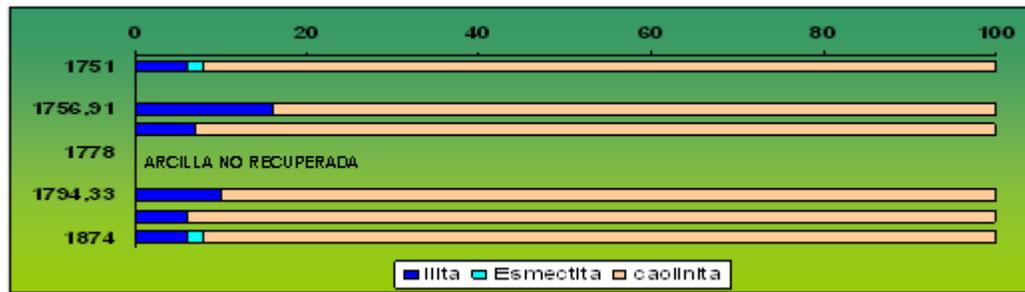
En el intervalo Cretácico solo se recuperó el mineral arcilloso en cinco muestras, de las cuales más del 85% la arcilla es caolinita, el resto es illita, en dos muestras se encontró además un 2% de esmectita (Figura 4.20).

**4.2.2.2 Intervalo Mioceno temprano a medio (1750-1400)**

En el Mioceno temprano a medio los minerales arcillosos son caolinita (62 y 86%), Illita entre 12 y 33% la esmectita se presenta en trazas solo en dos muestras (Figura 4.21).



**Figura 4.20.** Distribución en profundidad de los minerales de arcillas presentes en la fracción menor a 2 micras, del intervalo Mioceno temprano a medio del pozo JU-222



**Figura 4.21** Distribución en profundidad de los minerales de arcillas presentes en la fracción menor a 2 micras, del intervalo Cretácico del pozo JU-222

#### 4.2.2.3 Correlación entre las unidades estratigráficas del pozo JU 222- fracción menor a 2 micras.

Tanto en el Cretácico como en el Mioceno temprano a medio la arcilla más abundante es de tipo caolinita; posiblemente producto de la alteración de feldespatos y plagioclasas, las areniscas poseen alta permeabilidad lo que permite el flujo continuo de soluciones ricas en aluminio lo que favorece la precipitación de caolinita (**SANDOVAL 2000**).

Por su parte la illita está presente en ambos intervalos sin embargo en el Mioceno temprano a medio se presenta con mayor abundancia, posiblemente producto de la pérdida de potasio en las moscovitas de origen ígneo y metamórfico presentes o por la degradación de los feldespatos potásicos que fueron claramente identificados tanto por petrografía como por DRX en este intervalo.

Las arcillas interestratificadas son illita-esméctita y solo están presentes en el intervalo Mioceno y arcillas expansivas como la esméctita se presenta solo en algunas muestras de ambos intervalos. De acuerdo con **SANDOVAL 2000**, el aumento de la temperatura y la presencia de cationes de potasio en el fluido hace que las arcillas de tipo esméctita tiendan a desaparecer dando lugar a la formación de arcillas de capas mixtas tipo illita/esméctita, debido al aumento progresivo de arcillas no expansivas como la illita por adsorción del potasio. La presencia de arcillas expansivas fue corroborada por el análisis de muestras orientadas y glicoladas (Figura 4.22).

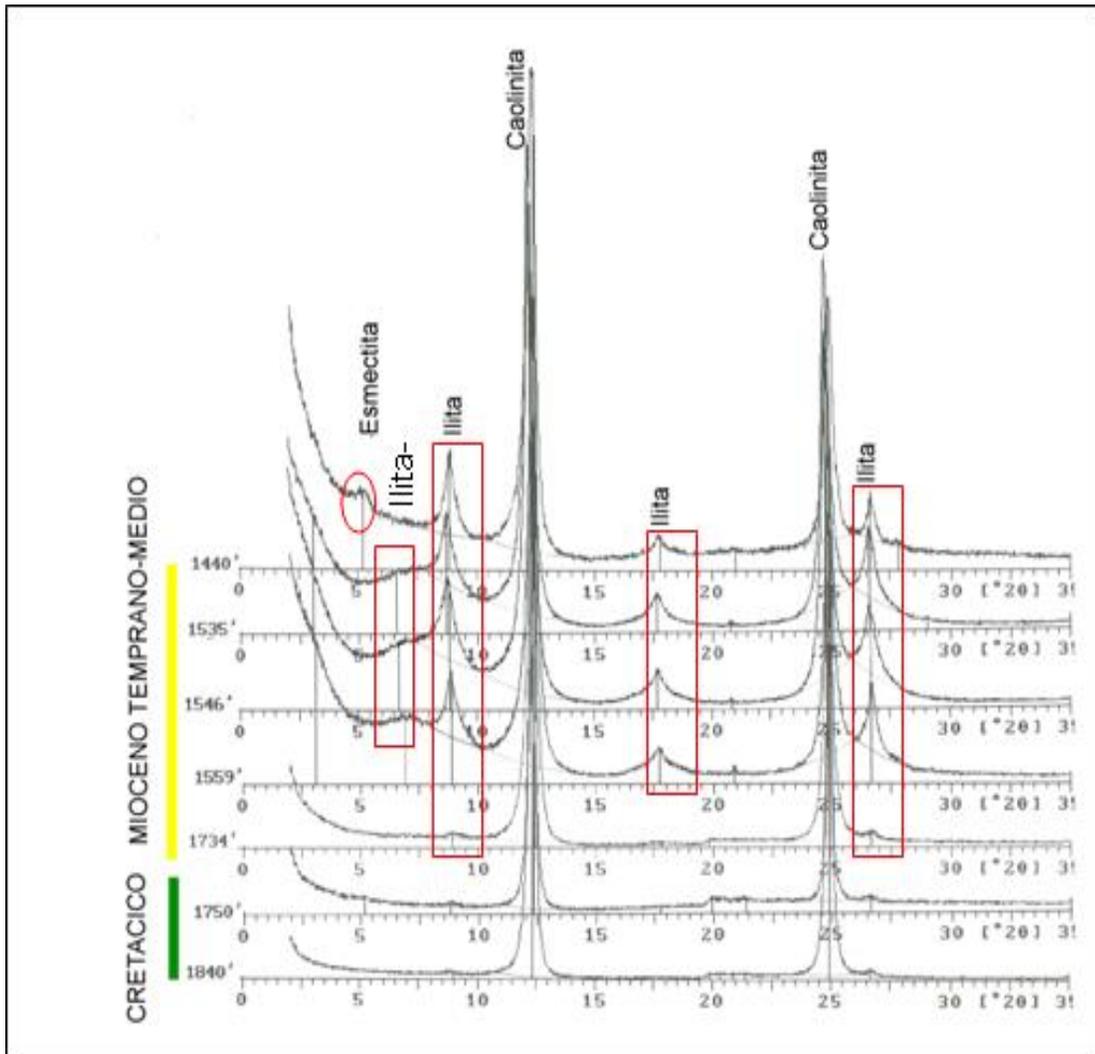


Figura 4.22 Difractogramas apilados de los análisis de fracción menor a 2 micras del intervalo recuperado Cretácico Mioceno Temprano del pozo JU-222

Tabla 4.4 Mineralogía presente en Roca total y fracción menor a 2 micras del núcleo recuperado en el pozo JU-222

POZO	N° MUESTRA	EDAD	PROFUNDIDAD (PIES)	ROCA TOTAL								FRACCIÓN < 2 MICRAS								
				CUARZO	FELDESP. K	FELDESP. PL	CALCITA	DOLOMITA	HEMATITA	SIDERITA	PIRITA	MIN. ARCILLA	TOTAL	CAOLINITA	CLORITA	ILITA	ILITA-ESMEC.	CORRENSITA	GLAUCONITA	ESMECTITA
JU-222		MIOCENO TEMPRANO A MEDIO	1400.58	82	2	4	1	1				10	100	81		19				
	2		1421	77	7	2						14	100	88		12				
	3		1440	49		6	1					7	100	62		33				5
	4		1441.66	90									10	100	86		14			
	5		1444	93	2			1	0				4	100	0					
	6		1445.5	89	1			1	1				8	100	88		12			
	7		1471	93			1						6	100	83		16			
	8		1482.5	88									12	100	89		11			
	9		1499.42	92									8	100	Arcilla No Recuperada					
	10		1506.25	80	5			1	1				13	100	85		15			
	11		1535	30			3		1				7	100	69		28	3		
	12		1540	87				1				1	11	100	86		11	3		
	13		1541.66	92	2		1					1	5	100	78		22			
	14		1548	37			7					11	7	100	67		30	3		
	15		1552	87	2				5			1	5	100	87		13			
	16		1553	85	2			1	1				11	100	91		8	1		
	17		1554.66	85	2			1	1				11	100	89		11			
	18		1559	43			7		3			6	41	100	76		18	6		
	19		1564.5	85	2			1	1		1		10	100	88		12			
	20		1566.33	93					2				5	100	Arcilla No Recuperada					
	21		1571.42	83	3			1	1		1		11	100	89		11			
	22		1579	90	2			1	3				4	100	Arcilla No Recuperada					
	23		1585	96	2								2	100	Arcilla No Recuperada					
	24		1590.5	91					1		2		6	100	76		24			
	25		1608	93	3								4	100	0					
	26		1660.42	79	4						3		14	100	85		15			
	27		1663	90	4								6	100	78		22			
	28		1709.75	94	2				1				3	100	Arcilla No Recuperada					
	29		1718.91	80	3			1	1		1		14	100	78		18			4
	30		1734	16							3	5	76	100	93		5	2		
	31	1751	36								2	62	100	92		6			2	
	32	1756	94					1				5	100							
	33	1756.91	88									12	100	84		16				
	34	1765	92									8	100	93		7				
	35	1778	95									5	100							
	36	1787	96									4	100	Arcilla No Recuperada						
	37	1794.33	92									8	100	90		10				
	38	1830	45									55	100	94		6				
	39	1874	46			2		1		3	5	43	100	92		6			2	

### **4.3 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA**

En función a diversos autores, la aplicación de la química para la caracterización de los procesos geológicos en las rocas sedimentarias, ha sido de gran importancia en los últimos tiempos, ya que complementa la información obtenida en técnicas como la petrográfica y DRX. Los estudios geoquímicos se basan mayormente en la determinación de elementos mayoritarios, minoritarios, traza y en ocasiones estudios de tierras raras e isótopos, estos aportan información sobre los cambios que ocurren a lo largo del ciclo sedimentario y de la roca que resulta luego de la litificación de dicho sedimento (Bathia & Crook, 1986).

Las rocas que favorecen los estudios de este tipo son aquellas cuyo tamaño de grano sea menor como es el caso de las lutitas, limonitas y areniscas de grano fino ya que el reducido tamaño del grano permite tener homogeneidad en la muestra, aunque también se puede realizar estudios en cualquier tamaño del grano.

Para este objetivo se analizaron 95 muestras por Fluorescencia de Rayos X (FRX) correspondientes al intervalo sedimentario Cretácico–Mioceno temprano a medio del pozo JU-222, es importante mencionar que las muestras fueron procesadas por el equipo en condiciones ambientales y que no fue posible determinar sodio y magnesio.

#### **4.3.1 Definición de unidades químicas**

Los perfiles químicos realizados a profundidad en el intervalo sedimentario recuperado Cretácico-Mioceno temprano a medio, registran las concentraciones de elementos mayoritarios y las relaciones entre los mismos; asimismo permiten establecer variaciones químicas en el comportamiento de cada uno de los elementos estudiados, visto por las deflexiones de las curvas, manifestada mediante tendencias de máximos y/o mínimos. (Figura 4.23).

A partir de los cambios que se observan en el perfil es posible establecer unidades químicas para el intervalo sedimentario que está siendo objeto de estudio.

Para en el intervalo sedimentario recuperado en el pozo JU-22 fueron definidas cuatro unidades químicas de base a tope (UQA; UQB; UQC; UQD), de las cuales una de ellas corresponde al periodo Cretácico (UQA) y tres al Mioceno temprano a medio (UQB; UQC; UQD); para definir cada unidad química se tomó como variable base  $Al_2O_3$ .

#### 4.3.1.1 Intervalo cretácico

##### ➤ **Unidad química A (UQA)**

Esta unidad química se encuentra localizada hacia la base del núcleo entre las profundidades de 1798' hasta 1749'; estratigráficamente pertenece al periodo Cretácico y se caracteriza por presentar concentraciones de  $Al_2O_3$  promedio de 17.60%, con profundidades intermedias donde las cantidades de este elemento pueden ser relativamente más abundante; sin embargo, ninguna supera 40%, en este caso se puede decir que estos elementos se mantienen estables a lo largo de toda la unidad química.

El contenido de potasio es casi nulo en esta unidad (0.01-0.06%); sin embargo, a los 1789' existe un ligero aumento visible que coincide con un aumento de  $Al_2O_3$  y una disminución de  $SiO_2$  lo cual pudiera estar reflejando litología y facies heterolítica. El  $K_2O$  distingue al intervalo sedimentario Cretácico del intervalo Mioceno, la ausencia de este elemento puede estar asociada al tipo de arcilla presente y a la ausencia de feldespatos potásicos, como fue comprobado tanto en petrografía como en difracción de rayos X.

El  $SiO_2$  presenta un promedio de 78% y se mantiene estable a lo largo de toda la unidad, solo decrece en aquellas profundidades donde el aluminio aumenta.

Las concentraciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SO}_3$  y  $\text{TiO}_2$  son menor a 1%., sin embargo, este último es visiblemente un poco más abundante que los otros elementos, lo cual pudiera estar asociado a la presenta de minerales pesados ricos en titanio como el rutilo.

El  $\text{ZrO}_2$  presenta concentraciones entre 0.01y 0.15% con una ligera tendencia a aumentar hacia la base lo cual puede estar asociado a minerales como el circón. (Figura 4.18).

#### 4.3.1.2 Intervalo Mioceno temprano a medio

##### ➤ **Unidad química B (UQB)**

Comprende desde los 1719' hasta los 1629' se localiza hacia el centro de todo el intervalo de núcleo recuperado y pertenece a la base del Mioceno temprano a medio. Esta unidad se caracteriza por presentar un comportamiento en las concentraciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  más o menos homogéneo a lo largo de toda la unidad, con valores que van desde 5 a 23%. El potasio aumenta ligeramente en esta unidad química, presentando valores entre 0.5 y 1.30% que se mantienen más o menos estables a lo largo de toda la unidad, coincidiendo con los picos de aluminio lo que sugiere que el  $\text{K}_2\text{O}$  puede estar asociado a un mínimo contenido de ilita y a la presencia de feldespatos potásico. Contrario a los anteriores el  $\text{SiO}_2$  quien presenta concentraciones que van desde 49 hasta 93%, dichas concentraciones, disminuyen un poco con el aumento de aluminio.

En el mismo orden de ideas, las concentraciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_3$  y  $\text{CaO}$  se mantienen estables a lo largo de toda la unidad presentando valores entre 0.5 y 1.5% exceptuando la muestra 1716' que presenta valores un poco más altos lo que hace que la curva aumente un poco más a la derecha con respecto a todo el intervalo (Figura 4.23).

El  $\text{TiO}_2$  presenta valores muy bajos con respecto a otros elementos (no supera 0.5%), a diferencia de la unidad A donde los valores eran un poco

más altos, lo que pudiera estar asociado a la poca presencia de minerales pesados ricos en titanio como es el caso del rutilo, ilmenita y leucoxeno. En cuanto al circonio presenta cantidades casi nulas (0.01 y 0.02%) asociado posiblemente a la presencia de circón.

➤ **Unidad química C (UQc).**

Se localiza al centro del intervalo recuperado Mioceno temprano comprende desde 1610' hasta 1509', la unidad química C se caracteriza por presentar concentraciones de aluminio que se mantienen en constante aumento hacia el tope, con valores que van desde 6 a 33%; de igual manera  $K_2O$  aumenta hacia el tope con valores que van de 0.5 a 4.30% siguiendo la misma tendencia que el aluminio, esto pudiera estar asociado a un aumento de arcillas de tipo illita y minerales ricos en potasio como moscovita y feldespatos, lo cual puede comprobarse con estudios de difracción de rayos X. El  $TiO_2$  siguen la misma tendencia que el aluminio con valores que van de 0.07 a 0.70 %.

Por su parte  $Fe_2O_3$ ,  $SO_3$   $CaO$  presentan una ligera tendencia a aumentar hacia el tope; sin embargo, hacia la base de la unidad se presentan algunos picos atípicos que parecieran no tener relación con el  $Al_2O_3$ , más si entre ellos mismos lo que pudiera estar asociado no a las al tipo de arcilla presente sino más bien a minerales ricos en dichos elementos como es el caso de algunos granates, pirita entre otros; el caso más visible es el de la muestra 1585' donde el  $Fe_2O_3$  y el  $SO_3$  parecen tener una clara relación en algunos intervalos y posiblemente estén asociados a pirita.

En cuanto a las cantidades de  $ZrO_2$ , se presenta en muy bajas concentraciones con algunos picos que no superan los 0.11%. Contrario a  $K_2O$  y  $Al_2O_3$  las concentraciones de  $SiO_2$  disminuyen hacia el tope (60 y 95%).

➤ **Unidad química D (UQ<sub>D</sub>)**

La unidad D se encuentra hacia el tope del núcleo recuperado (1506 - 1400') se caracteriza por presentar concentraciones Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que van desde 6 a 17% con una ligera tendencia a aumentar hacia el tope, adicional a esto la muestra 1420' presenta un valor atípico de 31%. El K<sub>2</sub>O sigue el mismo patrón que el aluminio con valores que van de 0.50 a 1%.

De la misma manera que los elementos mencionados anteriormente, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub> CaO y TiO<sub>2</sub> poseen una muy ligera tendencia a aumentar hacia el tope a excepción de algunas muestras que presentan valores atípicos, como es el caso de 1420' (Figura 4.23).

El silicio posee una tendencia totalmente opuesta al aluminio, pero con valores que van desde 51 a 93%.

#### **4.3.2 Clasificación geoquímica según esquema de HERRON, 1988)**

**HERRON**, 1988 propuso un sistema de clasificación de areniscas y lutitas usando para ello los valores obtenidos de algunos elementos mayoritarios. Para ello el autor se fundamenta en la realización de un gráfico de las relaciones logarítmicas del SiO<sub>2</sub> / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> versus el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / K<sub>2</sub>O.

Tomando en consideración el estudio del autor antes mencionado y a partir de los datos obtenidos mediante FRX de 95 muestras seleccionadas en el intervalo recuperado Cretácico-Mioceno temprano a medio se obtuvo la figura 4.24.

