

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE FACIES DE ABANICOS DE ROTURA EN EL DELTA DEL ORINOCO

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Bachiller:
Gómez Marcano, Juan Daniel A.
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE FACIES DE ABANICOS DE ROTURA EN EL DELTA DEL ORINOCO

Tutor: Prof. José Méndez Baamonde

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Bachiller:
Gómez Marcano, Juan Daniel A.
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas 2011

Gómez Marcano, Juan Daniel A.

**ESTUDIO DE FACIES DE ABANICOS DE ROTURA EN EL DELTA DEL
ORINOCO**

Tutor Académico: Prof. José Méndez Baamonde. Co-tutor: Prof. Mauricio Bermúdez. Tutor Industrial: Prof. Mauricio Hernández. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Año 2011, 222p.

Palabras Claves: Abanico de rotura, Delta del Orinoco, Textura, Caño Macareo.

Resumen. En la presente investigación se realizó un estudio sedimentológico de tres abanicos de rotura localizados en el caño Macareo, en el delta del Orinoco. La interpretación de los resultados se enfocó en los parámetros texturales a través de métodos estadísticos. También, se hizo el estudio de minerales pesados para determinar la procedencia de los sedimentos que constituyen los abanicos de rotura. Además, se determinaron las características como reservorios potenciales de los abanicos de rotura y los procesos que controlan su desarrollo y evolución como futuras trampas de hidrocarburos a lo largo del tiempo geológico. La dinámica sedimentaria en las facies de abanicos de rotura, se manifiesta por la formación de bancos elongados de arenas muy finas depositados en la llanura deltaica. La mayoría de los constituyentes de los sedimentos que conforman las facies de abanicos de rotura, provienen de la región del norte de la Guayana Venezolana, estamos hablando del Complejo de Imataca, Grupo Guchivero, Formación Roraima sin descartar la influencia de la Provincia de Pastora, Cordillera del Caribe y Serranía del Interior Oriental y la Formación Mesa, así como también de las cadenas andinas (Andes de Venezuela, Cordillera Oriental de Colombia).

DEDICATORIA

A mis angeles de la guarda

A Chaid, Selah y Chananjah

A mi mama Nubia por creer en mí.

A mi Mamalula

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela por darme la oportunidad de estudiar y formarme como profesional, por permitirme ser parte de tan majestuoso lugar.

A mi Tutor el Profesor José Méndez Baamonde, por siempre estar disponible para atender mis consultas y apoyarme en la culminación de este TEG.

A mi Co-Tutor Mauricio Bermúdez por toda la ayuda y disposición prestada y sobre todo por su infinita paciencia durante la realización de este TEG.

A mi Tutor Industrial Mauricio Hernández por su disposición y colaboración para la culminación de este TEG.

A el profesor Amalio Belmonte, porque gracias a su ayuda, pude entrar al acto de grado.

A los profesores Amalio Sarco Lira y al profesor Dorta quienes diligenciaron los trámites para mi ingreso al acto de grado.

Al profesor Luis Chacón por su disposición y colaboración en la solución de mis conflictos en la escuela.

A los profesores Sebastián Grande, Rafael Falcón, Carlos Albrizzio, Paul Romero, Nuris Orijuela, Cristina Mejías, por impartir sus conocimientos y consejos útiles en mi formación.

A mis amigos Freddy Cisnero, Miguel Peinado, Firas Maklad, Maira Hernández, Aldo Bustos, Ronny Carrero, Richard Montenegro, y a Camacho por su apoyo incondicional. A aquellos que me tendieron la mano, muchas veces sin siquiera solicitárselo.

A la Licenciada Morella Mikaty, por la colaboración prestada y su paciencia, durante el tiempo que fastidie en la biblioteca.

Al personal de Defensa civil, especialmente a la licenciada Elisbet Morales, Julio Jameston, Jesús Cepeda, Wilmer Gascón y al Baquiano Wilmer Gil.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	2
MARCO INTRODUCTORIO.....	2
I.1 Generalidades	2
I.2 Objetivos y alcances del trabajo	4
I.4 Metodología de trabajo	8
Trabajo de Pre-campo.....	8
I.5 Trabajo de campo	8
I.6 Trabajo de laboratorio.....	9
I.6.1 Análisis granulométricos	10
I.6.2 Análisis morfológico	15
I.6.3 Análisis de minerales pesados	16
I.6.3.1 Tamizado de las muestras	16
I.6.3.2 Separación por vía húmeda	17
I.6.3.3 Secado de la muestra.....	17
I.6.3.4 Separación magnética manual y por el equipo Magnet-Lift	18
I.6.3.5 Separación de minerales pesados por líquidos densos.....	20
I.6.3.6. Separación por medio del Separador Isodinámico Frantz modelo L-1.....	24
I.6.3.7 Montaje de la sección epóxica.....	26
I.6. Trabajo de oficina	26
I.7 Trabajos Previos	27
CAPITULO II.....	33
GEOGRAFÍA FÍSICA.....	33
II.1. Generalidades	33
II.2. Clima	33
II.2.1. Precipitación atmosférica.....	34
II.2.2 Régimen Pluviométrico	35
II.2.3 Temperatura del Aire.....	35
II.2.4 Régimen de Evaporación	36
II.2.5.Hidrografía	37

II.3 Flora.....	40
II.4. Fauna	42
CAPÍTULO III	43
GEOLOGÍA REGIONAL.....	43
III.1. Estratigrafía regional	43
III.2. Geología Estructural Regional.....	45
CAPITULO IV	48
DELTA DEL ORINOCO.....	48
CAPITULO V	53
RESULTADOS	53
V.1 Parámetros estadísticos.....	53
V.2 Histogramas y curvas de frecuencias de las muestras de sedimentos.....	55
V.3 Características morfológicas de acuerdo a Powers (1953) y Krumbein y Sloss (1955).....	88
V.4 Características Mineralógicas	93
V.5 Minerales Pesados Identificados en las muestra de arenas en los abanicos de rotura.....	95
CAPITULO VI	96
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	96
VI.1 Análisis de los parámetros estadísticos granulométricos.....	96
VI.2 Morfología de los granos.....	98
VI.3 Características mineralógicas	99
V.I.4 Minerales pesados identificados en las arenas de los abanicos de rotura	102
VI.5 Origen de minerales pesados presente en los sedimentos de los abanicos de rotura en el delta del Orinoco	115
CAPITULO VII.....	120
GEOLOGÍA DE LOS ABANICOS DE ROTURA.....	120
VII.1 Contexto geológico de los abanicos de rotura.....	120
VII.2Etapas de la evolución de los abanicos de rotura.....	122
VII.3 Abanicos de rotura como reservorio potencial de hidrocarburos.....	135

CAPITULO VIII.....	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFÍA	143
APÉNDICE	155
APÉNDICE 1. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M1	156
APÉNDICE 2. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M2.....	157
APÉNDICE 3. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M3.....	158
APÉNDICE 4. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M4.....	159
APÉNDICE 5. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M5.....	160
APÉNDICE 6. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M6.....	161
APÉNDICE 7. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M7.....	162
APÉNDICE 8. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA2M1	163
APÉNDICE 9. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA2M2.....	164
APÉNDICE 10. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA2M3	165
APÉNDICE 11. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA2M4.....	166
APÉNDICE 12. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA3M1	167
APÉNDICE 13. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA3M2	168
APÉNDICE 14. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA3M3	169
APÉNDICE 15. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA3M4.....	170
APÉNDICE 17. Tabla con datos morfológicos de ABA ₁ M ₄	172
APÉNDICE 18. Tabla con datos morfológicos de ABA ₂ M ₁	173
APÉNDICE 19. DATOS MORFOLÓGICOS DE ABA ₃ M ₃	174
APÉNDICE 20. Tabla de orden de persistencia de los minerales pesados	175
APÉNDICE 21. Tabla de discriminación de los minerales según su peso específico. ...	176
APÉNDICE 22. Minerales pesados y su relación con su roca fuente.....	177
ANEXO.....	178

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación y área de estudio. (Tomado y modificado de Méndez, 2000).	7
Figura 2. (A) Torre de tamices empleada para el análisis granulométrico. (B) Balanza electrónica utilizada para pesar las muestras.....	11
Figura 3. Carta visual para la determinación de Esfericidad y Redondez (Tomado y modificado de Kumbrein y Sloss, 1955).....	15
Figura 4. Separador magnético CARPCO modelo MIH-13 11-5.	19
Figura 5. Mezcla de bromuro de acetileno y la muestra de sedimentos.	20
Figura 6. Embudo de separación al cabo de 40 minutos, se puede observar los minerales pesados ya precipitados.	21
Figura 7. Proceso de recuperación de minerales pesados.	22
Figura 8. Vaciado del bromuro de acetileno, en un recipiente no contaminado	22
Figura 9. Separador isodinámico Frantz modelo L-1.	24
Figura 10. Minerales pesados no magnéticos contenidos en tubos de ensayos.	25
Figura 11. Diagrama ilustrativo de las características físicas del relieve e hidrografía del delta del Orinoco. (Tomado y modificado de: ATLAS PRÁCTICO EL NACIONAL, 1999)	37
Figura 12. Red hidrográfica del delta del Orinoco	39
Figura 13. Distribución de la vegetación. Estado Delta Amacuro (Tomado y modificado de: ATLAS PRÁCTICO EL NACIONAL, 1999).	41
Figura 14. Resumen de la estratigrafía regional. (Tomado de MÉNDEZ, 2000).	44
Figura 15. Geología estructural y superficial en la región del delta del Orinoco. Modificado de PEES et al., 1968; CASE Y HOLCOMBE, 1980; PIMENTEL Y BELLIZIA, 1984 Y BELTRAN, 1993.	46
Figura 16. Partes de un delta (Tomado y modificado de Manual de Facies clásticas, 1976).	48
Figura 17. Clasificación del delta del Orinoco. (Modificado de Galloway y Hobday, 1983 en MÉNDEZ, 2000).	50

Figura.18. División del delta. En función de las facies y patrones sedimentarios	52
Figura 19. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA ₁ M ₁	55
Figura 20. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA ₁ M ₂	56
Figura 21. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA ₁ M ₃	57
Figura 22. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA ₁ M ₄	58
Figura 23. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA ₁ M ₅	59
Figura 24. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA ₁ M ₆	60
Figura 25. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra a ABA ₁ M ₇	61
Figura 26. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA ₂ M ₁	62
Figura 27. Histograma y curva frecuencia de resultante del análisis de la muestra ABA ₂ M ₂	63
Figura 28. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA ₂ M ₃	64
Figura 29. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA ₂ M ₄	65
Figura 30. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA ₂ M ₁	66
Figura 31. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA ₂ M ₂	67
Figura 32. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA ₃ M ₃	68

Figura 33. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA ₃ M ₄	69
Figura 34. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₁ M ₁ ...	70
Figura 35. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₁ M ₂ ...	71
Figura 36. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₁ M ₃	72
Figura 37. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₁ M ₄ ...	73
Figura 38. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₁ M ₅ ...	74
Figura 39. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₁ M ₆ ...	75
Figura 40. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₁ M ₇ ..	76
Figura 41. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₂ M ₁ ...	77
Figura 42. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₂ M ₂ ...	78
Figura 43. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₂ M ₃ ...	79
Figura 44. Curva de función de frecuencia para la muestra ABA ₂ M ₄	80
Figura 45. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₃ M ₁ ...	81
Figura 46. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₃ M ₂ ..	82
Figura 47. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₃ M ₃ ...	83
Figura 48. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA ₃ M ₄ ...	84
Figura 49. Histograma de frecuencia para los parámetros de redondez – Muestra ABA ₁ M ₂	89
Figura 50. Histograma de frecuencia para los parámetros de esfericidad – Muestra ABA ₁ M ₂	89
Figura 51. Histograma de frecuencia para los parámetros de esfericidad – Muestra ABA ₁ M ₄	90
Figura 52. Histograma de frecuencia para los parámetros de redondez– Muestra ABA ₁ M ₄	90
Figura 53. Histograma de frecuencia para los parámetros de esfericidad – Muestra ABA ₂ M ₁	91
Figura 54. Histograma de frecuencia para los parámetros de redondez – Muestra ABA ₂ M ₁	91

Figura 55. Histograma de frecuencia para los parámetros de esfericidad – Muestra ABA ₃ M ₃	92
Figura 56. Histograma de frecuencia para los parámetros de redondez – Muestra ABA ₃ M ₃	92
Figura 57. Características mineralógicas – Muestra ABA ₁ M ₁	93
Figura 58. Características mineralógicas – Muestra ABA ₂ M ₁	94
Figura 59. Características mineralógicas – Muestra ABA ₃ M ₁	94
Figura 60. ABA ₁ M ₄ .Se observa el alto porcentaje de cuarzo y la morfología de los granos. (objetivo10x).	100
Figura 61. ABA ₁ M ₄ .Se observa el alto porcentaje de cuarzo monocristalino y la morfología de los granos, nícoles cruzados (objetivo 10x).....	100
Figura 62. ABA ₂ M ₁ . Se observa el alto porcentaje de cuarzo y la morfología de los granos. (Objetivo 10x).	101
Figura 63. ABA ₃ M ₁ .Se observa el alto porcentaje de cuarzo y la morfología de los granos. (objetivo10x).	101
Figura 64. Turmalina identificada en la muestra AB ₁ M ₂ (objetivo 10x).....	107
Figura 65. Turmalina identificada en la muestra ABA ₁ M ₂ (objetivo 10x).	108
Figura 66. Biotita cloritizada identificada en la muestra ABA ₁ M ₂ (objetivo 10x). .	108
Figura 67. Silimanita identificada en la muestra ABA ₁ M ₂ (objetivo 10x).	109
Figura 68. Apatito identificado en la muestra ABA ₁ M ₂ (objetivo 10x).	109
Figura 69. Muscovita cloritizada identificado en la muestra ABA ₁ M ₂ (objetivo 10x).	110
Figura 70. Circón esférico y circón zonado dentificados en la muestra ABA ₁ M ₂ (objetivo 20x) Nícoles Paralelos.....	110
Figura 71. Circón zonado identificado en la muestra ABA ₁ M ₂ (objetivo 20x) Nícoles Cruzados.....	111
Figura 72. Circón zonado identificado en la muestra ABA ₁ M ₂ (objetivo 10x).	111
Figura 73. Epidoto identificado en la muestra ABA ₁ M ₂ (objetivo 10x).....	112
Figura 74. Silimanita identificada en la muestra ABA ₁ M ₄ (objetivo 10x).	112
Figura 75. Quiastolita identificada en la muestra ABA ₁ M ₄ (objetivo 10x).	113

Figura 76. Rutilo identificado en la muestra ABA ₁ M ₄ (objetivo 10x).	113
Figura 77. Andalusita identificada en la muestra ABA ₁ M ₄ (objetivo 10x).	114
Figura 78. Circón y magnetita identificadas en la muestra ABA ₁ M ₄ (objetivo 10x).	114
Figura 79. Apatito primático identificado en la muestra ABA ₁ M ₄ (objetivo 10x)...	115
Figura 80. Abanico de Rotura. Tomado y modificado de (MACA y BREENENDSE, 2007)	121
Figura 81. Evolución y sedimentación de los abanicos de rotura. Tomado y modificado de (MACA y BREENENDSE, 2007).....	123
Figura 82. Distribución de bancos de arena en los canales del abanico de rotura. Tomado de Méndez, 2000.....	124
Figura 83. Distribución de facies de abanico de rotura, en la llanura de inundación del caño Macareo. Tomado de Méndez, 2000.....	125
Figura 84. Modelo conceptual de los depósitos sedimentarios desarrollados en los abanicos de rotura en el delta del Orinoco.(Tomado de ELLIOT, 1974)	126
Figura 85. Entrada de ABA ₁ . Punto de ruptura del dique natural en el caño Macareo.	128
Figura 86. ABA ₁ Banco de arena formado en el punto de ruptura del dique.....	128
Figura 87. ABA ₁ .Vértice del abanico de rotura. Se observa la distribución de los bancos de arena.....	129
Figura 88. Entrada de ABA ₁ .Canal principal del abanico de rotura hacia la llanura de inundación.	129
Figura 89. ABA ₁ Cuerpos de arena elongados distribuidos paralelamente a la dirección de flujo del canal del abanico de rotura.	130
Figura 90. ABA ₁ M ₁ . Canal incipiente del abanico de rotura, en proceso de ensanchamiento.	130
Figura 91. ABA ₁ .Canales del abanico de rotura.	131
Figura 92. ABA ₁ .Canales del abanico de rotura.....	131
Figura 93. ABA ₁ .Desarrollo de bancos de arenas.....	132
Figura 94. Entrada de ABA ₂	132

Figura 95. Vértice de ABA ₂	133
Figura 96. ABA ₂ . Canal desarrollado del abanico de rotura.....	133
Figura 97. ABA ₂ . Canal desarrollado del abanico de rotura.....	134
Figura 98. ABA ₃ . Vértice de abanico de rotura.....	134
Figura 99. Estructura sedimentaria. Flaser y Lenticular.	137

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de análisis aplicados en las muestras de los abanicos de rotura.	9
Tabla 2. Clasificación del tamaño de grano y los valores correspondientes en unidades phi de los sedimentos clásticos. (Tomado y modificado de Udden-Wentworth 1922).....	11
Tabla 3. Intervalos del grado de escogimiento según Folk (1974).....	13
Tabla 4. Intervalos de curtosis.....	14
Tabla 5. Intervalos de Asimetría.....	14
Tabla 6. Minerales magnéticos y no magnéticos. (Tomado y modificado HESS, 1959)	19
Tabla 7. Interpretación de los datos de escogimiento, asimetría y curtosis.	54
Tabla 8. Valores de percentiles.....	85
Tabla 9. Interpretación de la modalidad y la moda, así como la clasificación para las muestras de sedimentos superficiales.	86
Tabla 10. Valores y significado de los datos estadísticos de la media y la mediana de las muestras de sedimentos.	87
Tabla 11. Resultados correspondientes a los grados de redondez y esfericidad de las muestras de arenas.	88
Tabla 12. Minerales pesados no magnéticos.	95

CAPÍTULO I

MARCO INTRODUCTORIO

I.1 Generalidades

El estudio de facies de abanicos de rotura se ha realizado mediante la interpretación de información obtenida de los análisis de la caracterización de los sedimentos utilizando los métodos convencionales de medición del tamaño, los datos obtenidos se usan para calcular parámetros estadísticos que describen las características de la población de partículas en la muestras de sedimentos superficial analizada. Estos se grafican expresados en porcentaje en peso retenido como histogramas, curvas de frecuencia o curvas acumulativas.

Los abanicos de rotura revisten particular importancia desde varios puntos de vista, a saber; a) indican un nuevo curso del caño Macareo que evoluciona a través de los abanicos de rotura; b) poseen características potenciales como reservorios de hidrocarburos; c) durante el periodo de inundación se desarrolla una elevada sedimentación de arenas muy finas restringidas a los abanicos de rotura que se encuentran en las llanuras de inundación. Estas constituyen las principales causas que han motivado al estudio de los abanicos de rotura en el delta del Orinoco con el objetivo de brindar la información geológica que permita mejorar y estimular el estudio de estas facies.

En este Trabajo Especial de Grado (T.E.G) se espera que el estudio de facies de abanicos de rotura nos ayude a entender sus procesos de evolución, así como el origen sedimentos que los conforman.

El actual Trabajo Especial de Grado se presenta en ocho capítulos:

En el primer capítulo se establecen los objetivos de este Trabajo Especial de Grado, los antecedentes, el alcance incluyendo ubicación de la zona de estudio y el procedimiento mediante el cual se obtienen los resultados de los parámetros estadísticos granulométricos, se estudia la forma de la partícula, esfericidad, redondez y composición de las muestras cuyos resultados se expresan en histogramas de frecuencia, también se indica el procedimiento de separación los minerales pesados de las muestras de sedimentos.

El segundo capítulo describe los aspectos relacionados con la geografía física y la biodiversidad de la zona.

El tercer capítulo, se refiere a la estratigrafía regional, y la geología estructural regional, características principales de las formaciones geológicas.

El cuarto capítulo describe las características particulares del delta del Orinoco, también se refiere a los factores que controlan la morfología.

El quinto capítulo indica los resultados obtenidos de los análisis sedimentológicos y separación de minerales pesados.

El sexto capítulo comprende el análisis de resultados de los parámetros estadísticos granulométricos, características morfológicas, minerales pesados separados, con la finalidad de identificar la fuente de sedimentos que constituyen los abanicos de rotura.

El séptimo y último capítulo corresponde con la interpretación las características del proceso sedimentario en los abanicos de rotura, que permite entender el desarrollo y evolución de estos depósitos sedimentarios.

Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones.

I.2 Objetivos y alcances del trabajo

El presente trabajo consiste en el estudio de facies de los abanicos de rotura (“*crevasse splay*”) desarrollados en el Caño Macareo, ubicado en el delta del Orinoco. Por medio del análisis sedimentológico se busca establecer los procesos geológicos que contribuyen a la formación de los abanicos de rotura.

También se contempla determinar características texturales, diferencias y semejanzas sedimentológicas resaltantes entre los abanicos de rotura, así como el estudio de minerales pesados para determinar origen de los sedimentos que conforman los abanicos de rotura.

Este trabajo está orientado hacia el estudio geológico de ambientes sedimentarios recientes y su relación con los terrenos circundantes a la zona de estudio.

I.2.1 Objetivo general

Estudio sedimentológico y caracterización de facies presentes en los depósitos de abanico de rotura en el delta del Orinoco.

I.2.2 Objetivos específicos

- Identificación y ubicación de los depósitos de abanico de rotura en el delta del Orinoco a través de imagen satelital.
- Realizar un reconocimiento geológico y establecer los abanicos de rotura con características sedimentológicas resaltantes.
- Elaboración de mapas tanto de ubicación de muestras como de distribución de facies de abanicos de rotura.
- Establecer las características texturales de los constituyentes: granulometría, esfericidad, escogimiento, redondez, morfología.
- Estudio de los minerales pesados, para determinar la fuente de sedimentos.

I.3 Localización y acceso al área de estudio

El área de estudio comprende el caño Macareo en el delta superior (Figura 1). El caño tiene una orientación noroeste y el área de estudio corresponde a tres abanicos de rotura, que los pobladores los denominan caño “El Tambor” (N08°51’50’’- W61°53’43.9’’), el segundo abanico de rotura lo denominaron caño “Las juas-juas” (N08°53’0.3’’), y el último abanico de rotura lo denominan caño “Tirital” (N09°04’55.4’- W0.61° 50’27.1’).

El caño Macareo está directamente relacionado con el río Orinoco, por lo que recibe un gran aporte de sedimentos en suspensión y como carga de fondo, de ahí su relevancia entre los caños del delta del Orinoco (Méndez, 2000).

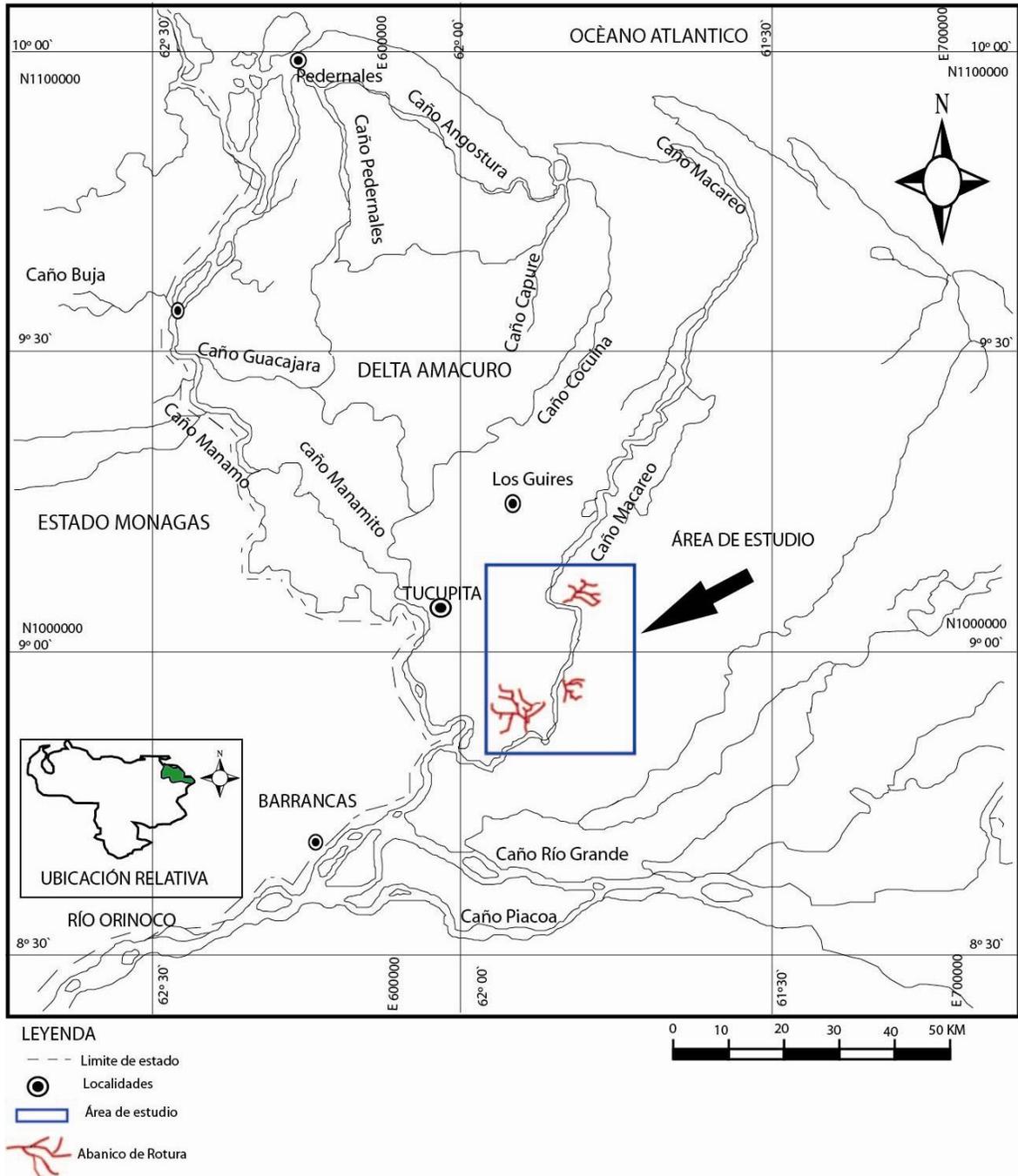


Figura 1. Mapa de ubicación y área de estudio. (Tomado y modificado de Méndez, 2000).

La vía de acceso al área de estudio se realiza por vía fluvial, el punto de embarque se ubica en el puerto de la represa El Volcán ubicado a 25km de la ciudad de Tucupita en la coordenada geográfica N08°53'0.4"-W062°02'0.3", a partir de allí se toma el caño Macareo.

I.4 Metodología de trabajo

Trabajo de Pre-campo

Esta etapa consistió en la revisión y recopilación bibliográfica de publicaciones previas con el objetivo de adecuar una metodología para el desarrollo de la investigación.

Se interpretaron los mapas topográficos e imágenes LANDSAT correspondientes al delta del Orinoco, para ubicar las zonas con desarrollo de abanicos de rotura de importancia para este estudio.

I.5 Trabajo de campo

Esta etapa comprendió el muestreo en los abanicos de rotura. Se recolectaron quince (15) muestras de sedimentos superficiales en forma aleatoria tomando en cuenta bancos de arenas que contienen los minerales pesados transportados por los ríos.

El análisis de las características físicas de todas las muestras tales como color y textura al tacto, así como la presencia de materia orgánica, fueron realizadas in situ. Además las muestras se rotularon con las siglas ABAM, ejemplo, la muestra ABA₁M₁, corresponde a la muestra número uno del primer abanico.

I.6 Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio se dividió en tres etapas: El primer análisis con la finalidad de establecer parámetros texturales. El segundo análisis tuvo el propósito de analizar la morfología de las partículas utilizando cartas visuales. Por último, se realizó el estudio de minerales pesados con la finalidad de establecer posibles fuentes de sedimentos y relacionar esto con los análisis anteriormente mencionados.

MUESTRA	TAMIZADO	MORFOLOGÍA	MINERALES PESADOS
ABA ₁ M ₁	X		
ABA ₁ M ₂	X	X	X
ABA ₁ M ₃	X		
ABA ₁ M ₄	X	X	X
ABA ₁ M ₅	X		
ABA ₁ M ₆	X		
ABA ₁ M ₇	X		
ABA ₂ M ₁	X	X	
ABA ₂ M ₂	X		
ABA ₂ M ₃	X	X	X
ABA ₂ M ₄	X		
ABA ₃ M ₁	X		
ABA ₃ M ₂	X		
ABA ₃ M ₃	X		
ABA ₃ M ₄	X		

Tabla 1. Tipo de análisis aplicados en las muestras de los abanicos de rotura.

Primera etapa:**I.6.1 Análisis granulométricos**

Este método se aplicó a 15 muestras de arenas para determinar las variaciones granulométricas de los sedimentos correspondientes a cada abanico de rotura, por medio del tamizado se comprueba el tamaño de las partículas de igual manera se busca establecer el nivel de energía y tipo de transporte que sufren los sedimentos.

El tamizado de las 15 muestras de sedimentos se realizó en el Laboratorio de Sedimentología (Lab.311) localizado en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, aplicando los siguientes criterios:

- Selección y secado al sol de las muestras.
- Se tomó un promedio de 300 gramos de sedimentos de cada muestra para ser tamizada.
- Pesado de la muestra.
- Se colocaron las muestras en los tamices ASTM de aberturas $\phi = 3.5$ a $\phi = 4.5$, los tamices se arreglaron de tope a base según los diámetros decrecientes del mallado y una bandeja hacia la base, en la cual se deposita la fracción más fina (limos y arcillas) de la muestra. La torre de tamices (ver Figura 2A) se colocó en el tambor vibratorio durante 8 minutos.
- Pesado con una balanza electrónica de una precisión de 0.1g (ver Figura 2B) de la fracción de sedimento retenido en cada tamiz.
- Elaboración de tablas y base de datos.



(A)



(B)

Figura 2. (A) Torre de tamices empleada para el análisis granulométrico. (B) Balanza electrónica utilizada para pesar las muestras.

SEDIMENTO	GRADO	mm	phi
Grava	Peñon	(4096-256)	-12
	Peña	(256-64)	-11
	Guijarro	(64-4)	-10
	Granulo	(4-2)	-9
Arena	Muy Gruesa	(2-1)	-8
	Gruesa	(1-0,5)	-7
	Mediana	(0,5-0,25)	-6
	Fina	(0,25-0,125)	-5
	Muy fina	(0,125-0,062)	-4
Limo	Grueso	(0,062-0,031)	-3
	Medio	(0,031-0,015)	-2
	Fino	(0,015-0,0078)	-1
	Muy fino	(0,0078-0,0020)	0
Arcilla		(0,0078-0,00009)	1
			2
			3
			4
			5
			6
			7
		8	
		9	
		10	
		11	
		12	
		13	

Tabla 2. Clasificación del tamaño de grano y los valores correspondientes en unidades phi de los sedimentos clásticos. (Tomado y modificado de Udden-Wentworth 1922).

El método del tamizado permite determinar el tamaño de las partículas, ya que en cada tamiz queda retenido el diámetro máximo en milímetros de las partículas, dependiendo de la abertura de la malla (Tabla 2). Posteriormente los datos obtenidos son llevados a tablas granulométricas utilizando el software Microsoft Excel[®] donde se expresan de forma porcentual para luego ser gráficos en forma de histogramas de frecuencia y curvas de frecuencia acumulada. Por medio del análisis granulométrico se determinan los porcentajes en peso de las fracciones de tamaño arena limo y arcilla presente en cada muestra de los abanicos de rotura.

Así mismo, a estos datos granulométricos se le aplican medidas de dispersión estadística como: la moda, modalidad y la mediana, curtosis, coeficiente de escogimiento, coeficiente de asimetría. En función de los valores estadísticos obtenidos se puede estimar fluctuaciones del nivel de energía, y la distribución en la población de las partículas en la muestra.

La mediana se calcula por medio de la curva acumulativa, donde se intercepta con el percentil 50, así es posible determinar la zona o intervalo formado por el 50% de los tamaños grueso y 50% de los finos (Φ_{50}).

La moda corresponde al tamaño de grano predominante de la muestra, la modalidad refleja el número de modas presentes. La media es el promedio de todos los tamaños de las partículas presente en la muestra y se calcula promediando los percentiles 25, 50 y 75.

El escogimiento (Ver tabla 3), es una herramienta que permite determinar el grado de uniformidad en el tamaño del sedimento y por tanto refleja la madurez textural del mismo, se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\sigma_1 = (\Phi_{84} - \Phi_{16})/4 + (\Phi_{95} - \Phi_5)/6.6 \quad \text{Ec.(1)}$$

σ_1	Grado de escogimiento (Folk)
< 0.35	Muy bien escogido
0.35-0.50	Bien escogido
0.50-0.71	Moderadamente bien escogido
0.71-1.00	Moderadamente escogido
1.00-2.00	Mal escogido
2.00-4.00	Muy mal escogido
>4.00	Extremadamente mal escogido

Tabla 3. Intervalos del grado de escogimiento según Folk (1974).

La curva de frecuencia se generó mediante la unión de las marcas de clases del histograma de frecuencia. En función del histograma de frecuencia podemos determinar el grado de angulosidad o curtosis. Así si se obtiene una curva con un pico agudo y además un corto rango de clases de tamaño de granos se denomina leptocúrtica, representando un buen escogimiento, mientras que las curvas aplanadas se denominan, mesocúrticas, platicúrticas y representan un escogimiento moderado y un mal escogimiento respectivamente (Ver Tabla 4).

$$K_G = (\Phi_{90} - \Phi_5)/2.44 (\Phi_{75} - \Phi_{25}) \quad \text{Ec.(2)}$$

K_G	SIGNIFICADO
<0.67	Muy Platicúrtica
0.67-0.90	Platicúrtica
0.90-1.11	Mesocúrtica
1.11-1.50	Leptocúrtica
1.50-3.00	Muy Leptocúrtica
>3.00	Extremadamente Leptocúrtica

Tabla 4. Intervalos de curtosis.

Otra propiedad de la curva de frecuencia, es determinar el coeficiente de asimetría (Ver Tabla.5). Las muestras que manifiesten una tendencia asimétrica hacia los tamaños gruesos presentan una asimetría positiva (tendencia hacia los valores negativos de phi) ahora las muestras con tendencia hacia los tamaños finos manifiestan asimetría negativa (valores positivos de phi). Se calcula utilizando la formula de Folk y Ward, 1957.

$$Sk_1 = ((\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}) / (2(\Phi_{84} - \Phi_{16}))) + ((\Phi^5 + \Phi_{95} - \Phi_{50}) / (2(\Phi_{95} - \Phi_5)))$$

Ec.(3)

Sk₁	Asimetría
1.0 a 0.3	Muy asimétrica hacia los tamaños finos
0.3 a 0.1	Asimétrica hacia los tamaños finos
0.1 a -0.1	Casi asimétrica
-0.1 a -0.3	Asimétrica hacia los tamaños gruesos
-0.3 a -1.0	Muy asimétrica hacia los tamaños gruesos

Tabla 5. Intervalos de Asimetría.

Segunda etapa:

I.6.2 Análisis morfológico

El análisis de los parámetros de esfericidad y redondez del sedimento, se realizó bajo una lupa de aumento (a escala 2x y 4x) para cada grano, utilizando la sección fina. En cuanto al estudio de redondez y esfericidad para cada grano, se determinaron las siguientes categorías: muy anguloso hasta sub-redondeado, y muy elongado hasta muy esférico, respectivamente. Este análisis también permite estimar el grado de madurez textural de los sedimentos. Para el análisis morfológico de las partículas se utilizó la carta visual de Krumbein y Sloss (1955), mostrada en la Figura 3.

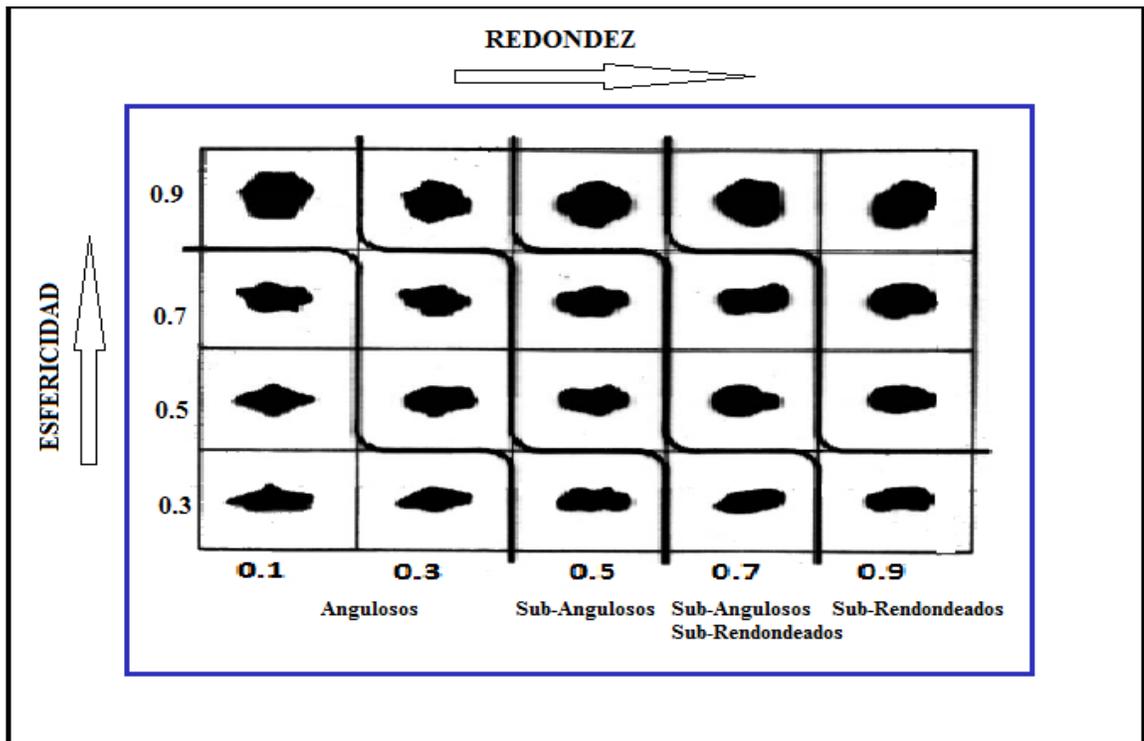


Figura 3. Carta visual para la determinación de Esfericidad y Redondez (Tomado y modificado de Krumbein y Sloss, 1955)

Tercera etapa:**I.6.3 Análisis de minerales pesados**

Las muestras se sometieron a varios procedimientos de laboratorio para concentrar los minerales pesados, este análisis se realizó en el Laboratorio de Termocronología (Lab. 320) de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

I.6.3.1 Tamizado de las muestras**Metodología:**

- Para obtener los minerales pesados, es necesario utilizar los tamices N° 60 y N° 200.
- El juego de tamices se limpió con aire comprimido, para descontaminar el tamiz de muestras ajenas a los sedimentos a estudiar.
- La fracción de interés corresponde a los sedimentos retenidos en el tamiz N° 200 (el tamaño de grano contenido es 0.074mm), estos granos se toman como muestra tipo para la aplicación de análisis de separación por vía húmeda (mesa Wilffley) y posterior separación con Bromuro de Acetileno $[(\text{CHBr}_2)_2]$, para luego procesarlos por medio de los equipos separador magnético Magnet-Lift CARPCO y separador isodinámico Frantz modelo L-1.
- La muestra se embolsa y se etiqueta.

I.6.3.2 Separación por vía húmeda

Metodología:

- La muestra retenida en el tamiz N° 200, cuyo tamaño de grano retenido es menor a 0.074mm se seleccionada para este análisis.
- La muestra tipo se somete a la separación de minerales por vía húmeda, se utilizó la mesa Wilffley la cual utiliza la densidad específica de los minerales separando la fracción liviana de los minerales pesados por medio de un flujo laminar de agua, y una frecuencia de sacudida y de vibración, los sedimentos son transportados a diferentes salidas, de las cuales sólo considere la salidas 1 y 2 donde está la fracción más pesada.

I.6.3.3 Secado de la muestra

Metodología:

- Los sedimentos depositados en los concentrados 1 y 2, se extienden en una bandeja de cristal de alta resistencia, posteriormente se introduce en el horno isotérmico marca Fischer Scientific, para eliminar la humedad a una temperatura constante de 40° C.
- Se deben eliminar los grumos de la muestra.
- Se debe limpiar mediante un equipó ultrasónico.

I.6.3.4 Separación magnética manual y por el equipo Magnet-Lift

Metodología:

- La muestra ya seca, se extiende sobre una cartulina, posteriormente se pasa sobre ella un imán envuelto en una bolsa plástica transparente, para evitar que los minerales ferromagnéticos queden adheridos al imán.
- Para una mayor eficiencia es recomendable pasar el imán sobre la muestra a una distancia de aproximadamente un 1 cm.
- El imán se aleja de la bolsa plástica, con el objetivo de extraer los minerales ferromagnéticos. (magnetita, ilmenita). Este proceso debe repetirse, removiendo la muestra, para que el imán pueda extraer completamente los minerales ferromagnéticos.
- Los minerales ferromagnéticos se desechan, lo que implica una disminución del peso inicialmente tomado de la muestra.
- Este separador utiliza la susceptibilidad magnética particular, para separar los minerales magnéticos de los no magnéticos.
- En el proceso, la muestra se vierte en un recipiente ubicado en el extremo superior derecho del separador magnético.
- La muestra es trasladada por un canal metálico para dirigirse al imán que genera un campo magnético, que separa los minerales magnéticos de los no magnéticos.
- La muestra de interés, será que contiene minerales no magnéticos que resulten de este procedimiento.



Figura 4. Separador magnético CARPCO modelo MIH-13 11-5.

La tabla 6, indica los minerales comunes en rocas sedimentarias agrupados en base a la susceptibilidad magnética. La letra F, que ésta contiene, puede subdividirse por la disminución de la pendiente lateral o el retroceso que separa los minerales diamagnéticos.

Pendiente Lateral 20°				Pendiente Lateral 5°	
A Hand Magnético	B Magnético en 0.4 Amps	C Magnético en 0.8 Amps	D Magnético en 1.2 Amps	E Magnético en 1.2 Amps	F No Magnético en 1.2 Amps
Magnetita	Ilmenita	Hornblenda	Diopsido	Esfena	Circón
Pirrotita	Granate	Hiperesteno	Tremolita	Leucoxeno	Rutilo
	Olivino	Augita	Enstatita	Apatito	Anatasa
	Cromita	Actinolita	Espinela	Andalucita	Brookita
	Clorita	Estaurolita	Estaurolita	Monacita	Pirita
		Epidoto	(clara)	Xenotima	Corindon
		Biotita	Muscovita		Topacio
		Clorita	Zoisita		Fluorita
		Turmalina	Clinozoisita		Cianita
		(oscura)	Turmalina		Silimanita
			(clara)		Anhidrita
					Berilo

Tabla 6. Minerales magnéticos y no magnéticos. (Tomado y modificado HESS, 1959)

I.6.3.5 Separación de minerales pesados por líquidos densos

El bromuro de acetileno es una sustancia química con una densidad de 2.96 g/cm^3 , debido a que los minerales de utilidad poseen densidad superior a 2.9 g/cm^3 estos precipitan permitiendo la separación y descarte de la fracción liviana cuya densidad es inferior a 2.9 g/cm^3 .

Metodología:

- Se vació en un embudo de 60 ml de bromuro de acetileno
- Se vertió el bromuro de acetileno (2.96 g/cm^3), en un embudo de separación con 60 ml de capacidad, para luego gradualmente agregar pequeñas cantidades de la muestra.
- Con mucha precaución se procede a remover la muestra contenida en el bromuro de acetileno, hasta que se observe una mezcla homogénea.



Figura 5. Mezcla de bromuro de acetileno y la muestra de sedimentos.

- Se deja reposar un tiempo estimado de 40 minutos, hasta observar los minerales pesados ya precipitados en el embudo de separación, y en su parte media el bromuro de acetileno, seguidamente de la fracción de minerales livianos



Figura 6. Embudo de separación al cabo de 40 minutos, se puede observar los minerales pesados ya precipitados.

- Los minerales pesados precipitados se recuperan al abrir cuidadosamente la llave del embudo de separación, estos caen en un vaso precipitado de 400 ml de capacidad (Ver Fig. 7), que en la parte superior contiene un embudo de cristal con papel de filtro N° 8, que permite atrapar los minerales pesados y deja precipitar una pequeña cantidad de bromuro de acetileno, que viene mezclada con los minerales pesados.



Figura 7. Proceso de recuperación de minerales pesados.

- Nuevamente se abre la llave del embudo de separación, para que el bromuro de acetileno ubicado en la parte media se vierta en un vaso de precipitado de 400 ml, que tiene en su parte superior un embudo de vidrio con un papel de filtro.
- El bromuro de acetileno recuperado por el método de filtración, se debe colocar en un recipiente aparte.



Figura 8. Vaciado del bromuro de acetileno, en un recipiente no contaminado

- La fracción de minerales livianos es lo último en recuperar, estos forman una especie de nata, por lo que es necesario lavarlos dentro del embudo de separación con etanol. El lavado permite que la fracción liviana se deposite en un vaso precipitado de 400 ml, que previamente contiene en su parte superior un papel de filtro N° 8.
- Los minerales pesados (precipitados) y la fracción de livianos (flotantes) contenidos en el papel de filtro N° 8, se lavan en un vaso precipitado de 400 ml con etanol para eliminar el Bromuro de Acetileno mezclado entre la muestra. Este procedimiento debe repetirse hasta que se disuelva la mayor cantidad de bromuro de acetileno en la muestra.
- Los minerales de interés (pesados) y la fracción de livianos, se colocan en un vaso precipitado y se llevan al horno a una temperatura de 50° C.
- Es fundamental en este procedimiento, tomar las medidas de seguridad establecidas en el laboratorio, ya que los líquidos pesados son altamente corrosivos y cancerígenos. Por lo tanto, es necesario utilizar guantes, mascarar antigases y bata manga larga, además siempre se debe manipular el bromuro de acetileno, dentro de la campana de extracción de gases con la ventana protectora lo más cerrada posible.
- Igualmente se deben lavar con etanol y acetona todos los instrumentos utilizados durante el análisis de minerales pesados.

L.6.3.6. Separación por medio del Separador Isodinámico Frantz modelo L-1.

Metodología:

- En primer lugar, se procede a pasar la muestra previamente separada por medio del bromuro acetileno cuya densidad es de (2.96g/cm^3) , por el separador Frantz.
- Este equipo está constituido por un recipiente alimentador ubicado al extremo superior derecho, por donde se vierte la muestra con precaución, el equipo tiene dos rieles que transportan la muestra hasta dos envases donde se depositan los minerales magnéticos y no magnéticos.



Figura 9. Separador isodinámico Frantz modelo L-1.

- La muestra se somete a una variación de amperes que va desde 0.1- hasta 0.9 amperes, con el objetivo de hacer una separación más precisa de minerales pesados magnéticos de los no magnéticos.
- Los minerales no magnéticos en este caso se pudieron apreciar, a partir de los 0.3 amperes.
- Los minerales magnéticos y no magnéticos, se vacían en un tubo de ensayo para luego rotularlos, pero solo la fracción no magnética, presenta los minerales de interés que serán montados en la sección epóxica.



Figura 10. Minerales pesados no magnéticos contenidos en tubos de ensayos.

I.6.3.7 Montaje de la sección epóxica

Metodología:

- En primer lugar se prepara una mezcla con una relación 5:1, de resina Epoxicure y Epoxide Hardener respectivamente. Esta mezcla se mantiene de color claro, lo que permite una mejor nitidez al momento de analizar y fotografiar, la sección epóxica.
- La mezcla se vierte en recipiente de aluminio y se coloca en una plancha a 40° C.
- Se le coloca vaselina al molde plástico, para luego agregar la muestra de minerales de manera uniforme, y por último se vierte la mezcla en el molde.
- Se coloca el molde en el horno isotérmico a 40° C por 12 horas aproximadamente, para endurecer la sección epóxica.

I.6. Trabajo de oficina

En esta etapa se interpretaron los resultados obtenidos de la etapa de campo y de laboratorio, para proceder a la redacción del informe final

I.7 Trabajos Previos

- **KIDWELL y HUNT (1958)** en función del análisis de los núcleos de perforación de los sedimentos recientes del delta del Orinoco, determinan que los hidrocarburos aromáticos se acumulan en los lentes de arcillas, ubicados en los flancos del anticlinal de Pedernales.
- **VAN ANDEL (1967)** en sus conclusiones determina que el río Orinoco suministra solo una parte de los sedimentos que conforman al delta del Orinoco por el hecho de que el río Amazonas aporta un volumen importante de sedimentos, como resultado de las corrientes en la línea de costa de las Guayanas.
- **MORELOCK (1972)** realiza una división de sedimentos de grano fino en la plataforma continental frente a la desembocadura del Orinoco y las costas de Guayana en dos clases: plataformales y deltaicos.
- **GALVIS Y LOUDER (1974)**. En el flanco norte analizaron las características del sistema de fallas normales en función de sus densidades y relación con los anticlinales, además considero la distribución lenticular en las arenas que conforman el flanco sur del delta, consideraron que existen condiciones geológicas para el entrapamiento de hidrocarburos.
- **HEDBERG (1974)** estudió las arcillas, en cuanto a su capacidad de generación de gas metano y los procesos de compactación, el escape de fluidos en ellas y su íntima relación con la generación de los diapiros de barro, así como su relación con la explotación de hidrocarburos.

- **STAINFORTH, R. M (1978)** en su estudio realizado en las arenas generadoras de hidrocarburos en Pedernales y al sur de Trinidad, refiere que el aporte de sedimentos se ubica hacia el sureste de Trinidad y que la cuenca del Orinoco esta hacia el sureste, por lo que se puede inferir el aporte sedimentario del Proto-Esequibo predomino sobre el Proto-Orinoco.
- **FUNDACIÓN LA SALLE (1979)** subdivide al delta del Orinoco en: (1) continental que incluye al delta y zonas adyacentes. (2) marino incluye el golfo de paria y la plataforma Deltana.
- **BUTENCO Y BARBOT (1981)** determinan que desde la desembocadura deltaica hasta una distancia entre los 35 y 80 kilómetros a partir de la costa, existe una cuña de fango compuesta de arcillas de alta plasticidad y limo orgánico que descarga el río Orinoco, la corriente de Guayana con dirección este-oeste transporta la arcilla que proviene del río Amazonas. Hacia el noreste afloran los sedimentos compuestos por una mezcla de arena limo y arcilla de antiguos depósitos deltaicos, estos sedimentos están subyacentes a la cuña de fango.
- **BELDERSON (1984)** sobre la base de los perfiles sónicos (contrastes acústicos) determinó, al este de la formación de la isla de Barbados, la presencia de canales sinuosos a unos 65 m de profundidad y 3 KM de largo en dirección norte-sur aproximadamente. La tasa de sedimentación del río Orinoco corresponde a unas 86×10^6 Mt/año.
- **HERRERA Y MASCIANGIOLI (1984)** determinaron que la tendencia de las corrientes corresponde hacia el sector norte-noroeste casi todo el año. , frente al delta del Orinoco. En febrero y abril se registran las velocidades

máximas y las mínimas en agosto y octubre. En la parte noreste del delta, giros y meandros se superponen sobre la corriente principal. Por otra parte, el flujo promedio de las aguas se dirige hacia el noreste dominado por la corriente de Guayana. Las mareas astronómicas de la región son semidiurnas ($T=12,4h$) y producen corrientes de marea alternantes a lo largo del eje noreste-suroeste.

- **NWACHUKWU (1985)** concluyo que los sedimentos de la costa del delta del Orinoco tienen valores elevados de materia orgánica y un bajo contenido de bitumen.
- **LORENTE (1990)** realizo una caracterización en función de la materia orgánica y características texturales de cuatro subambientes del delta superior: abanico de rotura, dique natural, lago reliquia y llanuras de inundación. En el lago reliquia la materia orgánica se analizo en función de la temporada de lluvia y sequía. En la temporada de sequía la materia orgánica es oscura y disminuye la cantidad de granos finos. En la temporada de lluvia los hongos abundan de igual manera los granos gruesos abundan y las partículas varían en cuanto a su forma. Por su parte los abanicos de rotura manifiestan una distribución bimodal del tamaño de grano, la materia orgánica es abundante en los depósitos de llanura de inundación, la materia orgánica es escasa en los periodos de sequía, por lo general granos finos de madera. Los remanentes orgánicos son de composición variable. Para el caso de los diques naturales varia el contenido de materia orgánica además de su composición, se manifiesta un rango en el tamaño de las partículas.

- **OCHOA Y ALMENARA (1999)** en su trabajo especial de grado determinaron las características sedimentarias y distribución de facies en el delta inferior y la línea de costa entre los caños Manamo y Macareo.
- **ASLAN (1999)** en su trabajo considera que diversidad de ambientes sedimentarios que conforman el Delta se debe a un conjunto de características relacionadas con el gran caudal y a los sedimentos transportados en suspensión, en segundo lugar la influencia de las corrientes de la costa que suministran sedimentos que provienen del río Amazonas, también toma en cuenta el clima tropical que genera una diversidad biológica y la proximidad del Delta con el borde entre las placas Suramericana y del Caribe.
- **ESCAMILLA Y ROMERO (1999)** en su trabajo especial de grado determinaron la distribución de facies sedimentarias y caracterizaron los sedimentos en el delta superior.
- **MÉNDEZ (2000)** realizó un estudio de las facies desarrolladas entre los caños Macareo y Manamo hasta la desembocadura en la línea de costa y áreas relacionadas, en las cuales hizo un análisis detallado de los ambientes y facies sedimentarias, características morfológicas, petrología y relaciones texturales de los sedimentos.
- **MÉNDEZ (2004)** realizó un estudio de la sedimentación en la plataforma continental y frente atlántico del delta del Orinoco, y su relación con la progradación deltaica dependiendo de la magnitud del sedimento depositado por el río Orinoco y la influencia de la acción de las mareas y las corrientes. Se refiere a la acción de la corriente de Guayana como factor que influye en

la disminución de la velocidad de progradación del delta en la dirección de la cuenca.

- **MÉNDEZ (S/F)** realizó un estudio enfocado hacia la formación del delta del Orinoco y su relación con los eventos transgresivos y regresiones marinas, durante el Pleistoceno Tardío y Holoceno, describe la evolución y mecanismos para la formación de dos grandes deltas en la plataforma continental del actual delta del Orinoco, afirma que el primero se generó durante la transgresión del Sangamon, y el segundo se formó con la transgresión del Holoceno, dando origen al delta actual. Además se describe la fuente de sedimentos para la formación del delta.
- **TOSSIANI, YANEZ y RAMÍREZ (2004)** realizaron un estudio mineralógico y textural, en sedimentos recientes frente al delta del Orinoco, en el margen continental atlántico. Cuantificaron y separaron las fracciones de arcilla, limo, arena y grava en las muestras. El análisis de rayos X sobre las fracciones de limo y arcilla, demostró que el constituyente principal del limo es el cuarzo, aumentando la proporción de calcita para los limos ubicados a mayor profundidad. Las arcillas se componen de caolinita, moscovita y mortmorrillonita. Las partículas de arena y limo grueso, ubicadas en la plataforma contenían minerales pesados en los que se destacó el circón.
- **IVÁN BARITTO, LUIS CAMPOSANO (2004)** realizaron una caracterización química de muestras de sedimentos superficiales y de núcleo entre los 60 y 3.000 m de profundidad, al sur de Trinidad y al este del delta del Orinoco, con el objetivo de correlacionar los cambios de las variables y los procesos geológicos, además establecieron las relaciones verticales y laterales de los sedimentos.

- **CARLOS YANES, ARMANDO RAMÍREZ & TOMMASO TOSIANI (2004)** analizaron las fracciones de limo, y arcilla de los sedimentos superficiales marinos frente al delta del Orinoco, para establecer la concentración y distribución de los metales pesados que indiquen cierto grado de contaminación ambiental ocasionados por cambios naturales o de origen antrópico.

CAPITULO II

GEOGRAFÍA FÍSICA

II.1. Generalidades

El delta del Orinoco representa el mayor depósito de sedimentos acarreados por el río Orinoco, tiene una superficie de aproximadamente 30.000 km², está dentro de la extensión territorial del estado Delta Amacuro y está limitado al norte con el golfo de Paria y el océano Atlántico, hacia el este con el océano Atlántico, por su lado oeste con el estado Monagas y al sur con el estado Bolívar (ver Figura 1).

El delta cuenta con una gran biodiversidad en toda su extensión, en el caso de delta superior se localizan los bosques, sabanas y pantanos, con predominio de palmas, moriches, y rabanales en la zona del delta inferior predominan las zonas de manglares (MARNR, 1999).

Los rasgos geomorfológicos están controlados por la hidrografía, clima y vegetación, el clima modela el relieve por lo que es responsable del paisaje actual del delta.

II.2. Clima

En el delta del Orinoco predomina el clima tropical húmedo, esto se debe a la proximidad con el océano Atlántico al norte y en su extremo oriental, se presentan precipitaciones entre 950 y 1800 mm/año, lo que favorece el desarrollo de grandes extensiones de sabanas y bosques tropófilos (MARNR, 1989).

II.2.1. Precipitación atmosférica

Los estudios acerca de las condiciones atmosféricas realizados por el (MARNR, 1990), determinaron que la precipitación anual varía dependiendo de la zona del delta; en el delta superior oscila entre los 1400 a 1600 mm, incrementándose en sentido oeste- este hasta los 2400 mm en el delta inferior, como resultado de un desplazamiento de la zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), además de la dirección predominante del viento y proximidad de masas oceánicas. La región del delta del Orinoco se caracteriza por tener un alto nivel de pluviosidad, que se relaciona con el sistema hidrográfico fluvial.

El periodo de lluvias se presenta desde de marzo hasta diciembre, extendiéndose en algunas partes del delta hasta principios de enero, la precipitación para este periodo representa el 70% del total de la precipitación anual, con su máxima expresión para el mes de mayo. Este período de máxima se manifiesta con mayor amplitud en el delta superior en comparación con el delta inferior. En los meses de febrero y abril, se presenta el periodo seco, considerando el mes de abril como transicional, en este periodo se concentra alrededor de 30% del total de la precipitación anual (MARNR, 1989).

La máxima influencia de la zona de Convergencia Intertropical se manifiesta a mediados de año aproximadamente para el mes de julio, como resultado de la acción de los vientos húmedos sobre el delta que provienen del Atlántico, por lo que se genera un aumento en las precipitaciones. En los meses de julio y agosto, se observan altas precipitaciones, sin embargo son de menor

intensidad con respecto al mes de junio. La etapa de precipitación disminuye en septiembre en toda la región de delta (MARNR, 1990).

II.2.2 Régimen Pluviométrico

El delta del Orinoco está controlado por un régimen pluviométrico que se manifiesta en dos períodos, se tiene el máximo nivel en el mes de julio en correspondencia con la acción de la zona de Convergencia Intertropical, y en el mes de diciembre por consecuencia de los vientos alisios del Noreste que llegan desde el Atlántico.

II.2.3 Temperatura del Aire

Según el (MARNR, 1990) la fisiografía del delta del Orinoco representada por la hidrografía, vegetación, además de la altitud e influencia de los vientos provenientes del océano Atlántico, implican temperaturas poco variables.

Las temperaturas medias, máximas y mínimas medias mensuales y anuales corresponden a:

- La temperatura media anual, es de 26°C, en el delta inferior específicamente en las localidades de Pedernales, Capure, Isla de Piedra y comunidades adyacentes.
- La temperatura máxima media anual en los meses de Abril y Mayo, es mayor a los 31°C, en el delta superior, en las poblaciones de Tucupita, La Tortuga, Manacal y Boca de Araguaito.
- Para el mes de mayo, la temperatura media mensual aumenta coincidiendo con el inicio del periodo de lluvias, alcanzando temperaturas de 27° C en las poblaciones de Pedernales y Capure, con una leve disminución de

26.4° C y 26.7° C para el resto del delta. Para los meses agosto y septiembre ocurre un segundo máximo en la temperatura media mensual. Los valores mínimos de la temperatura media mensual se observan en enero y oscilan entre 24,5°C y 26,2 °C.

- La temperatura mínima media anual, alcanza su máxima expresión durante el mes de octubre en las poblaciones de Pedernales Capure y áreas cercanas con 23,7° C, para el mes de septiembre en el delta superior e inferior con 22,9°C y 23,6° C respectivamente, registrándose los valores más bajos en los meses de enero y febrero en todo el estado Delta Amacuro (MARNR, 1990)

II.2.4 Régimen de Evaporación

La evaporación se presenta con uniformidad en un 90% de la región. Los valores máximos de evaporación, se registran durante los meses noviembre y diciembre sus valores oscilan entre 120mm y 130mm.

La evaporación máxima se presenta en el delta inferior específicamente en la población de Pedernales con 180mm, aumentando hacia el delta superior en la población de Tucupita se registran valores cercanos a 185mm.

Par el delta superior la evaporación media mensual presenta valores elevados para el mes de marzo de 185mm en promedio. En la localidad de Pedernales se observa un máximo de evaporación con 216mm de agua evaporada.

II.2.5.Hidrografía

La red de drenaje modela el espacio físico del estado Delta Amacuro, esto se debe a que predominan las planicies deltaicas, ocupando una superficie de 25.377 Km² equivalentes a un 77%, del área total del espacio físico de dicho estado (ver figura11).

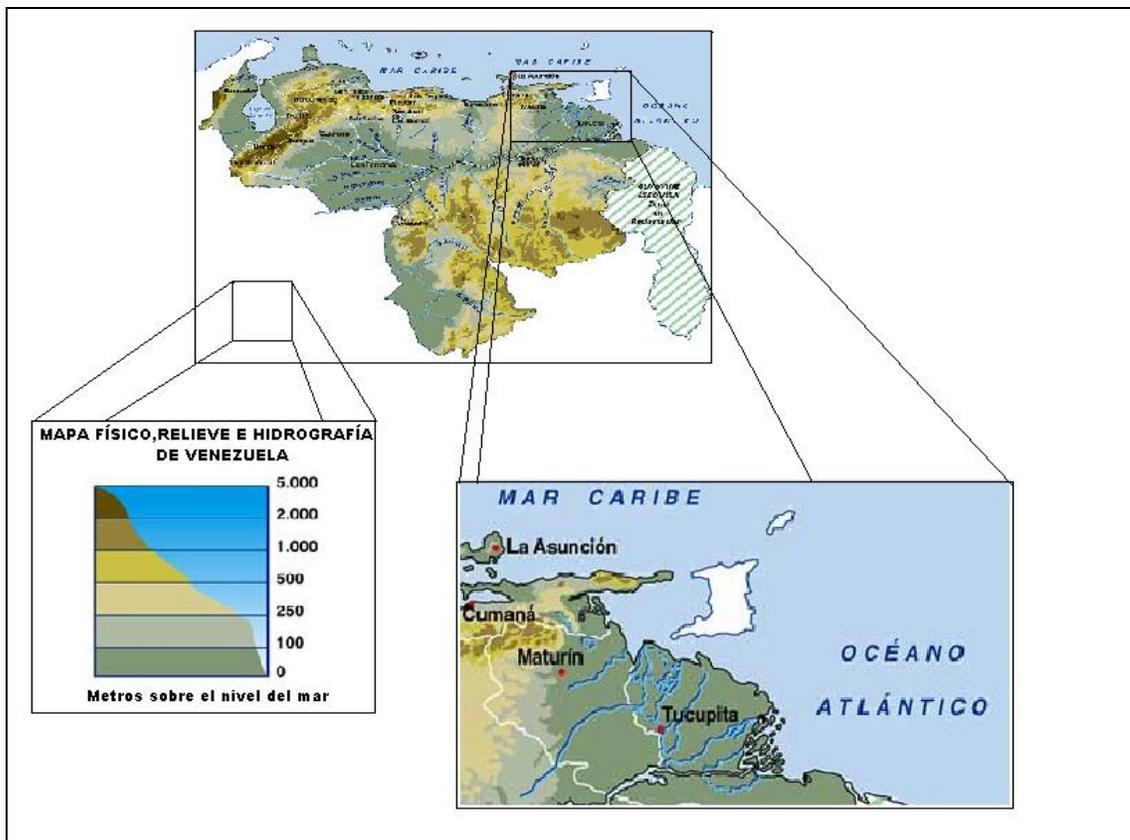


Figura 11. Diagrama ilustrativo de las características físicas del relieve e hidrografía del delta del Orinoco. (Tomado y modificado de: ATLAS PRÁCTICO EL NACIONAL, 1999)

El drenaje meandriforme predomina en el delta de Orinoco, el sistema de drenaje principal está constituido por el Río Grande, Caño Macareo y Caño Manamo los cuales están directamente relacionados con el río Orinoco, por lo tanto ejercen mayor influencia el proceso de sedimentación del delta (ver Figura 12).

El drenaje secundario corresponde a los caños Tucupita, pedernales, Sacupana, y Mariusa. El Río Grande descarga la mayor carga de sedimentos hacia Boca Grande donde se bifurca formando un sistema de canales anostomosados (MÉNDEZ, 2000).

El caño Macareo está directamente relacionado con el Río Orinoco. Presenta un patrón de drenaje meandriforme en el delta superior que varía a rectilíneo hacia el delta inferior, además es el segundo más importante en la red de drenaje en toda la extensión del delta. El caño Macareo en el delta superior presenta un desarrollo de facies de abanicos de rotura, diques naturales, barras de meandros, canales abandonados (MÉNDEZ, 2000).

El caño Manamo constituye un factor importante en el proceso sedimentológico y evolutivo del delta, porque además de recibir aporte de sedimentos del río Orinoco está relacionado con los ríos Uracoa, Morichal Largo y Río Tigre que aportan sedimentos al delta. Los caños que están directamente relacionados con los caños Macareo y Manamo, como los caños Pedernales, Cocuina y Capure, se denominan de aguas negras por su alto contenido de materia orgánica y sedimentos de grano muy fino (MÉNDEZ, 2000).

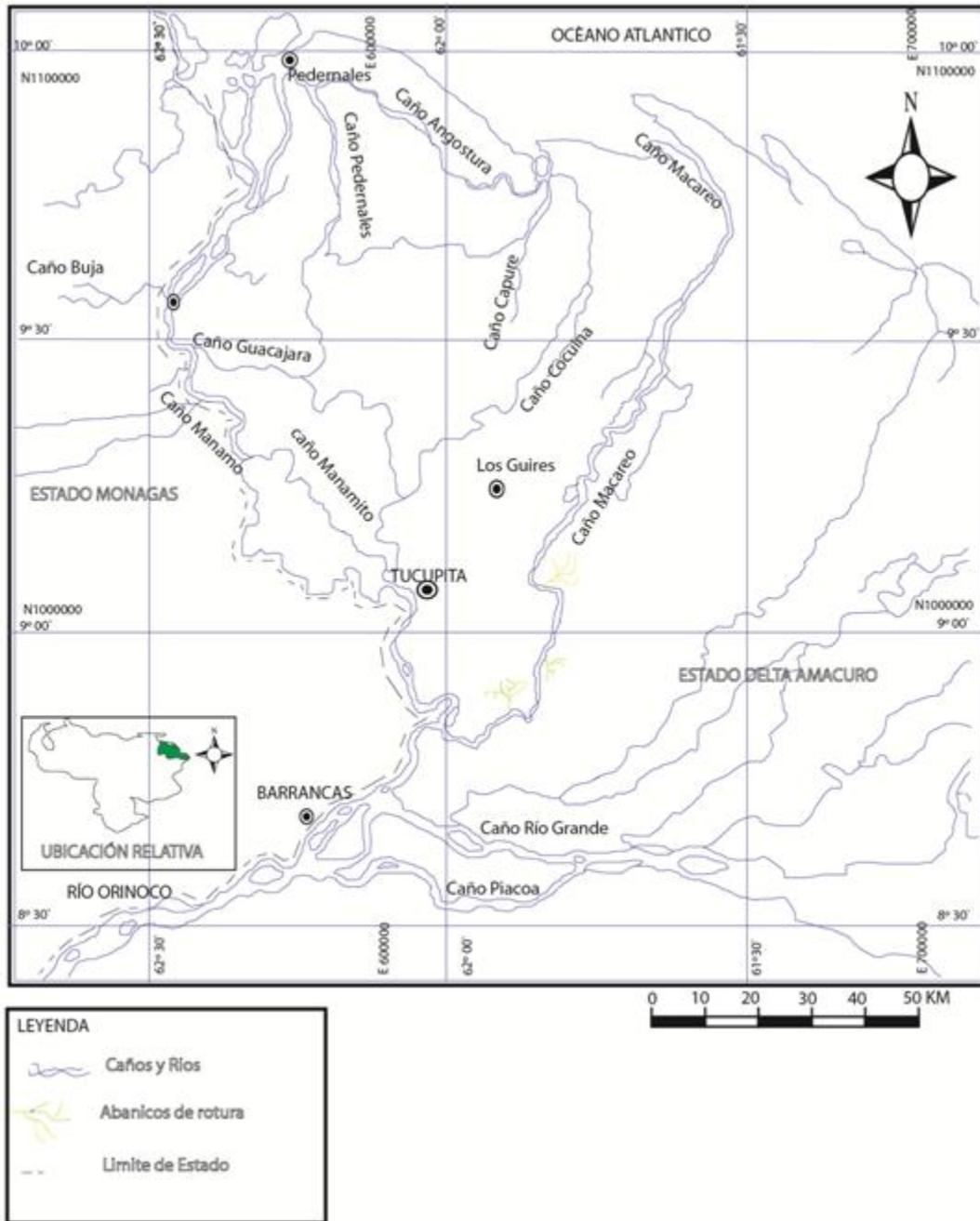


Figura 12. Red hidrográfica del delta del Orinoco

II.3 Flora

El estado Delta Amacuro está constituido por 1.230.440 ha de áreas boscosas lo que representa un 30% del área total del estado. El mangle rojo es el árbol emblemático, y cubre una superficie de aproximadamente 96.000 ha.

En el delta de Orinoco la vegetación se puede clasificar en cuatro grupos:

- Selva: ubicada en la zona central del Estado conforma un manto tropical, con una gran variedad de especies.
- Estuario: ubicado en la costa oceánica del delta, predominan los manglares y las palmas de moriche.
- Bosque: se ubican a lo largo de los caños principales y en las áreas de mayor desarrollo de los diques naturales, también incluye la reserva forestal de Imataca.
- Sabana: se ubica a lo largo de los caños principales al oeste del territorio, el paisaje está constituido por especies herbáceas.

En referencia a la vegetación acuática se destaca el lirio de agua o bora, las extensiones de los manglares se ubican en el delta inferior favorecidas por las zonas inundables, donde no se encuentran bien desarrollados los diques naturales. Las palmeras de moriche y palmito, al igual que los bosques se desarrollan en zonas de inundaciones alternas en las zonas intermedias se encuentran varios tipos de vegetación herbácea.

Según la FUNDACIÓN LA SALLE (1997), las especies nativas están representadas por plantaciones de coco y cacao, se pueden observar en el delta superior donde hay desarrollo de diques naturales.

Algunas de las especies dominantes en los bosques son: ceiba (*Ceiba petandra*), matapalo (*Ficus sp*), jobo (*Spondias mombin*), mora (*Mora excelsa*), laurel (*Ocotea sp*), bucare (*Erythrina sp*), chaguaramo (*Roystonea venezuelensis*), apamate (*tebebuia insignis*), guasimo (guazuma ulmifolia), algarrobo (*hymenaea courbaril*), etc.

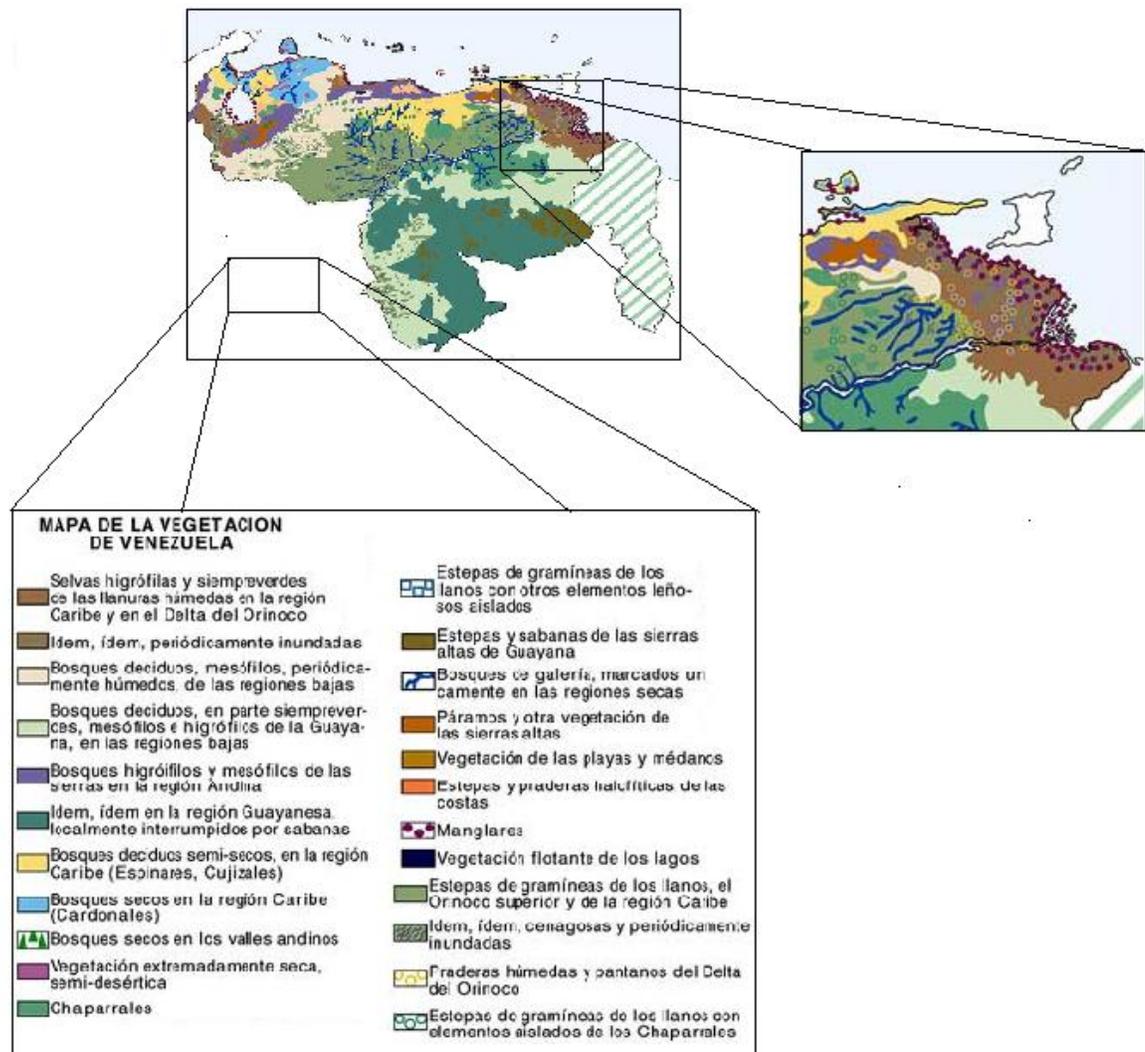


Figura 13. Distribución de la vegetación. Estado Delta Amacuro (Tomado y modificado de: ATLAS PRÁCTICO EL NACIONAL, 1999).