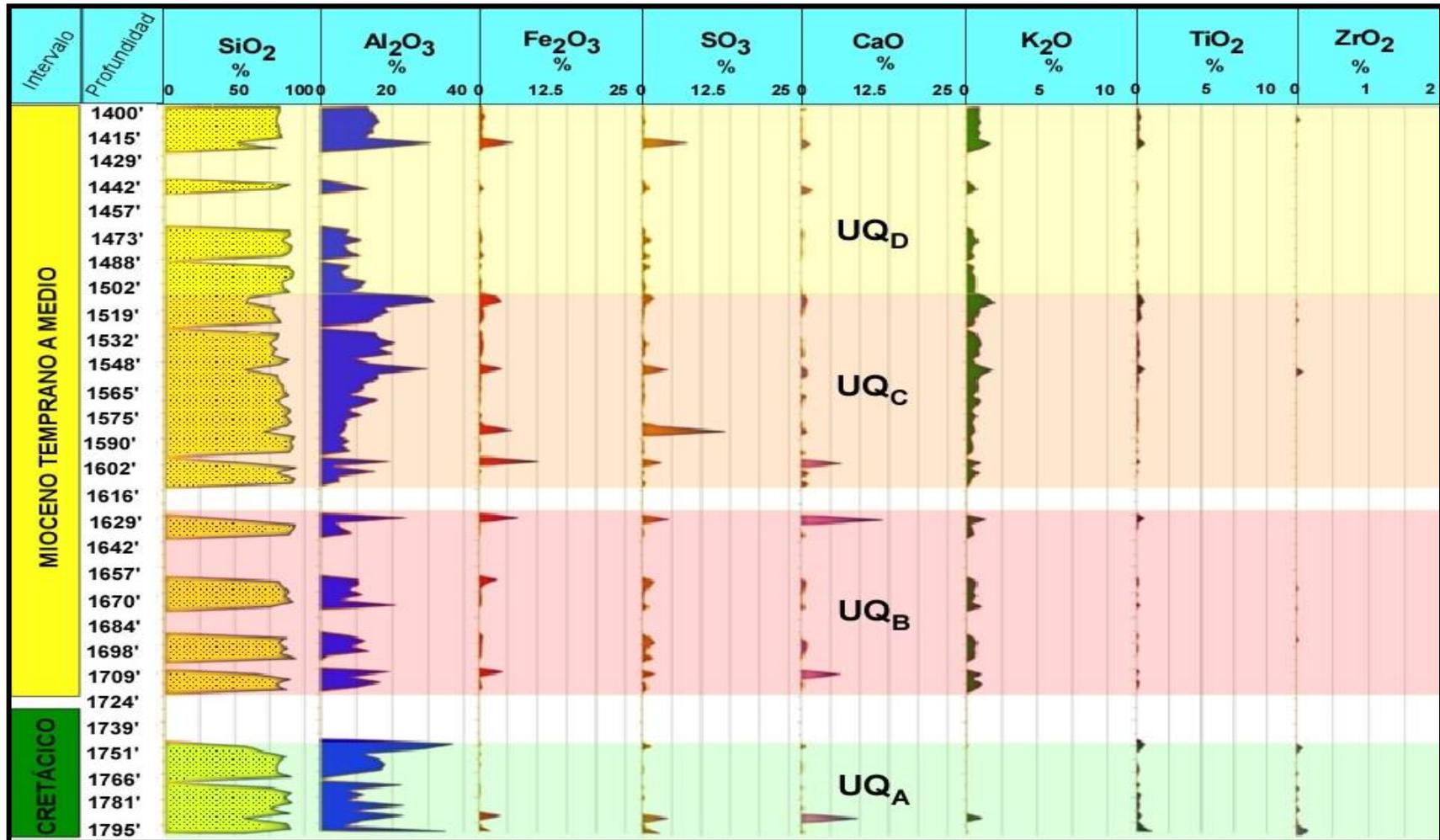


Figura 4.23: Perfiles químicos de concentración de elementos y definición de unidades químicas

En la figura 4.24 se pueden visualizar que en el intervalo Cretácico las rocas son mayormente arenas y lutitas ricas en hierro. Tomando en cuenta los perfiles de la figura 4.23 se puede afirmar que este resultado no quiere decir que necesariamente las rocas en este intervalo tienen alto contenido de hierro sino más bien que la cantidad de óxido de potasio es demasiado poco por lo que las muestras se visualizan casi todas entre las arenas y lutitas ricas en hierro.

Por otra parte, en el intervalo Mioceno temprano a medio la mayor parte de las muestras se concentran entre arcosas y litoarenitas, tomando también en consideración la figura 4.23 se puede decir que en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio pudiera existir mayor cantidad de feldespatos y fragmentos líticos que en el intervalo Cretácico. De igual manera en este intervalo también hay presencia de subarcosas, wackas y lutitas. (Figura 4.24).

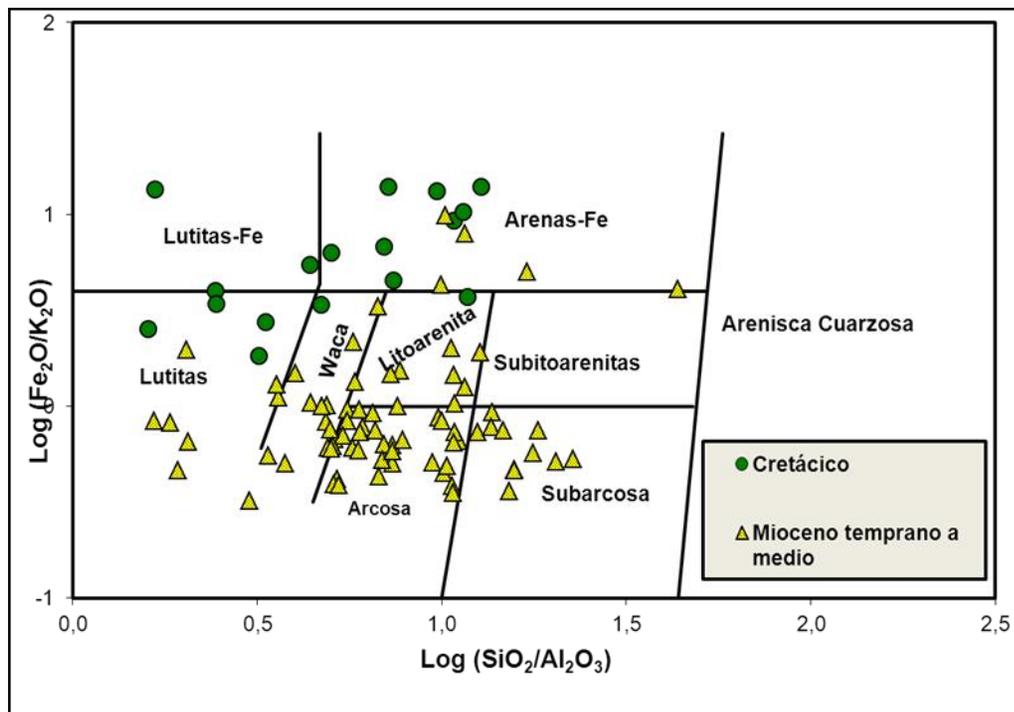


Figura 4.24 Clasificación de HERRON (1988) para lutitas y areniscas en el intervalo recuperado Cretácico-Mioceno temprano del pozo JU-222

### 4.3.3 Diagramas binarios entre elementos mayoritarios

Bathia 1986 realiza diagramas binarios entre los elementos mayoritarios con el fin de establecer grupos diferenciables químicamente. Tomando en consideración el trabajo del autor anteriormente mencionado se elaboraron los diagramas de la figura 4.25.

El diagrama A muestra  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  presentan correlación negativa casi perfecta, tanto para el intervalo recuperado Cretácico como para el Mioceno temprano a medio; es decir, a medida que aumenta uno disminuye el otro y viceversa, lo que puede estar relacionado directamente con la litología de cada intervalo, ya que en facies arenosas el contenido de silicio aumenta por su mayor presencia de cuarzo, caso contrario con el contenido de aluminio y en facies arcillosas ocurre exactamente lo opuesto debido a que los minerales de arcilla están compuestos principalmente por aluminio.

El diagrama B muestra la relación existente entre  $\text{SiO}_2$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , en este se pueden diferenciar dos grupos; el verde con las muestras del intervalo Cretácico quienes presentan muy poco contenido de potasio y alto contenido de silicio, lo que pudiera estar indicando una fuerte carencia en el contenido de feldespatos potásicos y arcillas de tipo illita. En el mismo diagrama se visualiza otro grupo de color amarillo correspondiente al Mioceno temprano en el cual  $\text{SiO}_2$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , presentan correlación negativa, por lo tanto, mientras aumenta el silicio disminuye el potasio y viceversa, lo que pudiera estar asociado al tipo de litología presente en la formación.

El diagrama C se muestra la relación  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , en él es evidente que las muestras del intervalo Cretácico son muy pobres en potasio mientras que ricas en el contenido de aluminio, lo que pudiera estar indicando el tipo de arcilla presente en el intervalo la carencia de illita y mayor abundancia de caolinita. Por su parte en el Mioceno temprano a medio estos dos elementos presentan correlación positiva casi perfecta lo cual podría estar indicando un

mayor contenido de ilita y/o presencia de minerales ricos en potasio como feldespatos y micas moscovita.

El diagrama D muestra la relación  $TiO_2$  y  $K_2O$  que permite establecer dos grupos. Uno verde para el intervalo Cretácico donde muestra muy poca relación entre estos elementos por lo cual, y tomando también en consideración el diagrama C uno podría inferir que el contenido de titanio presente en el intervalo responde más bien a la presencia de minerales ricos en este elemento como, por ejemplo, rutilo. Por su parte las muestras en color amarillo corresponden al intervalo Mioceno temprano, estas presentan correlación lineal entre los elementos, por ende, el aumento de uno lleva al aumento del otro, para este intervalo y tomando en consideración también el diagrama C, el contenido de titanio pudiera estar incluido en la estructura química de algunas arcillas como lo es ilita, aparte de la presencia de rutilo.

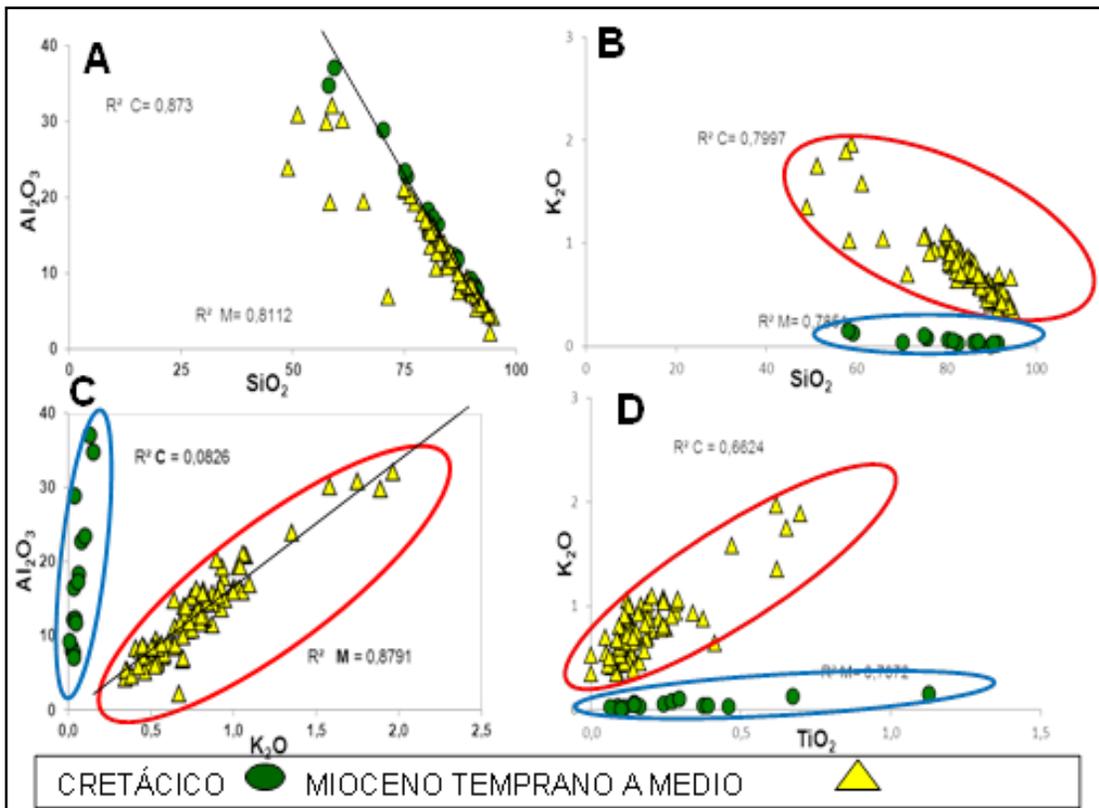


Figura 4.25 Diagramas binarios entre los elementos mayoritarios tomado y modificado de BATHIA 1986

#### 4.3.4 CARACTERIZACIÓN DE MINERALES PESADOS

En este capítulo se describen las principales características de cada uno de los minerales pesados (MP) que fueron identificados en el intervalo recuperado Cretácico-Mioceno temprano del núcleo JU-222, en la tabla 4.5 se muestran las profundidades donde se realizaron análisis y el tipo de análisis realizado para cada uno de ellos.

Se debe recordar que previo a esta caracterización cada muestra fue sometida a un proceso de tamizado para la extracción de la fracción menor (limo y Arcilla), separación por densidad (para la extracción de minerales livianos y pesados); y a la separación magnética para aislar los minerales en clases según su susceptibilidad magnética; en este último proceso la muestra se dividió en cuatro clases: clase A (minerales retenidos por el imán a 0.4 Amper); clase B (minerales retenidos a 0.8 Amper); clase C (minerales retenidos a 1.2 Amper) y clase D (minerales no retenidos en el imán o minerales diamagnéticos) en los casos donde la muestra era insuficiente solo se separó en las clases C y D. Es importante mencionar que minerales livianos como el cuarzo pueden ser arrastrados hacia el fondo con los MP debido a que pudiera presentar inclusiones de minerales pesados.

Conjuntamente se correlacionan los grupos mineralógicos de cada sección con los tipos de roca a los que están asociados y de esta manera poder dar una hipótesis sobre el área fuente.

#### 4.3.5 Identificación visual (*Picking*)

En este segmento del capítulo se describen las propiedades físicas más resaltantes, en los MP identificados mediante *picking* y las diferencias mineralógicas que puedan existir tanto en el intervalo Cretácico como en el Mioceno temprano a medio.

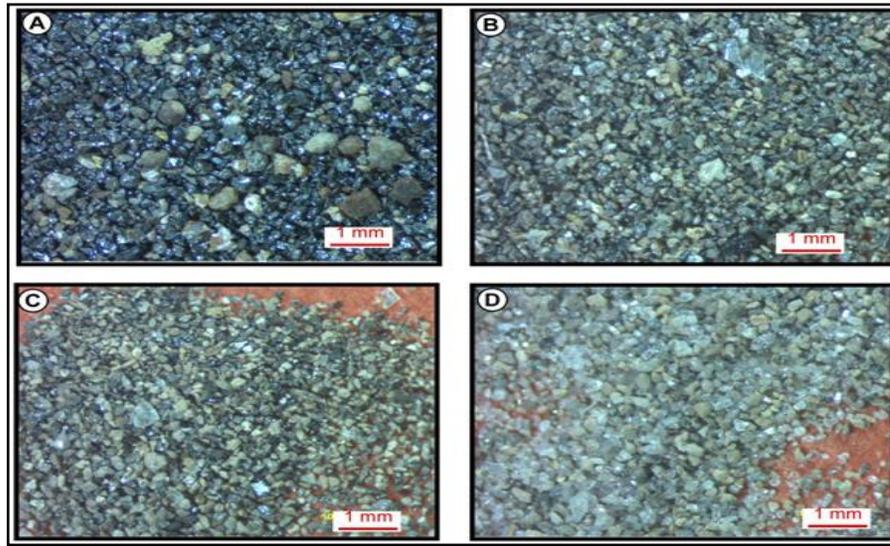
Tabla 4.5 Muestras seleccionadas para identificación de minerales pesados en el pozo JU-222

INTERVALO	PROF (Pies)	Picking	DRX	MEB
MIOCENO TEMPRANO-MEDIO	1403" 10	X	X	X
	1423.10	X		
	1442.10	X	X	X
	1482.7	X		
	1502.9	X	X	X
	1529.6	X		
	1535.6	X	X	X
	1542	X	X	
	1559	X	X	
	1582.11	X		
	1599	X	X	X
	1630	X		
	1664	X	X	X
	1670	X		
	1698	X		
CRETÁCICO	1716	X	X	X
	1760.8	X	X	
	1763.8	X		
	1769	X	X	X
	1781	X	X	X
1795	X	X	X	
Total muestras	21	21	13	10

Es importante mencionar que los minerales en las rocas sedimentarias experimentan procesos de meteorización y transporte que pueden modificar algunas de sus propiedades, tanto químicas como físicas, además se debe tomar en cuenta que algunos minerales son magnéticamente más susceptibles que otros y que adicional a ello pueden estar asociados genéticamente en grupos de minerales pesados según sea su roca de origen.

#### 4.4.1.1 Intervalo Cretácico

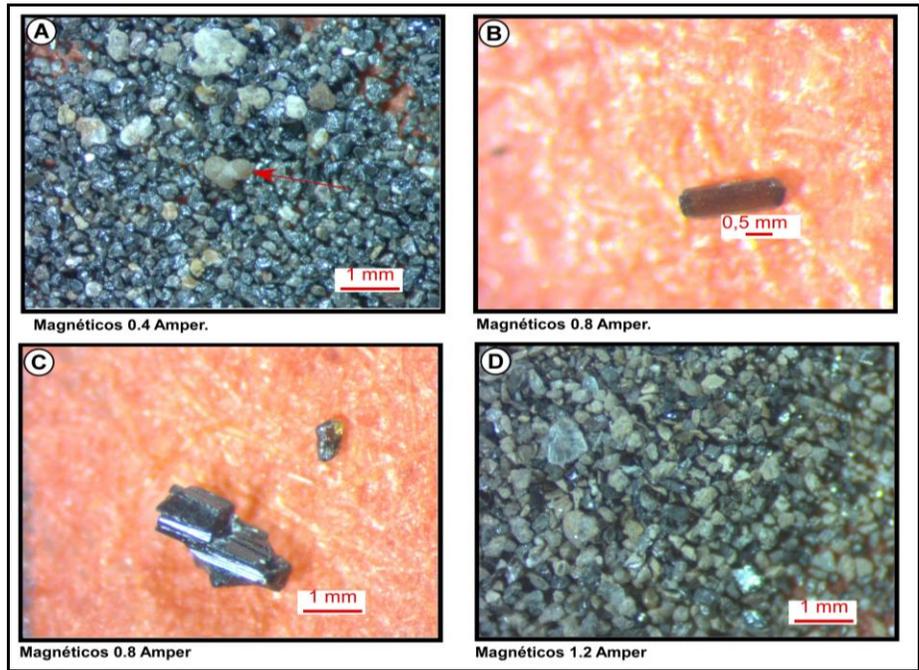
Los MP identificados en el intervalo Cretácico son mayormente sudredondeados, el alto grado de devastación no permite identificar su hábito cristalino. Las clases A y B presentan minerales de color oscuro (mayoritariamente), mientras que las clases C y D presentan minerales claros. (Figura 4.26).



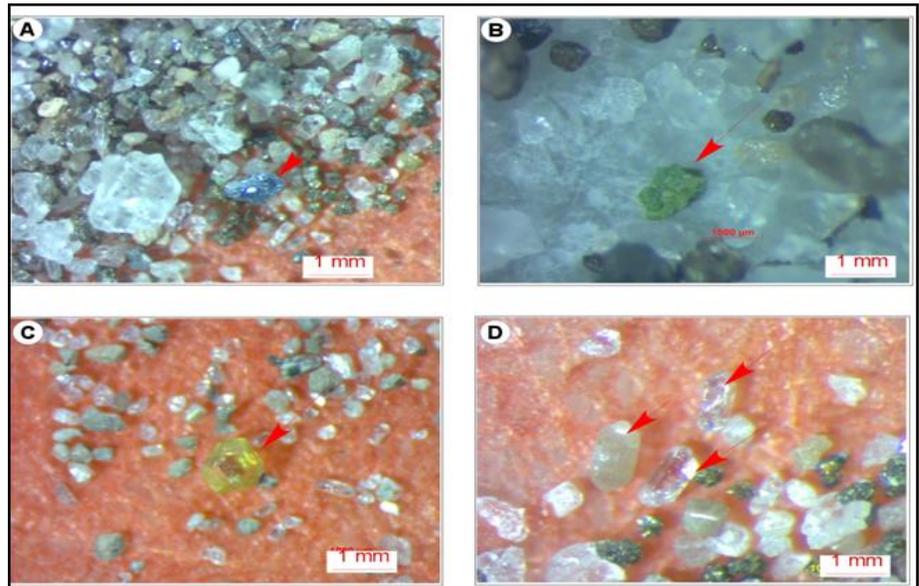
**Figura 4.26:** Vista general de los minerales pesados identificados en el intervalo recuperado Cretácico del pozo JU-222, según el grado de susceptibilidad magnética **(A)** 0.4 Amper, **(B)** 0.8 Amper, **(C)** 1.2 Amper, **(D)** diamagnéticos

En lo particular los minerales de colores oscuros fueron asociados principalmente a ilmenita, ilmenorutilo, rutilo y leucoxeno (Figura 4.27 A y C), óxidos de hierro (hematita goethita), en menor contenido turmalinas generalmente tipo chorlo y dravita o una mezcla de ambas (Figura 4.27 B).

Los minerales de coloración claro se asociaron a Circón (Figura 4.28 D), en trazas se observó un mineral de color azul y aspecto granular que fue asociado a azurita (Figura 4.28 A). Se ha de mencionar que en algunas muestras fue observado, un mineral verde agua de aspecto granular (Figura 4.28 B) que por su color se infiere que posee cobre, mas no fue identificado. Se encontró principalmente cuarzo con numerosas inclusiones posiblemente de rutilo y turmalina. Aunque en traza, pero de gran importancia, se identificó en la muestra 1769' un granate, de color amarillo, asociado posiblemente espesartina (Figura 4.28).



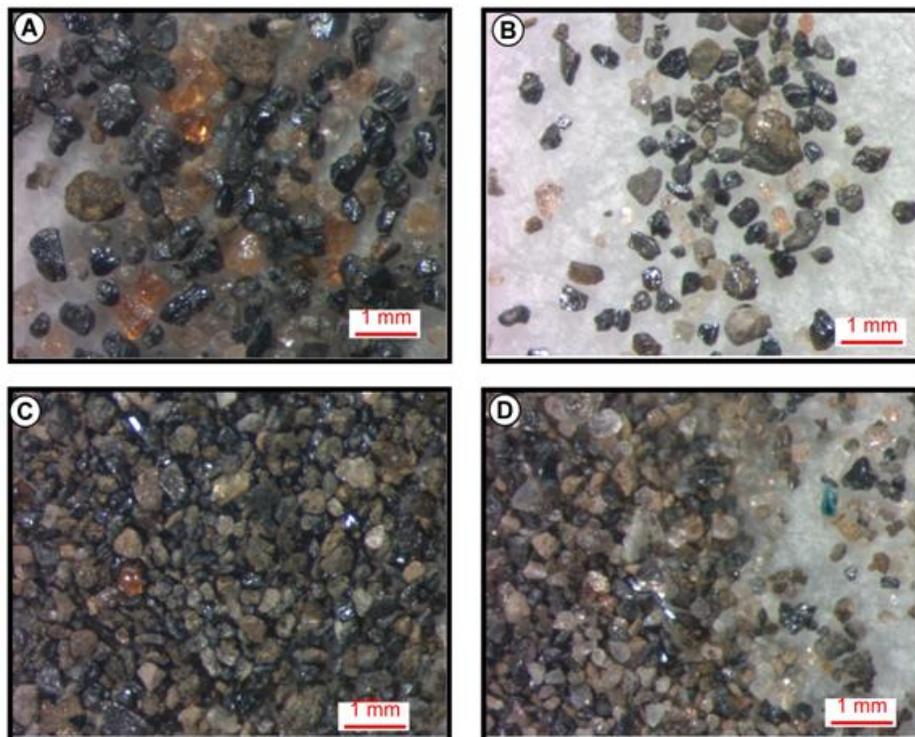
**Figura 4.27** Fotomicrografías de los minerales pesados identificados en el intervalo recuperado Cretácico del pozo JU-222. (A) esférulas (flecha roja) ilmeno-rutilos (minerales negros) @ 1769'; (B) turmalina @ 1795'; (C) rutilo @ 1769';(D) abundancia de minerales color marrón no identificados @ 1769'



**Figura 4.28** Fotomicrografías de los Minerales pesados no magnéticos, identificados en el intervalo recuperado Cretácico del pozo JU-222. (A) azurita 4X, @ 1795'; (B) mineral rico en cobre 8X @ 1781';(C) espersartina, 4X, @ 1769';(D) circón, 8X, @ 1795'.

## 4.4.1.2 Intervalo Mioceno temprano a medio

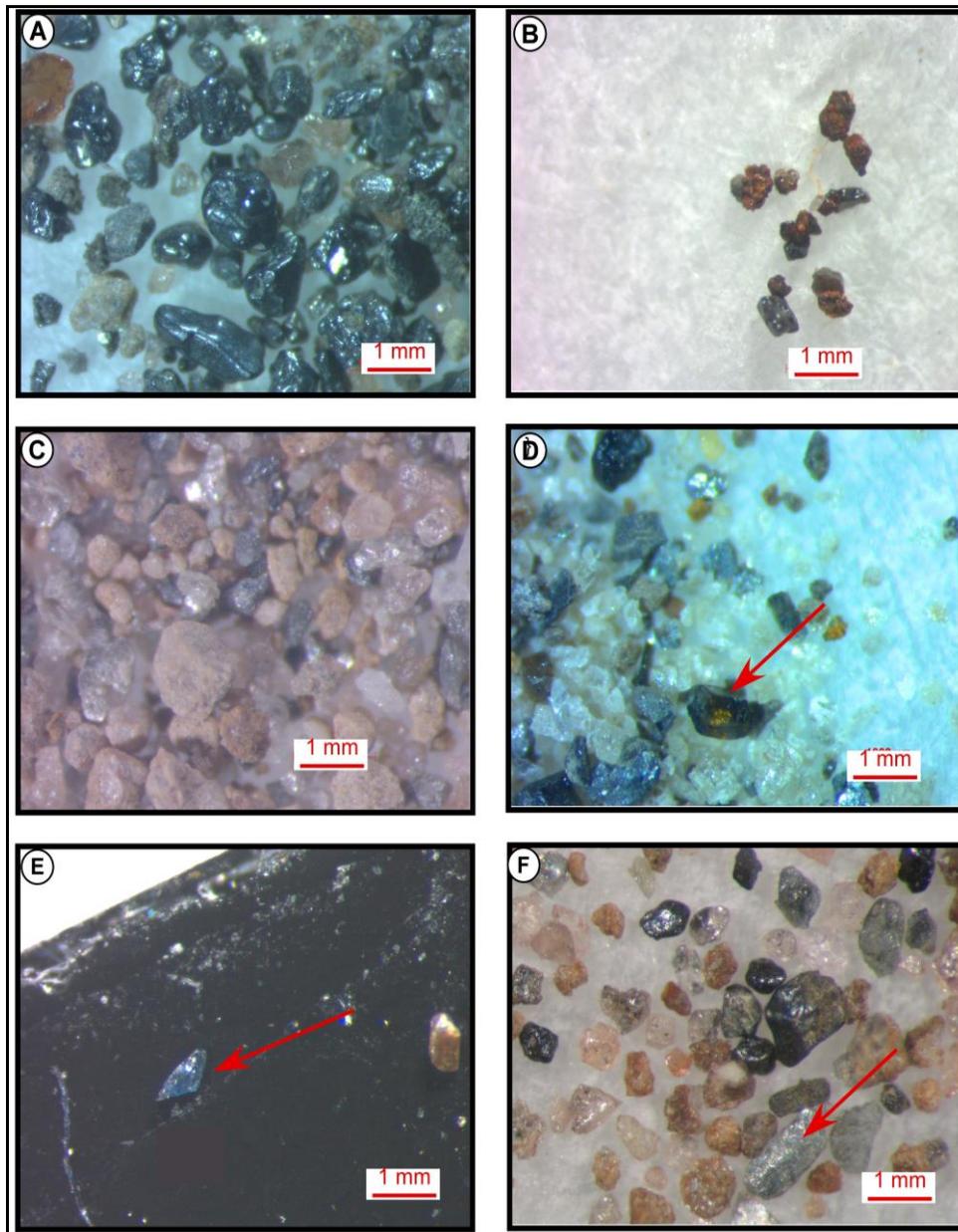
Los MP identificados en el intervalo Mioceno son mayormente sudredondeados, aunque en la mayoría de los mismos están muy devastados y no se puede identificar su hábito cristalino, hay casos puntuales donde sí se pudo tomar en consideración dicha propiedad. En todas las clases los MP son mayoritariamente de color oscuro, no obstante, a ello, la clase A, presenta minerales de color rojo que, aunque no superan visualmente el 20% de la muestra son claramente visibles. En la clase D presentan mayoritariamente minerales claros. (Figura 4.29).



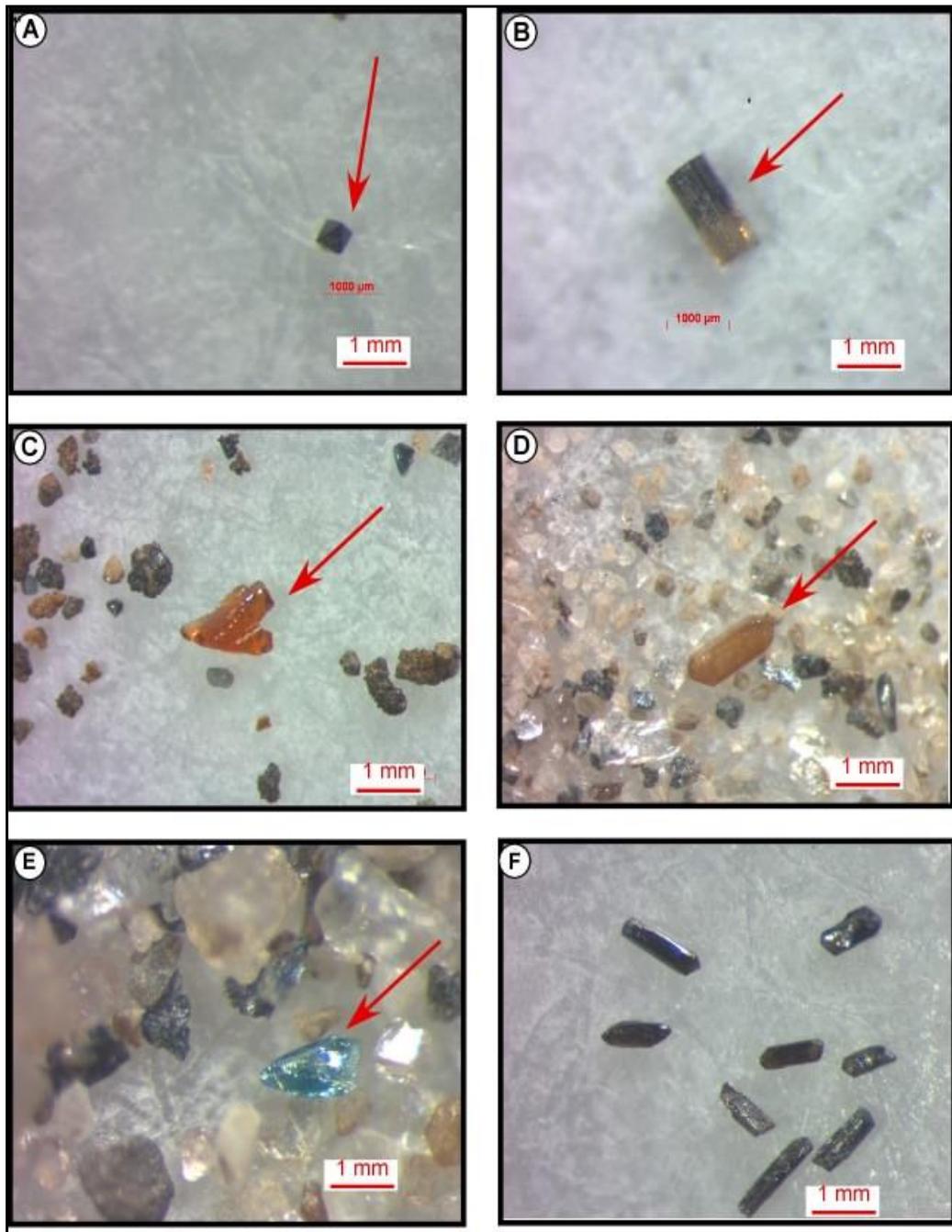
**Figura 4.29** Vista general de los minerales pesados identificados en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio del pozo JU-222, según el grado de susceptibilidad magnética (A) 0.4 Amper, (B) 0.8 Amper, (C) 1.2 Amper, (D) diamagnéticos

En las clases A, B y C se identificó mayoritariamente rutilos, ilmenorutilo (Figura 4.30 A), granates (Figura 4.31 C, 4.32 C), minerales de hierro como goethita y hematita (Figura 4.30 B y C); cromita bipirámide (Figura 4.31 A

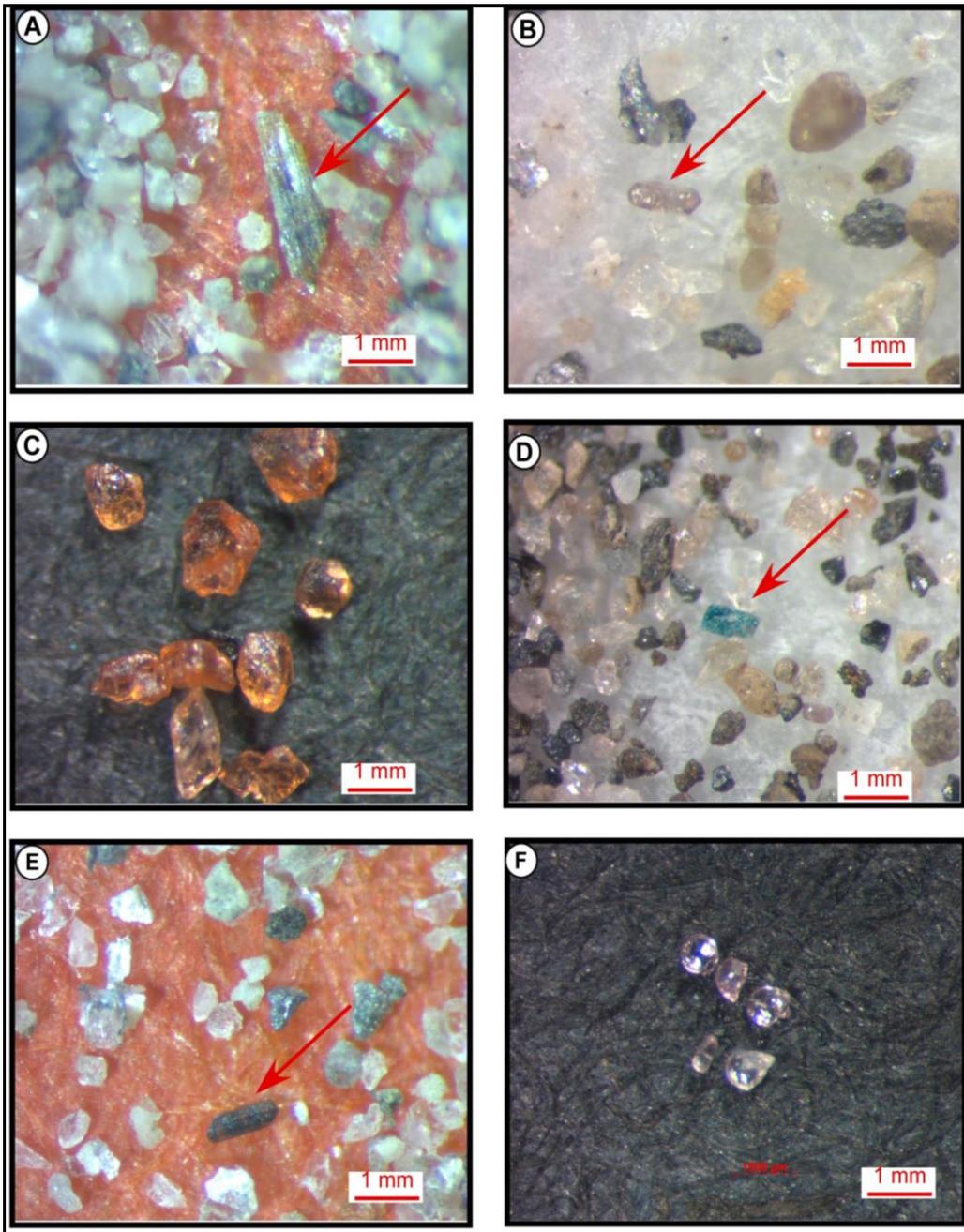
En la muestra 1502' una turmalina bicolor (Figura 4.31 B). En la a clase D se identificó circón (Figuras 4.31 D y 4.32 B y F), cuarzo, turmalinas (Figura 4.30 D), fragmentos líticos metamórficos (Figura 4.30 F y 4.32 'A), y cianita (Figura 4.30 E y 4.31 E y 4.32 D).



**Figura 4.30** Fotomicrografía de los minerales pesados identificados en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio del pozo JU-222, (A) ilmenorutilo 8X @ 1423'10"; (B) goethita 3.2X, @1630'; (C) siderita ,4X, @1403'; (D) turmalina 4.3X @1403'; (E) cianita, 5.2X, @ 1630'; (F) fragmento de roca metamórfica 6.5X, 1403'.



**Figura 4.31** Fotomicrografía de los minerales pesados identificados en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio del pozo JU-222, (A) cromita 8X @ 1502', (B) turmalina bicolor 8X, @ 1502'; (C) Posible espesartina, 3,2X, @ 1487''7'; (D) circón 4X @ 11487''7' (E) cianita 8X, @ 1535''; (F) rutilos 5X, 1535'



**Figura 4.32** Fotomicrografía de los minerales pesados identificados en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio del pozo JU-222, minerales diamagnéticos (A) fragmento de roca metamórfica 8X @ 1423'10"; (B) circón, 5X, @1664'; (C) granates, 6.3X, @1698'; (D) cianita 5.5X @1716'5"; (E) turmalina entre cuarzo, 6.3X, @ 1423'10";(F) circón rosado y redondeado 5.3X, 1664'

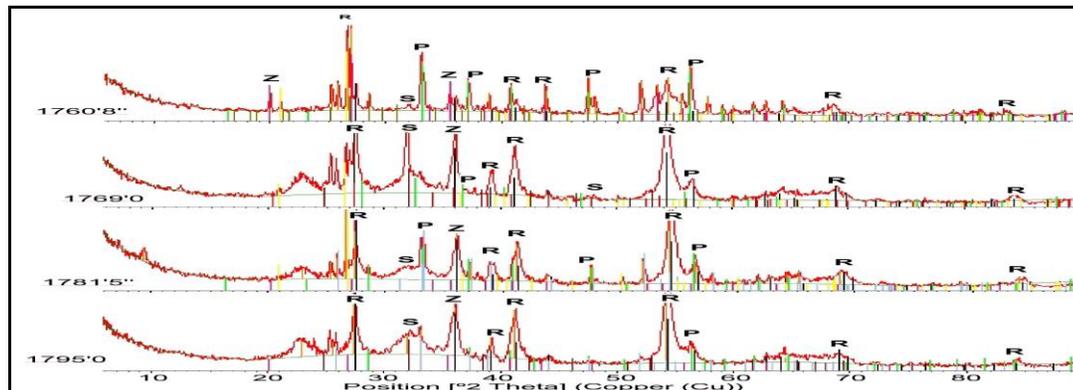
#### 4.4.2 Identificación de minerales pesados por Difracción de Rayos X (DRX)

En este segmento del capítulo se aplica técnica difracción de rayos X (DRX); la misma aporta toda la información referente a las propiedades cristalográficas de los minerales, permite además la identificación precisa de los minerales más abundantes en cada muestra.