II.4. Fauna

El delta del Orinoco cuenta con una gran diversidad de fauna terrestre y acuática, con características afines al entorno.

Entre la diversidad de aves con que cuenta el delta del Orinoco se destacan: el **Gavilán de manglar** (*Buteogallus aquinoctialis*), **Cuculillo de manglar** (*Coccyzus minor*), **Pato real** (*Carina moschata*), **Guacamaya azul y amarilla** (*Ara ararauna*), **Guacamaya enana** (*Ara nobilis*) y el **Mielero manglero** (*Conrostrum bicolor*)

Dentro de la familia de los mamíferos los más representativos son: el **Manatí** (*Trichechus manatus*), el **picure deltano** y el **perro de agua** (*Lutra longicaudis enudris*).

En cuanto a los reptiles el delta del Orinoco cuenta con una gran variedad de especies entre ellos la **Tortuga** (*Chelonia mydas*) y la **Lagartija deltana**.

Otros integrantes de la fauna en el delta que se destacan entre otros: **Cuatrojos** (*Anableps anables*), **Coporo**, **Camarón**, **Róbalo** (*Centropomus* sp), **Lebranche** (*Mugil liza*).

Entre los anfibios la fauna cuenta con **Ranas** (*Leptodactilus ocellatus*) y el **sapo común**. (MARNR, 1999).

CAPÍTULO III

GEOLOGÍA REGIONAL

El siguiente capítulo se refiere a la geología regional del área de estudio, contempla la geología estructural y estratigrafía regional del delta del Orinoco.

III.1. Estratigrafía regional

La estratigrafía está constituida por sedimentos con edades correspondientes al Mioceno Superior y Reciente. Se registran afloramientos de la Formación Las Piedras del Mioceno Tardío (estado Monagas) al Plioceno (estado Delta Amacuro), Formación Paria del Cuaternario-Pleistoceno con posible extensión al Plioceno, Formación Mesa del Pleistoceno que aflora en el estado Monagas. Fundamentalmente la cubierta sedimentaria que conforma el delta del Orinoco es suprayacente a las formaciones antes descritas. Las diferentes formaciones se muestran en la Figura 14.

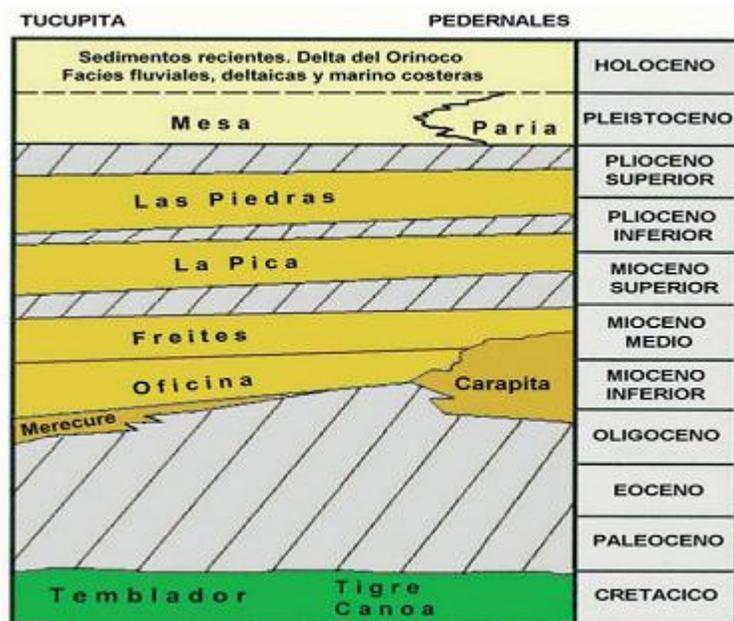


Figura 14. Resumen de la estratigrafía regional. (Tomado de MÉNDEZ, 2000).

- Formación Las Piedras:** está caracterizada por areniscas micáceas friables, con textura de grano fino, color gris claro a gris verdoso, intercaladas con lutitas grises a verdoso, arcillas sideríticas, grises, lutitas ligníticas y lignitos. Su espesor, en la sección tipo, es de 1005 m. Sus contactos son concordantes y suprayacentes con la Formación Freites y Formación La Pica, e infrayacente a la Formación Mesa. El ambiente depositacional es transicional, de ambiente marino somero a fluvio-deltaico y la edad de estos depósitos corresponden al Mioceno Tardío–Plioceno. Su extensión geográfica abarca el borde septentrional de los estados Anzoátegui y Monagas. En el subsuelo se extiende al este hasta Pedernales, estado Delta Amacuro y el Golfo de Paria. Hacia el sur, llega a las cercanías del río Orinoco, en la faja petrolífera. (GONZÁLEZ DE JUANA, 1946).

- **Formación Paria:** litológicamente está caracterizada por arcillas laminares de color parduzco y gris claro, con escasas capas de arena lutítica. Hacia el golfo de Paria está constituida por areniscas blanquecinas, limolitas y lutitas interlaminadas con lignitos. Su espesor en la localidad tipo es de 374m. Sus contactos son de tipo transicional con la Formación Las Piedras en el tope y posible contacto superior discordante de la Formación Paria sobre una gran extensión, debajo de sedimentos del Holoceno. El ambiente depositacional, varía de marino somero en la parte inferior a fluvial en la parte superior. La extensión geográfica abarca la región del delta del Orinoco, al este las llanuras de la Formación Mesa del estado Monagas y en el área del golfo de Paria. (GONZÁLEZ DE JUANA, 1946).
- **Formación Mesa:** está caracterizada por arenas de grano grueso y gravas muy duras, con presencia de cemento ferruginoso; los conglomerados son rojos casi negros; también se observan lentes discontinuos de arcilla fina arenosa y lentes de limolita. Su espesor máximo es de 275m, en Maturín, sin embargo disminuye de norte a sur y aumenta de oeste a este. Su contacto es concordante suprayacente y transicional con la Formación Las Piedras. La Formación Mesa es de edad Pleistoceno y fue depositada en ambientes (GONZÁLEZ DE JUANA, 1946).

III.2. Geología Estructural Regional

La tectónica del Caribe afecta al norte de Venezuela y la zona de estudio de la presente investigación generando un sistema de fallas orientadas en dirección E-W, con un movimiento predominantemente transcurrente dextral (ver Figura 15). Entre las estructuras más significativas encontramos las fallas de El Pilar, Urica, San Juan, Soldado y Los Bajos, estas se encuentran en el subsuelo del Golfo de Paria.

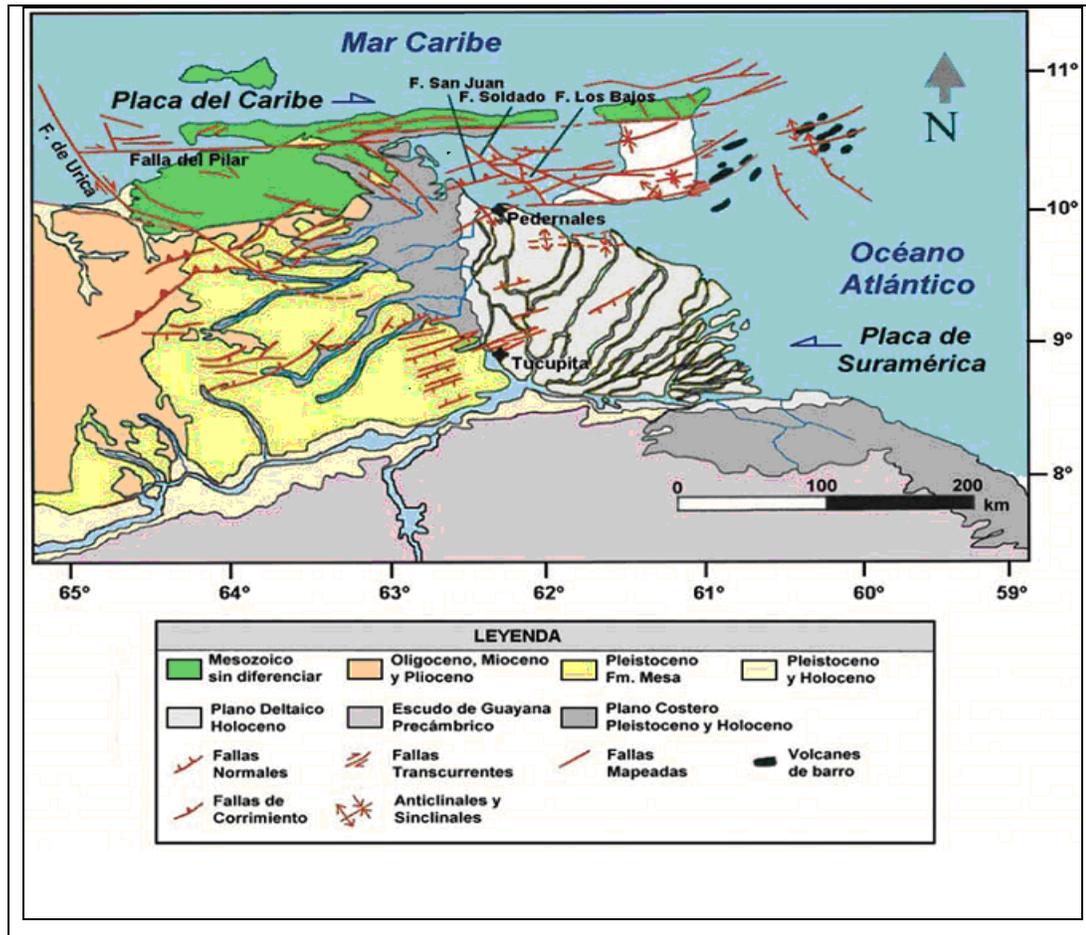


Figura 15. Geología estructural y superficial en la región del delta del Orinoco. Modificado de PEES et al., 1968; CASE Y HOLCOMBE, 1980; PIMENTEL Y BELLIZIA, 1984 Y BELTRAN, 1993.

La disposición general de las fallas resulta del desplazamiento hacia el este de la placa del Caribe con respecto a la placa Suramericana. Este desplazamiento deforma progresivamente el borde norte de Sur-américa, generando estructuras que desarrollan un estilo estructural y deformaciones asociadas.

Las estructuras geológicas que se manifiestan en la región del delta del Orinoco no presentan mayor complejidad estructural, están representadas por el anticlinal de Pedernales y fallas secundarias asociadas.

En su estudio SOULAS (1982) describe el sistema de fallas ubicadas entre las en las cercanías de Pedernales, específicamente en el golfo de Paria como el sistema de fallas de El Soldado y Los Bajos que se extienden desde el Sureste de Trinidad hasta la desembocadura del caño Macareo como transcurrente dextral, y denomina este sistema como uno de los accidentes tectónicos más activos de la región nororiental, por lo que puede considerarse, como uno de los límites entre la Placa Caribe y la Placa Suramericana.

El anticlinal de Pedernales se debe a la intrusión diapírica de lodo, es ligeramente asimétrico con el flanco sur más inclinado con respecto al flanco norte, cuyo eje tiene dirección N 65° E, con una suave vergencia al suroeste. De lo anterior concluye que este anticlinal es una culminación local de la intrusión diapírica, que se extiende desde el sur de Trinidad, bifurcándose en Pedernales. BARNOLA, (1960)

El anticlinal de Pedernales no solo es el resultado de la intrusión diapírica de lodo, también se asocia a la dislocación de fallas profundas, esto se fundamenta en los últimos datos sísmicos 3D. Los datos obtenidos del campo petrolífero de Pedernales indican que los yacimientos buzcan alrededor de 45° hacia el NE y además se determina que el entrapamiento es fundamentalmente estratigráfico. Las arenas productoras lateralmente están limitadas por fallas transcurrentes con orientación NO-SE.

Según BELTRAN, (1993) al norte y al oeste de la ciudad de Tucupita se manifiestan una serie de fallas normales en el subsuelo con rumbo aproximado N65° que no sobrepasan los 20 km de longitud.

CAPITULO IV

DELTA DEL ORINOCO

Un delta se forma cuando un río principal no distribuye eficazmente el material detrítico en la costa, y posteriormente estos sedimentos son distribuidos a través de una red de drenaje en forma radial progradando hacia el mar (Méndez, 2006)

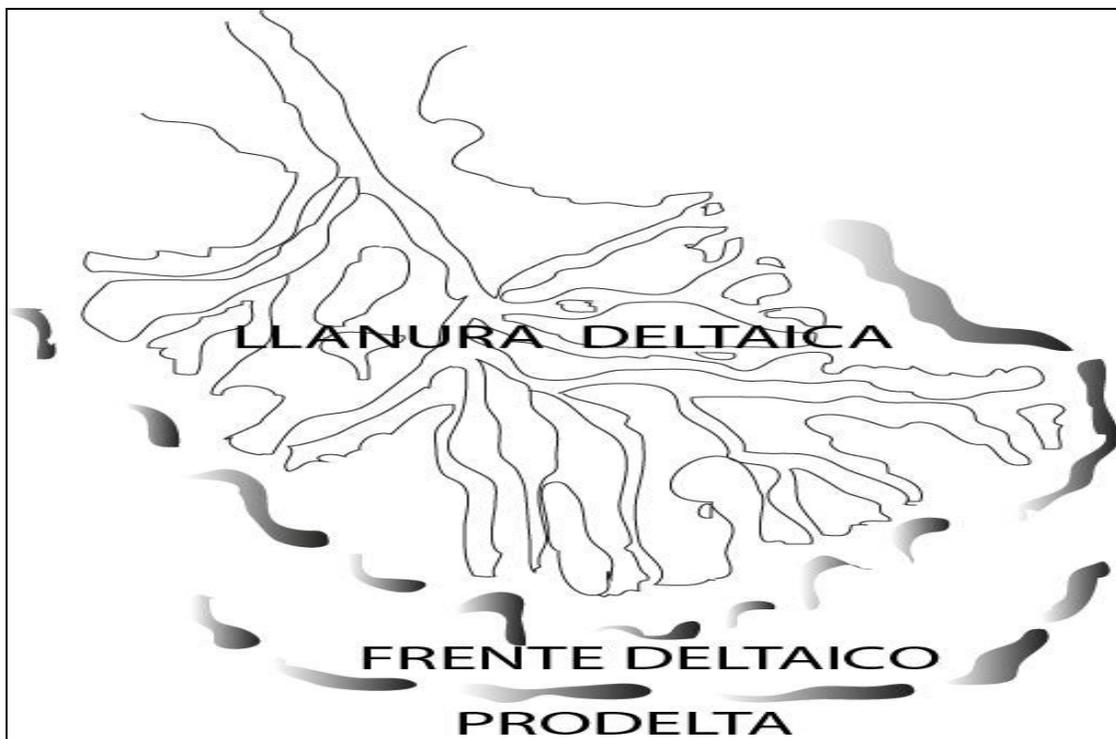


Figura 16. Partes de un delta (Tomado y modificado de Manual de Facies clásticas, 1976).

El delta del Orinoco se ubica al este de Venezuela, está circunscrito en la cuenca Oriental con una extensión territorial de aproximadamente 30.000 km², representa un sistema dinámico que corresponde a un medio de transición entre ambientes continentales y ambientes marinos.

Debido a su condición de delta oceánico está influenciado y modelado morfológicamente por la descarga de sedimentos, en combinación con la acción de las mareas y energía del oleaje que actúan en la costa, esto permite determinar una clasificación apropiada para el delta del Orinoco. En el sector sureste específicamente desde Boca Grande hasta Boca de Araguao, manifiesta características morfológicas afines con la descarga de sedimentos del río Orinoco, sedimentos transportados por el río Amazonas y la acción de las mareas. (ver Figura 17). La zona costera comprendida entre Boca de Araguao hasta punta Tolete corresponde a la influencia de la acción de las mareas. En el sector noreste en la zona de Boca de Guanipa está controlado por la acción de las marea (MÉNDEZ, 2000).

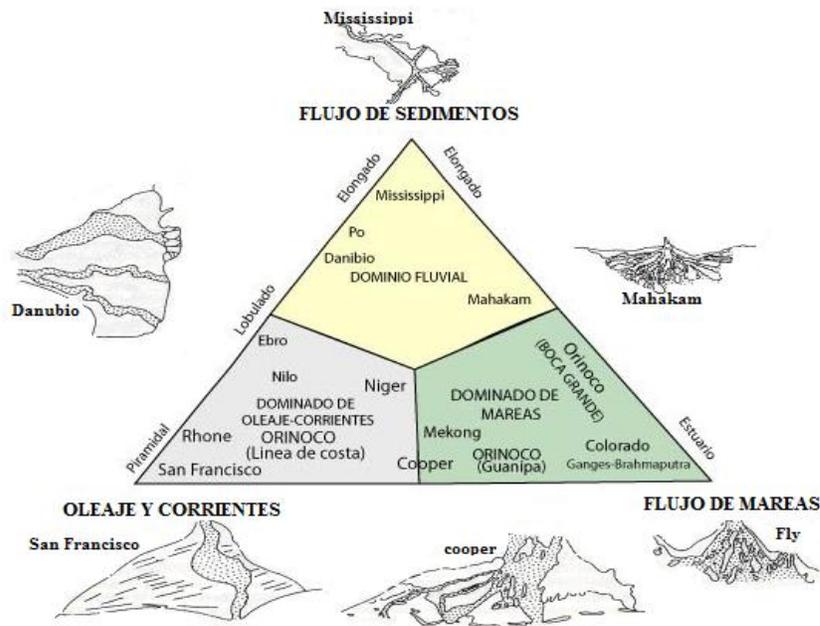


Figura 17. Clasificación del delta del Orinoco. (Modificado de Galloway y Hobday, 1983 en MÉNDEZ, 2000).

En la constitución del sistema de drenaje, el delta presenta tres caños principales directamente relacionados con el río Orinoco como son el Río Grande, el caño Manamo y el caño Macareo, este último comprende la zona de desarrollo de abanicos de rotura.

Los caños secundarios se derivan y al mismo tiempo conectan los caños principales, transportan en gran cantidad de materia orgánica, limo y arcilla en suspensión.

El delta del Orinoco se subdivide en tres sectores en función de las facies desarrolladas (ver Figura 18). El delta superior comprende la parte más distal a la línea de costa y está conformado por diques naturales, barras de meandros, canales activos y abandonados, lagunas y abanicos de rotura.

El delta medio se caracteriza por la presencia de diques incipientes en los caños principales predominando el contenido de limo y arcilla. La zona proximal con respecto a la línea de costa se denomina delta inferior y se caracteriza por la ausencia de diques de los canales principales, lo que implica que las llanuras deltaicas estén inundadas durante todo el año, por ende se desarrollan zonas pantanosas y marismas.

La progradación de la línea de costa paralelamente con el frente deltaico, está representado por una sedimentación de arena muy fina sobre la facies de limo y arcilla, permitiendo el desarrollo de manglares y bancos de arena en zonas no sometidas al oleaje, como la bahía de Guanipa, boca Grande y la desembocadura del caño Macareo.

El desarrollo de las comunidades de manglares se ve favorecida por la depositación de sedimentos finos, en vez la formación de lomas de playas está vinculada con la depositación de arenas trasportadas como carga de fondo que predominan sobre los limos. Las facies de limos y arcillas predominan en el prodelta, con presencia esporádica de arenas muy finas.

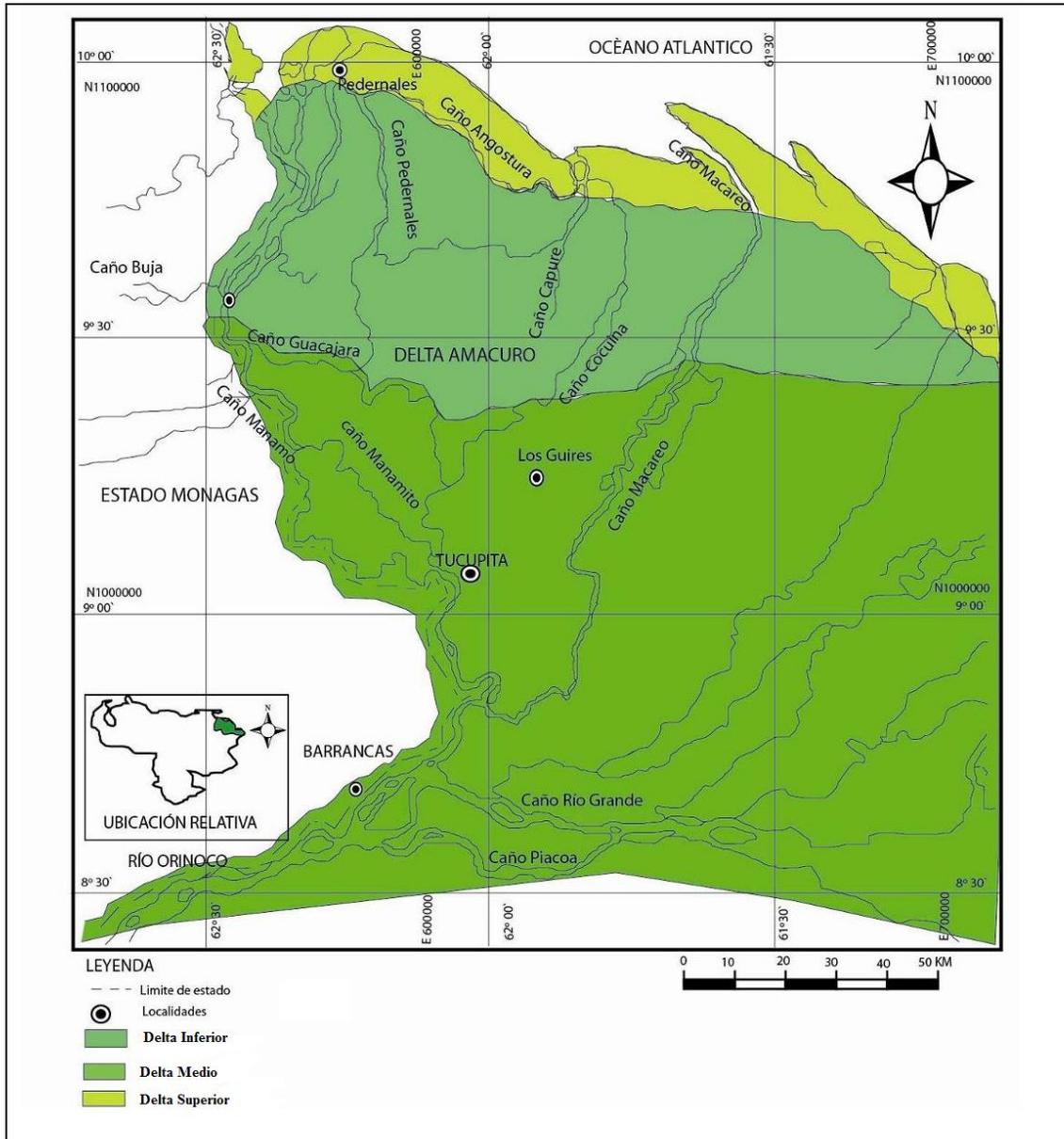


Figura.18. División del delta. En función de las facies y patrones sedimentarios (Tomado de MÉNDEZ, 2000)

CAPITULO V

RESULTADOS

En este capítulo, se muestran los resultados obtenidos de los análisis realizados a las muestras de los abanicos de rotura localizados en el delta del Orinoco, representados de la manera siguiente: parámetros estadísticos, histogramas y curvas de frecuencias de las muestras de sedimentos, características morfológicas de acuerdo a Powers (1953) y Krumbein & Sloss (1955), características mineralógicas y minerales pesados identificados en las muestras de arenas en los abanicos de rotura.

V.1 Parámetros estadísticos

Los resultados de escogimiento, coeficiente de asimetría y curtosis pertenecientes al análisis granulométrico para cada una de las muestras de los tres abanicos de rotura se muestran en la Tabla 7.

MUESTRA	σ_1	ESCOGIMIENTO	sk1	COEFICIENTE DE ASIMETRIA	KG	CURTOSIS
ABA ₁ M ₁	0,5	Bien Escogido	0,28	Asimétrica hacia tamaños finos	1,78	Muy leptocúrtica
ABA ₁ M ₂	0,56	Mod. Bien escogido	0,23	Asimétrica hacia tamaños finos	1	Mesocúrtica
ABA ₁ M ₃	0,51	Mod. Bien escogido	0,46	Muy asimétrica hacia tamaños finos	1,16	Leptocúrtica
ABA ₁ M ₄	0,53	Mod. Bien escogido	0,04	Casi asimétrica	1	Mesocúrtica
ABA ₁ M ₅	0,69	Mod. Bien escogido	0,03	Casi asimétrica	2,53	Muy leptocúrtica
ABA ₁ M ₆	0,66	Mod. Bien escogido	0,06	Casi asimétrica	2,53	Muy leptocúrtica
ABA ₁ M ₇	0,61	Mod. Bien escogido	0,06	Casi asimétrica	0,97	Mesocurtica
ABA ₂ M ₁	0,53	Mod. Bien escogido	0,79	Muy asimétrica hacia tamaños finos	2,08	Muy leptocúrtica
ABA ₂ M ₂	0,45	Bien escogido	0,76	Muy asimétrica hacia tamaños finos	1,02	Mesocúrtica
ABA ₂ M ₃	0,47	Bien escogido	0,76	Muy asimétrica hacia tamaños finos	1,09	Mesocúrtica
ABA ₂ M ₄	0,45	Bien escogido	0,76	Muy asimétrica hacia tamaños finos	1,02	Mesocúrtica
ABA ₃ M ₄	0,6	Mod. Bien escogido	0,23	Asimétrica hacia tamaños finos	2,23	Muy leptocúrtica
ABA ₃ M ₂	0,49	Bien escogido	0,49	Muy asimétrica hacia tamaños finos	1,95	Mesocurtica
ABA ₃ M ₃	0,46	Bien escogido	0,57	Muy asimétrica hacia tamaños finos	1,39	leptocúrtica
ABA ₃ M ₄	0,52	Mod. Bien escogido	0,58	Muy asimétrica hacia tamaños finos	1,23	leptocúrtica

Tabla 7. Interpretación de los datos de escogimiento, asimetría y curtosis.

V.2 Histogramas y curvas de frecuencias de las muestras de sedimentos

En la siguiente sección se presentan las gráficas de los histogramas y curvas de frecuencia desarrolladas a partir del cálculo del porcentaje en peso de las fracciones del sedimento para cada muestra.

En la Figura 19, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₁M₁. Puede apreciarse en esta figura que el comportamiento de la curva de frecuencia es unimodal y leptocúrtica. El histograma de frecuencia manifiesta una moda centrada en el valor 3.5 Φ de abertura con una frecuencia de 77,58%. No se encontraron partículas menores a 2 Φ .

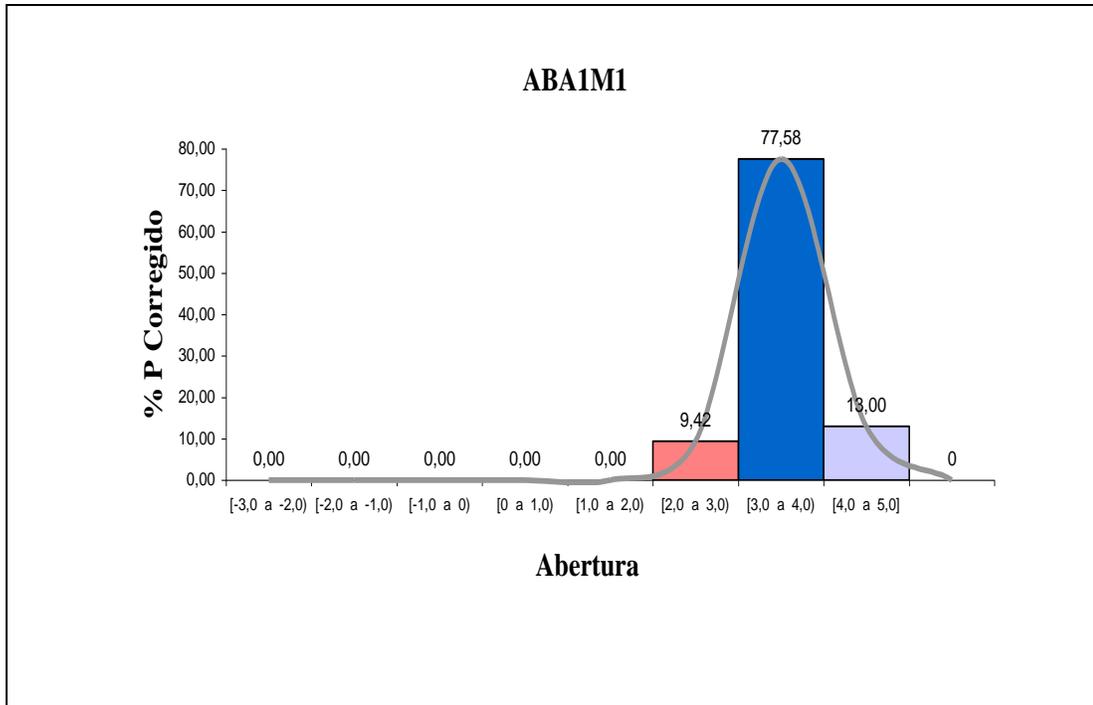


Figura 19. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA₁M₁.

Puede observarse en la Figura 20, los resultados del análisis para la muestra ABA_1M_2 , tiene una distribución unimodal, con asimetría positiva, los valores máximos encontrados en el intervalo 3 a 4 de abertura Φ , con una frecuencia de 69,14%.

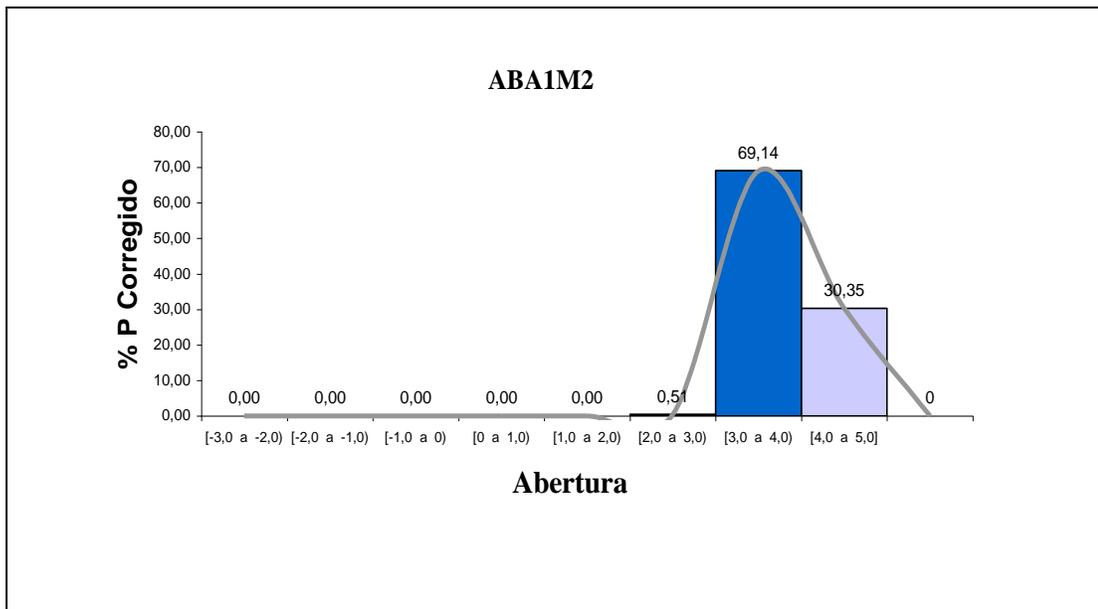


Figura 20. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA_1M_2 .

En la Figura 21, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₁M₃. Se observa que la curva de frecuencia tiene una expresión gráfica leptocúrtica y unimodal. El histograma de frecuencia manifiesta una moda centrada en el valor 3.5 Φ de abertura con una frecuencia de 74,5%.

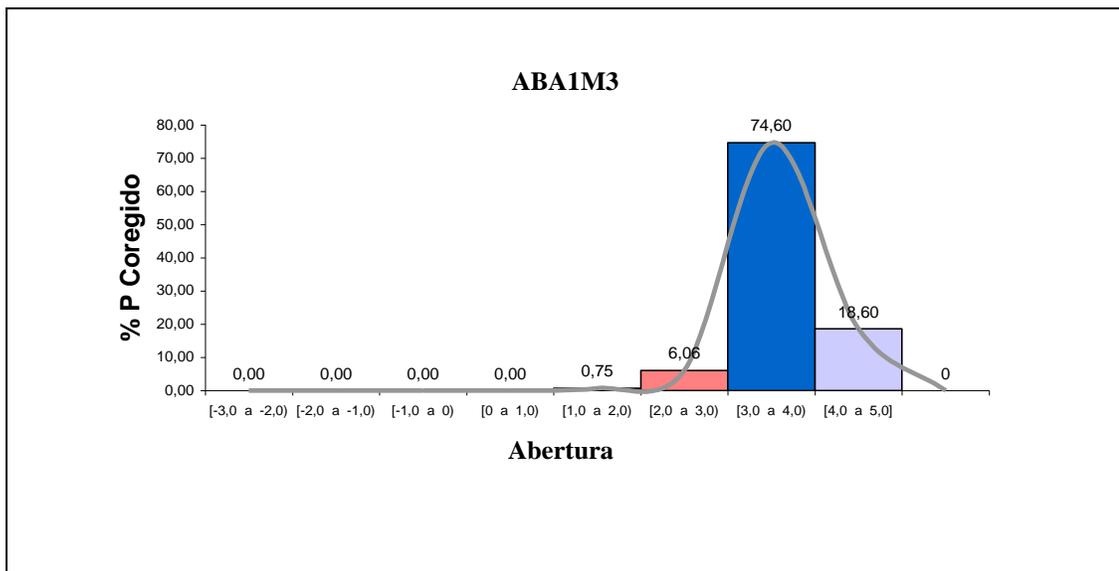


Figura 21. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA₁M₃.

Puede observarse en la Figura 22, los resultados del análisis para la muestra ABA_1M_4 , tiene una distribución unimodal con asimetría positiva, con los valores máximos encontrados en el intervalo 3 a 4 Φ de abertura, con una frecuencia de 71,11%.

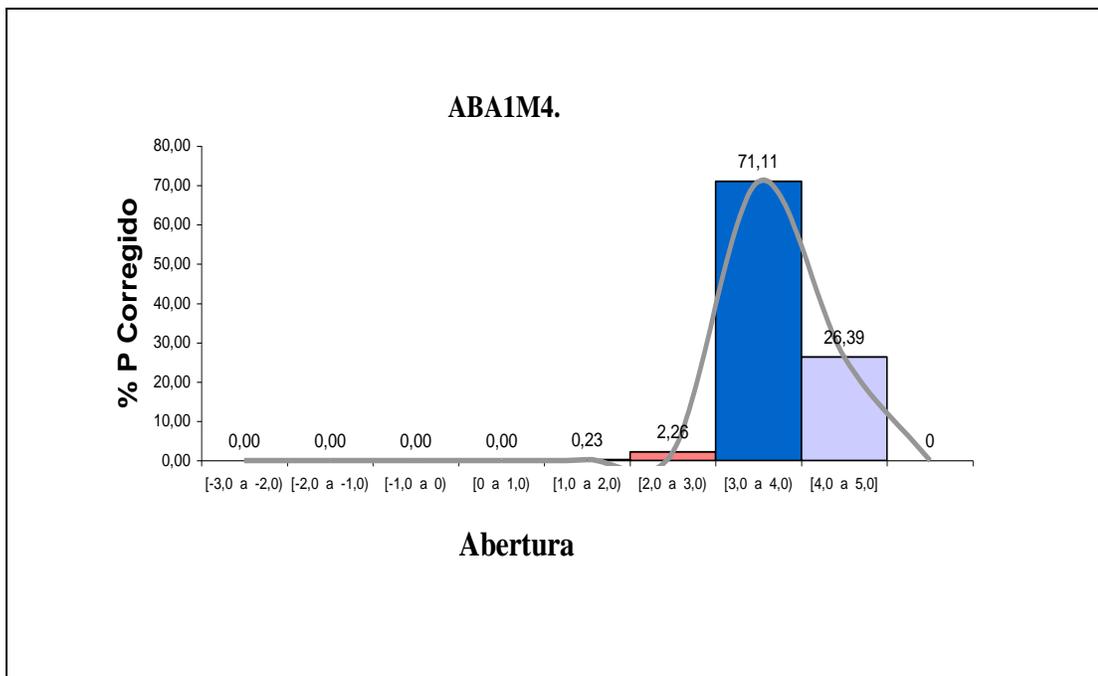


Figura 22. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA_1M_4 .