En este estudio se analizaron 13 muestras (tabla 4.5) correspondientes a las clases A y B, de susceptibilidad magnética, esto con el fin de que algunos minerales como el cuarzo no creen interferencia durante la corrida de las muestras, ya que como se dijo anteriormente el cuarzo puede ser arrastrado al fondo con los M; las clases C y D presentaron un índice considerable de cuarzo.

##### 4.4.2.1 Minerales identificados en el intervalo Cretácico

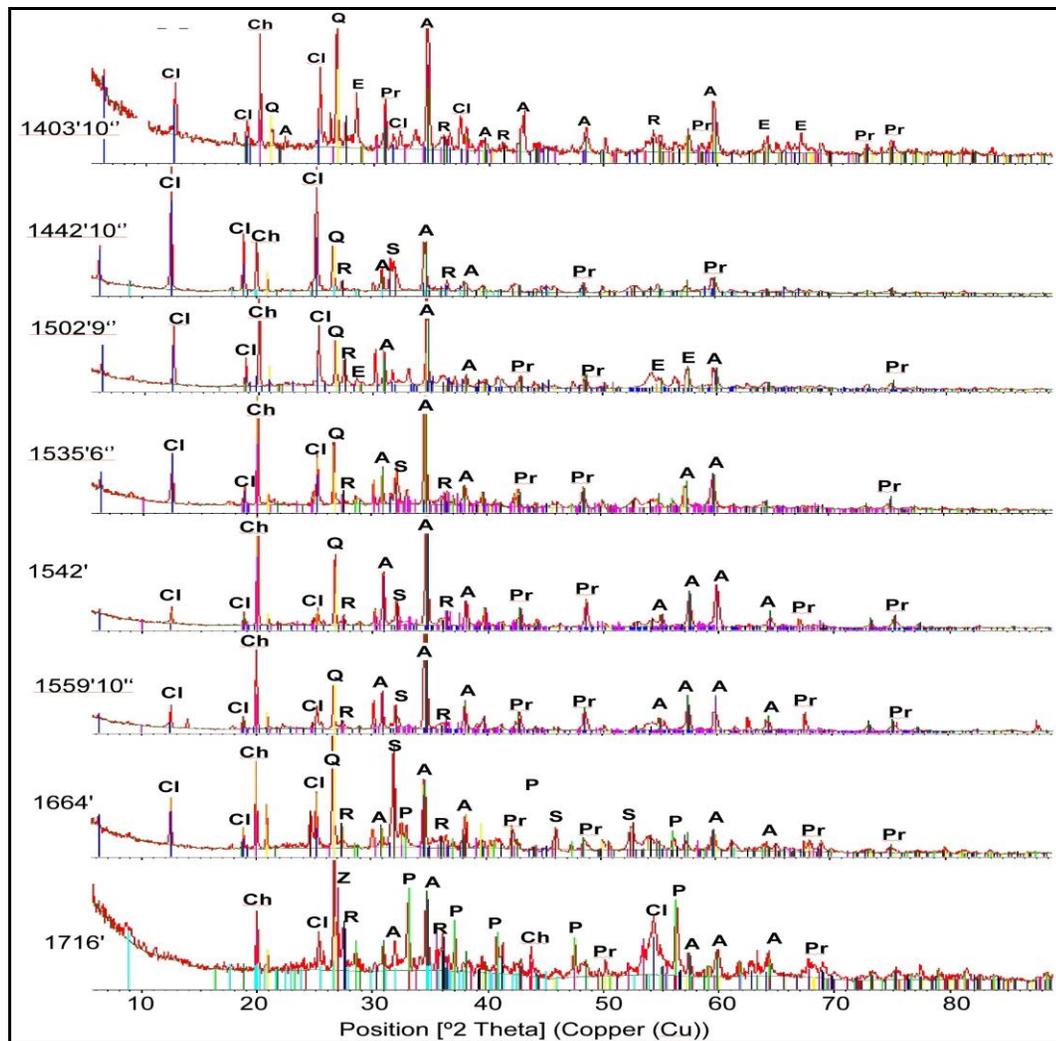
En la figura 4.33 se muestran los difractogramas de las muestras analizadas por DRX en el intervalo Cretácico, en las mismas se puede apreciar que los MP identificados de mayor a menor proporción en todas las muestras son rutilo (R:) circón (Z:), pirita (P) y siderita (S) en poca proporción.



**Figura 4.33** Difractogramas de la fracción pesada 0.4 y 0.8 Amper (clases A y B) de las muestras estudiadas en el intervalo recuperado Cretácico del pozo JU-222. Minerales pesados identificados: (R) rutilo, (Z) circón, (P) pirita, (S) siderita.

## 4.4.2.2 Intervalo Mioceno temprano a medio

En la figura 4.34 se muestran los difractogramas de las muestras analizadas por DRX en el intervalo Mioceno temprano a medio en las mismas se puede apreciar que los MP identificados mediante esta técnica fueron principalmente cloritoide, clinocloro (como minerales mayoritarios) granates de tipo almandino, piropo y espesartina; circón, cuarzo y rutilo principalmente, algunas muestras presentan además siderita y pirita.



**Figura 4.34** Difractogramas de la fracción pesada 0.4 y 0.8 Amper (clases A y B) de las muestras estudiadas en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio del pozo JU-222. Minerales pesados identificados: **(A)** almandino, **(Pr)** piropo, **(E)** espesartina, **(Cl)** clinocloro, **(Ch)** cloritoide **(R)** rutilo, **(Z)** circón, **(P)** pirita, **(S)** siderita **(Q)** cuarzo

#### 4.4.2.3 Correlación entre minerales pesados identificados por DRX entre las unidades estratigráficas Cretácico-Mioceno temprano a medio

En la figura 4.35 se puede apreciar que los minerales encontrados en el Cretácico son minerales de grupo ultra estable tipo circón y rutilo (típicos de rocas ígneas), pirita y siderita en menor proporción. Estos resultados hacen pensar que probablemente, buena parte de los minerales identificados como ilmenita en el *picking* corresponden probablemente a rutilos, guardando así una buena correlación en los resultados de ambas técnicas para este intervalo.

Por su parte el intervalo Mioceno temprano a medio contiene tres tipos de granates, mayoritariamente almandino o granate de Fe y piropo o granate de Mg, típicos de rocas metamórficas; algunas muestras presentaron además espesartita que es un granate de Mn, que puede ser encontrado en pegmatitas. En el mismo orden de ideas se identificó abundante clinocloro y cloritoide (asociados a metamorfismo regional), además de otros minerales típicos de rocas ígneas como el circón y el rutilo.

El cuarzo por su parte se presenta en la fracción pesada en pocas cantidades, aunque este un mineral liviano, su presencia se debe a que el mismo puede tener inclusiones de minerales pesados y por ello cae al fondo con los MP y fue identificado por medio de DRX; en algunas muestras del intervalo Mioceno temprano medio también se identificó en menos cantidad pirita y siderita.

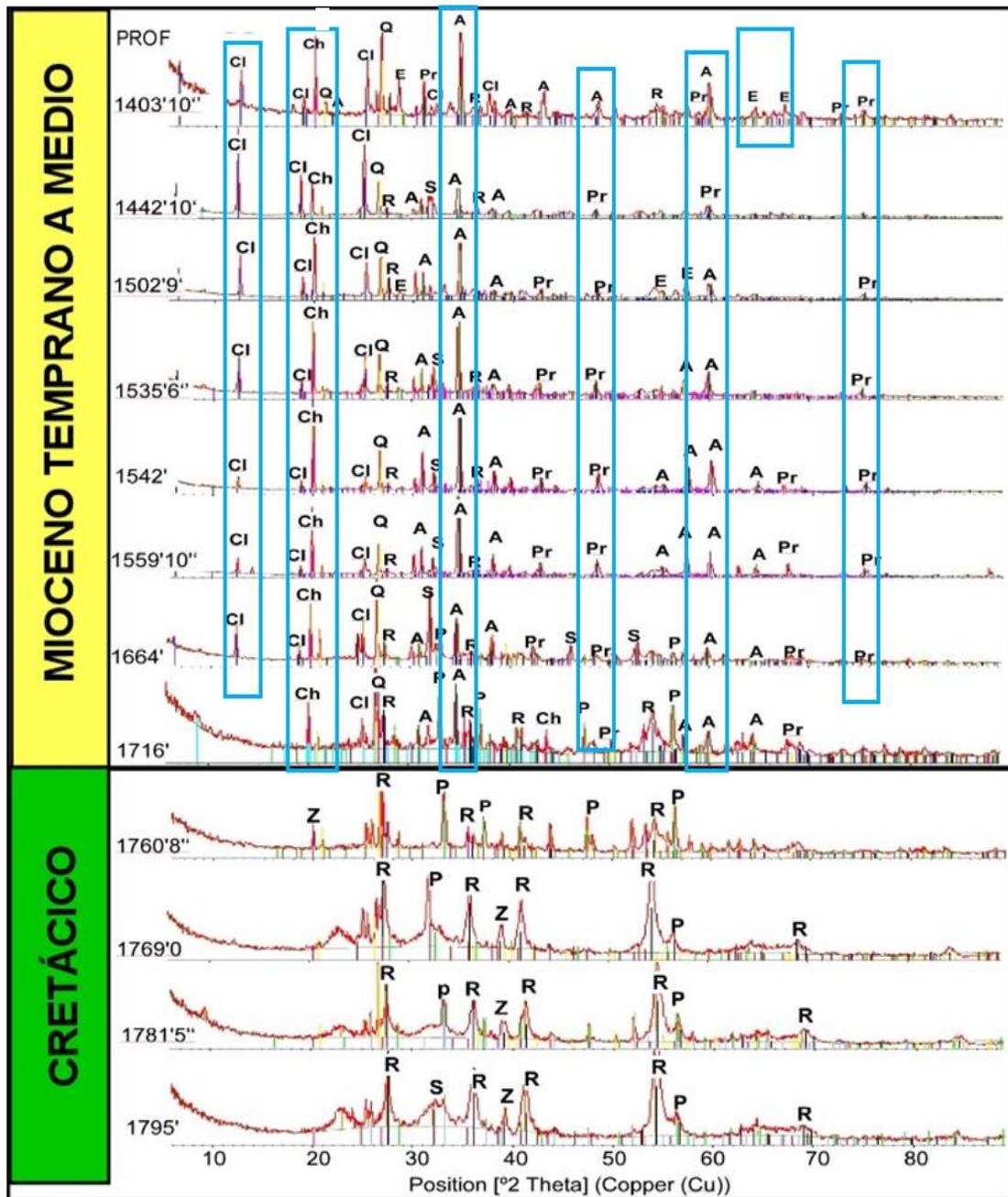


Figura 4.35 Difractogramas de la fracción pesada 0.4 y 0.8 Amper de las muestras estudiadas en el intervalo recuperado Cretácico y Mioceno temprano a medio del pozo JU-222. Minerales pesados identificados: (A) almandino, (Pr) piropo, (E) espesartina, (Cl) clinocloro, (Ch) cloritoide (R) rutilo, (Z) circón, (P) pirita, (S) siderita (Q) cuarzo

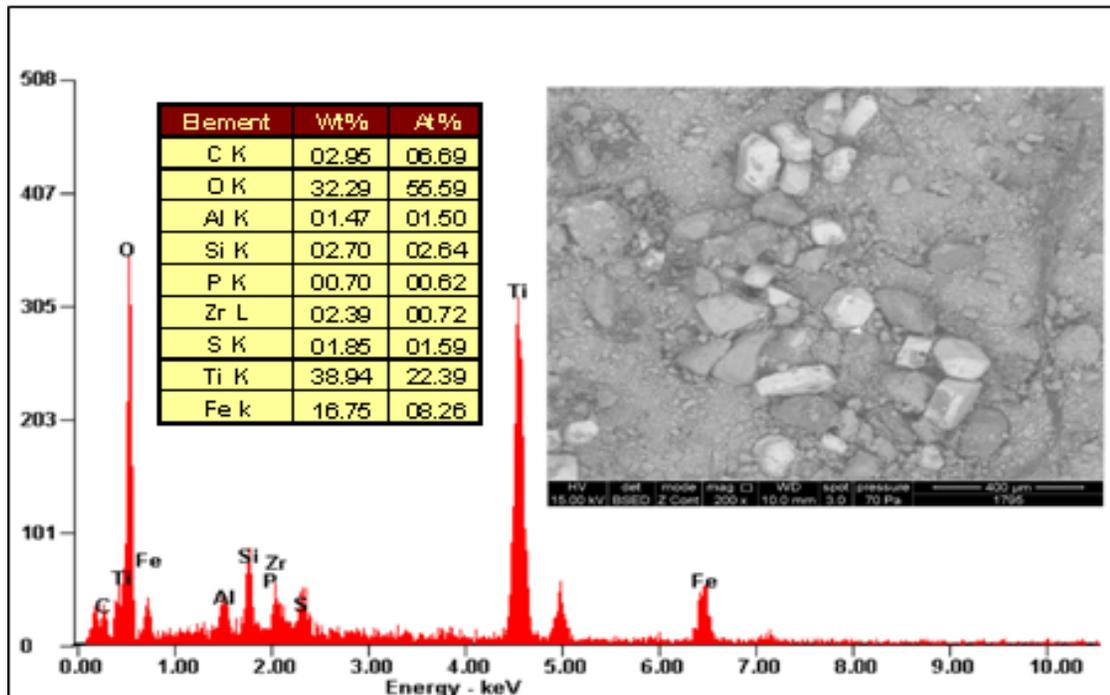
#### 4.4.3 Análisis de minerales pesados por Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

En este segmento se identificaron Minerales Pesados usando Microscopia Electrónica de Barrido (MEB). Esta técnica facilita el estudio morfológico de los MP; asimismo puede se puede conocer la composición química de cada mineral tomando en cuenta las restricciones que presenta la técnica (leer marco teórico). Para este análisis se consideraron un total de 10 muestras, las mismas se derivan de las muestras pulverizadas para DRX y otras pocas resultantes de la selección del *picking*.

Esta identificación de MP se realizó usando las herramientas *Retrodispersados backscattered electrons* (BSE) *Secondary Electrons* (SE) para ver morfología y contraste de elementos químicos y *Electrons or X-ray fluorescence* (EDS) puntual en cristales y generalizado, para determinar la composición elemental que posee la muestra.

##### 4.4.3.1 Intervalo Cretácico

En el Cretácico las muestras de MP está constituida mayoritariamente por titanio, hierro y oxígeno lo que es razonable teniendo en cuenta que en este intervalo el MP más abundante es el rutilo ( $\text{TiO}_2$ ), por su parte también presenta en menor proporción circonio relacionado con el circón ( $\text{ZrSiO}_4$ ), azufre relacionado con el contenido de pirita, aluminio que pudiera estar relacionado con las turmalinas y en menor proporción fósforo asumiendo que este último está relacionado con la monacita y otros fosfatos (Figura 4.36).



**Figura 4.36** Vista general de la muestra 1795' del intervalo recuperado Cretácico y su composición elemental generalizada.

Los minerales pesados identificados en el intervalo recuperado Cretácico por medio de MEB son circón (Figura 4.17 A y C), rutilo (Figura 4.37 B) y xenotima (Figura 4.37 D) en cuanto a la morfología de los cristales se puede decir que, aunque se encuentran muy devastados, algunos de ellos mantienen su hábito cristalino, tal es el caso del circón.

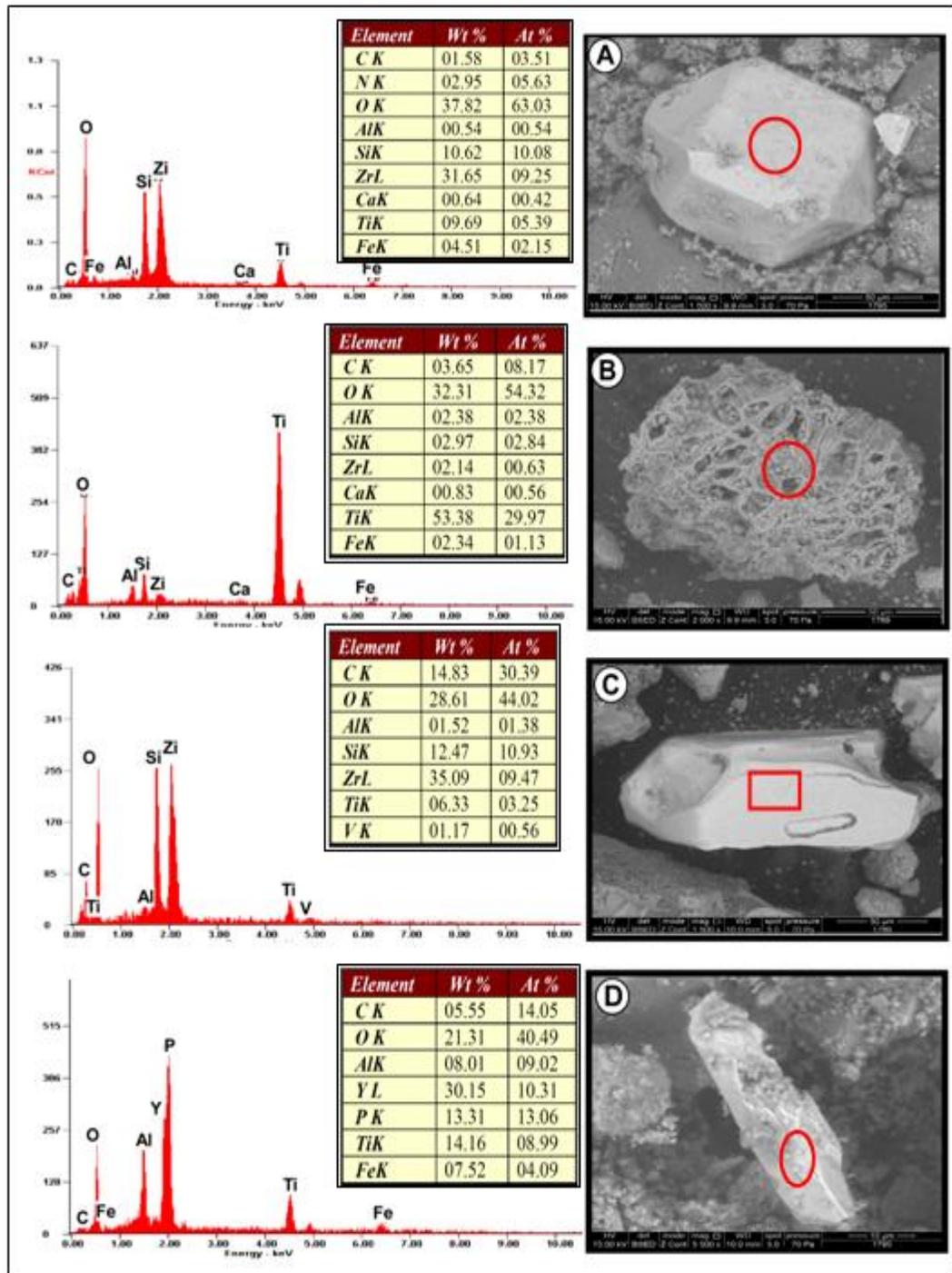
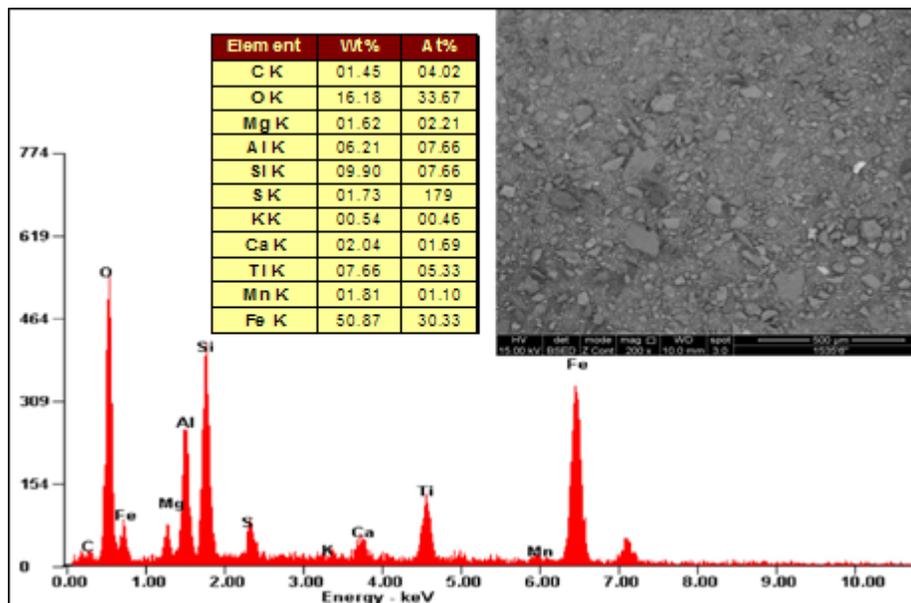


Figura 4.37 Minerales pesados identificados en el intervalo Cretácico mediante MEB (A) circón @ 1795'; (B) rutilo @ 1769'; (C) circón @ 1769' (D) xenotima @ 1795'

## 4.4.3.2 Intervalo Mioceno de temprano a medio

En el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio las muestras de MP están constituidas mayoritariamente por hierro lo que pudiera estar racionado con minerales como clinocloro, cloritoide y almandino (identificados mediante DRX) que son ricos en este elemento, silicio, titanio asociado a rutilo, aluminio. En menor cantidad presenta calcio, manganeso, magnesio; azufre y potasio estos elementos pueden estar asociados a los granates presentes en el intervalo. (Figura 4.38).



**Figura 4.38** Vista general de la muestra 1535' del intervalo recuperado Mioceno temprano a medio y su composición elemental generalizada

Los minerales identificados en el intervalo Mioceno temprano a medio, son cromita (Figura 4.39 A), circón prismático (Figura 4.39 B), circón redondeado posiblemente metamórfico (Figura 4.41 C) turmalina (Figura 4.39 A y 4.41 D), granates (Figura 4.39 D y 4.40 A y B y 4.41 B), ilmenorutilo 4.40 D), monacita (Figura 4.41 A). Algunos cristales están muy erosionados por lo que se pueden visualizar redondeados, sin embargo, la mayoría mantienen su hábito cristalino.

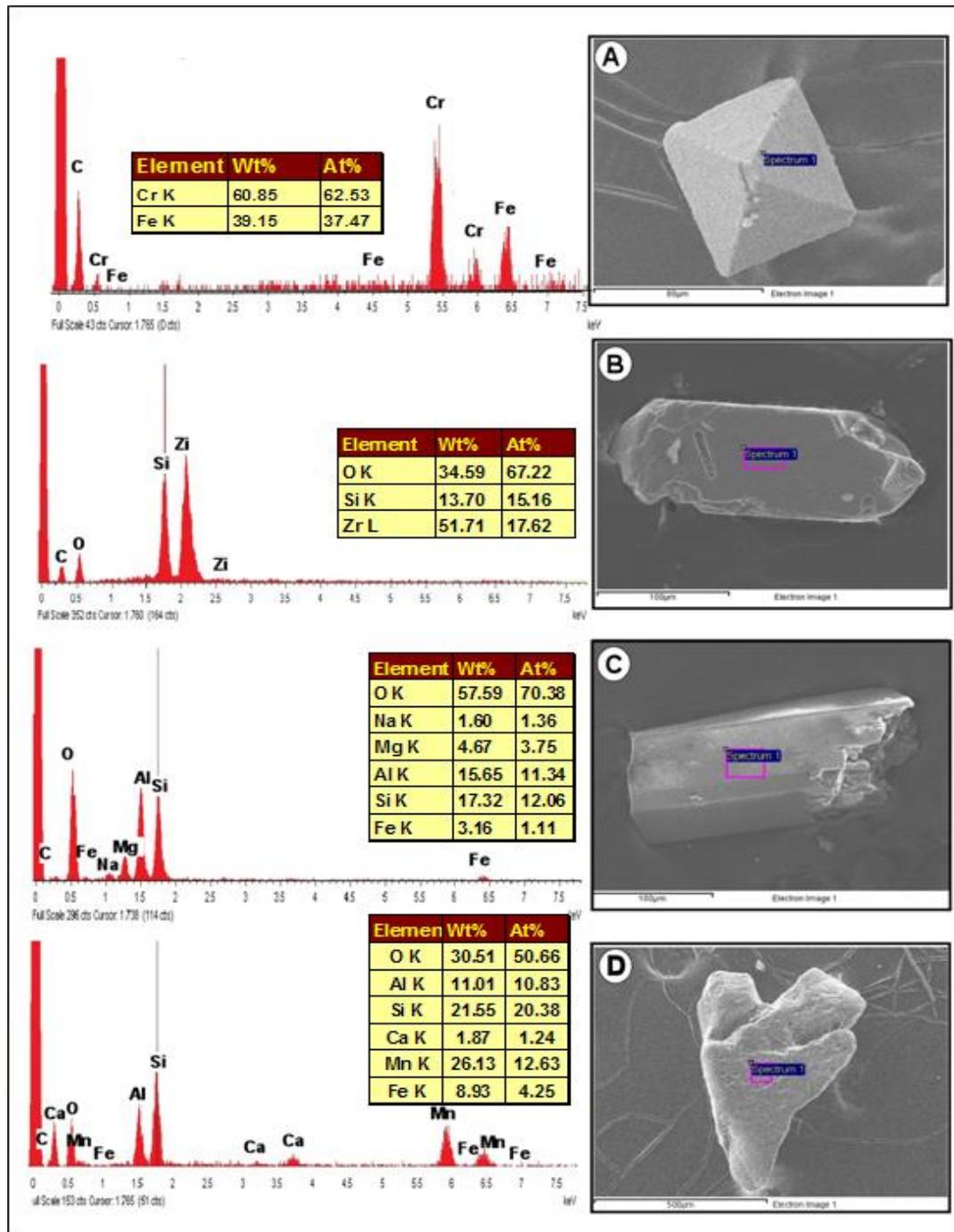


Figura 4.39 Minerales pesados identificados en el intervalo Mioceno temprano a medio mediante MEB: (A) cromita @ 1502'. (B) circón @ 1403. (C) turmalina @ 1403.' (D) espesartina @ 1482'

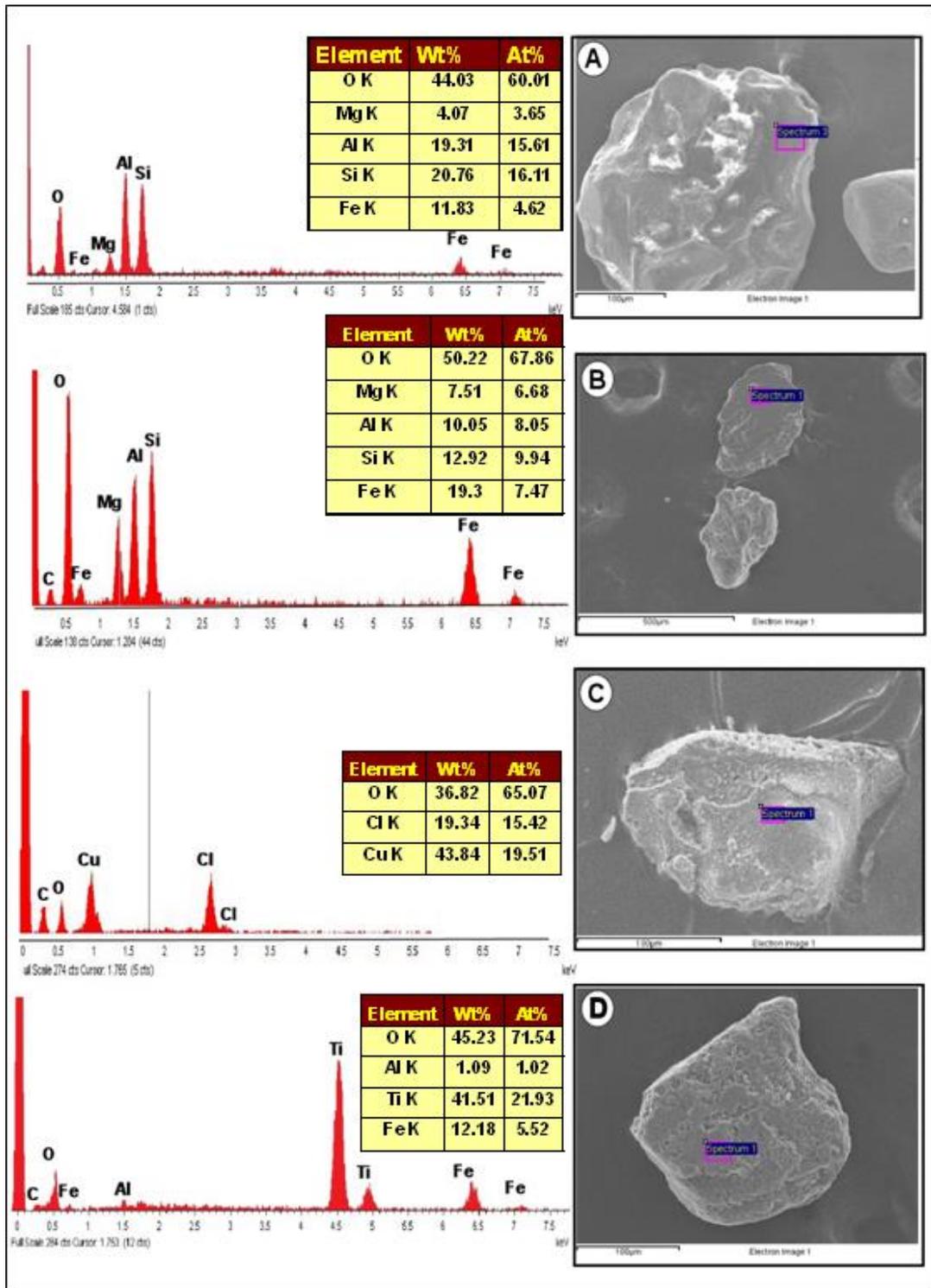


Figura 4.40 Minerales pesados identificados en el intervalo Mioceno temprano a medio mediante MEB: (A) y (B) granate almandino @ 1403'; (C) mineral de cobre @ 1482' (D) ilmenorutilo @ 1403'

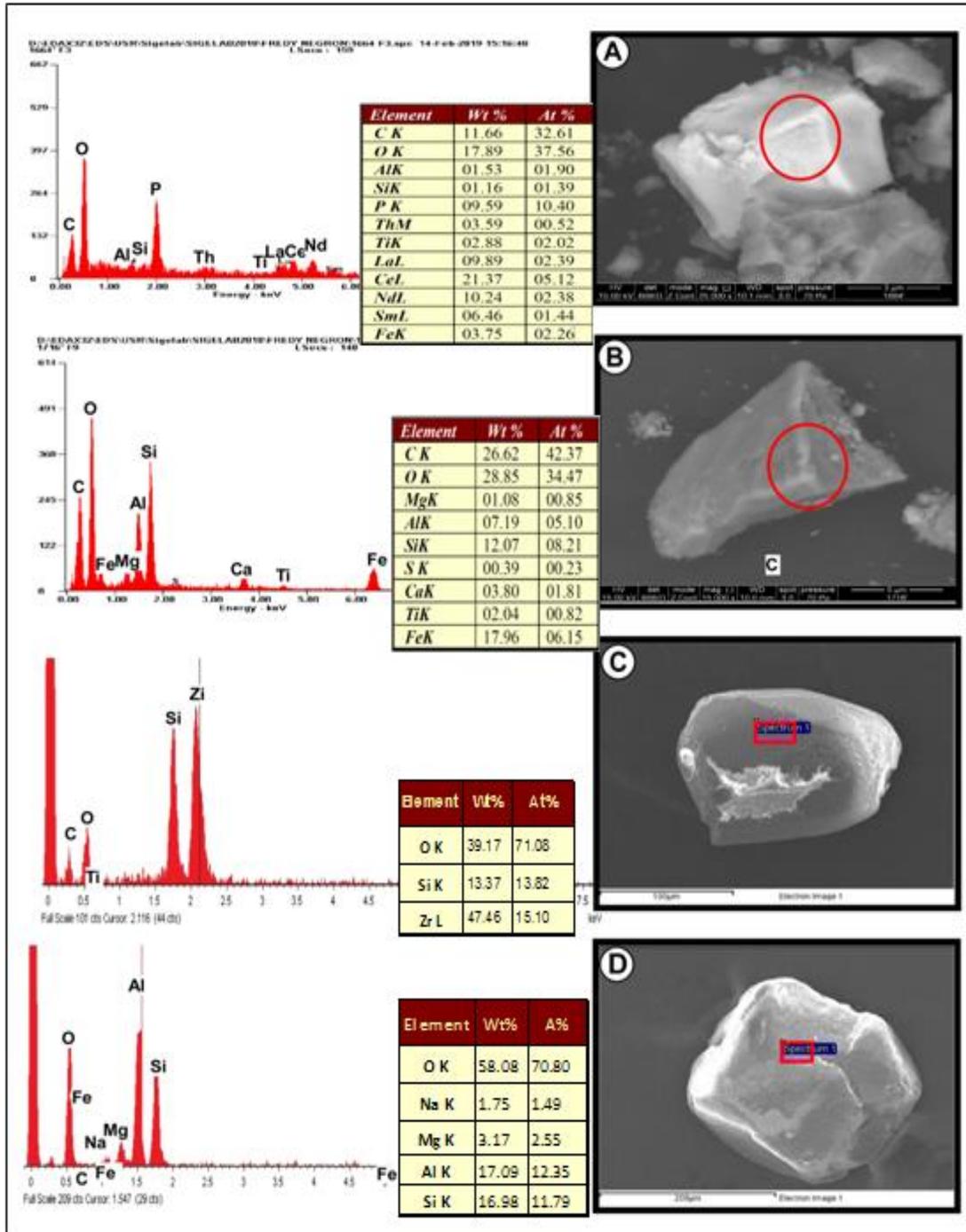


Figura 4.41 Minerales pesados identificados en el intervalo Mioceno temprano a medio mediante MEB: (A) monacita @ 1664' (B) almandino @ 1716'; (C) circón redondeado @ 1403' (D) turmalina redondeada @ 1403'

#### 4.4.4 Correlación entre minerales pesados identificados por Picking, DRX y MEB entre las unidades estratigráficas Cretácico y Mioceno temprano a medio del pozo JU-222 y su posible fuente de aporte

Para correlacionar los minerales identificados a partir de las tres técnicas utilizadas se elaboró la tabla 4.6, en la misma se exponen los minerales identificados mediante la identificación visual, DRX y MEB, además del tipo de roca origen y el complejo y/o formación de donde de donde posiblemente fueron erosionados.

En el intervalo recuperado Cretácico fueron identificados mediante las tres técnicas los minerales típicos de conjunto azul de **HEDBERG** (1945), como circón, turmalina y rutilo (ZTR), adicionalmente se identificaron: piritita y siderita; mediante MEB se encontró también monacita y xenotima. Las rocas que dan origen a este tipo de conjuntos minerales son las rocas ígneas ácidas generalmente granitos y pegmatitas; aunque pudieran faltar algunas especies minerales que debido a su poca resistencia fueron erosionados; el grupo de minerales ZTR también pueden estar en la cuenca producto del retrabado de rocas sedimentarias precretácicas.

Por su parte en el intervalo Mioceno temprano a medio se identificaron mediante las tres técnicas los conjuntos: azul (ZTR), rojo (cloritoide, clinocloro y granates) y cianita del conjunto amarillo de **HEDBERG** (1945), además se identificaron cromita y monacita, aparte de algunos minerales ricos en cobre posiblemente formados in situ.

Los granates identificados mediante DRX y MEB son generalmente almandino y piropo. Las rocas que dan origen a los minerales del conjunto rojo son rocas que han sufrido metamorfismo regional al igual que la cianita. La cromita por su parte es proveniente de rocas ígneas máficas y ultramáficas.

Tomando en consideración los resultados obtenidos en este objetivo y tomando en consideración los MP que fueron identificados mediante el análisis petrográfico se puede inferir que los minerales pesados del intervalo Mioceno temprano a medio presentan una roca fuente adicional a la existente en el Cretácico.

**Tabla 4.6** Correlación de los minerales pesados identificados mediante *Picking*, DRX y MEB en los intervalos sedimentarios Cretácico y Mioceno temprano a medio. Del pozo JU-222

Intervalo	Técnica utilizada			Conjunto mineralógico según HEDBERG (1945),	Posible Roca origen
	<i>Picking</i>	DRX	MEB		
Mioceno temprano a medio	Granates (almandinos, piropos y espesartinas) circón, rutilo, pirita, turmalinas, cianita, fragmentos de roca metamórfica	Almandino, piropo, espesartina, cloritoide, clinocloro, circón, pirita, siderita, rutilo	Cromita, monacita, rutilo, almandino, espesartina, ilmenorutilo, turmalinas	Azul Rojo Amarillo	Rocas ígneas acidas  Rocas metamórficas
Cretácico	Minerales negros (Ilmenitas, rutilo e ilmenorutilo), turmalinas, leucoxeno, óxidos de hierro, circón, cuarzo granate(espesartina), siderita y pirita	Rutilo, circón, pirita y siderita cuarzo	Circón, rutilo, xenotime	Azul	Rocas ígneas acidas Rocas sedimentarias

## 4.5 ANALISIS DE PROCEDENCIA

Para el análisis de procedencia de los sedimentos depositados en el intervalo recuperado Cretácico-Mioceno temprano a medio del pozo JU-222 se tomaron como base los trabajos realizados por **DICKINSON & SUCZEK** (1979), en los cuales se utilizaron diagramas ternarios para establecer relaciones entre el emplazamiento tectónico de las áreas fuentes y la composición mineralógica de las areniscas especialmente cuarzo total (QT), cuarzo monocristalino (QM), cuarzo policristalino (QP), fragmentos líticos totales(L), fragmentos líticos ígneos (Li), fragmentos líticos metamórficos (Lm), fragmentos líticos sedimentarios (Ls) y feldespatos totales (F). Si bien es posible usar los estudios petrográficos como una herramienta para caracterizar el área fuente y analizar la dinámica y la evolución del sedimento, también es importante saber que este último no solo es influenciado por la naturaleza del área de aporte sino que también por la interacción de otros factores como el clima, el agente que lo transporta (río, viento, hielo, otro) distancia de transporte, la tectónica, la subsidencia de la cuenca y los procesos diagenéticos (**RAIGEMBORN** 2007).