La figura 23, muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₁M₅. Se observa un aumento de la frecuencia del tamaño de las partículas retenidas en el intervalo 4.0-5.0 Φ de abertura, la curva de frecuencia es unimodal, se encontraron partículas en el intervalo 1-2 Φ de abertura.

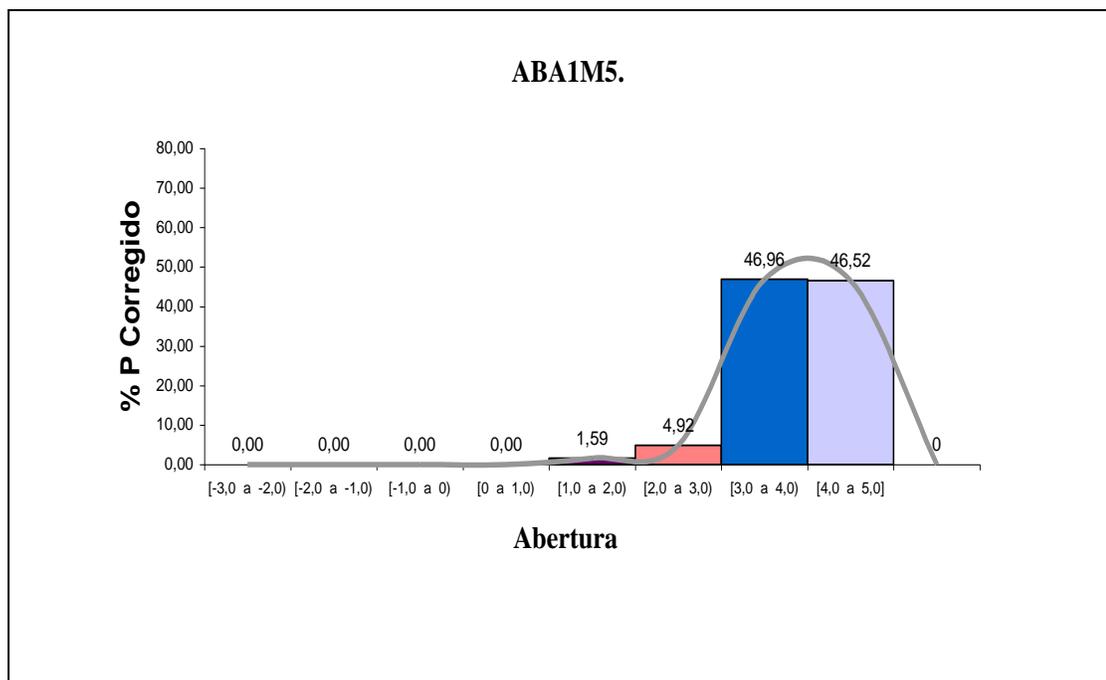


Figura 23. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA₁M₅.

En la figura 24 se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₁M₆. La curva de frecuencia manifiesta una expresión asimétrica positiva, con valores máximos en el intervalo 3-4 Φ de abertura. En el intervalo 2-3 Φ se tiene una frecuencia de 4,88%.

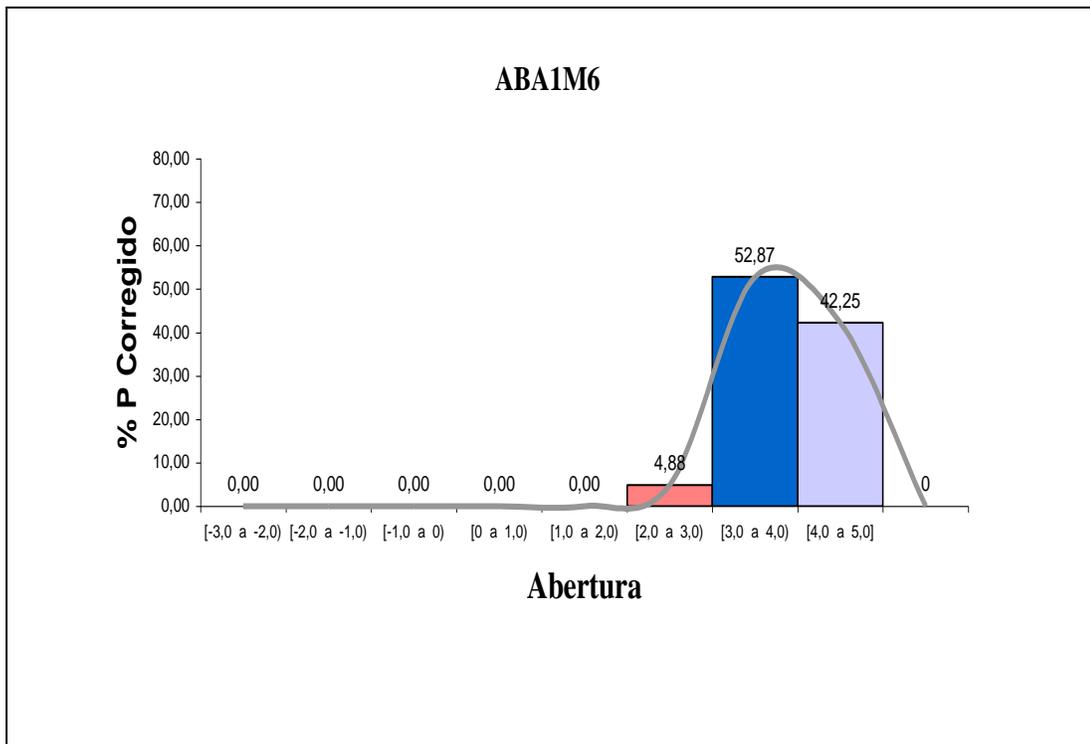


Figura 24. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA₁M₆

En la Figura 25, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₁M₇. Se observa que la curva de frecuencia tiene una expresión gráfica con asimetría positiva y unimodal. El histograma de frecuencia manifiesta una moda centrada en el valor 3.5 Φ de abertura con una frecuencia de 53,22%. No se encontraron partículas menores a 2 Φ de abertura.

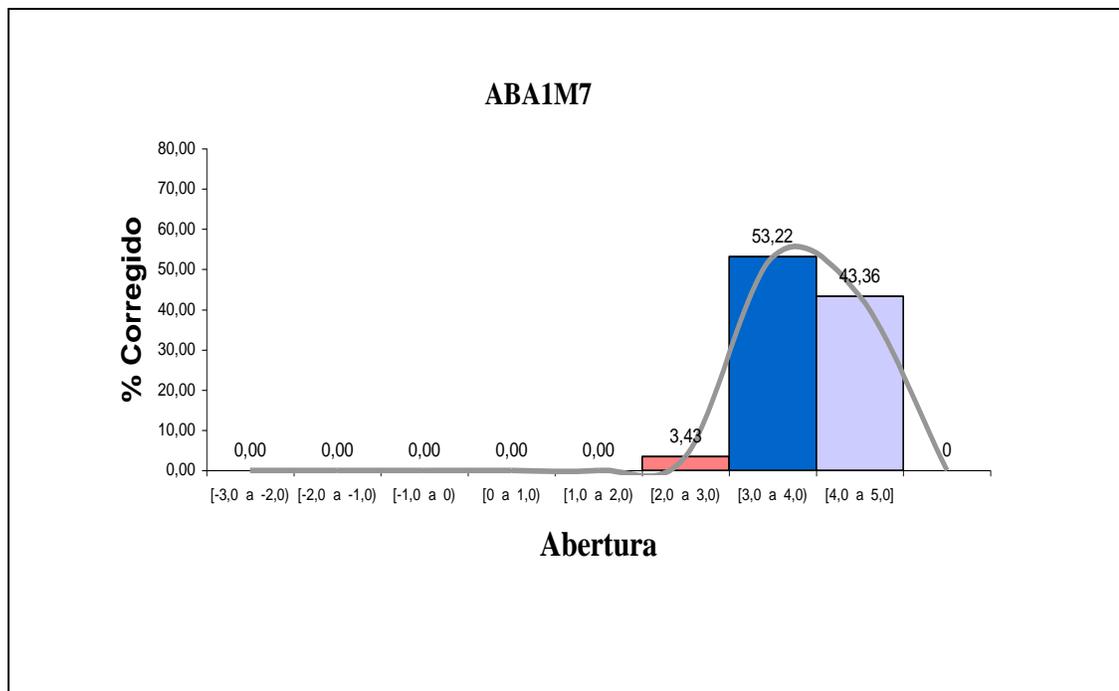


Figura 25. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra a ABA₁M₇

En la Figura 26, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₂M₁. Se observa que la curva de frecuencia tiene una expresión gráfica leptocúrtica y unimodal. El histograma de frecuencia manifiesta una moda centrada en el valor 3.5 Φ de abertura con una frecuencia de 75,26%.

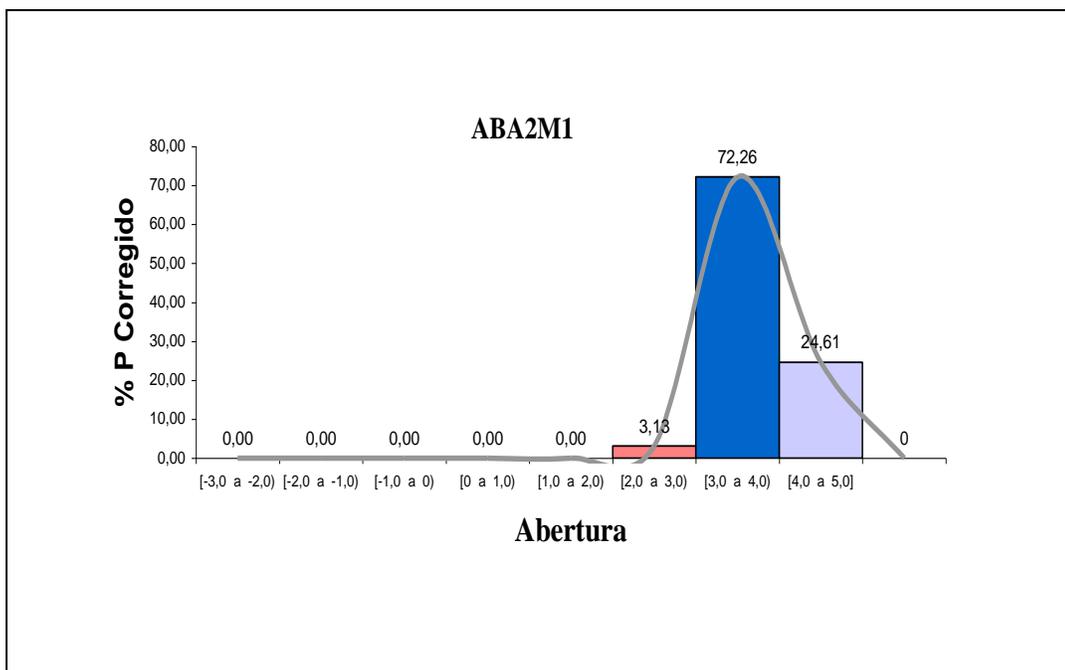


Figura 26. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA₂M₁

Puede observarse en la Figura 27, los resultados del análisis para la muestra ABA₂M₂, tiene una distribución unimodal con asimetría positiva, con los valores máximos encontrados en el intervalo 3 a 4 Φ de abertura, con una frecuencia de 77,05%. No se encontraron partículas menores a 2 Φ .

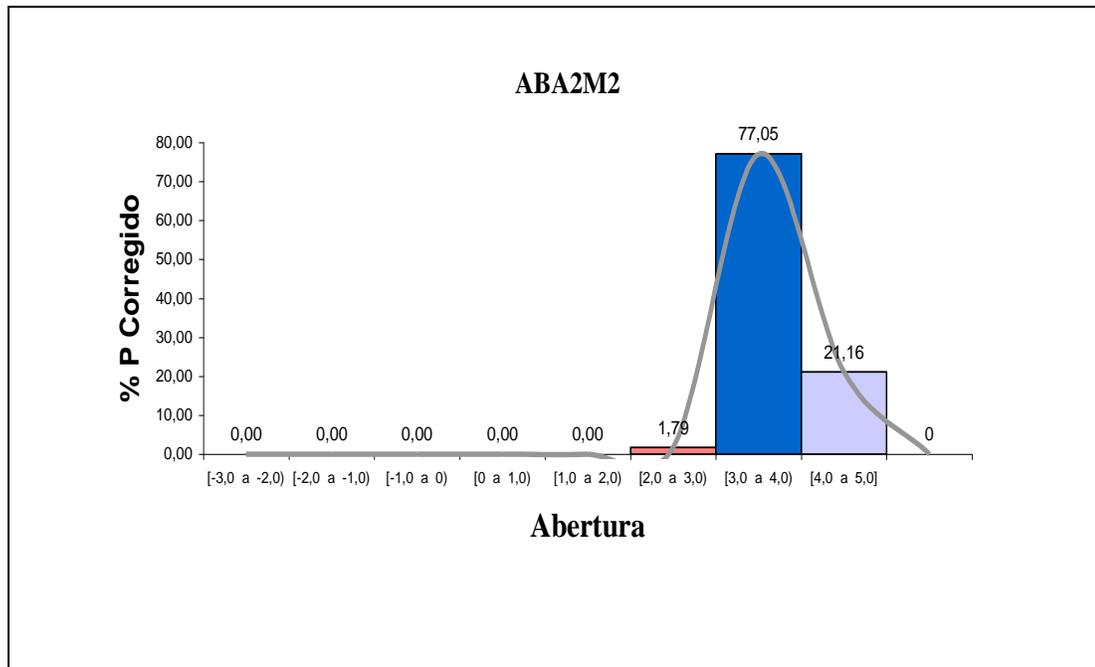


Figura 27. Histograma y curva frecuencia de resultado del análisis de la muestra ABA₂M₂

En la Figura 28, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₂M₃. El histograma de frecuencia manifiesta una moda centrada en el valor 3.5 Φ de abertura con una frecuencia de 75,26%. No se encontraron partículas menores a 2 Φ de abertura. Se observa que la curva de frecuencia tiene una expresión gráfica leptocúrtica y unimodal.

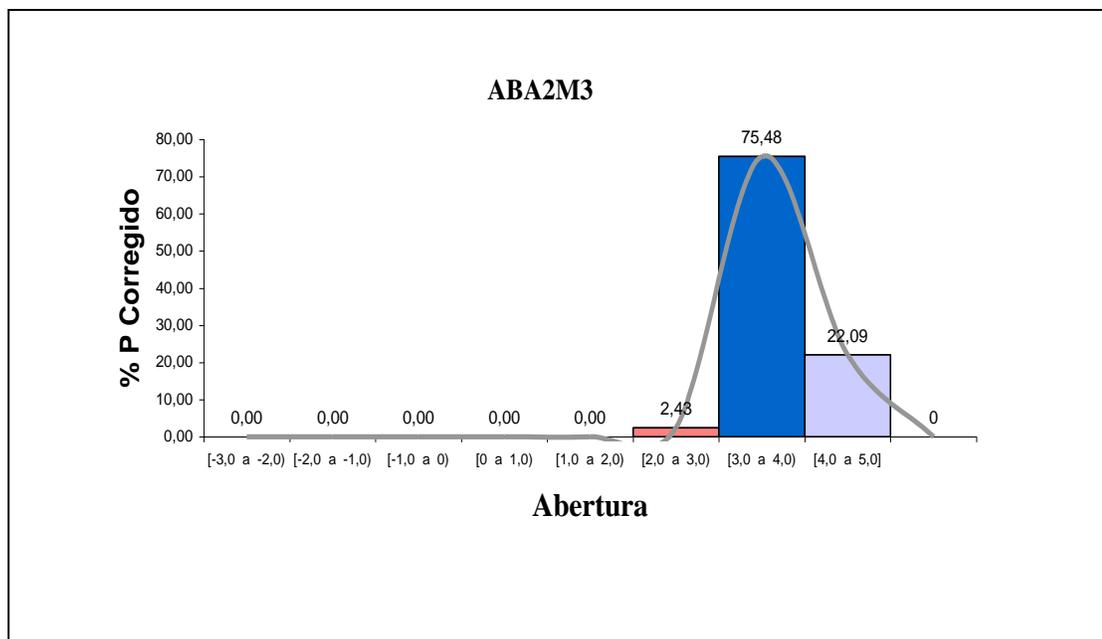


Figura 28. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA₂M₃

En la Figura 29, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₂M₄. Se observa que la curva de frecuencia tiene una expresión gráfica leptocúrtica y unimodal. El histograma de frecuencia manifiesta una moda centrada en el valor 3.5 Φ de abertura con una frecuencia de 77,05%. No se encontraron partículas menores a 2 Φ de abertura.

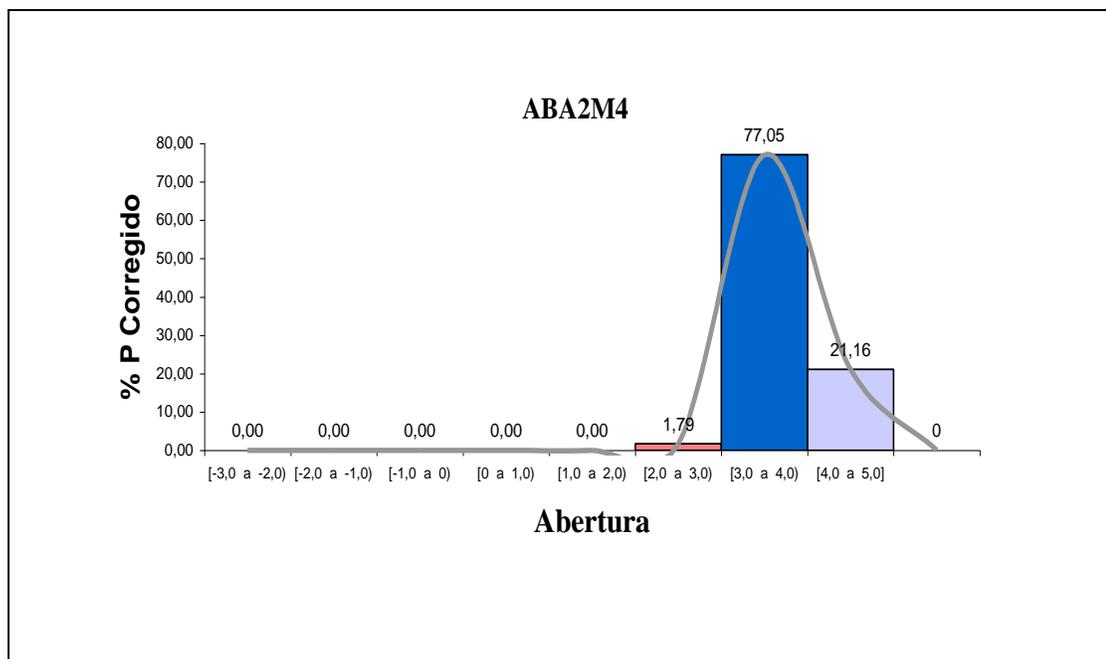


Figura 29. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA₂M₄

Puede observarse en la Figura 30, los resultados del análisis para la muestra ABA₃M₁, tiene una distribución unimodal con asimetría positiva, con los valores máximos encontrados en el intervalo 3 a 4 Φ de abertura, con una frecuencia de 55,21%. Se aprecia un aumento significativo de las partículas retenidas en el intervalo 4-5 Φ de abertura, que se asocia a una variación local litológica.

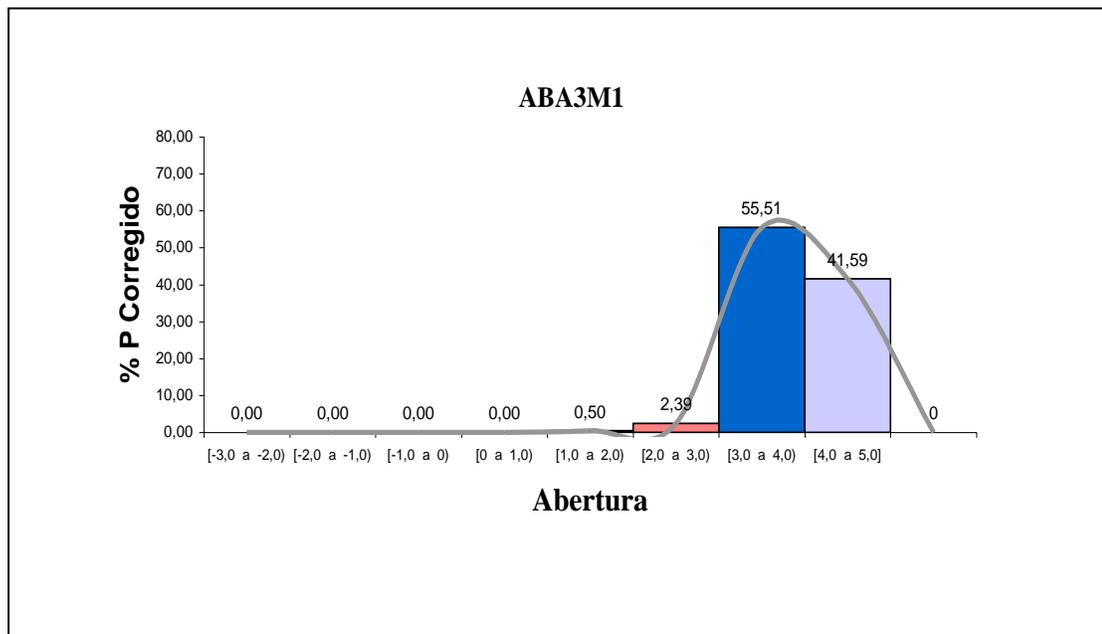


Figura 30. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA₂M₁

En la Figura 31, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₃M₂. Se observa que la curva de frecuencia tiene una expresión gráfica leptocúrtica y unimodal. El histograma de frecuencia manifiesta una moda centrada en el valor 3.5 Φ de abertura con una frecuencia de 76,10%.

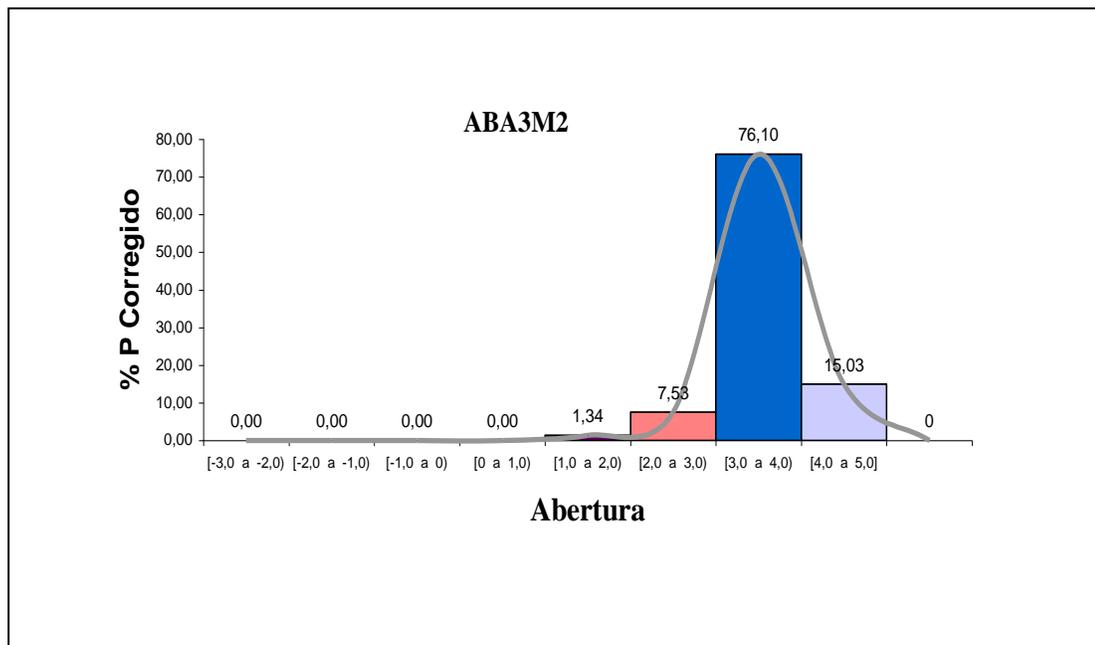


Figura 31. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA₂M₂.

En la Figura 32, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₃M₃. El histograma de frecuencia manifiesta una moda centrada en el valor 3.5 Φ de abertura con una frecuencia de 76,10%. Se observa que la curva de frecuencia tiene una expresión gráfica leptocúrtica y unimodal.

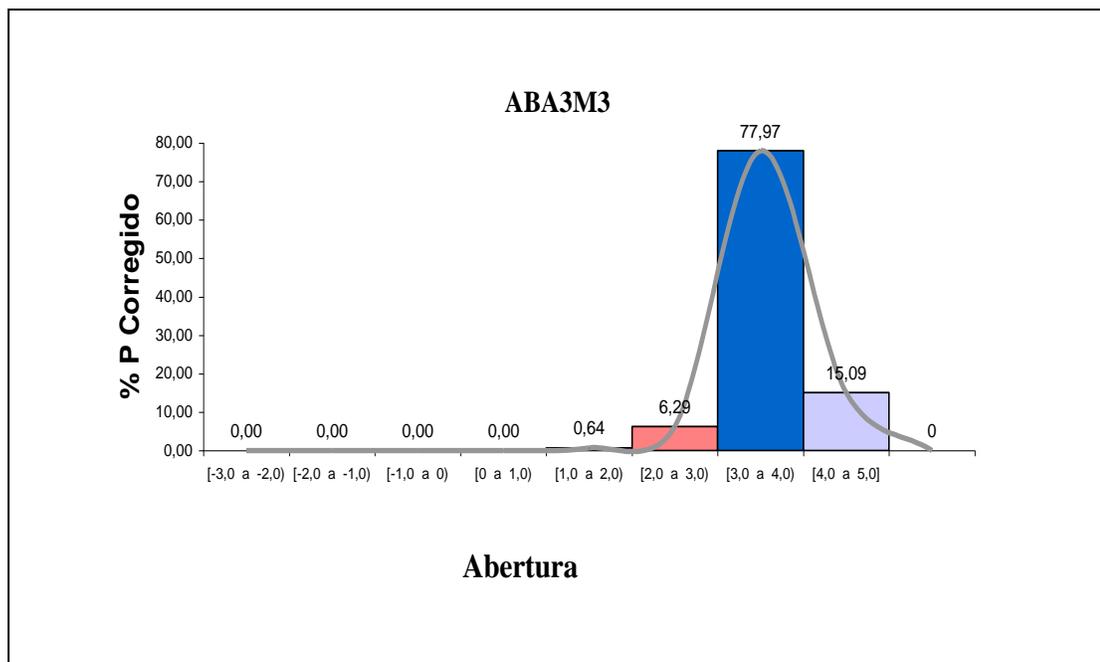


Figura 32. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA₃M₃

Puede observarse en la Figura 33, los resultados del análisis para la muestra ABA₃M₄, tiene una distribución unimodal con asimetría positiva, Se observa que la curva de frecuencia tiene una expresión gráfica leptocúrtica y unimodal con los valores máximos encontrados en el intervalo 3 a 4 Φ de abertura , con una frecuencia de 76,22%. Se encontró partículas en el intervalo 1-2 Φ de abertura.

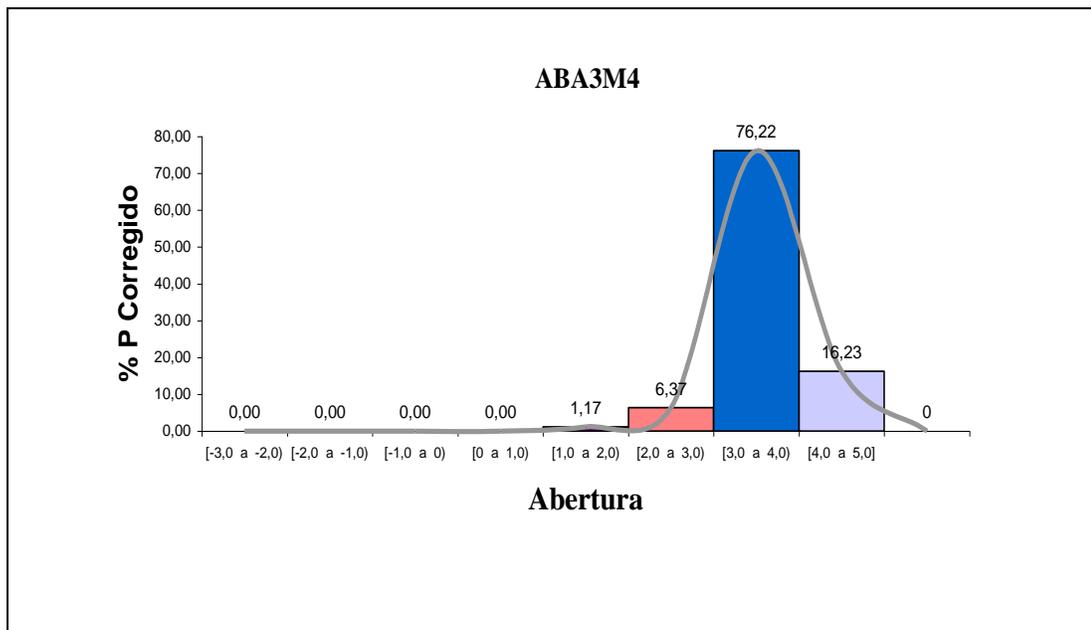


Figura 33. Histograma y curva de frecuencia resultante del análisis de la muestra ABA₃M₄

A continuación se presentan las expresiones gráficas de las curvas de frecuencia acumulada de las muestras analizadas.

En la Figura 34, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₁M₁. La curva de frecuencia acumulada refleja un buen escogimiento. Se puede apreciar que el 80% de las partículas corresponden a tamaños menores 3,5 Φ de abertura.

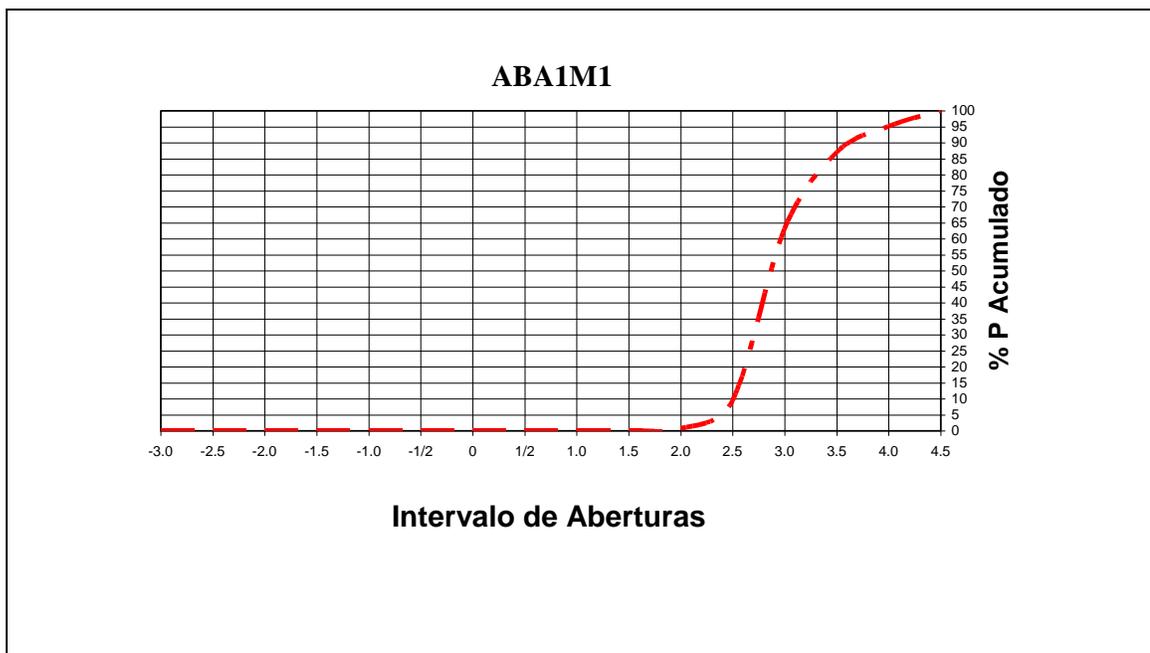


Figura 34. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA₁M₁

Puede observarse en la Figura 35, los resultados del análisis para la muestra ABA_1M_2 , La curva de frecuencia acumulada manifiesta un buen escogimiento. Para esta muestra se observa que el 85% de las partículas corresponden a tamaños menores 4.0Φ de abertura.

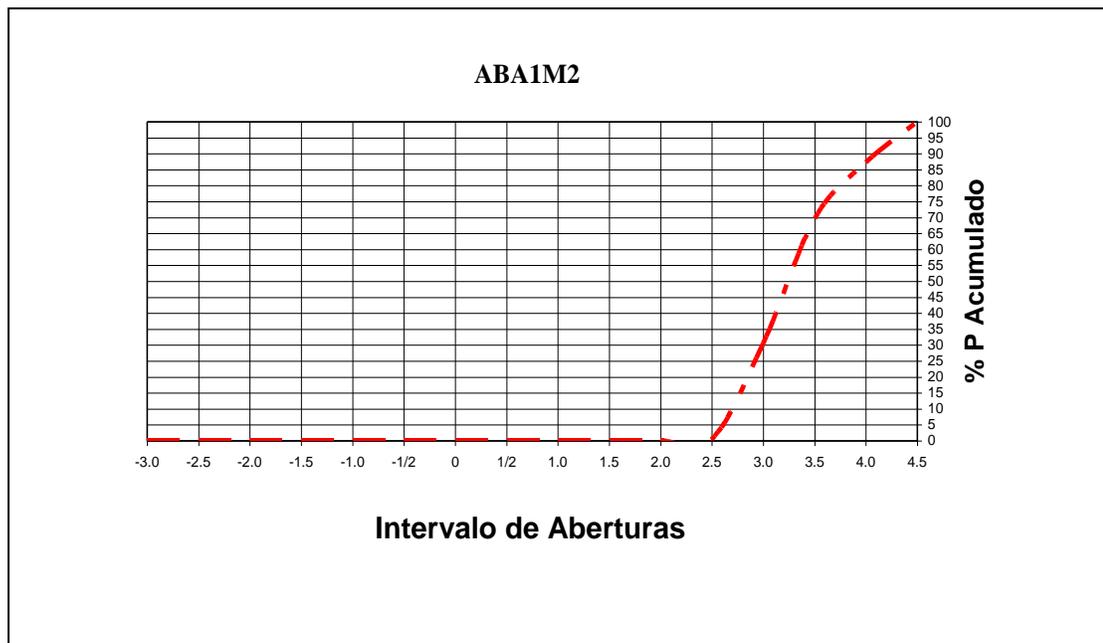


Figura 35. Curva de función de frecuencia acumulada para la muestra ABA_1M_2

En la Figura 36, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₁M₃. La curva de frecuencia acumulada refleja un buen escogimiento, se puede apreciar el inicio del punto de quiebre de la curva para un 60% del porcentaje en peso acumulado, este mismo porcentaje corresponde con las partículas mayores a 3.0 Φ de abertura.

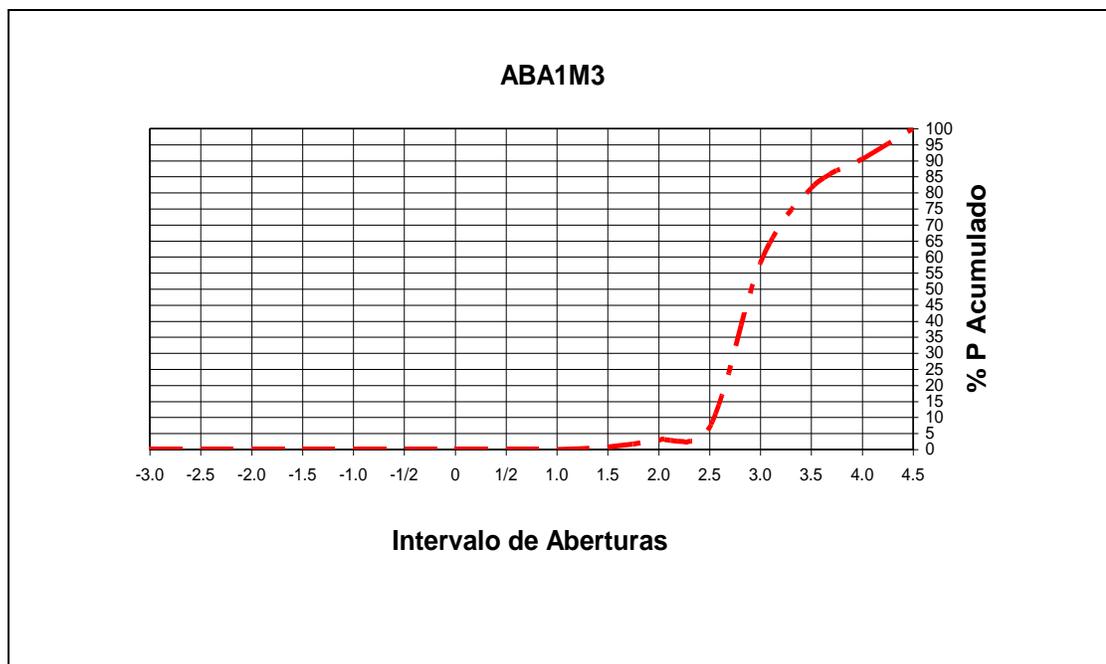


Figura 36. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA₁M₃.

Puede observarse en la Figura 37, los resultados del análisis para la muestra ABA_2M_1 , La curva de frecuencia acumulada manifiesta un buen escogimiento. Para esta muestra se observa que el 95% de las partículas corresponden a tamaños superior a 2.5Φ de abertura.