Este estudio se realiza con la finalidad de interpretar la historia de los sedimentos presentes en el intervalo recuperado en los pozos antes mencionados, infiriendo a partir de diagramas triangulares las características del área fuente, tomando como base las características composicionales evaluadas en petrografía. Para ello se plotearon los resultados en dos diagramas ternarios: A) QT/F/L y B) QM/F/L.

### 4.5.1 Áreas de aporte sedimentario en el pozo ju-222

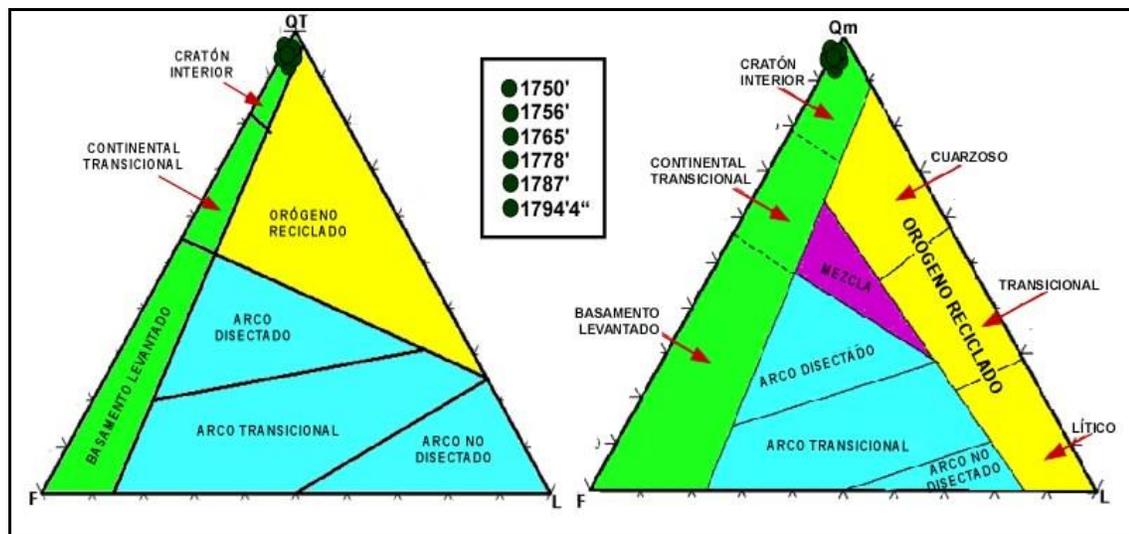
#### 4.5.1.1 Intervalo Cretácico

A partir de los resultados obtenidos de estudios petrográficos y ploteados en el diagrama triangular de la figura 4.42 A y B, es posible

evidenciar que el 100% de las muestras seleccionadas para el intervalo Cretácico presentan una procedencia de cratón interior ya que presenta alto contenido de cuarzo, mayormente monocristalino, bajo contenido de feldespatos el contenido de fragmentos líticos no supera el 1% y mayormente de tipo Ígneo.

Como lo plantea **PARNAUD et al (1995)** este periodo llamado también margen pasivo se caracterizó por presentar eventos transgresivos de norte a sur como consecuencia a ello se produjeron largos periodos erosivos por avance y retrocesos de las aguas, lo que ocasiono cambios en la naturaleza del sedimento que estaba siendo depositado y que era procedente de un área del cratón de Guayana expuesta en ese periodo.

Es por ello que los sedimentos pertenecientes al intervalo Cretácico que están siendo objeto de estudio en esta investigación son ricos en cuarzo y otros minerales resistentes a la erosión teniendo una procedencia de un cratón interior estable.



**Figura 4.42** A) Diagrama QtFLt y B) Diagrama QmFLt; ambos de discriminación del ambiente tectónico en el área de aporte en el intervalo recuperado Cretácico del pozo JU-222, tomado de **DICKINSON et al. (1983)**.

4.5.1.2 Intervalo Mioceno temprano a medio.

En el Mioceno temprano fueron seleccionadas 11 muestras para estudios petrográficos cuyos resultados fueron ploteados y de los cuales se obtuvieron los diagramas ternarios A y B de la figura 4.43; en el diagrama A se puede apreciar que cuatro de las muestras proceden de cratón interior mientras que 7 de ellas proceden de orògeno reciclado, mientras que en el diagrama B muestra que solo tres proceden de un orògeno reciclado, la diferencia entre las figuras A y B evidencian un leve aumento de cuarzo policristalino en el intervalo Mioceno temprano a medio, ya que al no tomarlo en cuenta en la figura B pareciera que las muestras procedieran de un cratón interior.

Estas muestras se caracterizan por presentar cuarzo monocristalino hasta 85% y hasta 10% de cuarzo policristalino, están presentes en menor cantidad microclino y plagioclasas, los fragmentos líticos ígneos sedimentarios y metamórficos.

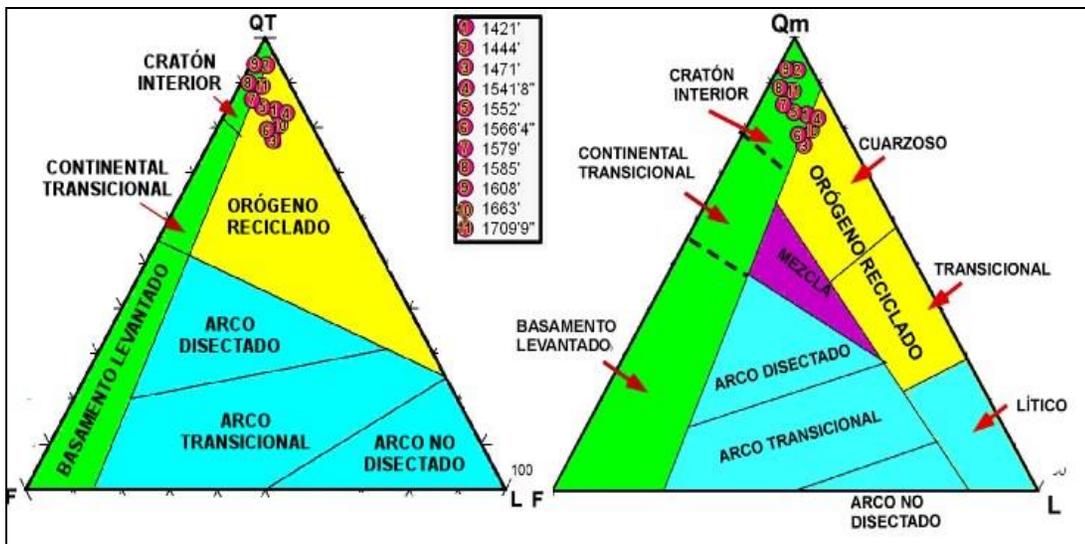


Figura 4.43 A) Diagrama QtFLt y B) Diagrama QmFLt; ambos de discriminación del ambiente tectónico en el área de aporte en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio del pozo JU-222, tomado de **DICKINSON et al.** (1983).5T/

A finales del Oligoceno comienza la colisión oblicua entre las placas caribe y Sudamérica dando origen a una cuenca de antepaís (**PARNAUD et al**

1995). Adicional a ello los ajustes isostáticos producto de la separación de África de sur América y la formación y desarrollo del Océano Atlántico produjeron el levantamiento general del escudo de Guayana, especialmente del complejo Imataca y por lo tanto lo más antiguo comienza a quedar expuesto **MENDOZA** (2005), erosionando así tanto rocas ígneas como metamórficas del cratón, es por ello que los sedimentos depositados durante el intervalo Mioceno temprano a medio en el pozo JU-222 son en parte de un cratón interior ya que provienen de la erosión de rocas ígneas ácidas posiblemente de la provincia de Cuchivero; como de orógeno reciclado, es decir, de rocas metamórficas de la provincia Imataca.

**Tabla 4.7** Datos petrográficos normalizados usados para la realización de los diagramas ternarios Qt-F-L y Qm-F-L en los intervalos sedimentarios Cretácico y Mioceno temprano a medio. Del pozo JU-222.

POZO	INTERVALO	Profundidad	MINERALOGÍA DETRÍTICA (%)				
			CUARZO			Feldespatos Totales	Fragmentos líticos
			Monocristalino	Policristalino	Cuarzo Total		
JU-222	MIOCENO TEMPRANO A MEDIO	1421'	80,5	2,7	83,2	6,3	10,5
		1444'	88,1	5,9	94,1	3,3	2,6
		1471'	73,2	4,8	77,9	9,2	12,9
		1541'8"	76,2	6,7	82,9	5,9	11,2
		1552'	77,9	7,6	85,5	8,0	6,5
		1566'4"	72,4	7,5	79,9	9,3	10,8
		1579'	80,8	5,2	86,1	8,7	5,2
		1585'	81,5	8,7	90,2	7,3	2,4
		1608'	89,7	4,1	93,8	4,8	1,4
		1663'	76,6	4,1	80,7	7,1	12,2
	1709'9"	84,9	4,7	89,6	6,5	4,0	
	CRETÁCICO	1750'	94,5	0,4	94,9	4,4	0,7
		1756'	93,9	1,1	95,0	4,7	0,4
		1765'	94,6	0,4	95,0	4,7	0,4
		1778'	96,1	0,4	96,5	3,5	0,0
		1787'	94,6	1,0	95,6	4,0	0,3
		1794'4"	94,8	0,7	95,5	4,5	0,0

## 4.6 INTEGRACION DE LOS RESULTADOS

### 4.6.1 Intervalo Cretácico

Luego de que en el periodo Jurásico existiera un levantamiento de Cratón de Guayana, actividad volcánica en el Macizo de Baúl y fuerte tectónica asociada a la separación de norteamérica y América del sur; la Cuenca Oriental de Venezuela se comporta durante el periodo Cretácico como un margen pasivo, con una fosa profunda al norte y noroeste, iniciando con un evento transgresivo de norte a sur (**PARNAUD et al** 1995).

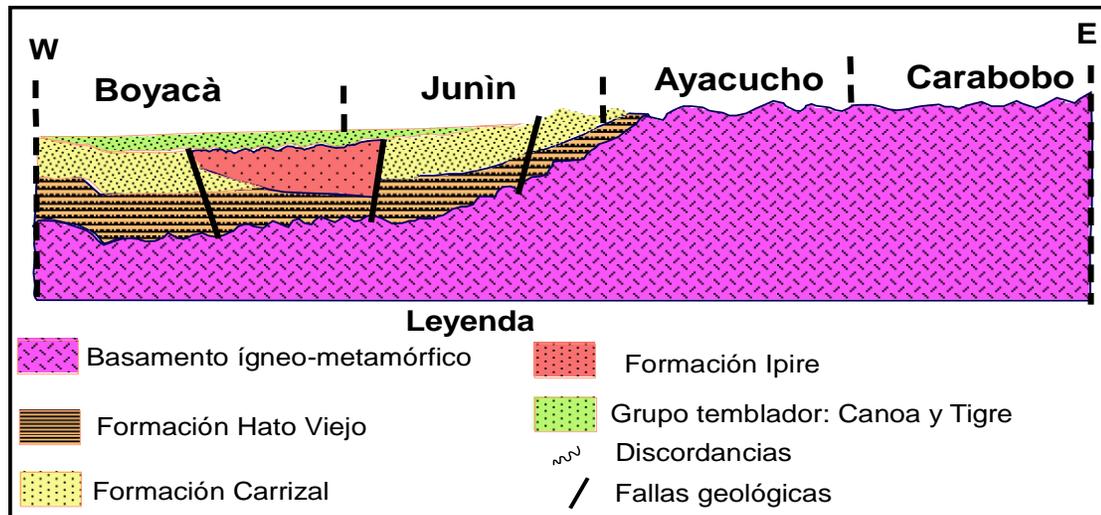
**GONZÁLEZ DE JUANA et al**, 1980, plantean, además, que la transgresión ocurrida a principios del Cretácico; empieza como consecuencia del hundimiento registrado al borde septentrional del Cratón de Guayana, cuya lenta subsidencia continuó hasta el *Santoniense*. Los largos periodos erosivos en conjunto con las oscilaciones verticales ocurridas durante la subsidencia, produjeron avances y retrocesos en las aguas que ocasionaron a su vez, cambios de ambiente y modificación en la naturaleza del sedimento que estaba siendo depositado y que era procedente de las distintas áreas que estaban erosionándose. El Arco del Baúl y su prolongación septentrional fueron probablemente áreas positivas durante el Cretácico inferior a Medio.

A principios del Cretácico y en ambientes continentales, se desarrolló la Formación Canoa, compuesta por areniscas con niveles conglomeráticos y conglomerados de grano fino. (*Aptiense-Albiense*). La transgresión marina alcanzó su máxima penetración hacia el sur entre el *Cenomaniense* y el *Santoniense*; los sedimentos fueron depositados sobre rocas precámbricas y paleozoicas; los primeros ambientes fueron característicos de planicies costeras mientras que más hacia el sur los ambientes fueron fluvio-deltaicos.

Con un contacto inferior diacrónico y transicional sobre los sedimentos continentales de la Formación Canoa se desarrolla la Formación Tigre (*Turoniense-Maastrichtiense*), quien a su vez presenta tres miembros cuya litología representa el ambiente de depositación (**GONZÁLEZ DE JUANA et al**,

1980). El intervalo Cretácico recuperado en el pozo JU-222 pertenece al Miembro la Cruz (intervalo basal de la Formación Tigre), cuya parte inferior se caracteriza por de areniscas lenticulares, caoliníticas, de grano grueso, con intercalaciones menores de lutita negra, carbonosa y fosilífera (ESCALONA, 1985). Este miembro es de carácter transgresivo y ocasionalmente puede estar recubriendo discordantemente sobre las rocas del basamento pre-cretácico (GONZÁLEZ DE JUANA *et al*, 1980), como puede evidenciarse en la figura 4.44

ESCALONA, (1985) plantea que en el Miembro La Cruz pueden encontrarse minerales pesados como: magnetita, ilmenita, zircón y turmalina, los cuales, acompañados de rutilo, fueron encontrados también mediante las tres técnicas usadas en este estudio (*Picking*, DRX y MEB); el conjunto de rutilo, circón y turmalina (ZTR), fue clasificado como conjunto azul por HEDBERG (1943). Este conjunto de MP es de tipo ultra estable, lo que implica que el sedimento pudo ser retrabajado y sufrir ataque químico prolongado; En las muestras también se identificó mediante MEB, fosfatos de tipo monacita y xenotima, este último mineral es típico en rocas ígneas alcalinas.



**Figura 4.44** Corte esquemático de las condiciones tectonoestratigráficas de la FPO durante el Cretácico. Tomado y modificado de RUIZ 2017

La Petrografía por su parte revela que al menos el 85% del material detrítico, es cuarzo monocristalino, con mínimas cantidades de feldespatos potásicos (todos de tipo ortosa) y menos d 1,5% de fragmentos líticos de tipo ígneo, causando que los resultados de los diagramas triangulares (Figura 4.42 A y B) arrojaran que las muestras recuperadas en este intervalo provienen de un cratón interior, o de rocas continentales que estaban expuestas; Mediante el análisis petrográfico también se identificaron minerales del grupo antes mencionado circón y turmalina.

Dicho lo anterior es posible inferir que las arenas no consolidadas que se recuperaron en el intervalo Cretácico de pozo JU-222 fueran procedentes de rocas sedimentarias preexistentes; tal vez asociadas a la Formación Canoa o en otro caso a la Formación Hato Viejo ya que según (**ESCALONA**, 1985), ambas formaciones poseen el conjunto de minerales identificados durante este trabajo, y/o de las rocas félsicas a la provincia de Cuchivero, en el Cratón de Guayana; estas últimas posiblemente erosionadas por el paleo Caura y demás ríos existentes durante el Cretácico. (Figura 4.45). Sustentando esta idea, **PINDELL** (2009), plantea que los minerales pesados presentes en el Cretácico tardío de los sedimentos venezolanos, pueden derivarse de antiguas áreas de fuentes ígneas, o pudieron ser erosionados y reciclados de los estratos más antiguos.

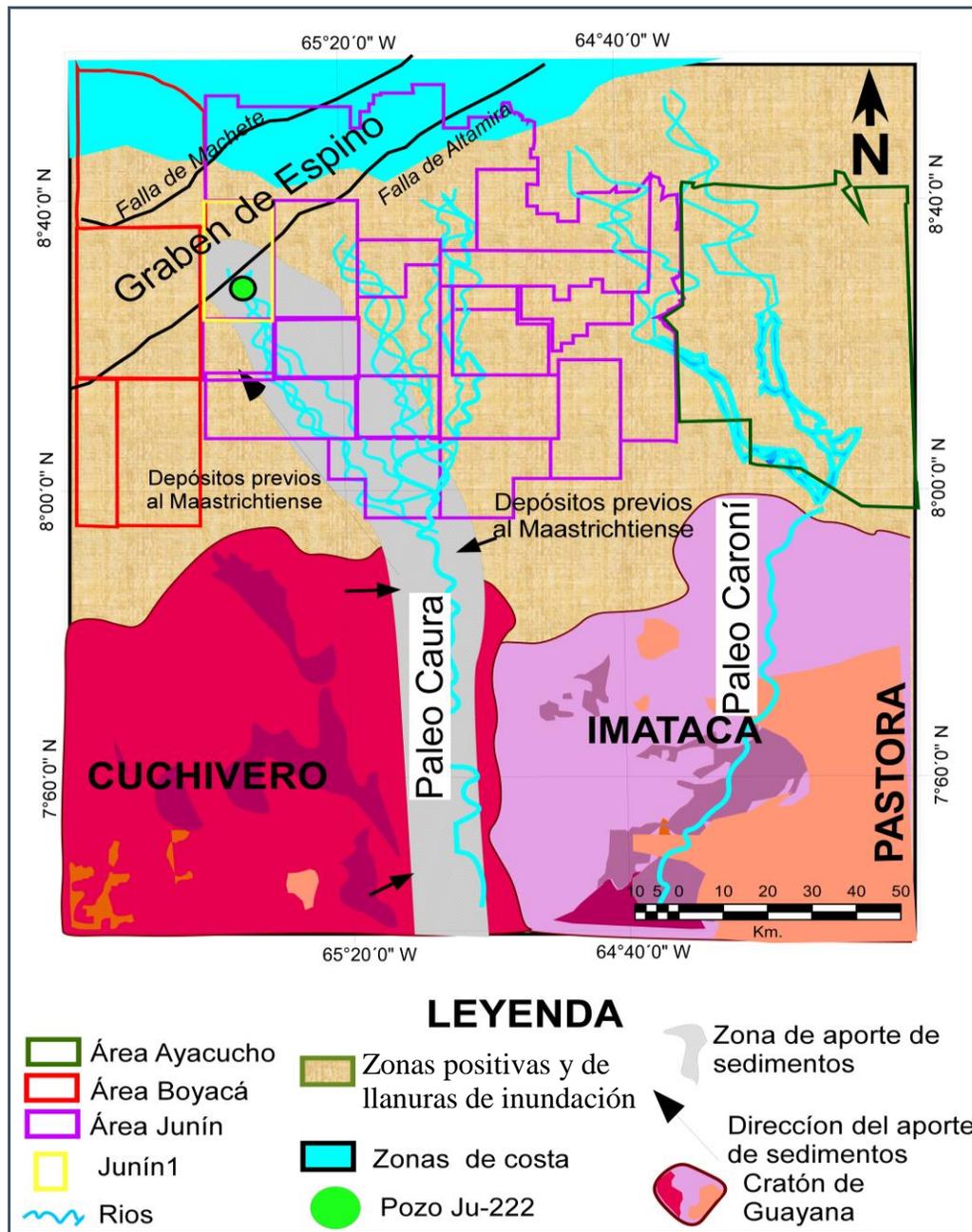


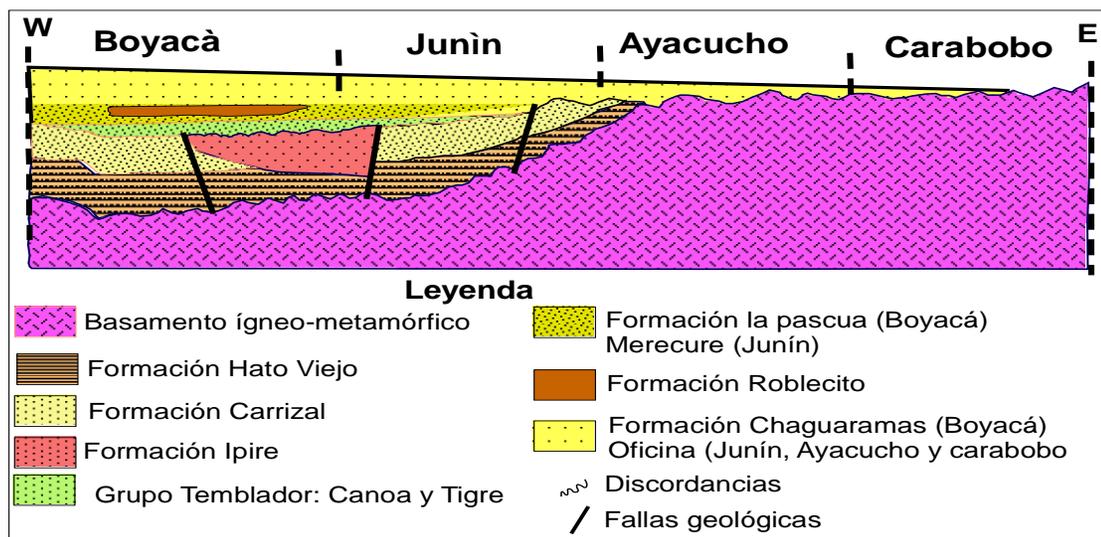
Figura 4.45 Mapa esquemático de la posible fuente de aporte de sedimentos durante el periodo Cretácico en el pozo JU-222

#### 4.6.2 Intervalo Mioceno temprano a medio

Hacia finales de Cretácico los mares comienzan a retirarse del sur exponiendo a la erosión sedimentos del Cretácico Medio, posteriormente a

este evento, la cuenca deja de captar sedimentos por un período de alrededor de 20 Ma, generando un hiatus que impide la captación, acumulación y preservación de los sedimentos que pudieron haber formado la roca de la secuencia Paleocena y Eocena en el área Junín (MENDOZA, 2005)

En el Oligoceno temprano comienza a formarse la cuenca de antepaís, producto de la colisión entre las placas Caribe y Sudamérica sin embargo la sedimentación en el área de Junín se limitaba solo al norte con la Formación Merecure; hacia el oeste, en el área de Boyacá se depositaba en condiciones regresivas la Formación Chaguaramas y hacia el este de la Faja Petrolífera del Orinoco, las áreas de Ayacucho y Carabobo estaban expuestas. Figura 4.46.



**Figura 4.46** Corte esquemático de las condiciones tectonoestratigráficas de la FPO durante el Mioceno temprano a medio. Tomado y modificado de RUIZ 2017

Hacia el Mioceno temprano continua el avance de la placa Caribe hacia el este y en Junín comienza la depositación de las arenas basales de la Formación Oficina; la cual, en el intervalo de estudio, se depositó en un ambiente fluvial (Mioceno temprano a medio), presenta arenas de grano fino hacia la base con algunos intervalos de arena muy gruesa hacia la parte

media, en ocasiones laminaciones de limo, con alta impregnación de hidrocarburo (**MEDINA** 2010). Figura 4.46.

Los MP más abundantes identificados en el intervalo recuperado Mioceno temprano a medio pertenecen al conjunto Rojo: cloritoide, clinocloro y granate, siendo estos provenientes de rocas producto de metamorfismo regional (**FEO CODECIDO** 1956), de igual manera se identificaron minerales del conjunto azul ZTR, procedentes de rocas félsicas o del retrabajo de areniscas; adicionalmente a estos, también se identificaron, en menor cantidad: cianita, siderita, monacita y cromita, tomando en cuenta que este último es un mineral típico de rocas máficas y ultramáficas.

Mediante análisis petrográfico se identificaron microclino, plagioclasas y fragmentos rocas (ígneos, sedimentario y metamórfico) y MP pesado tipo circón y granates. Según los diagramas ternarios realizados a partir de **DICKINSON** (1989) la fuente aporte fue en parte tipo cratón estable y en parte de un orògeno reciclado.

Expuesto lo anterior es evidente que durante el intervalo Mioceno temprano a medio fueron erosionadas tanto rocas ígneas ácidas como rocas que han sufrido metamorfismo regional; en este sentido **MENDOZA** (2005) plantea que como consecuencia de los ajustes isostáticos epirogénicos, se produjo un levantamiento general del Escudo de Guayana, en especial del Complejo de Imataca, y por lo tanto, lo más antiguo comenzó a emerger y a inclinarse hacia el sur, dicho levantamiento se acentúa y a finales del Cretácico, cuando se produce una retirada general de los mares en Venezuela, alcanzando su máximo en el Eoceno Superior. Este último levantamiento ocasionó una más acelerada erosión del escudo y subsecuente depositación en cuencas localizadas al norte del río Orinoco y la formación de grabenes por reactivación de antiguas fallas al nor-oeste del río Caura.

Las provincias Imataca y Pastora, aflorantes actualmente al este del río Caura, están en contacto discordante y de falla, denominado frente tectónico Caura, con la provincia Cuchivero, aflorante al oeste del río Caura, que, en parte, es la zona de encuentro o choques de tres provincias geológicas, con rocas, metamorfismos, tendencias estructurales, recursos minerales y edades completamente diferentes y de ambientes geotectónicos contrastantes (**MENDOZA, 2005**).

En este sentido y tomando como referencia la figura 4.47, el Caura pudo haber erosionado durante el Mioceno temprano a medio, tanto las rocas félsicas de la provincia de Cuchivero al oeste como las rocas metamórficas de la provincia Imataca y hasta las de Pastora, tomando en cuenta que estas últimas han tenido diversos eventos de metamorfismo a lo largo del tiempo.

Es por ello que en los diagramas triangulares existen muestras que presentan mayor tendencia a ser procedentes de un cratón estable (Provincia de Cuchivero), mientras que otras tienen una mayor tendencia a ser procedentes de un orógeno reciclado (Imataca y Pastora).

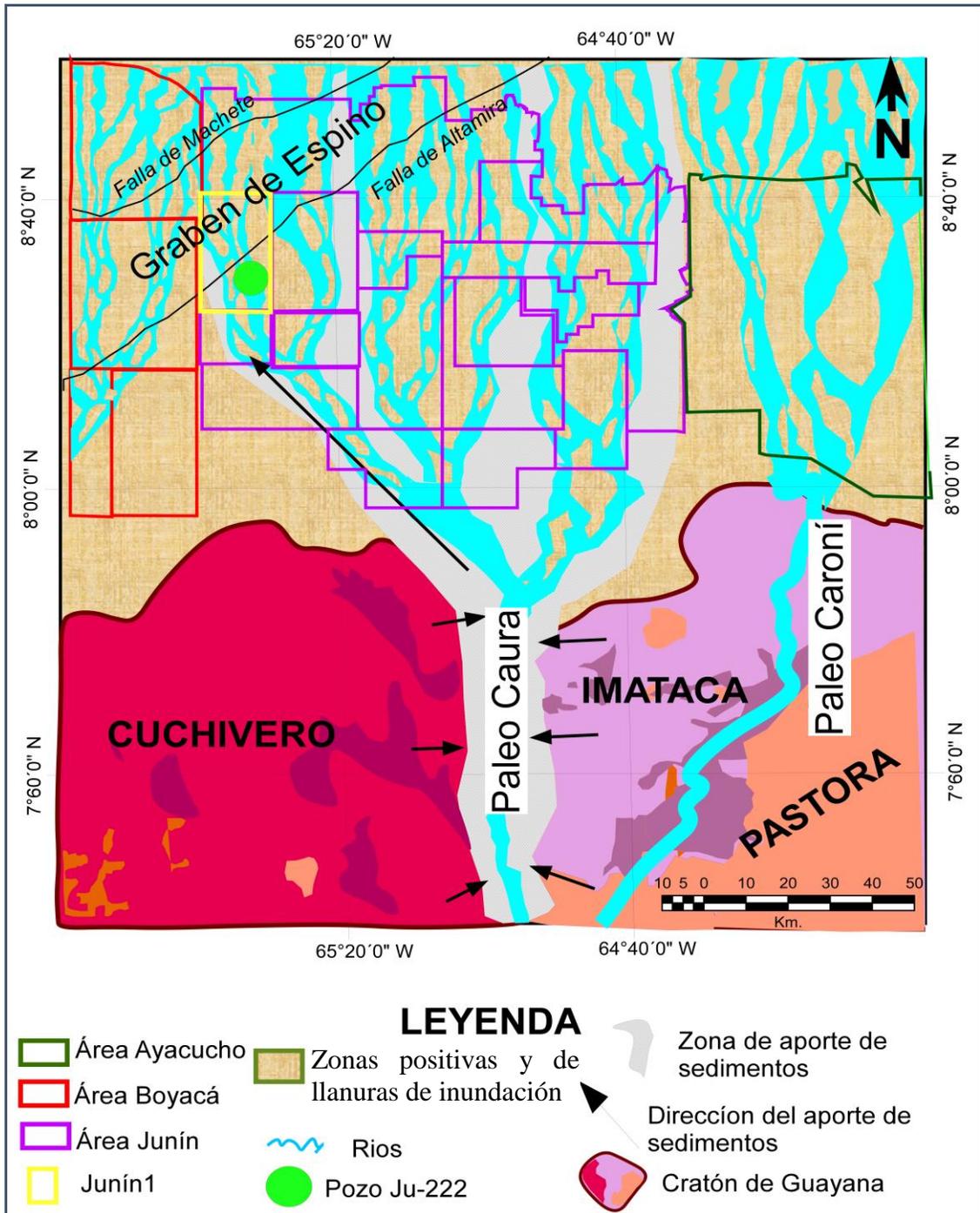


Figura 4.47 Mapa esquemático de la posible fuente de aporte de sedimentos durante el Mioceno temprano a medio en el pozo JU-222

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- ✓ A partir análisis petrográficos se determinó que las areniscas no consolidadas del Cretácico son básicamente cuarzoarenitas constituidas por cuarzo monocristalino circón, fragmentos de roca ígneos; mientras que en el Mioceno la clasificación varía entre cuarzoarenitas, sublitoarenitas y subarcosas; cuyos componentes detríticos presentes son: cuarzo monocristalino y policristalino; microclino, granates cianita, fragmentos ígneos, chert y fragmentos metamórficos.
- ✓ Mediante DRX se pudo demostrar que el intervalo Mioceno posee mayor cantidad de feldespato potásico y arcillas de tipo illita los cuales están presentes en cantidades casi nulas en el Cretácico.
- ✓ Los perfiles de correlación a nivel vertical, realizados a partir de elementos mayoritarios, permitieron establecer cuatro unidades químicas a partir de aluminio, potasio, titanio, hierro, calcio y circonio, las cuales fueron denominadas como: UQ<sub>A</sub> para el Cretácico y las UQ<sub>B</sub>, UQ<sub>C</sub> y UQ<sub>D</sub> para el Mioceno.
- ✓ Los datos obtenidos mediante FRX, revelan que en el intervalo Cretácico las cantidades de potasio son casi nulas lo cual pudiera estar asociado a la carencia de feldespatos potásicos y al tipo de arcilla presente en el intervalo, esta hipótesis puede ser validada tomando en cuenta los resultados de petrografía y DRX expuestos en esta tesis.
- ✓ En el intervalo Mioceno temprano a medio hay un evidente aumento de potasio, el cual coincide con el incremento de aluminio por lo que es posible inferir que parte del potasio presente en el intervalo recuperado se debe a la presencia de arcilla tipo illita.

- ✓ A partir de la clasificación de arenitas según (**HERRON**, 1988) se obtuvo que, en el intervalo Cretácico las rocas son generalmente de areniscas y lutitas, que según lo visualizado en el gráfico son más ricas en hierro; no obstante, se puede decir que, para este caso, solo areniscas y lutitas, puesto que la apreciación de “alto contenido de hierro” se debe más bien al nulo contenido de potasio.
- ✓ En el intervalo Mioceno temprano las areniscas fueron clasificadas mayoritariamente como litarenitas y arcosas. La diversidad de tipos de arenitas en este intervalo pudiera estar asociada a la gran variedad de componente detríticos presentes en estos sedimentos, como se demostró mediante el análisis petrográfico.
- ✓ El intervalo Cretácico presenta un aumento aparente de elementos como titanio y circonio con respecto al intervalo Mioceno lo cual está asociado a minerales como corcón y rutilo.
- ✓ Los diagramas binarios entre elementos mayoritarios demuestran que los elementos  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  presentan correlación negativa para ambos intervalos estudiados, lo cual indica que al aumentar una variable disminuye la otra; esto se debe al tipo de litología presente. Por ejemplo, si el intervalo presenta mayor arcillosidad aumenta el contenido de aluminio.
- ✓ La relación entre  $\text{SiO}_2$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , permitió separar las muestras en dos grupos, el primero con una fuerte carencia de potasio (Cretácico) y el segundo con una pequeña relación de media a negativa entre los dos elementos mencionados anteriormente (Mioceno) lo cual indica que el aumento significativo de  $\text{K}_2\text{O}$  en el intervalo pudiera estar mayormente asociado a la presencia de ilita que a los feldespatos. Esta hipótesis puede tener mayor fuerza al observar el diagrama  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , donde estos óxidos presentan una correlación positiva casi perfecta lo cual indica que al aumentar uno aumenta también el otro.

- ✓ Los minerales pesados identificados mediante *picking*, en el Cretácico son básicamente minerales negros, turmalina y circón (minerales resistatos), mientras que en el Mioceno temprano a medio, se distinguieron además de los resistatos: granates cianita. cromita y fragmentos de roca metamórficos.
- ✓ Mediante difracción de rayos X, en la fracción pesada, se determinó que minerales como circón y rutilo están presentes tanto en Cretácico como en el Mioceno temprano, mientras que otros como: clinocloro, cloritoide, almandino y piropo solo fueron identificados en el Mioceno temprano a medio.
- ✓ A partir de un análisis elemental en las muestras de MP por medio de microscopia electrónica de barrido se determinó, que las muestras del intervalo Cretácico son ricas en titanio, mientras que las estudiadas en el Mioceno temprano a medio son ricas en hierro, lo cual se debe a que en el Mioceno temprano a medio están presentes minerales como clinocloro, cloritoide y almandinos (identificados por DRX) los cuales poseen alto contenido de hierro.
- ✓ En las muestras del Cretácico se identificaron: monacita y xenotima, accesorios típicos de rocas ígneas félsicas.
- ✓ En las muestras del intervalo Mioceno temprano a medio se identificó en cantidades traza cromita piramidal, este mineral es típico en rocas ígneas básicas y ultramáficas; además de granates de tipo almandino y piropo que son típicos de rocas que han sufrido metamorfismo regional.
- ✓ Los minerales identificados en el Cretácico pertenecen al conjunto azul de **HEDBERG** (1945), generalmente procedentes de rocas ígneas y sedimentarias; mientras que los minerales encontrados en el Mioceno pertenecen a los conjuntos azul, rojo y amarillo, generalmente procedentes de rocas ígneas y metamórficas.
- ✓ Tomando como referencia el trabajo de **DICKINSON & SUCZEK** (1979), se realizaron diagramas triangulares para obtener la procedencia tectónica

de los sedimentos analizados en el pozo JU-222, de los cuales se obtuvo que el 100% de las muestras analizadas en el intervalo Cretácico son procedentes de un cratón interior, mientras que de las analizadas en el Mioceno temprano a medio son un 65 % provenientes de un orógeno reciclado y un 35% de un cratón interior.

- ✓ Tomando en consideración los resultados obtenidos en este estudio se puede decir que los sedimentos depositados durante el Cretácico en el pozo JU-222, son provenientes de rocas Ígneas félsicas seguramente provenientes de la Provincia de Cuchivero (posiblemente expuesta para entonces) y/ del retrabajo de rocas anteriores a la edad *Maasstrichtiense* (Figura 4.45).
- ✓ Los sedimentos depositados durante el Mioceno temprano a medio son provenientes de rocas ígneas acidas posiblemente aportadas de Cuchivero y metamórficas de la Provincia de Imataca.
- ✓ Teniendo en cuenta la presencia, aunque mínima de cromita pudiera decirse que un poco de estos sedimentos fueron aportados por la provincia de Pastora. (Figura 4.47).
- ✓ Las variaciones a nivel mineralógico tal vez se deben a que durante el Eoceno superior se acelera el levantamiento del Cratón de Guayana y reactivación de antiguas fallas al nor-oeste del río Caura (**MENDOZA 2005**), lo cual generó una mayor erosión dejando expuestas áreas más antiguas como lo son Imataca y Pastora, aflorantes en la actualidad al este del río Caura, generando así un aporte de minerales pesados metamórficos adicionales a los ígneos de la Provincia de Cuchivero.
- ✓ En el mismo orden de ideas es importante saber que Cratón de Guayana es de composición variable y ha estado expuesto a diversas orogénesis a lo largo del tiempo, es por ello que las muestras del intervalo recuperado Mioceno temprano a medio fueron clasificadas como provenientes de un orógeno reciclado a partir de los diagramas de **DICKINSON & SUCZEK (1979)**.