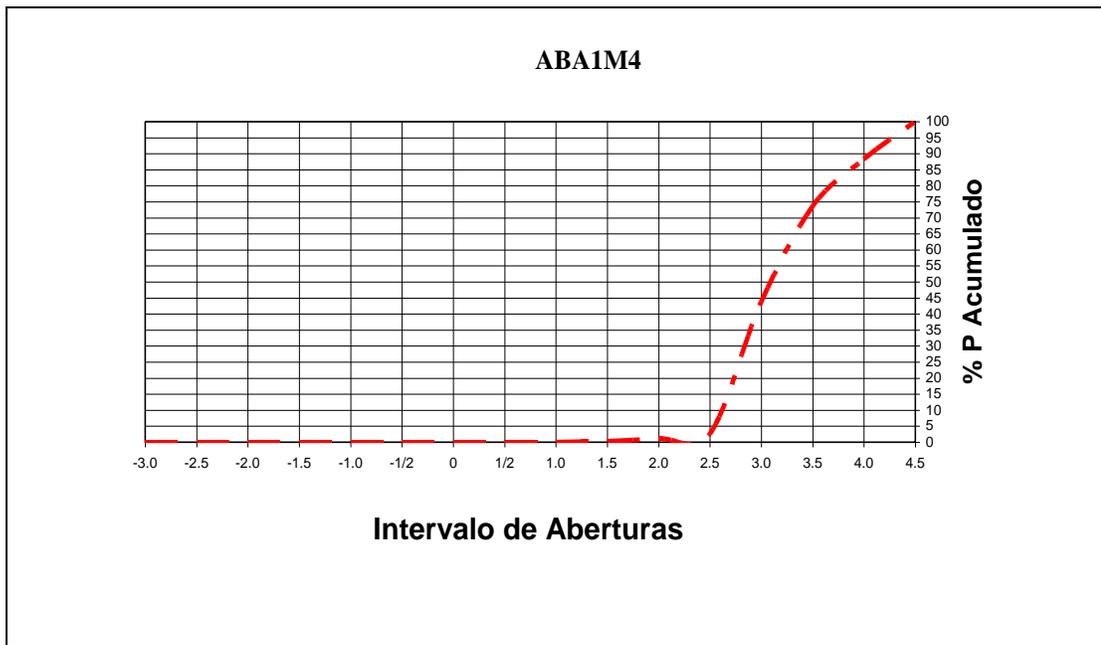


Figura 37. Curva de función de frecuencia acumulada para la muestra ABA_1M_4

En la Figura 38, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₁M₅. La curva de frecuencia acumulada refleja un buen escogimiento.

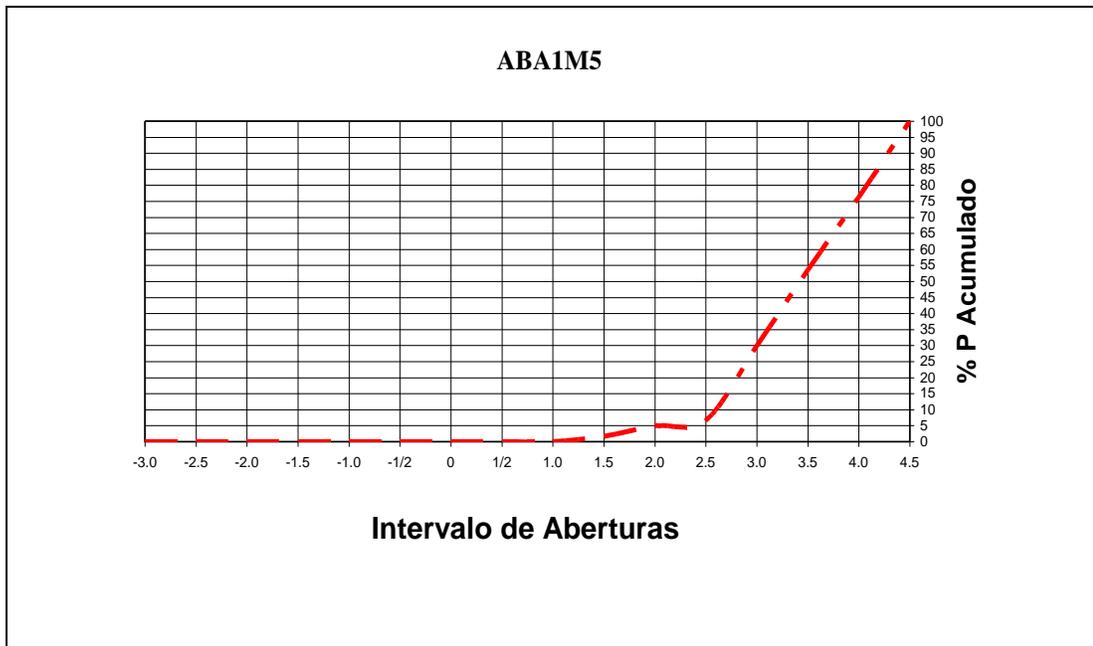


Figura 38. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA₁M₅

En la Figura 39, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₁M₆. El 95% de las partículas de esta muestra corresponde a tamaño superior 2.5 Φ de abertura.

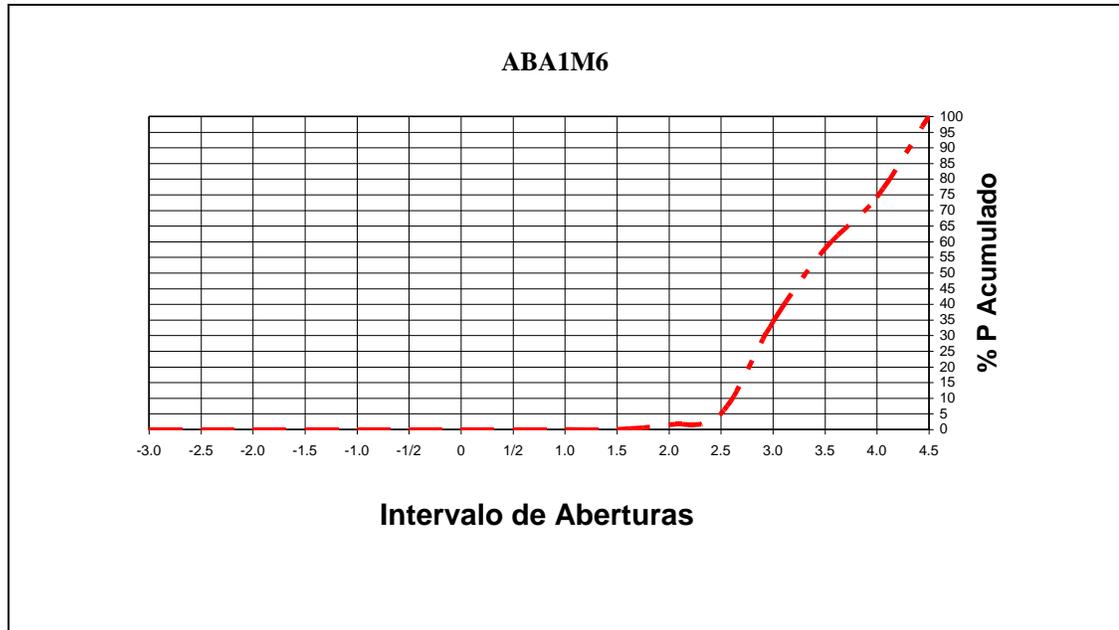


Figura 39. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA₁M₆

En la Figura 40, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₁M₇. La expresión gráfica de la curva de frecuencia refleja un punto de quiebre para un 5% indicando el predominio de las partículas con tamaño superior a 2.5 Φ de abertura.

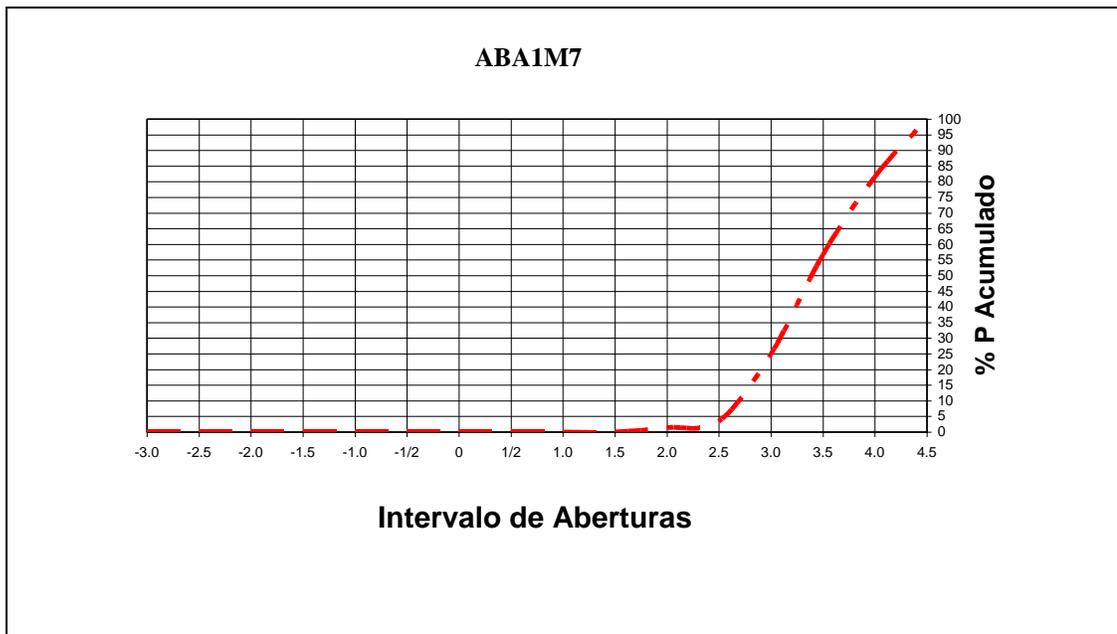


Figura 40. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA₁M₇

Puede observarse en la Figura 41, los resultados del análisis para la muestra ABA₂M₁, La curva de frecuencia acumulada manifiesta una un buen escogimiento. Para esta muestra se observa que el 95% de las partículas corresponden a tamaño superior a 2.5 Φ de abertura.

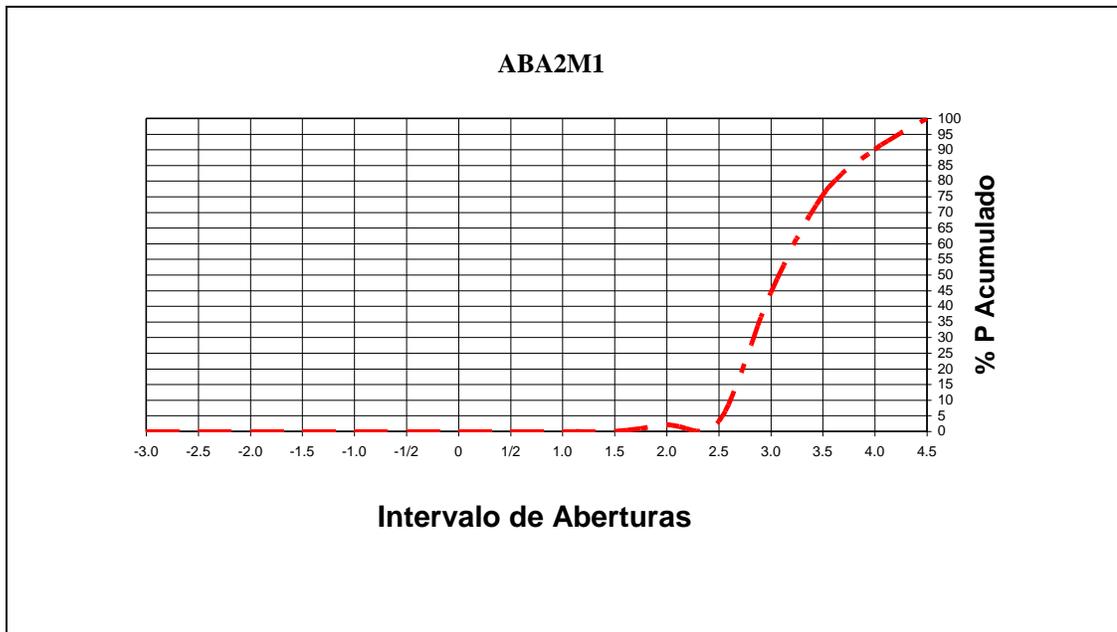


Figura 41. Curva de función de frecuencia acumulada para la muestra ABA₂M₁

En la Figura 42, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₂M₂. La expresión gráfica de la curva de frecuencia indicando el predominio de las partículas con tamaño superior a 2.5 Φ de abertura.

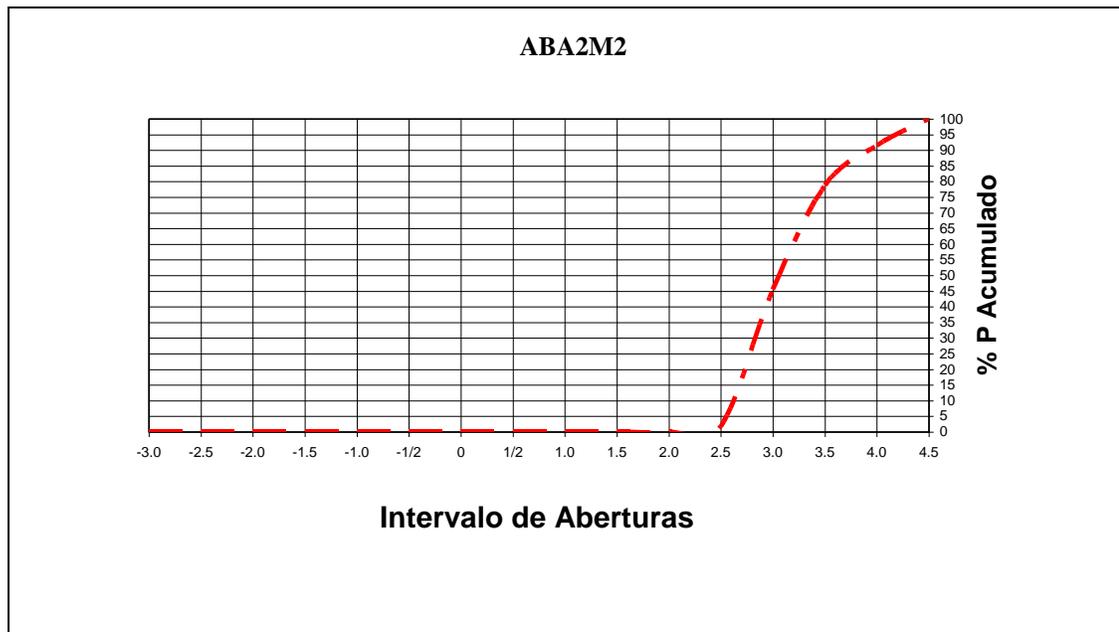


Figura 42. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA₂M₂

Puede observarse en la Figura 43, los resultados del análisis para la muestra ABA₂M₃, Para esta muestra se observa que el 95% de las partículas corresponden a tamaños superiores a 2.5 Φ de abertura.

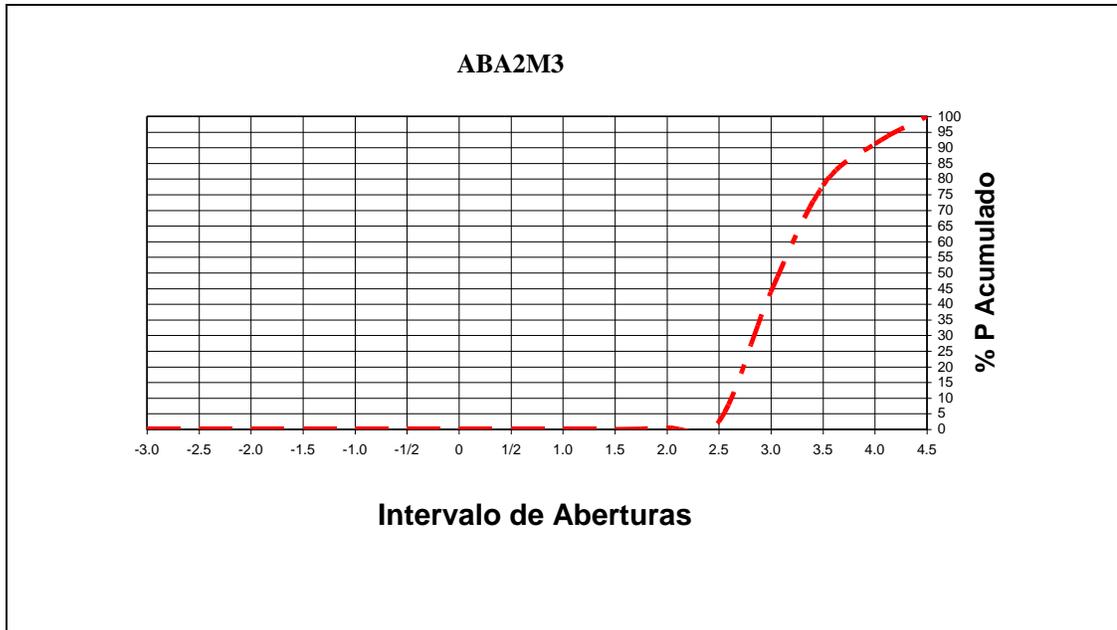


Figura 43. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA₂M₃

En la Figura 44, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₂M₄. La curva de frecuencia acumulada refleja un buen escogimiento, predominan las partículas mayores de 2.5 Φ de abertura.

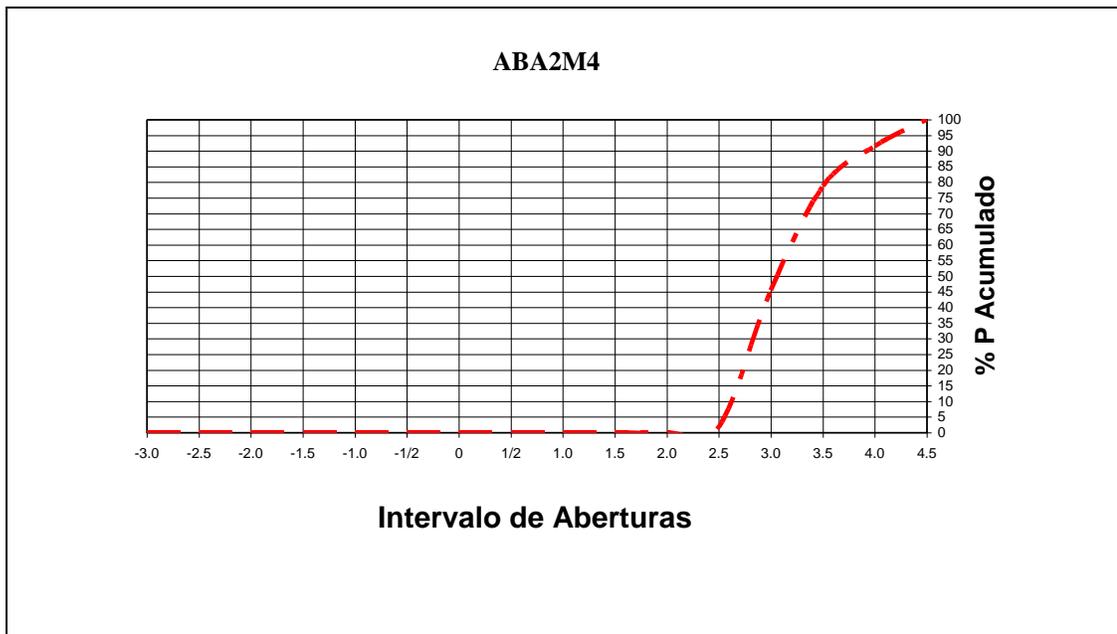


Figura 44. Curva de función de frecuencia para la muestra ABA₂M₄

Puede observarse en la Figura 45, los resultados del análisis para la muestra ABA₃M₁, Para esta muestra se observa que el 95% de las partículas corresponden a tamaños superiores a 2.5 Φ de abertura.

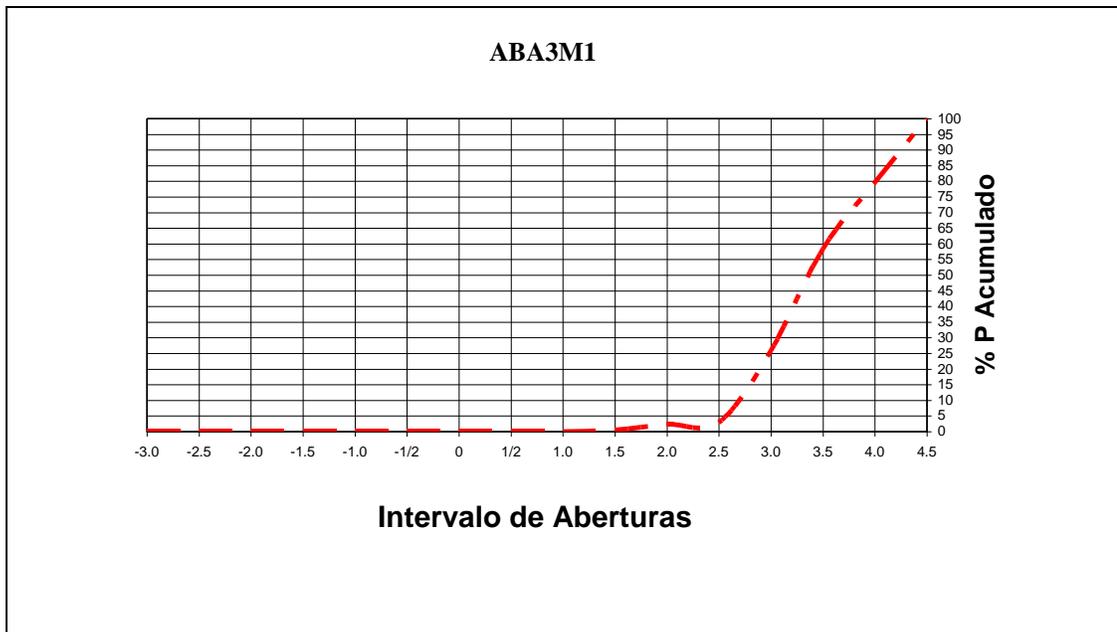


Figura 45. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA₃M₁

En la Figura 46, se muestra los resultados del análisis estadístico de los datos arrojados del análisis granulométrico de la muestra ABA₃M₂. El 70% de la partículas corresponde a valores superiores de 3.0 Φ de abertura.

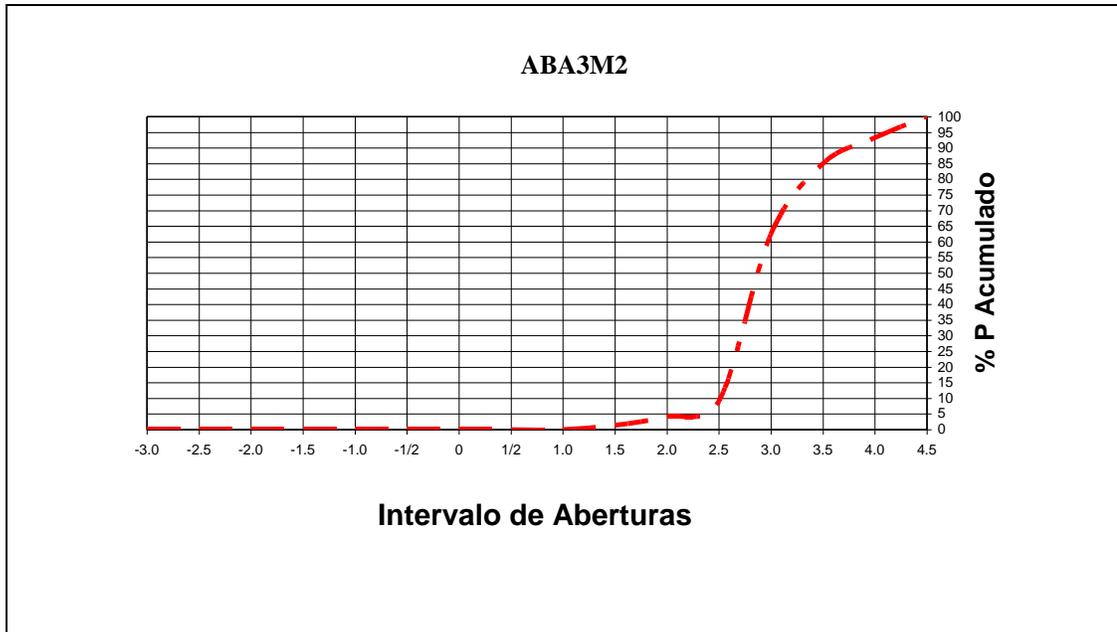


Figura 46. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA₃M₂.

Puede observarse en la Figura 47, los resultados del análisis para la muestra ABA₃M₃, los resultados del análisis granulométrico reflejan el 2% de porcentaje en peso para las partículas superiores a 2.5 Φ de abertura.

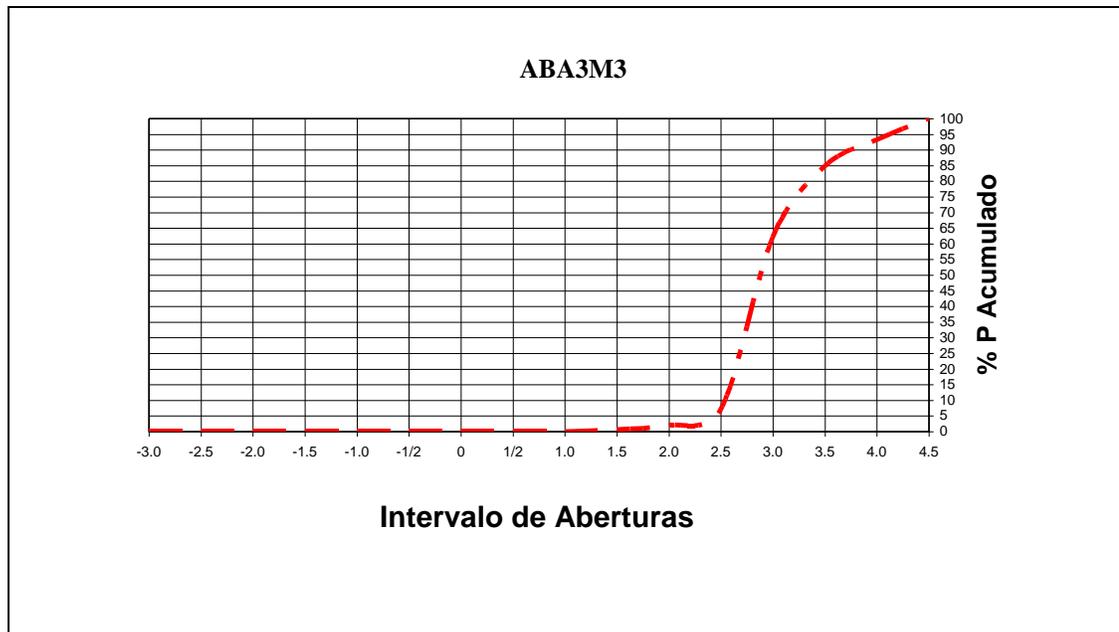


Figura 47. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA₃M₃

Puede observarse en la Figura 48, los resultados del análisis para la muestra ABA₃M₄, Para esta muestra se observa que el 95% de las partículas corresponden a tamaños superiores a 2.5 Φ de abertura.

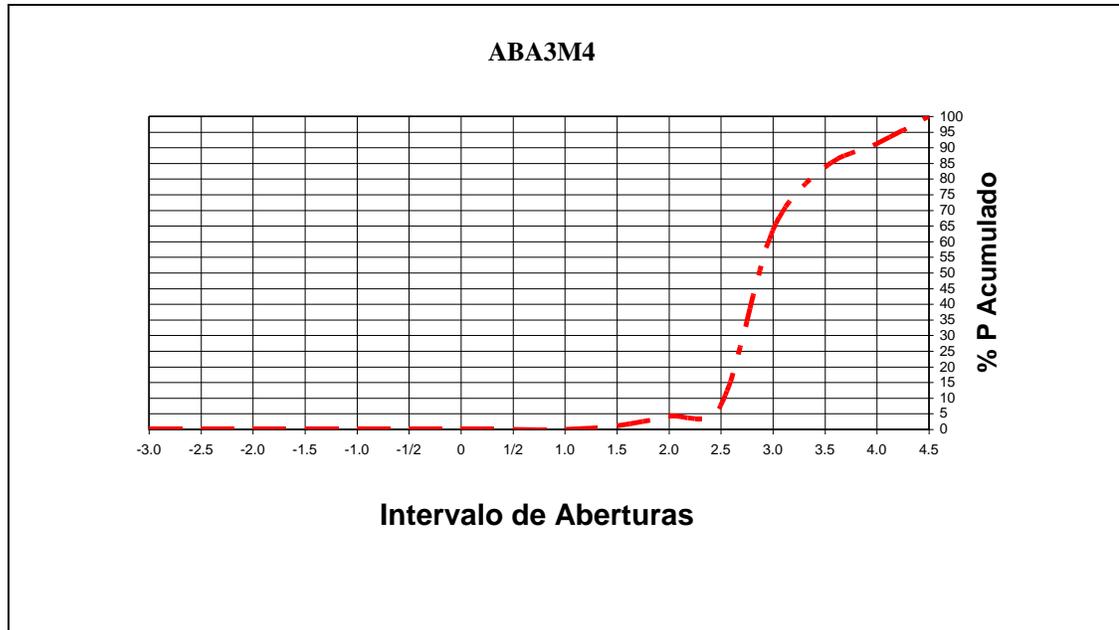


Figura 48. Curva de función de frecuencia acumulativa para la muestra ABA₃M₄

La tabla 8, indica los valores de los percentiles obtenidos a por medio de la curva de frecuencia acumulada.

Muestra	percentil 5	percentil 16	percentil 25	percentil 50	percentil 75	percentil 84	percentil 95
ABA ₁ M ₁	2,2	2,6	2,7	2,9	3,2	3,5	4
ABA ₁ M ₂	2,6	2,7	2,9	3,2	3,6	3,9	4,3
ABA ₁ M ₃	2,5	2,6	2,7	2,9	3,3	3,6	4,2
ABA ₁ M ₄	2,6	2,7	2,9	3,3	3,6	3,8	4,3
ABA ₁ M ₅	2,5	2,6	2,8	3,4	4	4,2	4,4
ABA ₁ M ₆	2,5	2,7	2,8	3,4	4,0	4,2	4,4
ABA ₁ M ₇	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	4,1	4,4
ABA ₂ M ₁	2,5	2,6	2,7	2,7	3,5	3,7	4,2
ABA ₂ M ₂	2,6	2,7	2,8	2,8	3,4	3,6	4,1
ABA ₂ M ₃	2,6	2,7	2,8	2,8	3,4	3,6	4,2
ABA ₂ M ₄	2,6	2,7	2,8	2,8	3,4	3,6	4,1
ABA ₃ M ₁	2,6	2,8	3	3,3	3,8	4,1	4,1
ABA ₃ M ₂	2,3	2,6	2,8	2,8	3,2	3,4	4,2
ABA ₃ M ₃	2,5	2,6	2,7	2,8	3,2	3,4	4,2
ABA ₃ M ₄	2,4	2,6	2,7	2,8	3,3	3,6	4,2

Tabla 8. Valores de percentiles.

En la tabla 9, se clasifican los sedimentos de los abanicos de rotura en función del intervalo de clase.

Muestra	Modalidad	Clase Modal	Clasificación	Clasificación de la Muestra
ABA₁M₁	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₁M₂	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₁M₃	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₁M₄	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₁M₅	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₁M₆	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₁M₇	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₂M₁	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₂M₂	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₂M₃	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₂M₄	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₃M₁	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₃M₂	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₃M₃	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa
ABA₃M₄	Unimodal	(3,4]	Arena Muy fina	Arena- limo- arcillosa

Tabla 9. Interpretación de la modalidad y la moda, así como la clasificación para las muestras de sedimentos superficiales.

La tabla 10, muestra los datos estadísticos de la media y la mediana de las muestras de sedimentos.

Muestra	Mz	Significado	Mediana	Significado
ABA ₁ M ₁	2,93	Arena Muy Fina	2,9	Arena Muy Fina
ABA ₁ M ₂	3,23	Arena Muy Fina	3,2	Arena Muy Fina
ABA ₁ M ₃	2,97	Arena Muy Fina	2,9	Arena Muy Fina
ABA ₁ M ₄	3,27	Arena Muy Fina	3,3	Arena Muy Fina
ABA ₁ M ₅	3,4	Arena Muy Fina	3,4	Arena Muy Fina
ABA ₁ M ₆	3,4	Arena Muy Fina	3,4	Arena Muy Fina
ABA ₁ M ₇	3,4	Arena Muy Fina	3,4	Arena Muy Fina
ABA ₂ M ₁	2,97	Arena Muy Fina	2,7	Arena Muy Fina
ABA ₂ M ₂	3	Arena Muy Fina	2,8	Arena Muy Fina
ABA ₂ M ₃	3	Arena Muy Fina	2,8	Arena Muy Fina
ABA ₂ M ₄	3	Arena Muy Fina	2,8	Arena Muy Fina
ABA ₃ M ₁	3,37	Arena Muy Fina	3,3	Arena Muy Fina
ABA ₃ M ₂	2,93	Arena Muy Fina	2,8	Arena Muy Fina
ABA ₃ M ₃	2,9	Arena Muy Fina	2,8	Arena Muy Fina
ABA ₃ M ₄	2,93	Arena Muy Fina	2,8	Arena Muy Fina

Tabla 10. Valores y significado de los datos estadísticos de la media y la mediana de las muestras de sedimentos.

V.3 Características morfológicas de acuerdo a Powers (1953) y Krumbein y Sloss (1955)

La Tabla 11, resume los parámetros de esfericidad y redondez según Powers (1953) y Krumbein y Sloss (1955), que se determinaron en las muestras de arena analizadas en los abanicos de rotura.

Muestra	REDONDEZ						ESFERICIDAD					
	Muy Ang	Ang	Sub Ang	Sub-Red	Bien Red	Total	Muy Elong	Elong	Algo Elong	Algo Esf	Esf	Total
ABA ₁ M ₂	4	10	30	6	0	50	4	8	10	28	0	50
ABA ₁ M ₄	9	11	26	4	0	50	3	12	13	22	0	50
ABA ₂ M ₁	10	7	28	5	0	50	6	13	18	12	1	50
ABA ₃ M ₃	4	10	19	17	0	50	4	8	13	24	1	50

Tabla 11. Resultados correspondientes a los grados de redondez y esfericidad de las muestras de arenas.

A continuación se muestran los histogramas de frecuencias para los parámetros de esfericidad y redondez.

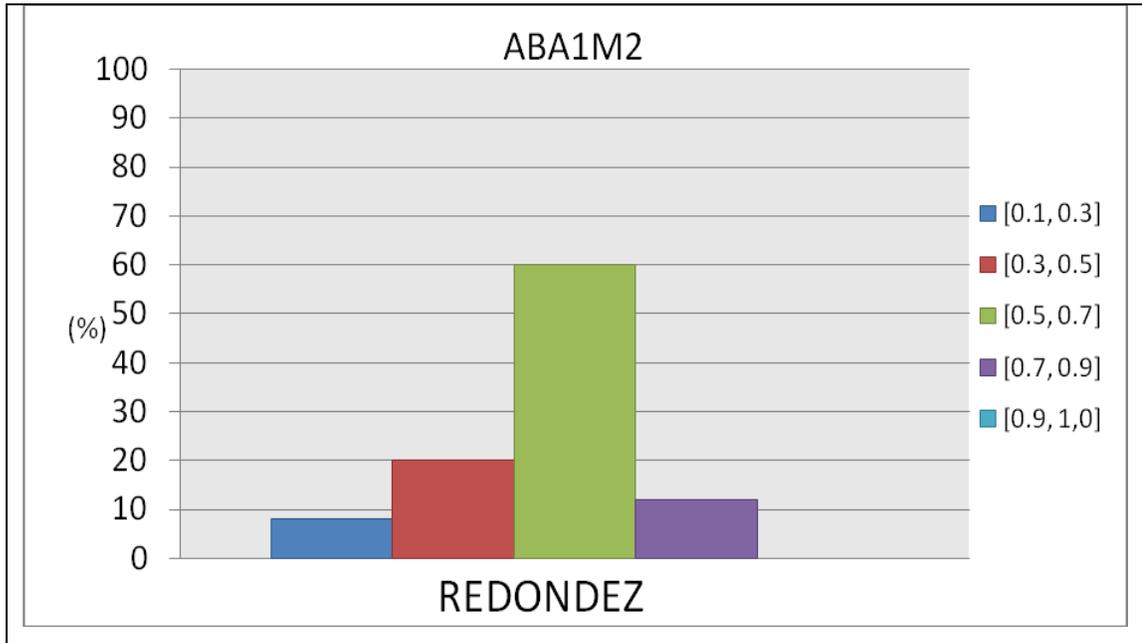


Figura 49. Histograma de frecuencia para los parámetros de redondez – Muestra ABA₁M₂

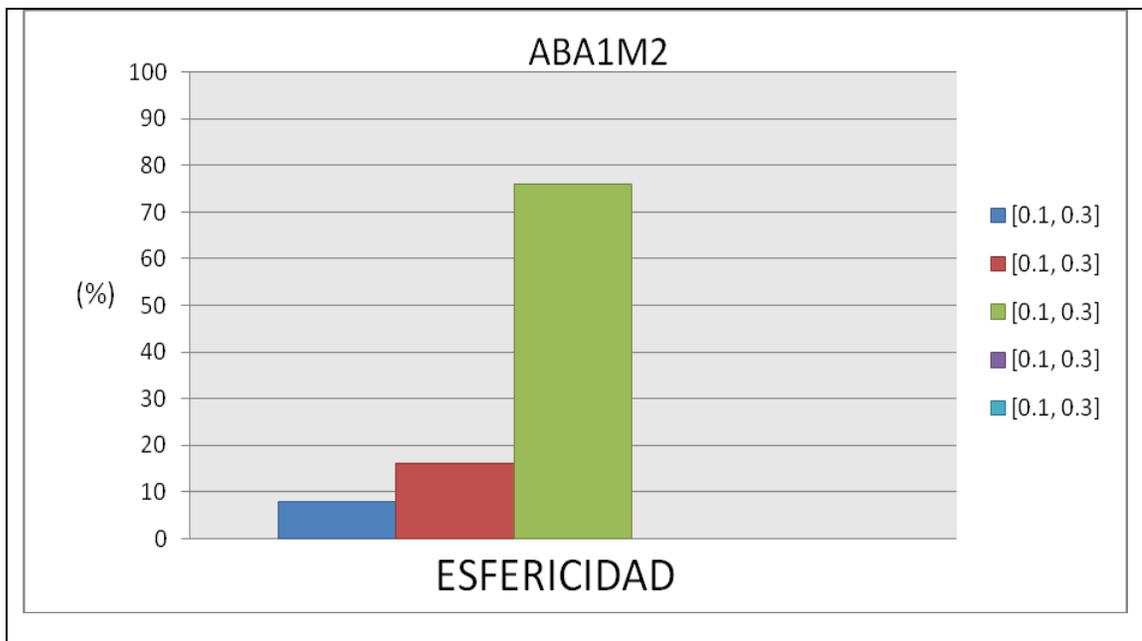


Figura 50. Histograma de frecuencia para los parámetros de esfericidad – Muestra ABA₁M₂

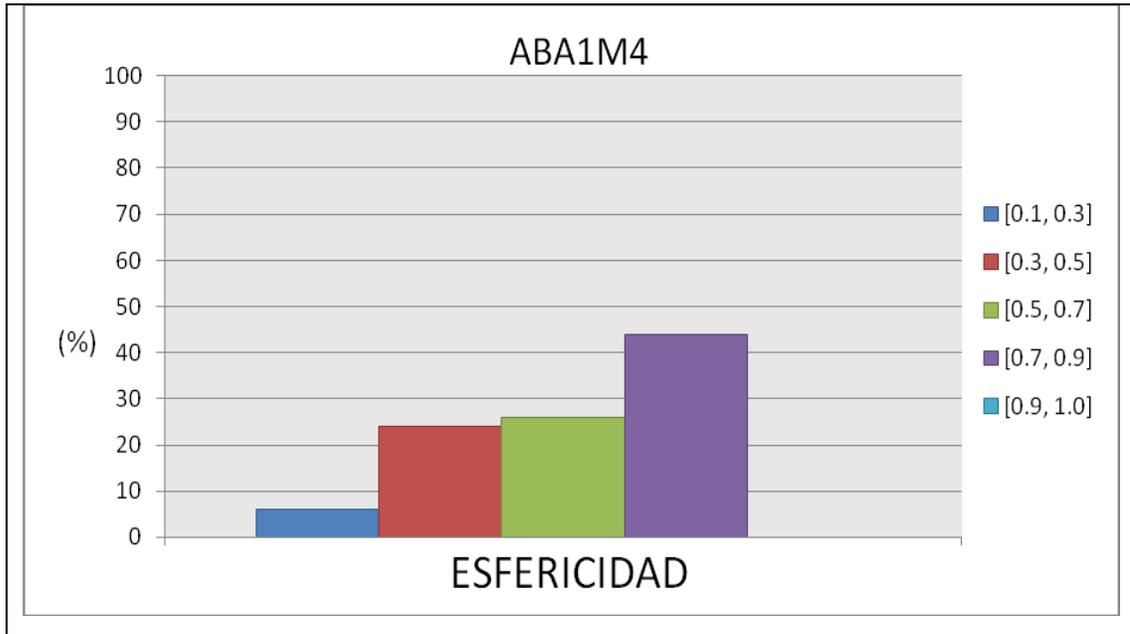


Figura 51. Histograma de frecuencia para los parámetros de esfericidad – Muestra ABA₁M₄.

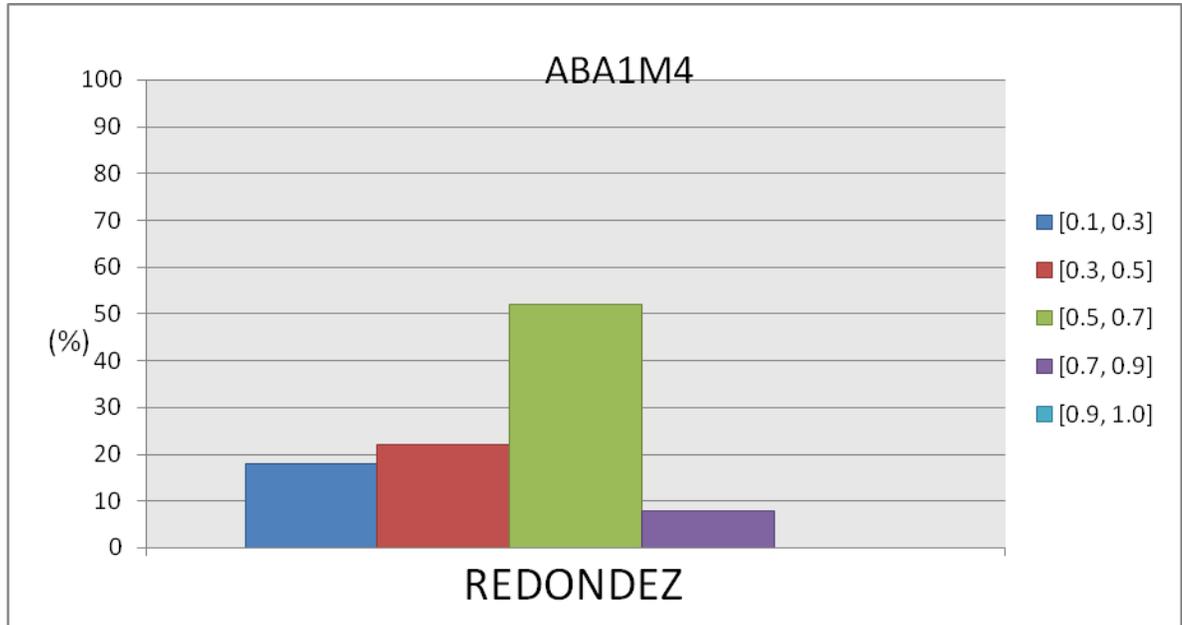
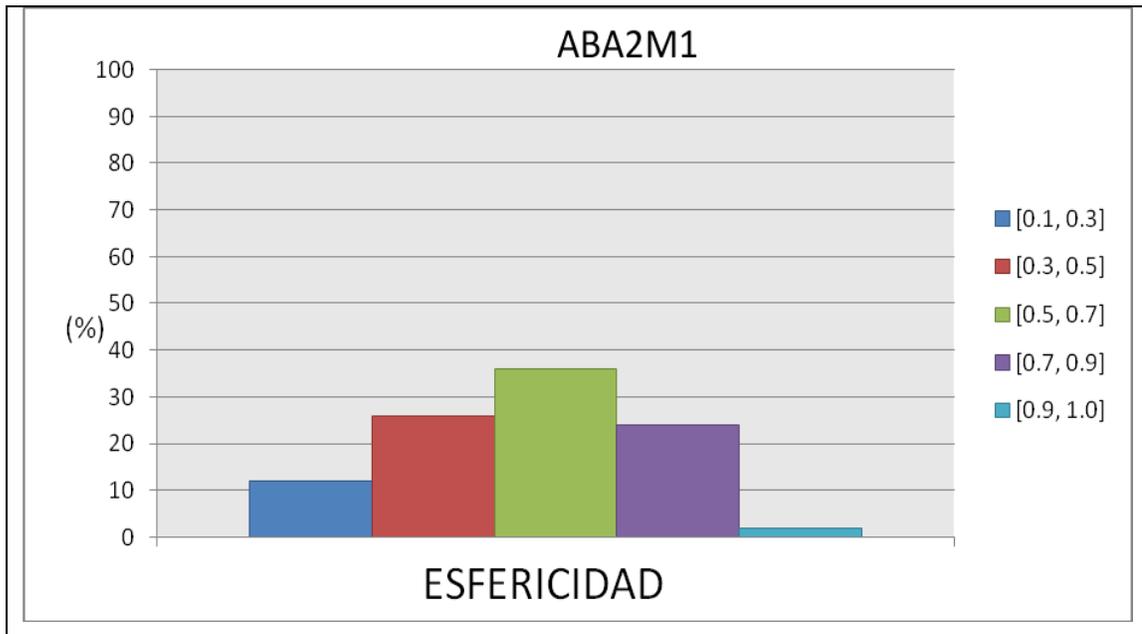
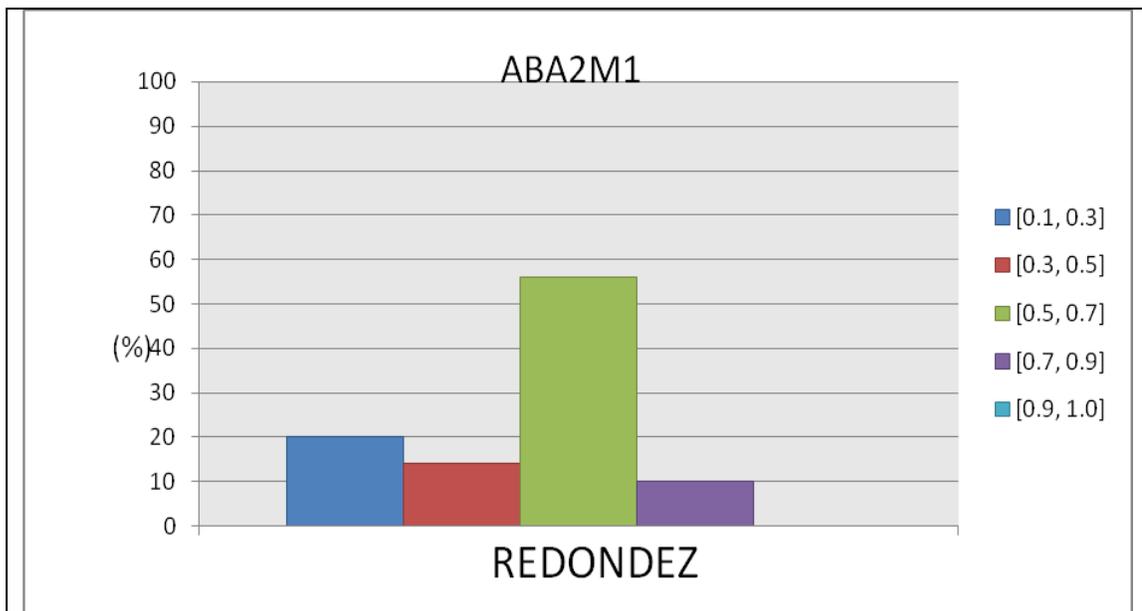


Figura 52. Histograma de frecuencia para los parámetros de redondez– Muestra ABA₁M₄

Figura 53. Histograma de frecuencia para los parámetros de esfericidad – Muestra ABA₂M₁Figura 54. Histograma de frecuencia para los parámetros de redondez – Muestra ABA₂M₁

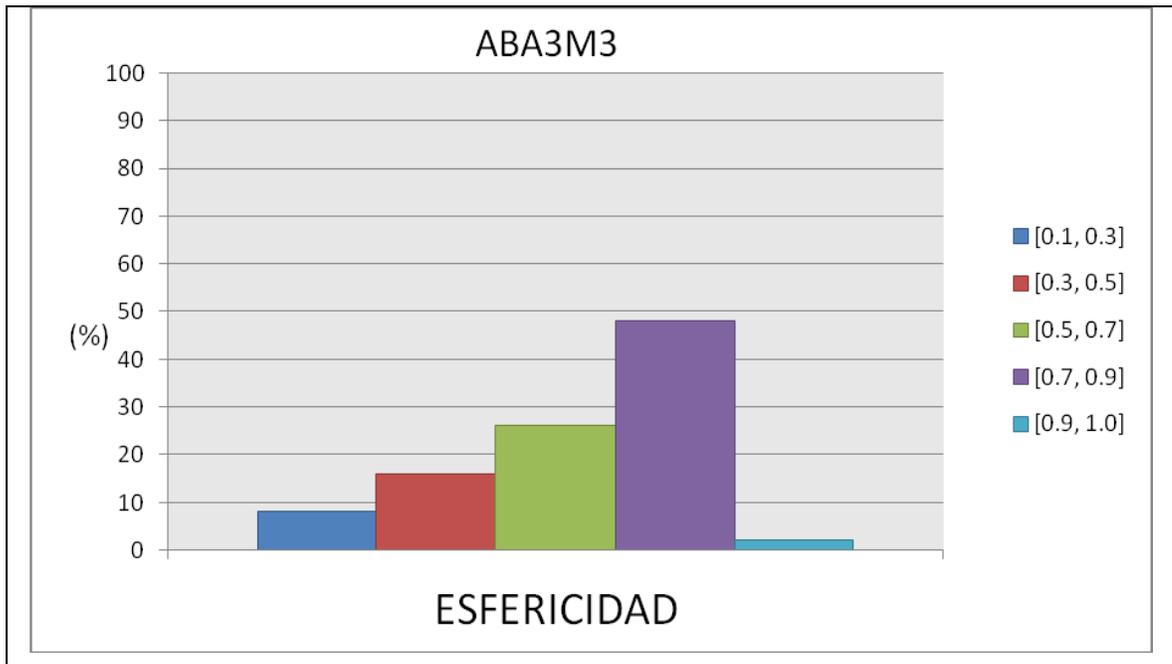


Figura 55. Histograma de frecuencia para los parámetros de esfericidad – Muestra ABA₃M₃

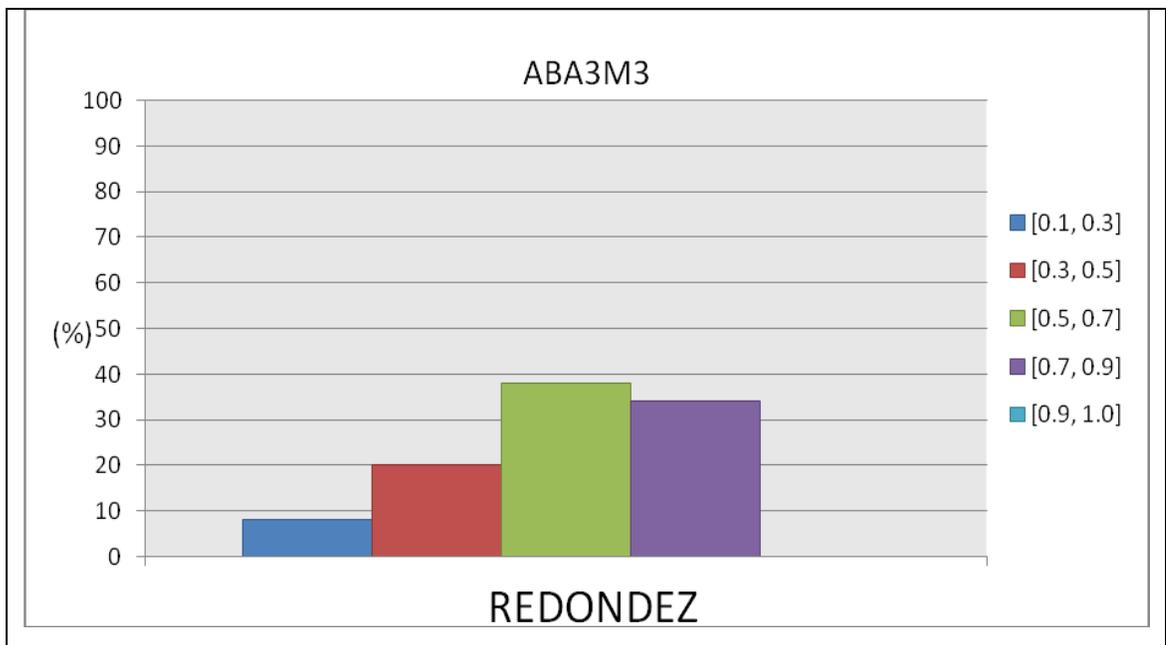


Figura 56. Histograma de frecuencia para los parámetros de redondez – Muestra ABA₃M₃

V.4 Características Mineralógicas

Los siguientes histogramas, muestran la composición mineralógica predominante en las muestras analizadas, identificados como: cuarzo, micas, fragmento de roca (F.R: cuarcita, Gneis piroxenico), microclino y minerales accesorios (M.A.).

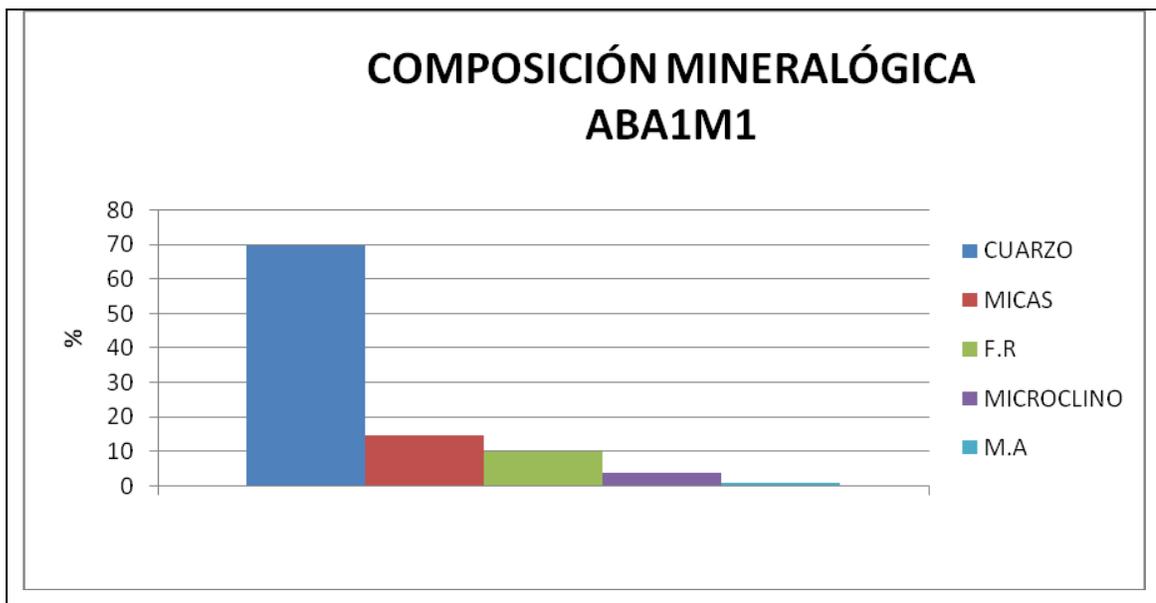


Figura 57. Características mineralógicas – Muestra ABA₁M₁

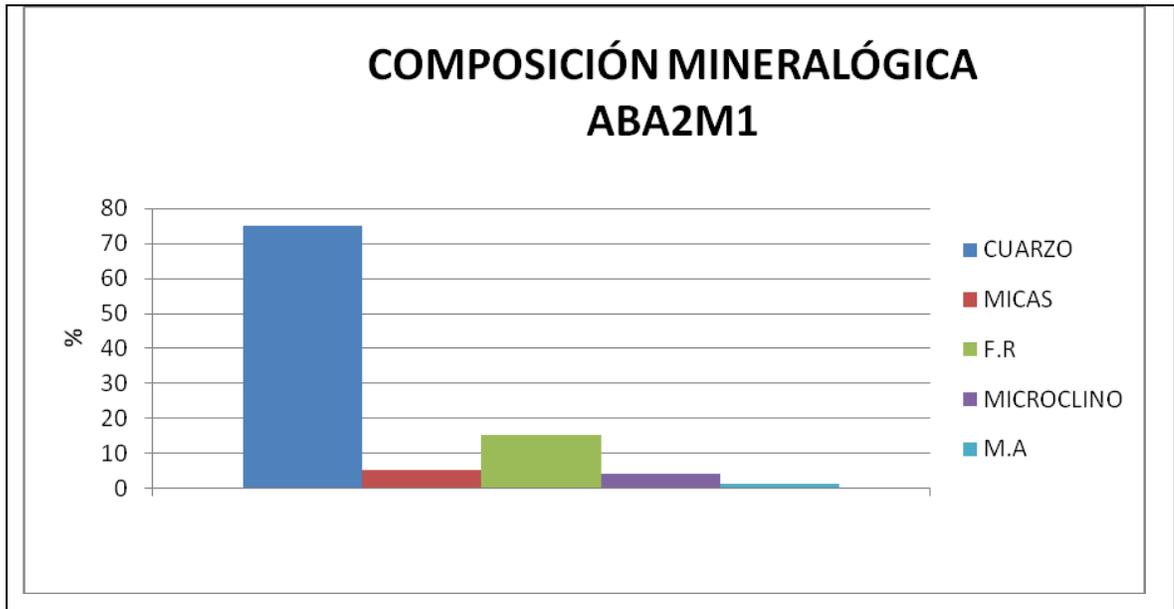


Figura 58. Características mineralógicas – Muestra ABA₂M₁

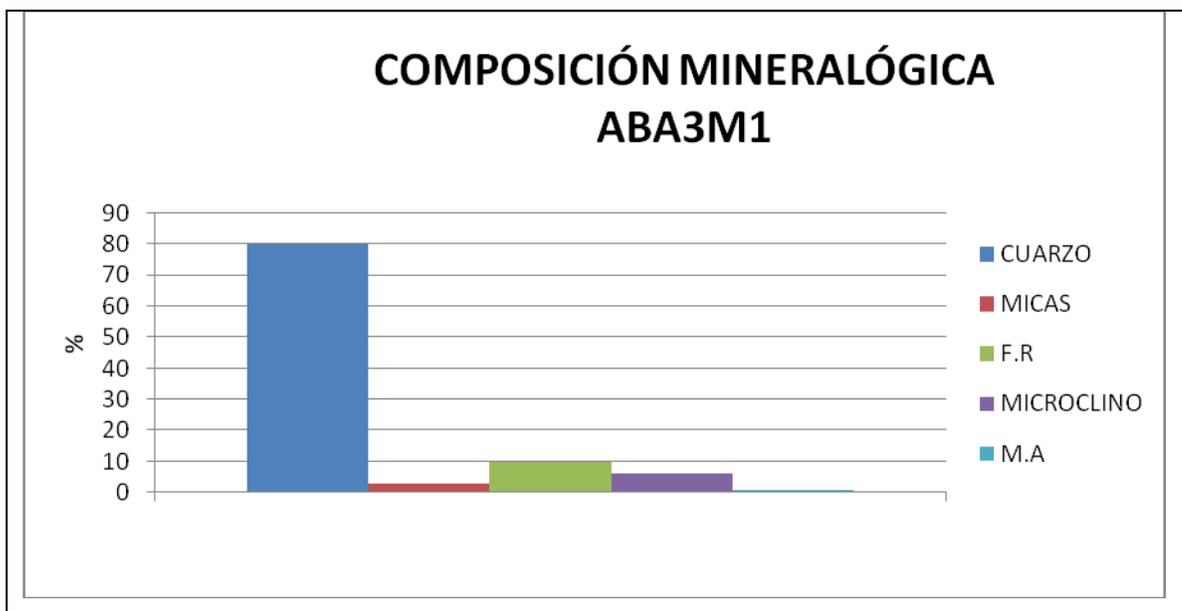


Figura 59. Características mineralógicas – Muestra ABA₃M₁

V.5 Minerales Pesados Identificados en las muestra de arenas en los abanicos de rotura.

La tabla 12, muestra los minerales pesados obtenidos utilizando el bromuro de acetileno para tres muestras tomadas en los abanicos de rotura.

Abanico	Muestra	Turmalina	Biotita Cloritzada	Silimanita	Apatito	Moscovita Cloritzada	Circón	Epidoto	Magnetita	Ilmenita	Hematita	Rutilo	Andalusita (Quiastolita)	Andalusita	Leucoxeno	Monacita
ABA ₁	M ₂	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		x	x	x
ABA ₁	M ₄	x		x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	
ABA ₂	M ₃	x							x		x	x				

Tabla 12. Minerales pesados no magnéticos.

CAPITULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS

VI.1 Análisis de los parámetros estadísticos granulométricos.

Los abanicos de rotura corresponden con una sedimentación de material fino procedente del caño Macareo. De las apreciaciones en los histogramas de frecuencias se puede observar un mayor porcentaje de peso retenido de sedimentos pertenecientes al intervalo de clases entre 3 y 4 Φ , lo que evidencia el predominio de las arenas muy finas, también puede notarse un pequeño porcentaje en peso retenido de sedimentos en el intervalo de clases 2 y 3 Φ , correspondientes a tamaños de partículas de arenas finas que corresponderían a la moda de tercer orden en el histograma de frecuencia.

También se evidencia, un porcentaje en peso retenido de limos gruesos pertenecientes al intervalo de clase que entre 4 y 5 Φ , correspondiente a la moda de segunda en orden de importancia del histograma de frecuencia, estos limos indican una disminución en las fuerzas de los flujos depositacionales durante las inundaciones, ya que las partículas de mayor tamaño y peso son las primeras en depositarse.

Cabe destacar que las muestras ABA₁M₅, ABA₁M₆ y ABA₁M₇, se caracterizaron por el aumento del porcentaje en peso retenido en el intervalo de clase entre 4 y 5 Φ correspondiente con limos gruesos, que se hace similar al porcentaje en peso retenido en el intervalo de clase entre 3 y 4 Φ , en donde se encuentran las arenas muy finas,

esto evidencia la disminución del tamaño de grano al alejarse del punto de ruptura del dique y los canales distributarios del abanico de rotura, la última observación se debe a las características propias del proceso de sedimentación en las llanuras deltaicas y por ende en los abanicos de rotura, de recibir sedimentos de fondo del canal, en su mayoría tamaño arena. (ver mapa de ubicación de muestras)

Es importante resaltar que la muestra ABA₁M₄, se tomó en el punto de ruptura del dique en un banco de arena formado por variaciones en la intensidad y la dirección de los flujos de corrientes que depositan sedimentos generando una barra de meandro en la entrada del abanico, el cual recibe un gran aporte de sedimentos durante el proceso de sedimentación, transporte y desborde de sedimentos del caño Macareo durante el periodo de inundación. (Ver mapa de ubicación de muestras).

En cuanto a la muestra ABA₃M₁ correspondiente al tercer abanico de rotura, podemos observar un incremento del porcentaje en peso retenido en el intervalo de clase entre 4 y 5 Φ , este evento puede representar una variación local en el sitio de muestreo, evidenciado por el aumento del porcentaje en peso de los limos gruesos.

De las curvas de frecuencias, podemos determinar el carácter unimodal de los sedimentos, corresponde con la predominancia de las arenas muy finas retenidas en el intervalo de aberturas 3y 4 Φ . De forma general se puede observar en la curva de frecuencia una asimetría hacia los tamaños finos (positiva), lo que indica una disminución de la energía.

Se puede apreciar que en su mayoría las expresiones gráficas de las curvas de frecuencias reflejan desde un escogimiento moderado hasta un excelente escogimiento.

Las curvas de frecuencias acumulativas son similares en todas las muestras, se caracterizan por tener una acentuada pendiente en su parte central, lo cual nos da una idea de un buen escogimiento de las arenas.

Con relación a los parámetros granulométricos, los sedimentos manifiestan una mediana que oscila entre 2.9 – 3.5, y una media con valores entre 2.8-3.4. Esto implica que en la clase en la cual se ubica el percentil 50 coincide con el promedio de los percentiles 25.50.75.

VI.2 Morfología de los granos

Se determinó que los abanicos de rotura están caracterizados por tener sedimentos que manifiestan un grado de esfericidad que varía de muy elongados 8,5% y algo esférico 43%.

Los valores obtenidos en lo referente al grado de redondez reflejan una variación desde granos angulosos 19% hasta subangulosos 51,5%, siendo éstos últimos los predominantes.

En función del grado de esfericidad y redondez, se evidencia que las partículas han estado sometidas a un corto periodo de transporte, por lo cual los sedimentos se pueden asociar a una fuente cercana.

Las características del grado de esfericidad y redondez que manifiestan las partículas, tienen afinidad con sedimentos que corresponden al rango de arenas muy finas, esto le permite ser transportadas como carga de fondo y suspensión.

VI.3 Características mineralógicas

Al estudiar la composición de estos sedimentos, se determina que están constituidos por materiales detríticos continentales, entre los cuales pueden ser identificados en primer lugar el cuarzo monocristalino, en segundo lugar fragmentos de rocas, y en menor presencia micas, feldespato potásico (microclino), además de minerales accesorios.

Cuarzo: se identifican como cuarzo monocristalino, se presentan en porcentajes que oscilan entre 70% y 80%.

Fragmentos de rocas: Los granos de fragmentos de roca están constituidos por cuarcitas y Gneis y piroxenico, aparecen en porcentajes entre 10% y 15%.

Micas: Se presenta bajo dos formas, biotita y moscovita, en conjunto representa un promedio ente 5% y 15%.

Microclino: Los granos de microclino conforman entre 2% y 5% de los sedimentos.

Minerales accesorios: Representan un promedio de 2% de los constituyentes de las arenas (apatito, circón, esfena, rutilo, etc).

Las arenas parecen derivar directamente de rocas graníticas, y cuarcitas magnéticas que están constituidas por un alto contenido de cuarzo. Los fragmentos de rocas provienen de la desintegración de rocas que conforman el Escudo de Guayana, así como de Los Andes Venezolanos y colombianos

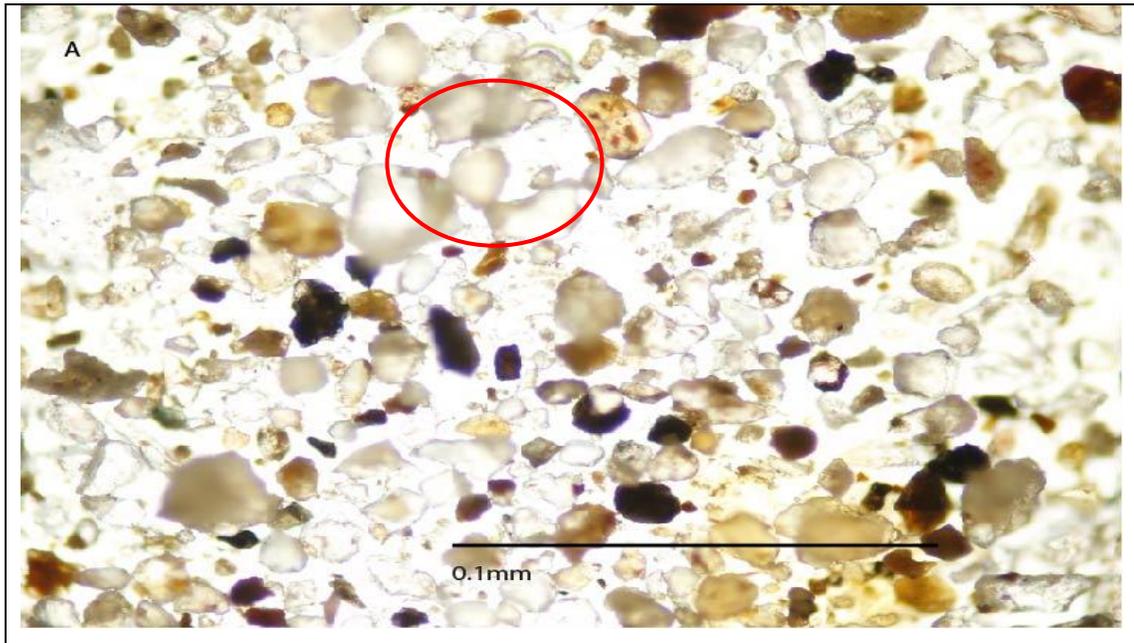


Figura 60. ABA_1M_4 . Se observa el alto porcentaje de cuarzo y la morfología de los granos. (objetivo 10x).

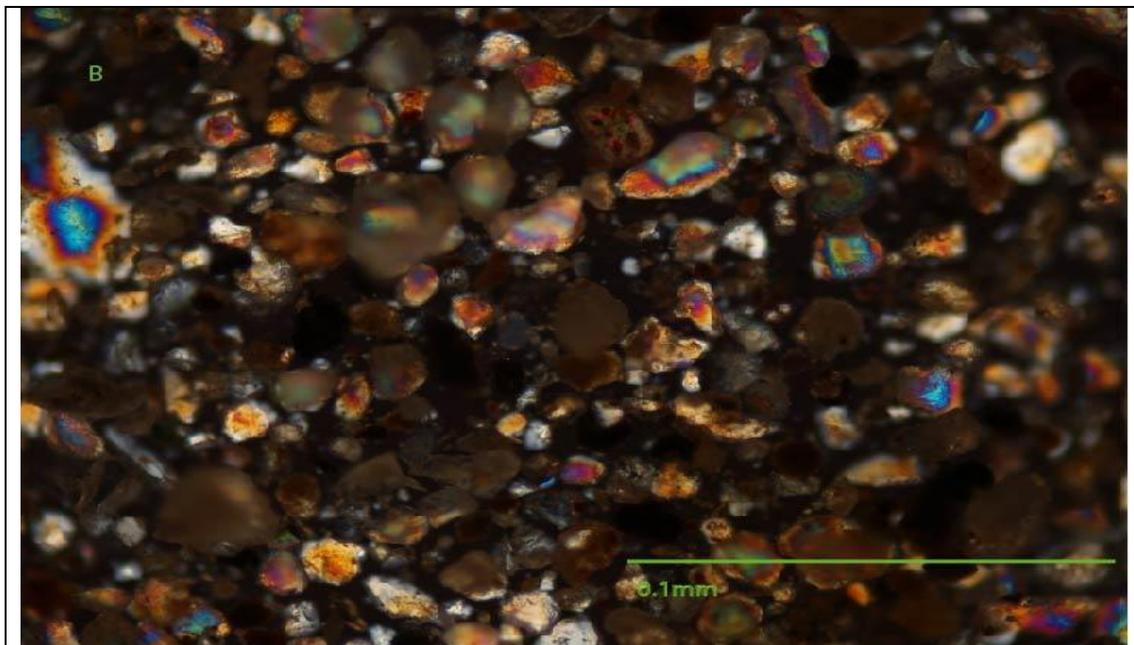


Figura 61. ABA_1M_4 . Se observa el alto porcentaje de cuarzo monocristalino y la morfología de los granos, nicoles cruzados (objetivo 10x).



Figura 62. ABA_2M_1 . Se observa el alto porcentaje de cuarzo y la morfología de los granos. (Objetivo 10x).

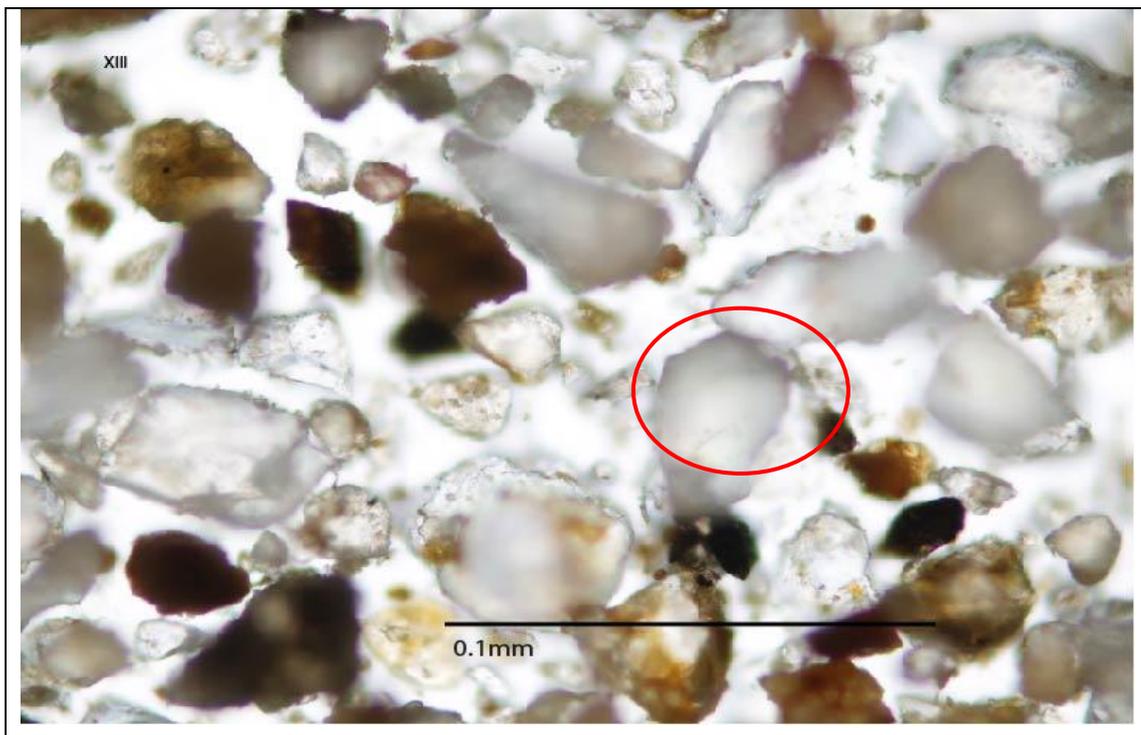


Figura 63. ABA_3M_1 . Se observa el alto porcentaje de cuarzo y la morfología de los granos. (objetivo 10x).