- ✓ En este sentido este estudio demostró que aunque los sedimentos recuperados en el pozo JU- 222 depositados tanto de Cretácico como de Mioceno temprano fueron aportados en su mayoría por las rocas cratónicas, se puede conocer a partir de los minerales pesados las provincias que fueron fuentes de aporte para dicho deposito ya que cada una de estas presenta características particulares y distintivas.
- ✓ Este estudio permitió diferenciar el intervalo Cretácico del Mioceno temprano a medio usando para ello el estudio de minerales pesados.
- ✓ Tomado como referencia las figuras 4.45 y 4.47 se pudiera inferir que el Cretácico en la parte este, de la faja petrolífera del Orinoco pudiera contener minerales de tipo metamórfico puesto que el paleo rio Caroní erosiona tanto Imataca como Pastora.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- ✓ Hacer extensivo el estudio de minerales pesados a otros pozos de la Faja Petrolífera del Orinoco
- ✓ Realizar estudios en pozos que presente recuperado el limite K/T para que se tomen muestras lo más cercanas posibles a este límite.
- ✓ Realizar comparaciones entre los sedimentos de las áreas Junín y Boyacá a partir de este tipo de estudios.
- ✓ Realizar análisis elemental de ICP-MS en las muestras de minerales pesados para sacar mayor provecho de este tipo de estudios y de esta manera realizar un análisis cuantitativo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARÉVALO, J.** (2015). "Columna sedimentológica del pozo NZZ-222. Resultado preliminar del Proyecto de Homologación estratigráfica de la FPO- Área Junín". INT-PDVSA INTEVEP. 2p
- ARIZA M.** (2006) "Caracterización Quimioestratigrafica del límite Eoceno – Oligoceno de la Zona Surentral de la Cuenca de Falcón" Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, UCV.
- BARITO I. & DAUBRONT E.** (2018).Geoquímica Sedimentaria. INT- PDVSA Intevep
- BARITO I.** (2009) "Quimioestratigrafía de la formación La Luna y el grupo Cogollo, en núcleos del subsuelo del lago de Maracaibo, cuenca de Maracaibo, Occidente de Venezuela". Trabajo especial de grado para optar al título de Para optar al Título de Magíster Scientiarum en Ciencias Geológicas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, UCV.
- BATHIA M.** (1983). "Plate tectonics and geochemical composition of sandstone". Journal of Geology, v. 91, p 611 – 627
- BATHIA M. & CROOK, K.** (1986). "Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins". Department of Geology, Australian National University, Canberra A.C.T. 2600, Australia. Contrib Mineral
- BARGALLÓ, R.**(1971) "El microscopi electrònic de Scannig", Intitut d'Estudis Catalans, Treballs de la Societat Catalana de Biologia, 30
- BERMÚDEZ J.** (1981). "Métodos de difracción de rayos x: Principios y aplicaciones". Ed. Pirámide. 462 pp
- BIFANO, C; CORTÉS L; KRESTONOSICH S; MOSTUE M; OLIVARES W; ALMEIDA R.** (1992) "Enlace Químico". Editorial Miró C.A.
- CABRERA D., CONTRERAS C., APARICIO A** (2017). "Estudio Integrado Bioestratigráfico de alta resolución en pozos del Dominio Occidental de Faja Petrolífera del Orinoco (área Junín y Boyacá)" INT-PDVSA-INTEVEP
- CASTRO A.** (1989) "Petrografía básica, texturas, clasificación y nomenclatura de rocas". Editorial paraninfo S. A, Universidad de Sevilla
- COELLO, V.** (2012). "Significado tectónico y procedencia de la formación Guárico a través de análisis petrográfico y minerales pesados, Venezuela Norcentral" Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo.
- CONTRERAS J.** (2006) Óptica Mineral, Manual de laboratorio Universidad de los Andes. Laboratorio de petrografía PDVSA -Intevep

- CONTRERAS, C; ALFONZO, S, CABRERA, D, RUIZ, P.** (2009). “Estudio palinológico de los pozos NZZ-221, NZZ-248, NZZ-249, NZZ-255, NZZ-257 y NZZ-222 Área Junín Faja Petrolífera del Orinoco”. Nota Técnica-PDVSA-INTEVEP
- CORNELIUS S & HURLBUT, JR.**(1974) “Manual de mineralogía de DANA”. Editorial Reverte S.A. Barcelona España
- COX, R., ROWE, D. & CULLERS, R.** (1995). “The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica” Acta*, 59: 2919-2940.
- DEVISMES. P.** (1978) “Atlas Photographique Des Mineraux D´ Alluvions” Memoire du Bureau de recherches Géologiques et minières. N° 95
- DICKINSON, W. R.** (1970). “Interpreting detrital modes of Graywacke and Arkose” *Journal of sedimentary Petrology*. V.40, N° 2. P. 695-707
- DICKINSON, W. R. & SUCZEC, C. A.** (1979). “Plate tectonics and sandstone composition”. *The American Association de Petroleun. Geologisis Bulletin.*, V.63, N° 1. P. 2164-2182.
- DICKINSON, W.R.,** (1985) “Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones, in Zuffa, G.G., ed., *Provenance of Arenites*”: Series C: Mathematical and Physical Science vol. 148, p. 333-361.
- DICKINSON, W.R.,** (1986), “Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and pelogeography of sedimentary basin, in K.L. Kleinspehn and C. Paola (eds.), *New perspectives in basin analysis*” , Springer-Verlag, p. 27-42.
- DI CROCE, J,** (1995). “Eastern Venezuela Basin: Sequence Stratigraphy and Structural Evolution” [Ph. D. Tesis]: Houston, Rice University. 225
- DI CROCE, J.; BALLY, A., & VAIL, P.** (1999) “Sequence Stratigraphy for the Eastern Venezuela Basin. En Mann, P. (ed) *Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the World*”, 4. Elsevier science. B.V, Amsterdam. 419- 476 p.
- DI GIACOMO, E.,** (1985). “Acritarcos de la Formación Carrizal, Área de Zuata-Faja Petrolífera del Orinoco, Venezuela Oriental”. VI Congreso Geológico Venezolano. 503-529p
- DOTT, R.** (1964) Wacke, greywacke and matrix-what approach to immature sandstone classification? *Jour. Sed. Petrol.*, v.34, pp.625-632
- DUHAMEL M.** (2016). “Reconocimiento de minerales pesados y análisis de sus efectos sobre los registros petrofísicos del Grupo Temblador, Campo Dobokubi, Edo. Anzoátegui”. Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, UCV.
- EJEH; A; AKPOBORIE, A; ETOBRO I.** (2015) “Heavy Minerals and Geochemical Characteristics of Sandstones as Indices of Provenance and Source Area Tectonics of the Ogwashi-Asaba Formation, Niger Delta Basin. Department of Geology, Delta State University, Abraka, Nigeria”. **Journal of Geology**, 2015, 5, 562-576

- ERLICH, R. & S. BARRETT** (1992) "Petroleum Geology of the Eastern Venezuelan Foreland Basin in Foreland Basin and Fold Belts". Editores R.W. Macqueen and D.A. Leckie. *Memorias de la AAPG*55: 341-362.
- ESCALONA, N.**, (1985). "Relaciones estratigráficas con el método de minerales pesados, Área Machete, Faja Petrolífera del Orinoco". *Mem.*, VI Congr. Geol. Venez., Caracas, Soc. Venezolana Geol., 1: 536-587
- ESTEVE J.** (2016). "Los minerales pesados del Mioceno de la fosa Neógena del Vallès-Penedès, caracterización, evaluación e hipótesis de procedencia". Universitat de Barcelon. Facultad de Geología. Departamento de Mineralogía, petrología y geología aplicada. Tesis Doctoral
- FEO-CODECIDO, G.** (1956): "Heavy-mineral techniques and their application to Venezuelan stratigraphy". *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 40:984-1000.
- FEO-CODECIDO, G** (1960). "Técnica para el estudio de los minerales pesados y su aplicación a la estratigrafía de Venezuela". *Geos*, UCV, Caracas. 4: 5-24
- FICHTER, L.S., AND POCHÉ,** (1993), "Ancient environments and the interpretation of Geologic History": Mcmillan Publishing Company, New York, 2da Ed. 269
- FOLK R.** (1954). "The distinction between grain size and Mineral composition in sedimentary Rock nomenclature": *Jour. Geology* 62
- FOLK R.** (1956). "The role of texture and composition in sandstone Classification": *Jour. Sed. Petrology*.
- FOLK R.** (1980). "Petrology of Sedimentary Rocks", 2º Edición Hemphill publishing company Austin; Texas. Tomo II
- GAZZI-DICKINSON** (Sf) "Point-counting method-Discussion": *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 55, p. 0618-0620.
- GONZALEZ DE JUANA C., J. ITURRALDE DE AROZENA Y X.PICARD** (1980) "Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas". Ed. Foninves, 2 tomos p10
- HEDBERG, H. D.**, (1942) "Mesozoic Stratigraphy of Northern South America". 8th. Amer. Geól. Cong., U.S.A., 1940, Proc., 4: 195-227
- HEDBERG H. D., L. C. SASS & H. J. FUNKHUSER, H.** (1947). "Oil fields of the greater Oficina area, central Anzoátegui, Venezuela". *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 31(12): 1089-2169.
- HERRON, M.** (1988). "Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data". *Journal of Sedimentary Petrology*, 58 (5): 820-829.
- HERRON, M.M, AND HERRON, S.L.**, (1990), "Geological applications of geochemical well logging, in , A., Hurst; M.A., Lovell, and A.C., Morton (eds.) Geological applications of wireline logs": Special publ. Geol. Soc., No. 48, p. 165-175.

- KISER. D** (1987). "Exploration results, Machete Area, Orinoco Oil Belt, Eastern Venezuela. *Journal of Petroleum Geology*", 10(2): 149-162
- KRYNINE. P.D** (1948): "The Megascopic study and field classification of sedimentary rocks". *Jour. Geology*. Volumen 56. 130-165
- LEEDER.M.R.** (1981) "SEDIMENTOLOGY: Process and product". Department of Earth sciences, University of Leeds. Londor
- Le MAITRE. W** (1976), "The Chemical Variability of some Common Igneous Rocks". Department of Geology, University of Melbourne, Parkville, 3052, Victoria, Australia
- LÓPEZ, N. & UZCATEGUÍ, M.** (2014). "Comparación de dos sectores de la Formación Mesa mediante la caracterización mineralógica, textural, geomorfológica y análisis de minerales pesados en el sector central de la cuenca del río Orinoco". Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología,
- LORENTE M.A.** (1956), "LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA" Boletín de geología, editorial sucre
- LUQUE J. SIERRA J.** Prácticas de Mineralogía Obtenida Febrero 20 del 2019. <http://www.medellin.unal.edu.co/~rrodriguez/MENAS/TEMAS/mineralogia/mineralogia.htm>
- MALAVÉ LUZ M.** (2004) "Análisis Petrográfico de Rocas Clásticas". Core Lab – LUMA, S.A.
- MASON & C.B. MOORE,** (1982), "Principles of Geochemistry": John Wiley & Sons, New York, 344 p.
- MARTINEZ M.** Cristalografía Consultado el 15 de Julio de 2018. <http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/cascara.html>
- MELGAREJO, J.** (2010) "Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera" Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 62, núm. 1,p. 1-23
- MEDINA C.** (2010) "Resultados petrográficos del pozo NZZ-222; Área Junín Faja Petrolífera del Orinoco". Nota Técnica-PDVSA-INTEVEP
- MENDOZA V.** (2005) "Geología de Venezuela tomo I: Escudo de Guayana, Andes venezolanos y sistema montañoso del Caribe" Universidad de Oriente. Escuela Ciencias de la Tierra, Cátedra: Geología de Venezuela
- MENCHER, E., H. J. FICHTER, H. H. RENZ, W. E. WALLIS, J. M. PATTERSON & R. H. ROBIE,**(1953). "Geology of Venezuela and its oil fields". *Amer Assoc Petrol. Geol., Bull.*, 37(4): 690-777.
- MORA. A; ALFONSO J; BAQUERO J; HANDI H, VASQUEZ J.** (2012) "Elementos mayoritarios, minoritarios y traza en muestras de sedimentos del medio y bajo río Orinoco, Venezuela." Centro de Oceanología y Estudios Antárticos. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Venezuela. Universidad Politécnica de Madrid, España
- MOORE D; REYNOLDS J:** (Sf). "X-Ray Diffraction and the identification and analysis of Clay Minerals". Second edition.

- OLMO M.** Ley de Bragg. Consultado el 20 de Enero de 2019. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/quantum/bragg.html>.
- ORTIZ I.** (Sf) "Atlas ilustrado de los minerales". Susaeta ediciones S.A. Madrid, España.
- PARDELL X.** Apuntes de Electromecicina, el Microscopio Electronico de Barrido. Enero 31 del 2017. <http://www.pardell.es/microscopia-electronica-de-barrido.html>.
- PALOMARES, M.; TORTOSA, A; ARRIBAS. J.** (1989). "Estudio de la fracción pesada de arenas actuales derivadas del Sistema Central y su aplicación a los estudios de procedencia". Boletín Geológico y Minero. Vol. 100-4 (695-705)
- PARALES, D.** (2009). "Determinación del porcentaje de eficiencia del Sistema Hidrodinámico de separación de concentrados de minerales pesados". Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias De la Tierra, Instituto de Geología y Minas (INGEOMIN). Informe de pasantías
- PARNAUD, F.; Y. GOU; J. C. PASCUAL; I. TRUSKOWSKI;. GALLANGO, O., & H. PASSALACQUA.** (1995). "Petroleum geology of the central part of the Eastern Venezuelan Basin". Petroleum Basins of South America. AAPG Memoir 62, p. 741- 756.
- PATTERSON, J AND WILSON. J** (1953) "Oil Fields of Mercedes region, Venezuela", AAPG. Bulletin 37(12): 2705-2733
- PDVSA S.A-RYDER SCOT COMPANY PETROLEUM CONSULTANTS** (2011) "Estimación de petróleo original en sitio y recursos contingentes, Faja Petrolífera del Orinoco, Área Boyacá". INT-PDVSA
- PDVSA CVP- PROYECTO ORINOCO MAGNA RESERVA.** (2010) "Fase III: Integración de datos cuantificación de POES y de Reservas"
- PDVSA-CORPORACION DE LA FAJA PETROLIFERA DEL ORINOCO** (1983) "Evaluación exploratoria de la faja petrolífera del Orinoco Área Zuata". INT- Libros blancos de la faja.
- PINDEL J, KENNAN L, WRIGHT D, AND ERIKSON J** (2009) "Clastic domains of sandstones in central/eastern Venezuela, Trinidad, and Barbados: heavy mineral and tectonic constraints on provenance and palaeogeography". Geological Society of London, Special Publication.
- POTTER P;** Maynard J. & Pryor W. (1980). "Sedimentology of Shale: Study guide and reference source". Blackwell scientific publications. Volumen 3.
- QUEVEDO J** (2009) "Análisis mineralógico y químico de minerales pesados de sedimentos de la cuenca del río Aro, estado Bolívar, Venezuela". Trabajo especial de grado para optar al título de Para optar al Título de Licenciado en Geoquímica, Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, UCV.
- PETTIJOHN, F., POTTER, P. Y SIEVER, R.** (1987). "Sand and sandstones", 2º Edición. Springer-Verlag: 553 pp.

- POIROT J.** (2007) “Mineralia- Cristales y piedras preciosas de todo el mundo.” Editorial Parragon Books Ltd-Barcelona España
- RAMADAN. F. ZALAMAH, A. AND MAHMOUD, A.**(2012). “Provenance of Heavy Minerals in Some Occurrences of Placer Deposits Along Tip of Egyptian Mediterranean Coastal Plain”. Journal of Applied Sciences Research, 8(11): 5322-5332, ISSN 1819-544X)
- RAIGEMBORN. M.S** (2007). “Estudio Estratigráfico, Sedimentológico y Composicional de las Sedimentitas del Terciario Inferior (Grupo Río Chico) en el Sector Sudoriental del Chubut Extraandino”. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA. FACULTAD DE CIENCIAS. Tesis Doctoral.
- ROJAS F.** (2013) “Síntesis de la evolución tectono-estratigráfica, sub-cuenca de Maturín, Oriente de Venezuela”. INT-PDVSA –CVP
- ROSER, B., COOPER, R., NATHAN, S. Y TULLOCH, A.** (1996). “Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance, and tectonic setting of the lower Palaeozoic terranes of the West Coast and Nelson, New Zeland. New Zeland”. Journal Geology Geophysics, 39: 1-16
- ROSER, B. Y KORSH, R.** (1986). “Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio”. Journal of Geology, 94 (5): 635-650.
- RUIZ. F; TAPIAS. F, PORTILLA. J.** (2019). “Modelo estratigráfico y sedimentológico del Terciario y Cretácico del domino occidental de la Faja Petrolífera del Orinoco, área Junín”. INT- PDVSA-INTEVEP, Los Teques.
- SÁMANO A. Y VARGAS V.** (2014) “Minerales Opacos y sus características al microscopio”. Departamento de Geología. Universidad de Sonora.
- SANDOVAL M.E.** (2010) “Diagénesis de areniscas”. Universidad central de Venezuela. Consejo de desarrollo científico y humanístico
- SÁNCHEZ Z. Y CENTENO G.** (2017) “Técnicas y aplicaciones del estudio de los sedimentos terrígenos de grano fino: procedencia y tectónica”. Instituto de Geología. Universidad Nacional de México
- SCHUMANN W.** (1978) “Guía de las piedras preciosas y Ornamentales”. Ediciones Omega, S.A Barcelona España
- SINANGLU, E** (1986). “Palinoestratigrafía de los sedimentos pre-cretácicos (formación Carrizal) en el área de Zuata, Venezuela Oriental”, PDVSA.
- SPALLETI L; SCHWARZ E, VEIGA G.** (2014) “Geoquímica inorgánica como indicador de procedencia y ambiente sedimentario en sucesiones de lutitas negras: Los depósitos transgresivos titonianos (Formación Vaca Muerta) de la Cuenca Neuquina, Argentina”. CONICET-Universidad Nacional de La Plata, calle 1 No. 644, B1900TAC, La Plata, Argentina.
- SUMMA. L, GOODMANB E.D, RICHARDSONA. M, NORTONB I.O, GREEN. A.R..** (2003) “Hydrocarbon systems of Northeastern Venezuela: plate through molecular scale-analysis of the genesis and evolution of the Eastern Venezuela Basin”. Marine and Petroleum Geology vol.20 Elsevier science. 323–349p.

- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO (UNAM) INSTITUTO DE FISICA.** Análisis no destructivo para el estudio in situ del arte, la Arqueología y la Historia, Fluorescencia de rayos consultado el 3 de agosto del 2018. <http://www.fisica.unam.mx/andrea/tecnicas-equipos-xrf.html>
- TAYLOR, S. R., AND MCLENNAN, S., M.,** (1985), "The continental crust: Its composition and evolution": Blackwell, Oxford, 312 p
- TUCKER M.E** (1981) "Sedimentary petrology An Introduction". Blackwell Scientific publications volumen 3
- YORIS Y OSTOS -SCHLUMBERGER,** (1997) "Evaluación de pozos (WEC). Capítulo I. Cuencas petrolíferas". Versión Multimedia (CD)
- VELILLA N.** Mineralogía Óptica, practicas, atlas de minerales constituyentes de roca y sus propiedades ópticas. Universidad de Granada-departamento de mineralogía. Obtenido en línea Consultado desde el 5 de octubre del 2018. <https://www.ugr.es/~velilla/index.html>
- VIOLMA A.** (2006). "Mineralogía Óptica, Procedimientos para determinar las principales propiedades ópticas de los minerales, Manual de laboratorio". Informe de pasantías, PDVSA-INTEVEP
- WEBMINERAL.** Mineralogy Database. Consultado desde el 10 de Enero de 2019. <http://www.webmineral.com/>.