V.I.4 Minerales pesados identificados en las arenas de los abanicos de rotura

Entre los minerales pesados encontrados se tienen: circón, turmalina, rutilo (muy estables), epidoto, y sillimanita (moderadamente estables) y minerales opacos. Generalmente el porcentaje de minerales opacos en todas las muestras es menor, representando aproximadamente un 40% de la muestra en relación con los minerales no opacos.

Se presenta una descripción a modo general de aquellos minerales que aparecen dentro del rango de abundancia, ya que estos tienen importancia mineralógica que permite determinar el origen de los sedimentos detríticos que constituyen los abanicos de rotura en el delta del Orinoco.

Dentro de los minerales pesados no magnéticos se identificaron: circón, epidoto, rutilo, sillimanita, apatito, andalucita, quiasolita y moscovita cloritizada.

Los minerales pesados magnéticos están representados por: magnetita, ilmenita, hemetita, turmalina y biotita cloritizada.

- **Sección ABA_1M_2**

Circón: Se presenta bajo tres formas fácilmente diferenciables, es muy abundante y representa una parte esencial de la fracción fina no magnética:

- 1) Manifiesta un hábito prismático. Su color varía de incoloro a anaranjado pardo, con alto relieve. (Ver figura 71).
- 2) Zonado: se presenta como circón polifásico. (Ver figura 69-70).
- 3) Circones esféricos: incoloros con alto relieve: típicos de metamorfismo de alto grado, facies de la granulita. (Ver figura 71).

Epidoto: Relativamente abundante, con granos subangulosos a subredondeados, medianamente prismático, su color varía de incoloro a amarillento. Se presenta con un relieve más bajo en comparación con el circón. (Ver figura 72).

Apatito: Muy abundante, se presenta en granos prismáticos e incoloros. (Ver figura 67).

Turmalina: Relativamente abundante, su pleocroísmo varía de oscura a incolora, se presenta en granos subangulares y elongados. (Ver figura 63-64).

Rutilo: Se presenta en granos subangulosos, poco abundante, su color es rojizo.

Micas: Su existencia es muy rara, se encuentran alteradas y se presenta bajo dos formas:

- 1) Moscovita cloritizada. (Ver figura 68).
- 2) Biotita cloritizada. (Ver figura 65).

Silimanita: Poco abundante se presenta en granos incoloros con hábito acicular. (Ver figura 66).

Magnetita: Se presenta en gran abundancia, granos subangulares, aparecen un poco oxidadas con manchas rojas de limonita, manifiesta un color grisáceo. (Ver figura 77).

Ilmenita: Los granos son angulosos de color amarillento muy abundante, se presenta alterada a leucoxeno.

Hematita: se presenta en forma poco abundante con granos subangulares.

- **Sección ABA_1M_4 :**

Circón: Se presenta bajo dos formas fácilmente diferenciables, es muy abundante y representa una parte esencial de la fracción fina no magnética:

- 1) Ocurre como granos bien desarrollados con hábito prismático, su color varía de incoloro a anaranjado parduzco, con alto relieve. (Ver figura 77).
- 2) Circones esféricos, incoloros con alto relieve: típicos de la facies granulita. (Ver figura 77).

Epidoto: Relativamente abundante, con granos subangulosos a subredondeados, se presenta con un relieve más bajo en comparación con el circón, medianamente prismático, su color varía de amarillento a incoloro.

Apatito: En esta muestra es muy escaso, se presenta como granos prismáticos incoloros. (Ver figura 78).

Silimanita: Poco abundante se presenta en granos incoloros con hábito acicular. (Ver figura 73).

Turmalina: Relativamente abundante, se presenta en las variedades oscura (Figura 63) e incolora (Figura 64), con granos subangulares y elongados.

Rutilo: Se presenta en granos subangulosos, poco abundante, su color es rojizo. (Ver figura 75).

Andalusita: Se presenta bajo dos formas fácilmente diferenciables:

- 1) Andalusita: de color amarillento de hábito prismático (Ver figura 76).
- 2) Quiastolita: es una variedad de andalusita con inclusiones de grafito orientadas en forma de cruz con distribución simétrica. (Ver figura 74).

Hematita: Muy abundante y se presenta en granos subangulares.

Magnetita: Se presenta en gran abundancia, granos angulares, aparecen un poco oxidadas con manchas rojas de limonita, manifiesta un color grisáceo.

Los constituyentes encontrados tienen una distribución y abundancia que puede variar en las muestras analizadas, dentro del grupo de minerales pesados.

Circón: se encuentra en todas las arenas, específicamente dentro del grupo de minerales pesados no magnéticos.

Epidoto: Corresponde al grupo de minerales pesados magnéticos, su distribución es bastante amplia, está representado en las dos muestras analizadas.

Apatito: su distribución varía en las muestras analizadas, donde mejor está representado es en la muestra ABA₁M₂, se encuentra ampliamente distribuido específicamente dentro del grupo de minerales pesados magnéticos. Sin embargo se presenta muy escaso en la muestra ABA₁M₄, este hecho puede estar vinculado con el proceso de la circulación fluvial. (Ver figura 78).

Turmalina: Su presencia es constante en las arenas analizadas. Específicamente dentro del grupo de minerales pesados no magnéticos.

Rutilo: Se encuentra en ambas secciones. Mejor representado en la muestra ABA₁M₂, específicamente dentro del grupo de minerales pesados no magnéticos.

Micas: biotita cloritizada y muscovita cloritizada, curren solo en la muestra ABA₁M₂, su presencia es muy escasa dentro del grupo de minerales pesados magnéticos y no magnéticos respectivamente.

Silimanita: corresponde con los minerales pesados no magnéticos, está representado en todas las muestras de arenas, en ABA₁M₂ su presencia es esporádica, manifestando una presencia mayor en ABA₁M₄. (Ver figura 73).

Andalusita: Representado en ABA₁M₄, también se presenta bajo la variedad de Quiastolita, específicamente dentro del grupo de minerales pesados magnético.

Leucoxeno: se presenta como alteración de Ilmenita, y corresponde con el grupo de minerales pesados magnéticos.

Dentro de los minerales opacos que aparecen dentro del rango de minerales pesados magnéticos tenemos:

Magnetita: Esta representado en todas las muestras, su distribución es bastante amplia.

Hematita: Se encuentra en todas las muestras, presenta la misma distribución que la magnetita.

Ilmenita: se encuentra en la muestra ABA_1M_2 , donde está acompañada de magnetita y hematita.

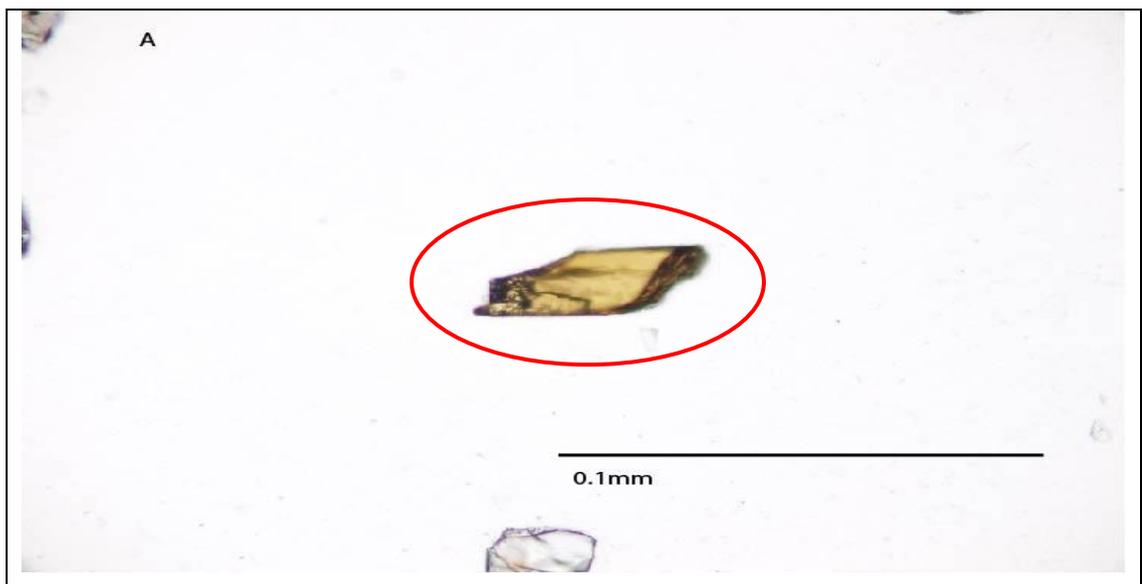


Figura 64. Turmalina identificada en la muestra AB_1M_2 (objetivo 10x).

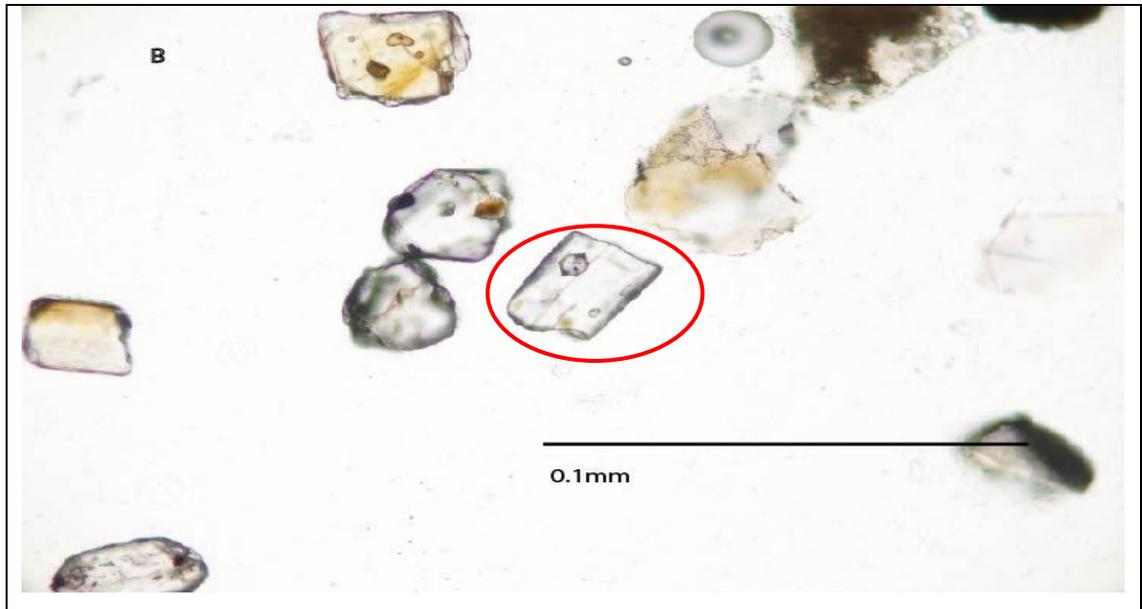


Figura 65. Turmalina identificada en la muestra ABA₁M₂ (objetivo 10x).

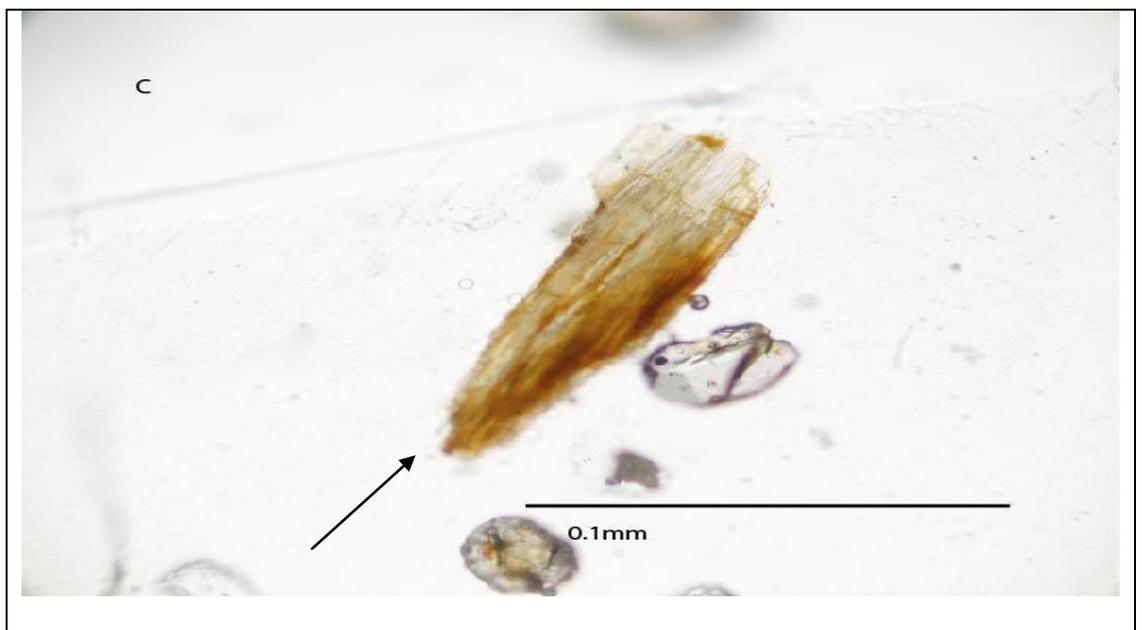


Figura 66. Biotita cloritizada identificada en la muestra ABA₁M₂ (objetivo 10x).



Figura 67. Silimanita identificada en la muestra ABA_1M_2 (objetivo 10x).

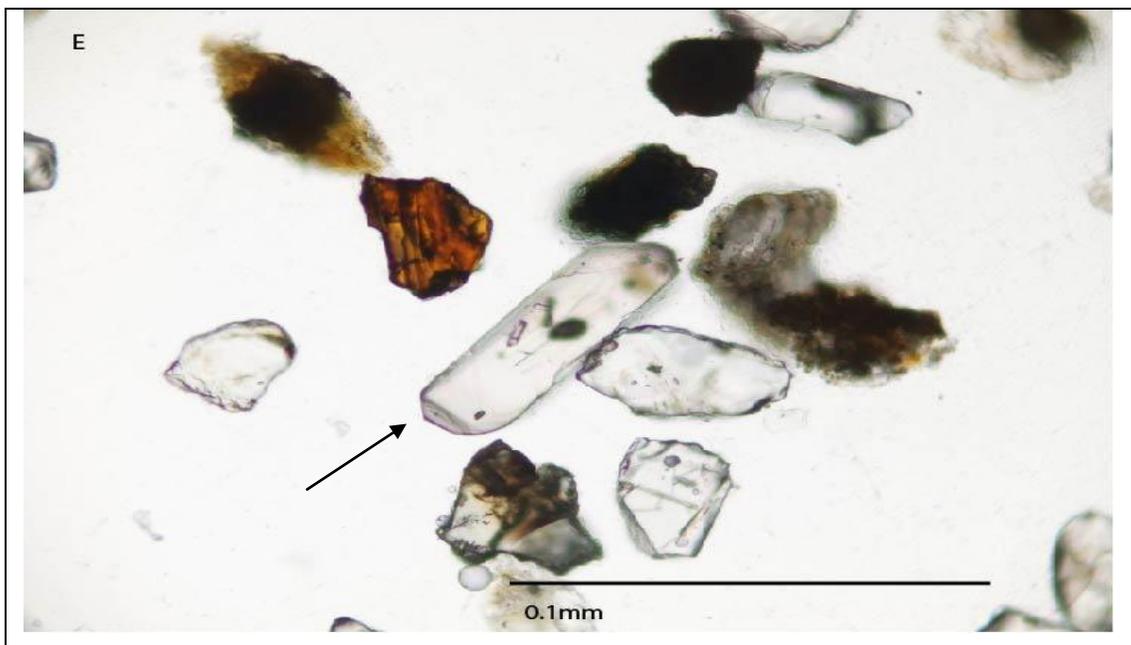


Figura 68. Apatito identificado en la muestra ABA_1M_2 (objetivo 10x).

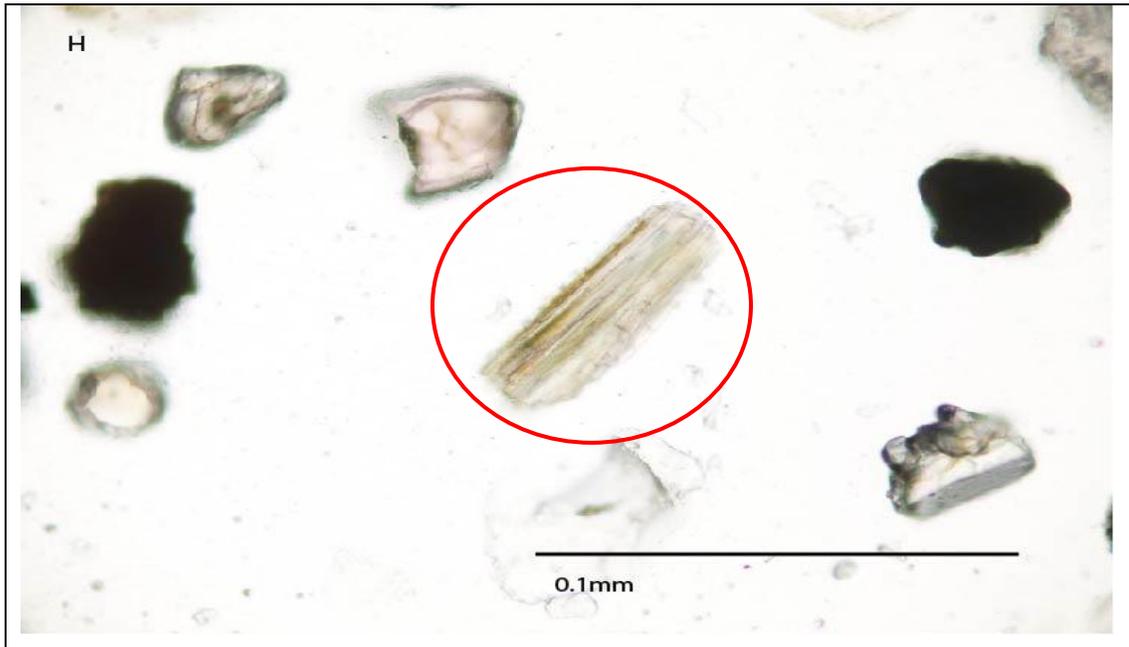


Figura 69. Muscovita cloritizada identificado en la muestra ABA_1M_2 (objetivo 10x).

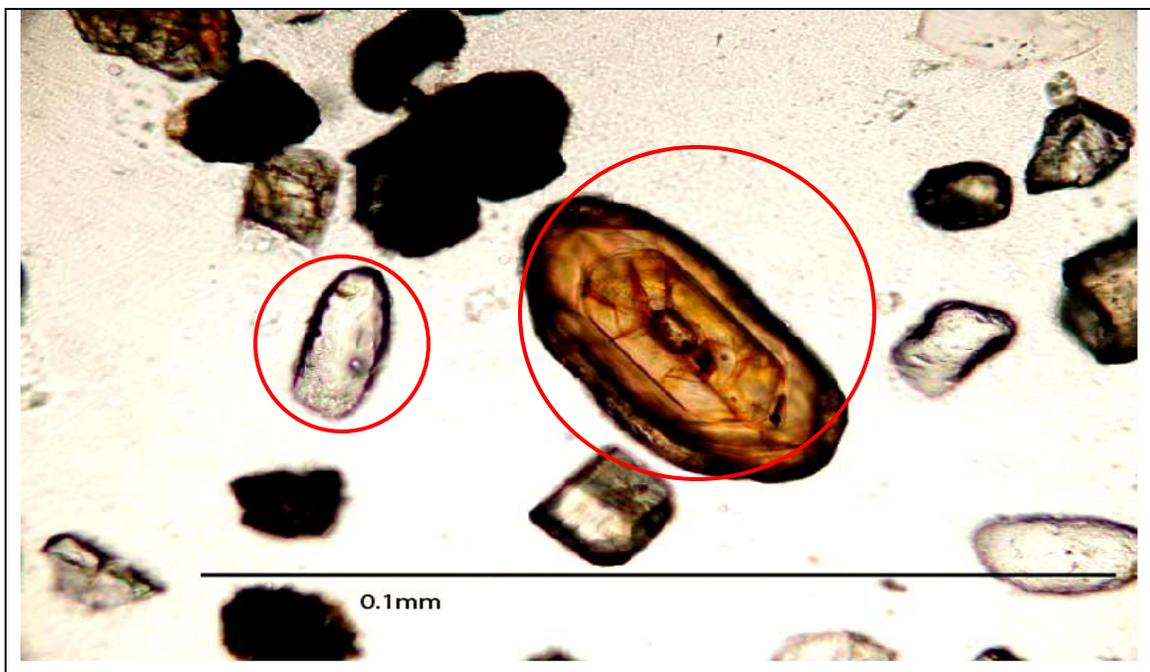


Figura 70. Circón esférico y circón zonado identificados en la muestra ABA_1M_2 (objetivo 20x) Nicoles Paralelos.



Figura 71. Circón zonado identificado en la muestra ABA_1M_2 (objetivo 20x) Nicoles Cruzados.



Figura 72. Circón zonado identificado en la muestra ABA_1M_2 (objetivo 10x).



Figura 73. Epidoto identificado en la muestra ABA_1M_2 (objetivo 10x).



Figura 74. Silimanita identificada en la muestra ABA_1M_4 (objetivo 10x).

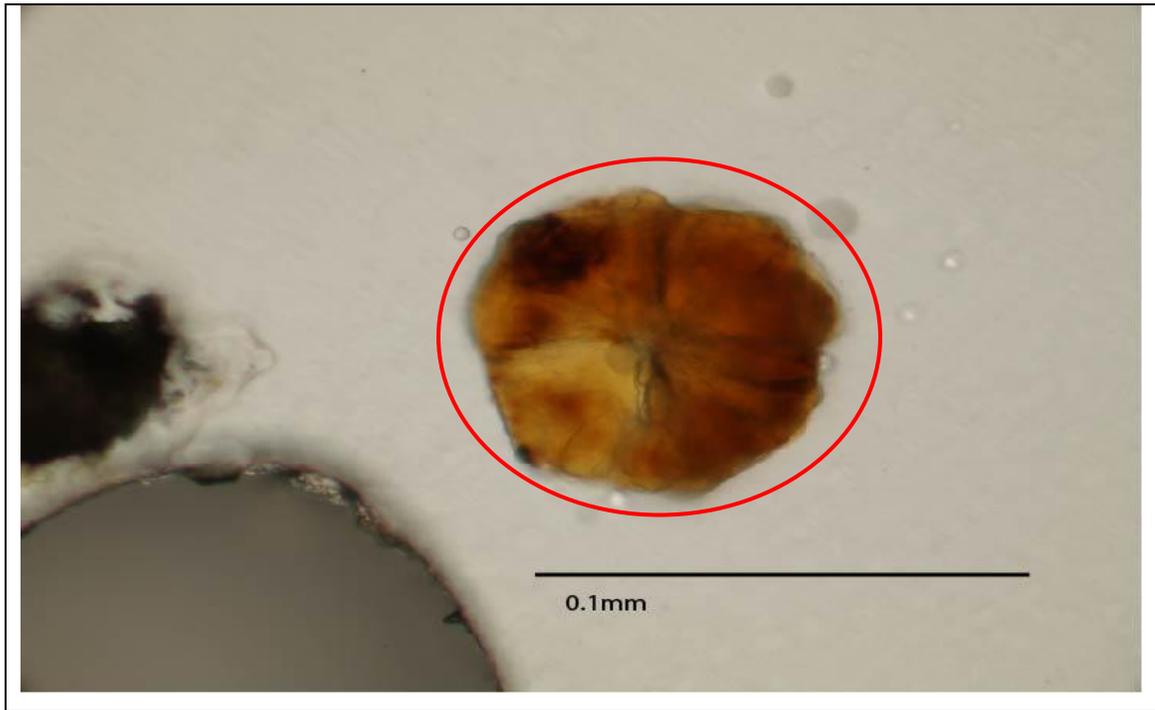


Figura 75. Quiastolita identificada en la muestra ABA_1M_4 (objetivo 10x).

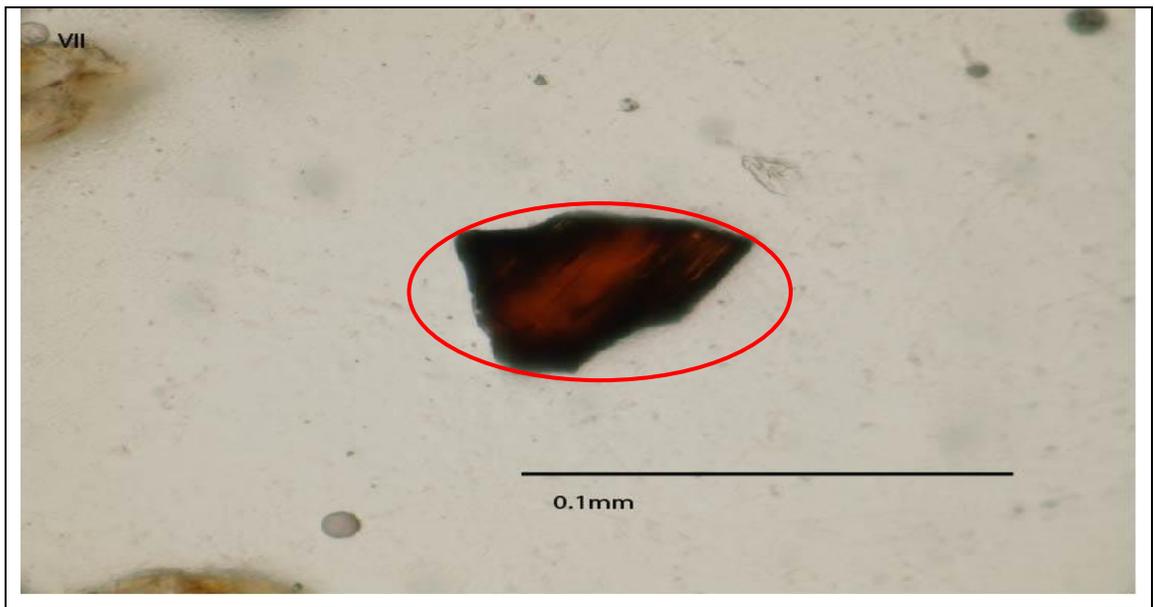


Figura 76. Rutilo identificado en la muestra ABA_1M_4 (objetivo 10x).



Figura 77. Andalusita identificada en la muestra ABA_1M_4 (objetivo 10x).



Figura 78. Circón y magnetita identificadas en la muestra ABA_1M_4 (objetivo 10x).



Figura 79. Apatito primático identificado en la muestra ABA_1M_4 (objetivo 10x).

VI.5 Origen de minerales pesados presente en los sedimentos de los abanicos de rotura en el delta del Orinoco

Circón esférico: se asocia con la facies de la granulita del complejo Imataca, que conforman la parte norte de las rocas metamórficas del Escudo de Guayana.

Circón prismático: Proviene de granitos intrusivos en el Complejo de Imataca, son indicadores de rocas ígneas félsicas del Escudo de Guayana. Su procedencia también puede estar vinculada con el Complejo Supamo por donde pasa el río Caroní, que recibe los afluentes de la Provincia de Pastora, y la zona occidental del país.

Epidoto: Proviene de rocas metamórficas de bajo grado, se puede asociar con dos posibles fuentes, La Provincia de Pastora representaría la fuente de mayor

probabilidad por contener rocas metamórficas de bajo grado ricas en epidoto. Por otra parte tenemos la cordillera Araya Paria.

Apatito: Es frecuente en rocas ígneas félsicas (granito).

Turmalina: son minerales que están vinculados con rocas ígneas félsicas (Granito y pegmatita), también es constituyente de rocas metamórficas de la facies de la granulita.

Rutilo: Proviene de rocas ígneas máficas del Complejo Imataca, y también pueden estar asociado a granitos.

Silimanita y Andalusita: Proviene de rocas metamórficas de grado medio a alto, se asocian con la facies de la granulita y afibolita del Complejo Imataca de Imataca.

Muscovita cloritizada: su origen se asocia con la Provincia de Pastora, también aparecen en los de los andes venezolanos y colombianos y la cordillera oriental (Araya- Paria).

Magnetita: Es frecuente en rocas ígneas tanto félsicas como máficas, así como en rocas metamórficas de alto grado del escudo de Guayana.

Ilmenita: Proviene de rocas ígneas félsicas y máficas.

Hematita: Proviene de las menas de hierro del escudo, o como producto de alteración de la magnetita.

Los minerales que se acaban de describir manifiestan variaciones entre algunos de ellos, aunque sus características propias manifiesten afinidad con rocas presentes en el Escudo de Guayana, y los andes, la mayoría de los minerales están poco desgastados, reflejando una morfología que varía entre angulosos a subangulosos, incluidos los fragmentos de rocas y los minerales de cuarzo.

Todo esto nos permite inferir que la mayoría de los constituyentes de los sedimentos que conforman el delta del Orinoco, provienen del Complejo de Imataca, sin descartar la influencia de la Provincia de Pastora, la región occidental de Venezuela y los andes colombianos.

El verdadero aporte lo brinda el río Orinoco, que corta las rocas granulitas que están en su cauce y en las riberas, en segundo lugar está el río Caroní, que transporta material sedimentario, desde la parte más al sur, inclusive de las diabasas de la Gran Sabana que contienen ilmenita y rutilo.

En la muestra ABA₁M₂, aparece moscovita cloritizada, este mineral es constituyente de las rocas que se encuentran en la Provincia de Pastora, así como en los orógenos de Venezuela y Colombia. Esto indica origen del material sedimentario, relacionado con el margen occidental de Venezuela.

Entre los minerales pesados encontrados en las arenas de los abanicos de rotura, merecen especial atención, el circón polifásico zonado, el circón esférico, magnetita, Ilmenita, todos por estar relacionados con una fuente potencial de los sedimentos como lo es el Complejo de Imataca .consideremos también las arenas que están constituidas por un 70% de cuarzo monocristalino y la morfología de los granos.

Las formas cristalinas en los minerales circón y el apatito, evidencian la cercanía de la fuente, por lo tanto han sido sometidas a poco transporte, desde el Escudo de Guayana hasta el delta del Orinoco.

Los indicadores genéticos más relevantes en las muestras analizadas, están representados la andalucita y la sillimanita, estos minerales se encuentran en el Complejo de Imataca que corresponde a un cuerpo metamórfico de alta temperatura. También se encontró el epidoto que está presente en Imataca, Provincia de Pastora, la región occidental de Venezuela y los andes colombianos.

El circón aparece en todas las muestras analizadas de minerales pesados, en el caso favorable de la sección ABA_1M_2 aparece particularmente como circón zonado (polifásico), esta zonación debe ser observada con especial atención para estudios de datación, lo que implicaría una mejor caracterización de origen de los sedimentos.

La magnetita es la variedad más frecuente dentro de los opacos apareciendo con mayor frecuencia en ABA_1M_4 , conviene hacer notar que estas variedades presentan características afines con rocas ígneas félsicas y rocas ígneas máficas. La magnetita ocurre en rocas metamórficas de alto grado, de la facies de la granulita y cuarcitas magnetíticas del Escudo de Guayana.

Como cabría esperar, la cristalinidad y por ende en cierto sentido la abundancia de los minerales magnetita, hematita, ilmenita, muestran una correlación positiva con el Fe. La magnetita y la hematita, ambos minerales se correlacionan fuertemente, indicando que en las lateritas se produce un proceso alteración y oxidación óxidos de Fe; como magnetita.

La mayoría de los minerales pesados se han agrupado conjuntamente en tres asociaciones:

- Asociación (1): representada por andalucita, sillimanita, epidoto, magnetita, ilmenita como perfectamente correlacionables con rocas metamórficas de la facies de la granulita.
- Asociación (2): circón, apatito, como indicadores de rocas ígneas félsicas.
- Asociación (3): representada por muscovita cloritizada y el circón, que están presentes en las zonas orogénicas del occidente de Venezuela y también en la provincia de Cuchivero y Pastora (complejo supamo)

CAPITULO VII

GEOLOGÍA DE LOS ABANICOS DE ROTURA

VII.1 Contexto geológico de los abanicos de rotura.

Los abanicos de rotura “*Crevasse splay*” constituyen depósitos de desborde en forma de abanico, que se desarrollan rápidamente en las llanuras deltaicas como resultado de la ruptura del dique natural del canal principal.

Los abanicos de rotura representan la evolución de un nuevo curso del río, por tanto están íntimamente relacionados con los procesos evolutivos del delta del Orinoco. Estas facies de abanico de rotura son objeto de estudio debido a su relación con los procesos naturales de la evolución de ambientes deltaicos.

La génesis de los abanicos de rotura está vinculada con la ruptura de los diques naturales durante los periodos de inundación. (MÉNDEZ, 2000) .La fuerza de empuje hidrodinámico del canal principal erosiona el dique de esta manera se generan aberturas y declives que producen el colapso, lo cual es aprovechado por el flujo de corriente del canal para penetrar hacia la llanura de inundación (ver figura 79).

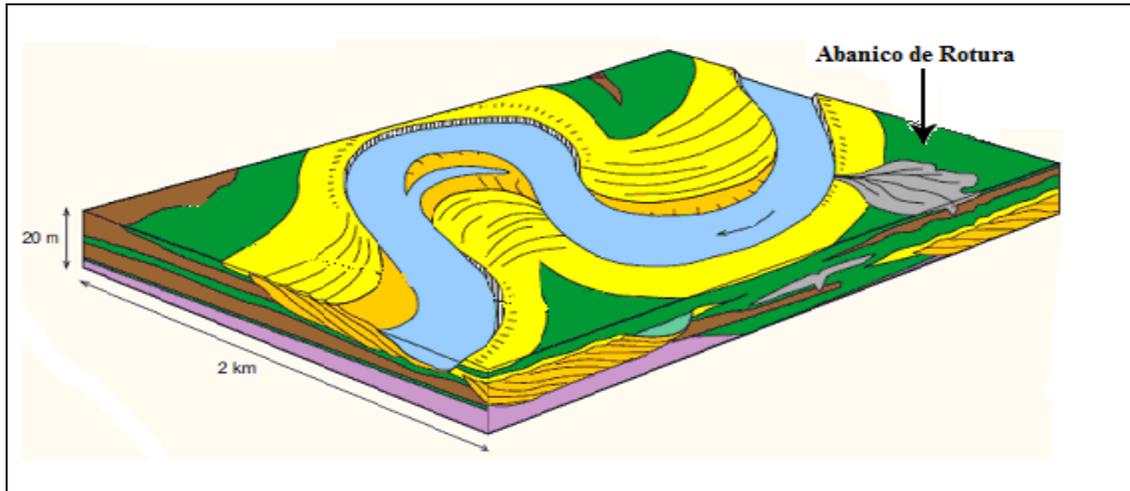


Figura 80. Abanico de Rotura. Tomado y modificado de (MACA y BREENENDSE, 2007)

Según (SMITH, 1983) los abanicos de rotura presentan una geometría lobular con varias extensiones hacia la parte distal marginal, mientras que COLLEMAN (1989), describe la evolución de los abanicos de rotura a través de un canal inicial que va desarrollando un lóbulo a medida que ocurre el ensanchamiento de los canales meandriformes marcando el patrón que alcanzara el abanico de rotura en su etapa final. (O' BRAIAN Y WELS, 1986) lo describen como un cuerpo en forma de lengua constituido por bancos de arenas, donde los bancos de arenas presentan distintos espesores indicando un periodo de formación diferente.

Los abanicos de roturas comúnmente tienen forma de lóbulo, pero también pueden tener forma de lengua (ELLIOT, 1974). Estos depósitos están orientados de modo aproximadamente perpendicular al canal alimentador.

VII.2 Etapas de la evolución de los abanicos de rotura.

- Etapa I: desarrollo de canales.
- Etapa II: estabilidad e incorporación de canales. La estabilidad de los canales se refleja por la formación de bancos de arenas elongados en la llanura de inundación.
- Etapa III: los canales de propagación se ensanchan, el flujo de sedimentos se concentra en pocos canales pero muy estables. En los diques se desarrollan cuerpos de arenas elongados aislados rodeados de limos, arcilla y material orgánico.

La arquitectura de los abanicos está controlada por:

- Propiedades de corriente del canal principal.
- Capacidad de erosión del canal principal.
- Patrón del drenaje (meandriforme, entrelazado).
- Agradación del canal alimentador .(Tronco del abanico)

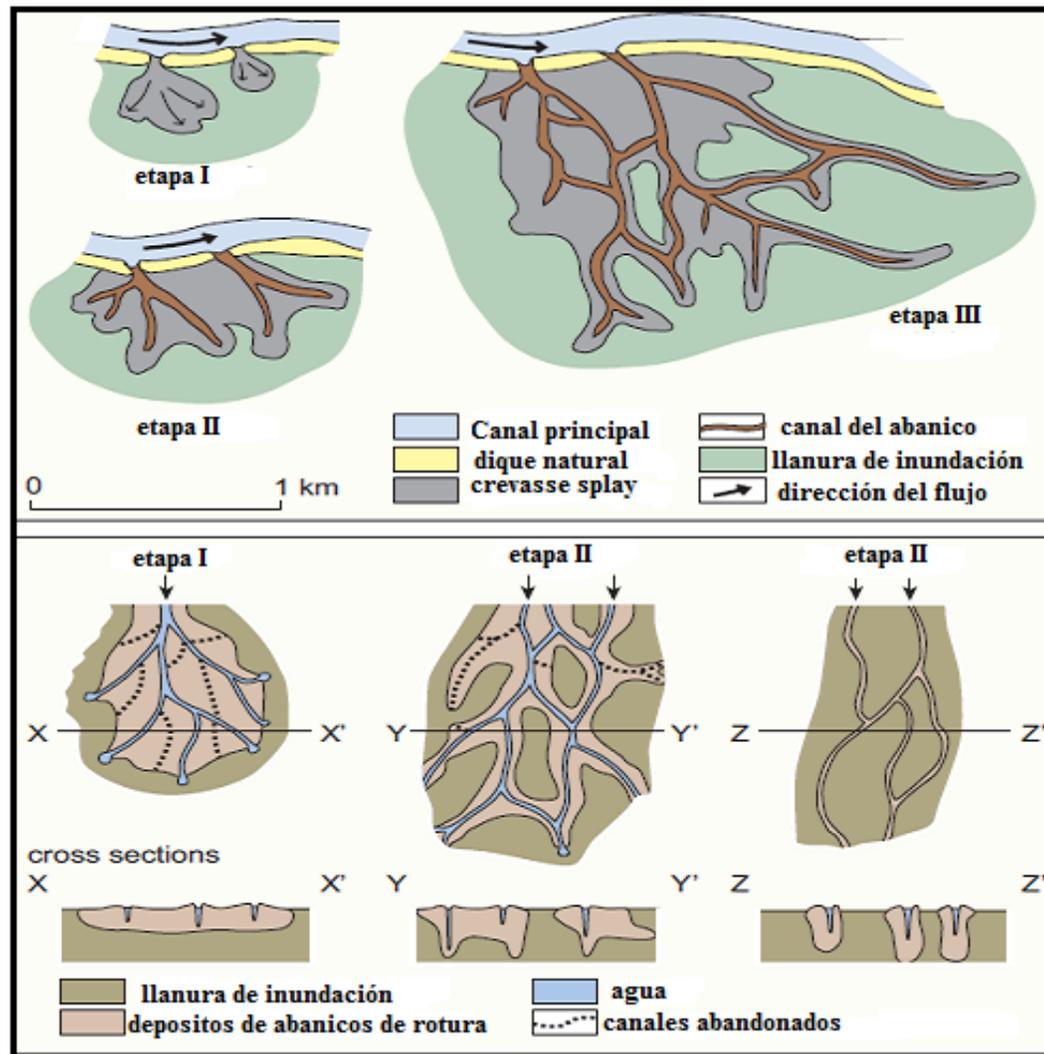


Figura 81. Evolución y sedimentación de los abanicos de rotura. Tomado y modificado de (MACA y BREENENDSE, 2007)

El mecanismo de sedimentación de los cuerpos de arena ocurre durante el periodo de inundación, generando bancos de arenas elongados dispuestos paralelamente a la dirección del flujo en las riberas de los canales, con su máximo espesor hacia el extremo proximal a adelgazándose gradualmente hacia la parte distal del abanico en la llanura de inundación (ver Figura.81).

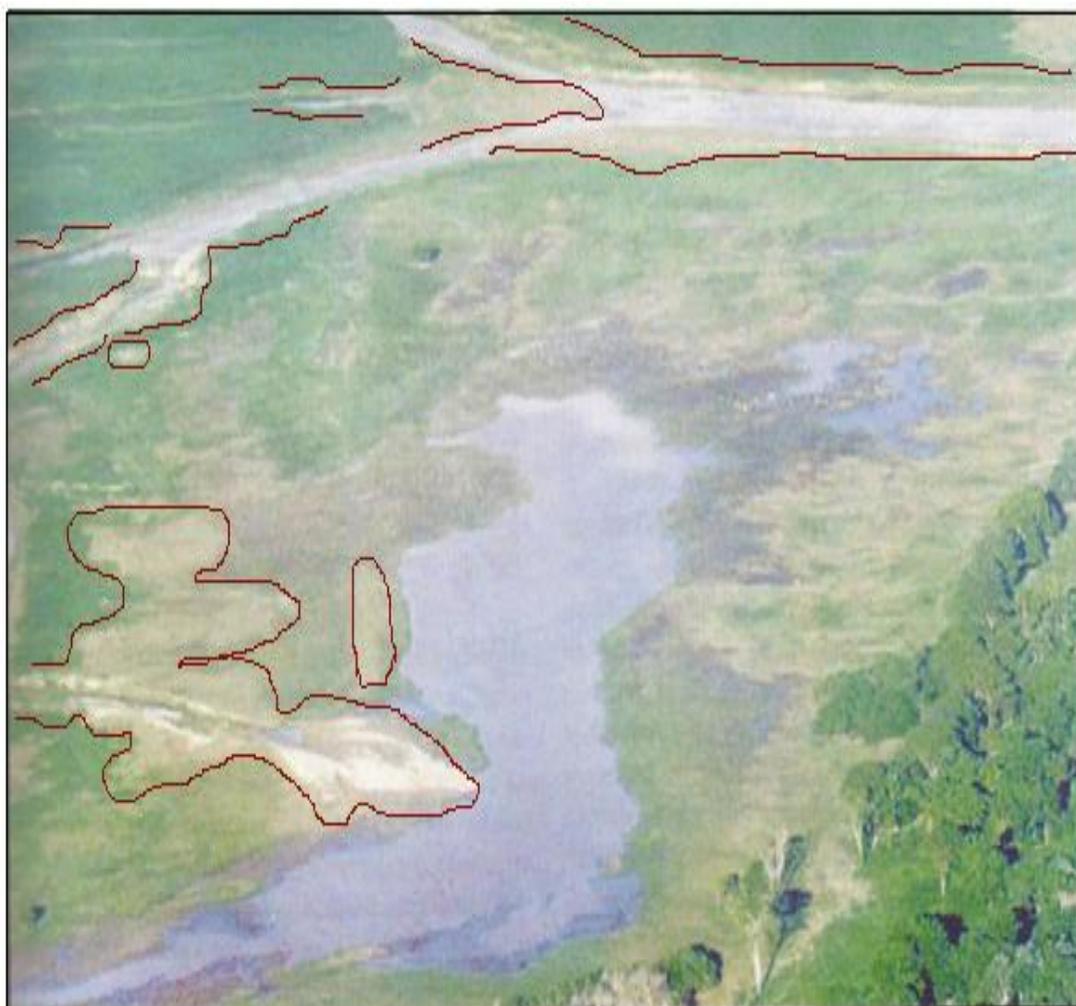


Figura 82. Distribución de bancos de arena en los canales del abanico de rotura. Tomado de Méndez, 2000.

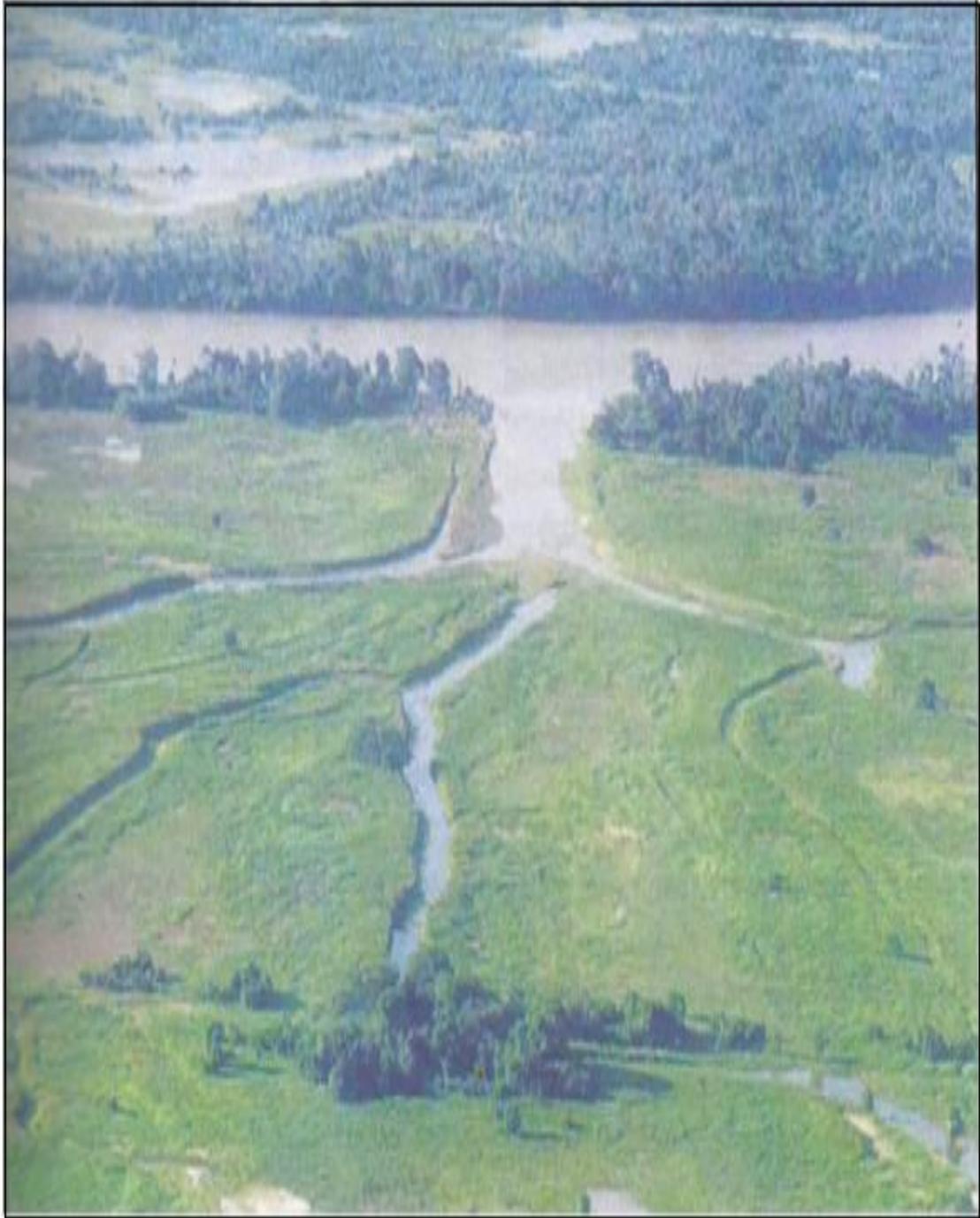


Figura 83. Distribución de facies de abanico de rotura, en la llanura de inundación del caño Macareo. Tomado de Méndez, 2000.

Durante el desbordamiento los sedimentos de arena muy fina son transportados como carga de fondo, y se depositan cerca de los canales del abanico de rotura, mientras que las partículas de grano fino (limo y arcilla), son transportados por suspensión a mayor distancia en la llanura de inundación representando un suministro de sedimentos y nutrientes. Los sedimentos allí depositados están bajo la influencia de los procesos de litificación y diagénesis. (Ver figura 83)

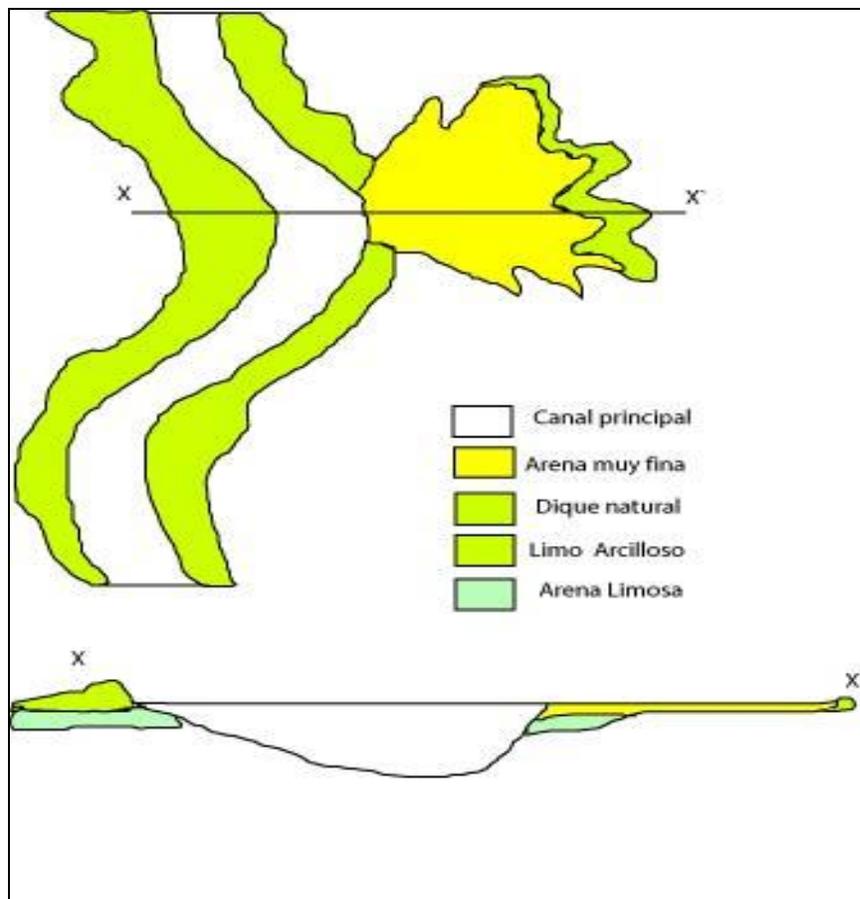


Figura 84. Modelo conceptual de los depósitos sedimentarios desarrollados en los abanicos de rotura en el delta del Orinoco. (Tomado de ELLIOT, 1974)

Los sedimentos depositados por los canales en los abanicos de rotura son texturalmente distintos a los depósitos de sedimentos previos en la llanura de inundación, ya que el porcentaje en peso de limo y arcilla es mayor a medida que incrementa la distancia con respecto al canal principal este proceso permite la formación de estratificación paralela .

Los sedimentos del dique natural están constituidos fundamentalmente de limo arenoso y arena limosa de base a tope. La sedimentación representa un equivalente lateral de los sedimentos depositados en los abanicos de rotura.

En los abanicos de rotura también son comunes los canales abandonados. Los canales generalmente son menos desarrollados en comparación con los canales principales, lo que evidencia la periodicidad del proceso de inundación en las llanuras de inundación. La transición entre el proceso de inundación y sequía, se evidencia por la desecación y fractura de limos y arcillas en los canales de los abanicos de rotura. Sin embargo muchas veces el canal que constituye el canal alimentador del abanico de rotura se puede comparar con canales principales en los deltas.



Figura 85. Entrada de ABA₁. Punto de ruptura del dique natural en el caño Macareo.



Figura 86. ABA₁ Banco de arena formado en el punto de ruptura del dique.



Figura 87. ABA₁. Vértice del abanico de rotura. Se observa la distribución de los bancos de arena



Figura 88. Entrada de ABA₁. Canal principal del abanico de rotura hacia la llanura de inundación.



Figura 89. ABA₁ Cuerpos de arena elongados distribuidos paralelamente a la dirección de flujo del canal del abanico de rotura.



Figura 90. ABA₁M₁. Canal incipiente del abanico de rotura, en proceso de ensanchamiento.



Figura 91. ABA₁ Canales del abanico de rotura.



Figura 92. ABA₁ Canales del abanico de rotura



Figura 93. ABA₁ .Desarrollo de bancos de arenas.



Figura 94. Entrada de ABA₂.



Figura 95. Vértice de ABA₂



Figura 96. ABA₂. Canal desarrollado del abanico de rotura.



Figura 97. ABA₂. Canal desarrollado del abanico de rotura



Figura 98. ABA₃. Vértice de abanico de rotura

VII.3 Abanicos de rotura como reservorio potencial de hidrocarburos.

Los canales fluviales y especialmente los canales desarrollados en los abanicos de rotura generan cuerpos de arena que pueden formar capas alternas de arena y arcilla, además de estructuras sedimentarias que representan trampas potenciales de hidrocarburos.

Los abanicos de rotura se forman como acumulaciones de sedimentos en la llanura de inundación iniciando un proceso pausado de gradación. Este proceso también puede ocurrir en las laderas de los canales que constituyen los abanicos de rotura, lo cual refleja el grado de estabilidad de los diques en desarrollo. Si embargo la frecuencia de desbordamiento no decrece por el desarrollo de los diques. En contraste las condiciones degradacionales dan lugar al ensanchamiento de los canales en la llanura de inundación lo que permite una reducción en las inundaciones de las llanuras deltaicas.

Durante la etapa inicial de la formación del abanico de rotura ocurre la sedimentación de arenas muy bien escogidas que forman bancos de arenas suprayacentes a depósitos previos de limo y arcilla, típicos de las llanuras de inundación esto proceso da lugar a la formación trampas estratigráficas favorables para la acumulación de hidrocarburos.

El canal principal tiende a distribuirse en canales alimentadores más pequeños en la llanura de inundación, por lo que se genera una variación litológica entre las arenas los sedimentos depositados previamente en la llanura de inundación. Los canales desarrollados en los abanicos de rotura generan cuerpos porosos de arenas, proporcionando trampas estratigráficas que ocurren intercaladas entre los depósitos impermeables ricos en materia orgánica de la llanura deltaica.

El proceso evolutivo que comprende la etapa de desarrollo y migración de los canales sobre depósitos previos en la llanura deltaica se pueden apreciar en la figura 80. Se observa como el canal del abanico se forma por la incisión en depósitos preexistentes de la llanura deltaica, que se van estabilizando con la formación de los bancos de arena en las riberas de los canales.

El proceso de sedimentación en la llanura de inundación, está vinculada con los procesos de desbordamiento del canal principal (ALLAN, 1989). Fundamentalmente los sedimentos en la llanura de inundación están constituidos por limos y arcillas (limo grueso). En general el tamaño de las partículas es mayor en los bancos de arena que se depositan en las riberas de los canales de los abanicos de rotura, en comparación con los depósitos distales respecto al dique natural donde se encuentra que el tamaño de grano y las estructuras internas disminuyen.

La sedimentación en las llanuras de inundación está enmarcada por el proceso de acreción vertical, contrariamente los depósitos de arenas en los abanicos de rotura se generan por acreción en los canales.

En el proceso de propagación y desarrollo de los abanicos de rotura se generan, estructuras sedimentarias entre las cuales se destacan: estratificación cruzada típicos de ambientes deltaicos (ALLAN, 1989). Generalmente en los abanicos de rotura se observa la estratificación lenticular, (ver figura 99). Las características texturales homogéneas y los cambios de facies se pueden interpretar como el resultado de la migración de los canales en los abanicos de rotura. Este proceso de generación de estructuras sedimentarias y meandros vinculadas con la migración y evolución de los canales en los abanicos de rotura conforman trampas estratigráficas.

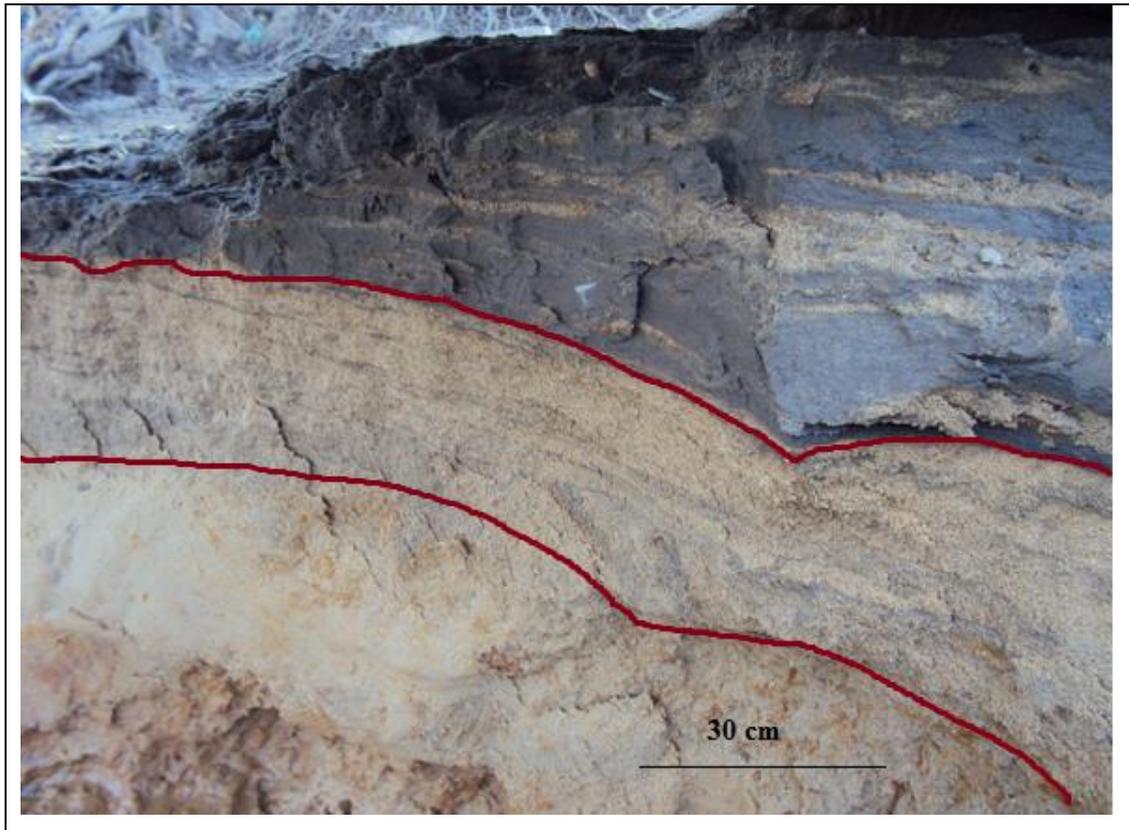


Figura 99. Estructura sedimentaria. Flaser y Lenticular.

Los abanicos de rotura representan depósitos potenciales de hidrocarburos que pueden someterse a procesos de exploración y producción, sobre todo cuando presentan estructuras sedimentarias, arenas bien escogidas, madurez textural, o como yacimientos de carbón, como resultado del material vegetal que forma parte de la dinámica sedimentaria de los abanicos de rotura.

De las grandes acumulaciones de hidrocarburos del mundo descritos por HALBOUTY, 1970, el 62% comprenden reservorios siliciclásticos, de los cuales el 10% están asociados a trampas estratigráficas. Las rocas reservorio depositadas en ambientes fluvio-deltaicos formadas por acción de canales meandriformes, o entrelazados constituyen un alto potencial de roca reservorio, con arenas que desarrollan porosidades primarias.

La porosidad y la permeabilidad de las rocas reservorios, depende de la matriz de la roca, composición litológica, compactación y cementación. Los sedimentos depositados en los abanicos de rotura consisten en arenas muy finas, bien escogidas, limos y arcilla, en los que se pueden generar cambios laterales necesarios para las trampas estratigráficas. Siempre que haya la adecuación para la roca sello que contenga la migración de los hidrocarburos, las arenas de los abanicos están asociadas con sedimentos que permiten generar cambios laterales en el drenaje que puedan expulsar hidrocarburos.

La sedimentación de arenas muy finas, que sometidas condiciones favorables de presión y temperatura y procesos de litificación y diagénesis, pueden conformar areniscas deltaicas las cuales tiene la capacidad de contener fluidos (roca reservorio).

Las acumulaciones de limos y arcillas con un alto contenido de materia orgánica, al ser sometida a condiciones favorables de presión y temperatura, reacciones físico-químicas pueden constituir la roca madre por excelencia (Lutita).

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las facies de abanicos de rotura comprenden sedimentos de granulometría fina, de los cuales las arenas muy finas predominan sobre las partículas de tamaño limo y arcilla. En los tres abanicos de rotura estudiados las arenas muy finas representan en promedio el 70% del porcentaje en peso de las muestras analizadas. El porcentaje de limo y arcilla (limo arcilloso) corresponde al 30%. Esto se evidencia por la curva de frecuencia que manifiesta una expresión gráfica con asimetría hacia los tamaños finos. Estos sedimentos son depositados por corrientes de baja a media energía como carga de fondo para el caso de las arenas muy finas y en suspensión durante el periodo de inundación de la llanura deltaica. La mezcla de limo y arcilla representa el material depositado por suspensión, durante el proceso sedimentario de los abanicos de rotura.

Las muestras ABA1M5, ABA1M6 y ABA1M7 se tomaron en puntos distantes de los bancos de arenas localizados en los canales en proceso de desarrollo, se puede observar el aumento significativo del porcentaje en peso de limo arcilloso, lo que está vinculado con la disminución del tamaño de las partículas en la parte distal del abanico de rotura hacia la llanura aluvial.

Los sedimentos en los tres abanicos de rotura reflejan un escogimiento que varía de moderado a excelente, presentando una morfología entre anguloso y algo esférico, incluidos los fragmentos de rocas. La mayoría de los minerales están poco desgastados, reflejando una morfología que varía entre angulosos a subangulosos.

La comparación de los resultados obtenidos de las muestras analizadas indica evidentes similitudes entre los sedimentos que conforman los tres abanicos de rotura. Las tendencias depositacionales de sedimentos varían debido a la influencia ejercida por el caño Macareo que promueve el desarrollo y geometría de los abanicos, en función de la cantidad de sedimentos acarreados y depositados además de la corriente fluvial.

En función de las características sedimentológicas y de los procesos formadores de los abanicos de rotura, en conjunto con la presencia de estructuras sedimentarias, arenas bien escogidas, madurez textural, permiten que los abanicos de rotura puedan representar depósitos potenciales de hidrocarburos a lo largo del tiempo geológico; siempre y cuando se tengan las condiciones ideales de madurez orgánica y condiciones de presión y temperatura. Así constituyen a futuro zonas potenciales que pueden someterse a procesos de exploración y producción, asimismo podrían constituir yacimientos de carbón como resultado del material vegetal incorporado en la dinámica sedimentaria.

El carácter unimodal de las curvas de frecuencia indica que gran parte de los sedimentos provienen posiblemente de una fuente de aporte predominante. Sin embargo el estudio de minerales pesados arrojó una mayor resolución y discriminación de fuentes ya que permitió determinar tres asociaciones de roca fuente esto se basa en la presencia de minerales índices.

Unos de los indicadores genéticos más importantes de los sedimentos del delta del Orinoco, la andalucita y la sillimanita, ambas típicas del Complejo de Imataca que corresponde a un cinturón metamórfico de alta temperatura. Entre los minerales índices se destaca el epidoto que está presente en Imataca, en la Provincia de Pastora, la región occidental de Venezuela y los Andes colombianos. Dentro de los minerales pesados, aparece moscovita cloritizada, este mineral es constituyente de las rocas que se encuentran en la Provincia de Pastora. También se consideran las zonas orogénicas de los Andes de Venezuela y Colombia.

El río Orinoco y sus afluentes drenan desde la cordillera Oriental de Colombia y los Andes de Venezuela. El sector oriental (cordillera Araya-Paria, serranía del Interior Oriental) también representa una fuente importante de sedimentos. Los ríos provenientes del Escudo de Guayana desembocan en el río Orinoco, estos diferentes terrenos constituyen las principales fuentes de los sedimentos que constituyen el delta del Orinoco.

Los minerales pesados encontrados en los abanicos de rotura, manifiesten afinidad con rocas presentes en el Escudo de Guayana. Se puede determinar que la mayoría de los constituyentes de los sedimentos que conforman los abanicos de rotura, provienen del Complejo de Imataca, sin descartar la influencia de sedimentos cuya fuente de origen es asociada con la cordillera Oriental Colombiana y del occidente de Venezuela.

Una vez finalizado este Trabajo Especial de Grado sería recomendable a futuro realizar las siguientes investigaciones:

1. Describir la geometría y evolución de los abanicos de rotura por medio de imágenes satelitales y sísmica 3D.

2. Determinar el modelo estructural del subsuelo basándose en los cambios de facies laterales y verticales en la sedimentación que permita el reconocimiento y exploración de hidrocarburos.
3. Determinar las velocidades de progradación en la llanura deltaica a lo largo del delta del Orinoco.
4. Describir el patrón de desarrollo, variabilidad y dimensiones del drenaje en la llanura de inundación, así como la influencia del mismo en el proceso de generación de trampas estratigráficas de hidrocarburos.
5. Realizar estudios de proveniencia sedimentaria mediante el uso de métodos termocronológicos tomando en cuenta los terrenos circundantes a la cuenca del río Orinoco.

BIBLIOGRAFÍA

- ACKERS, P. y CHARLTON, F.G. (1970a) “The geometry of small meandering streams”. Proc. Inst. Civ. Engrs Supplement xii, Paper 7328S, 289-317.
- ACKERS, P. y CHARLTON, F.G. (1970b) “The slope and resistance of small meandering streams”. Proc. Inst. Civ. Engrs Supplement xv, Paper 7362S, 349-70.
- ACKERS, P. y CHARLTON, F.G. (1970c) “Dimensional analysis of alluvial channels with special reference to meander length”. J, Hydraul. Res., 8, 287-314.
- ALLAM, M. (1989) “Fluvial herring-bone cross-stratification in a modern tributary mouth bar”, Coonamble, New South Wales, Australia. Sedimentology, 32, 235-44.
- ALEXANDER, C. S. y PRIOR, J. C. (1971) “Holocene sedimentation rates on overbank deposits in the Black Bottom of the Lower Ohio River”, Southern Illinois. Am, J, Sct., 270, 361-72.
- ALEXANDER, J. (1992) “The nature and origin of a laterally extensive alluvial sandstone body in the Middle Jurassic Scalby Formation”. J, Geol. Soc. Lond. 149, 431-41.

- ALEXANDER, J. (1993) "A discussion on the use of analogues for reservoir geology". In: Ashton, M. (ed.), *Advances in Reservoir Geology*. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 69, 175-94.
- ALEXANDER, J., BRIDGE, J. S., CHEEL, R. J. y LECLAIR, S. F. (2001) "Bed forms and associated sedimentary structures formed under supercritical water flows over aggrading sand beds". *Sedimentology*, 48, 133-52.
- ALLEN, J. R. L. (1974b) "Studies in fluvial sedimentation: implications of pedogenic carbonate units, Lower Old Red Sandstone", *Anglo-Welsh outcrop, Geol. J.*, 9, 181-208.
- ALLEN, J. R. L. y LEEDER, M. R., (1980) "Criteria for the instability of upper-stage beds". *Sedimentology*, 27, 209-17.
- ALMENARA, M. y OCHOA, S. Delta del Orinoco. Características Sedimentarias y Distribución de Facies en el delta inferior y la línea de costa entre los caños Manamo y Macareo. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. 1999.
- ANDEL, VAN, T. H., (1967) "The Orinoco delta". *Jour. Sed. Petrol*, 37(2), p.297-310.
- ANDEL, VAN, T. J. Y P. L. SACH, (1964) "Sedimentation of the gulf during the holocene transgression; a subsurface acoustic reflection study". *Jour. Marine. Res.*, 22(1).

- ASLAN, A., R. A. MORTON, W. WHITE, J. A. RANEY, y GUEVAR, E. H.(1999) “Geologic Framework of holoceno Orinoco delta, Venezuela”. *Am. Assoc. Petr. Geol. Texas*: A7-A8.
- BARITTO, I. CAMPOSANO, L (2004) Caracterización química de muestras de sedimentos superficiales y de núcleos del frente atlántico de Venezuela. *Investigaciones Geoambientales*. pp 57-63.[Consulta: 2010, junio 6]
- BARNOLA, A. (1960) “Historia del campo de Pedernales”. *Con. Geol. Venez. III*, Caracas, Noviembre 1959, Memoria, *Bol. Geol., Caracas, Public. Esp. 3, II*: 552-573.
- BELDERSON, R. H., KENYON, N. H., y PELTON, C. D. (1984) “A “braided” distributary system on the Orinoco deep-sea fan”. *Marine Geology*. Amsterdam. 56 (1-4): 195-206.
- BELTRAN, C., (1993) “Neotectonic map of Venezuela andean areas at scale 1:2,000,000”. *AAPG Bull*, 77(2), p.307.
- BELTRAN, C., (1993) “Neotectonic map of Venezuela Andean areas at scale 1:2,000,000”. *Poster. AAPG/SV Int. Cong.*, 1 p.38 y 74.
- BUTENKO, J., BARBOT, J. P., y DAZA, J (1981)”Singularidades geológicas exploradas con el submarino del “CALIPSO” en Venezuela”.*Rev. Tec. Intevep* 1(1): 27-35.

-
- CARNEVALLI, J., (1988) “Venezuela nororiental: exploración en frente de montaña”. Mem., III Simp. Bolivariano., Caracas, 1:68-89.
 - CARVER, R. E (1971) “Procedures in sedimentary petrology”. Wiley-Interscience. New York.U.S.A. 653p.
 - CASE, J. E., Y HOLCOMBE,T.L., (1980) “Geologic tectonic map of the Caribbean region” Geological Surrey Miscellaneous Investigation series Map I. En: The Caribbean South American Plate Boundary and Regional Tectonics (Eds. W. R. Bonini, R. B. Hargraves y R. Shagam), *Geological soc. of America*, memoir 162.
 - COLLEMAN, J.R., (1989) “Deltaic enviroments of deposición”. En Sholle, P.A. (De). *Sandstone Depositacional Enviroments*. AAPG Memoir_31: 139-178.
 - COMITÉ INTERFILIAL DE ESTRATIGRAFÍA Y NOMENCLATURA (CIEN) (1998). Código Geológico. <http://www.p.d.v.com/lexico>.
 - COMOSIÓN DEL PLAN NACIONAL DE APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS (COPLANARH). (1975). Regiones: Costa Noroccidental Centrooccidental y Central, COPLANARH, Caracas 175p.
 - CORRALES, Z. Y. y ROSSEL (1977). “Estratigrafía”. Madrid, Rueda.718p.
 - CREOLE PETROLEOUM CORPORATION (1976) “Manual de facies clásticas”. Ed: D. C. Swanson. Lagoven. Caracas.

- DABRIO, C. J., M. DÍAS, y P. ANADON (1984) “Ciclo de seminarios de sedimentología”. Instituto Geológico y Minero. España, Madrid. 194p.
- DE SISTO, J. (1961) “Formación la Pica en el área mayor de santa Bárbara, Estado Monagas, Venezuela oriental”. *II Cong. Geol. Venz.*, Caracas, 1959, Mem., 4: 1867-1912.
- DE SISTO, J. (1961) “La Mesa and Sacacual sediments of Eastern Venezuela”. *Asoc. Venez. Geol., Min. y petrol., Bol. Inform.*, 4(6): 171-198.
- ELLIOT, S.A., 1974, Morphology of Red Creek, Woyoming, and arid-region anastomosing channel system: *Earth Surface Processes and Lanforms*, v. 14, p277-288.
- EL NACIONAL Y CARTOGRAFÍA NACIONAL (1998) “Atlas práctico de Venezuela= Delta Amacuro”. Caracas: Intrerarte. 10p.
- ESCAMILLA, H y ROMERO, K. Distribución de Facies Sedimentarias y Características de los Sedimentos en la parte Superior del Delta del Orinoco. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de Ingeniería. UCV 1999.
- FRIEDMAN, G. M. and J.E. SANDERS (1978) “Principles of sedimentology”. New York, John Wiley & sons, 72p.

- FUNDACIÓN LA SALLE DE CIENCIAS NATURALES (1979) “Delta del Orinoco” Caracas.
- GALLOWAY, W. (1975) “Process Framework for describing the morfologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional Systems”. En: LOU BROUSSARD, M., Ed. “Deltas models for exploration” *Houston geological society*. Pp. 87-98.
- GALVIS, J. A (1974) “Estudio de geología y geofísica en el Territorio Federal Delta Amacuro y la plataforma continental del Orinoco”. Conf. Geol. Interguayanas IX, Mayo 1972, *Memoria, Bol, Geol.*, Caracas, Publ. Esp. 6: 125-134.
- GONZALES DE JUANA, C. (1946) “Estudios sobre aguas subterráneas en los llanos de Venezuela”. *Rev. Fomento*, Caracas, 8(64):6-59.
- GONZALES DE JUANA, C., ITURRALDE, J. M Y PICARD X. (1980) “Geología de Venezuela y sus cuencas petrololíferas”. Foninves. Caracas.2T 1029p.
- HALBOUTY, M. T., 1991, East Texas field—U.S.A. East Texas Basin, Texas, in E. A. Beaumont and N. H. Foster, eds., *Stratigraphic traps: II. Treatise of petroleum geology of oil and gas fields: Tulsa, AAPG*, p. 189–206.
- HEDBERG, H. D. y PYRE (1944) “Stratigraphy for northeastern Anzoátegui, Venezuela”. *Am. Assoc. Petrol., Bull.*, 28(1):1-28.

- HEDBERG, H. D. (1950) “Geology of the eastern Venezuela basin (Anzoátegui-Monagas- sucre- eastern Guárico portion)”. *Geol. Soc. Am., bull.*, 61(11): 1173-1216.
- HEDBERG, H. D. (1974) “Relation of methane generation to under compacted shales, shale diapirs, and muds”. *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.*, 58(4):661-673.
- HEDBERG, H. D., L. C. SASS AND H. J. FUNKHOUSER, (1974) “Oil fields of greater Oficina area, Central Anzoátegui, Venezuela” *Am. assoc. Petrol. Geol., Bull.*, 31(12):2089-2169.
- HERRERA, L. E. & MASCIANGIOLI, P. (1984) “Características de las corrientes frente al delta del Orinoco, sector occidental del océano Atlántico”. *Rev. Tec. Intevep* 4 (2):133-144.julio 1984.
- HIRST, J. P. P. y NICHOLS, G. J. (1986) “Thrust tectonic controls on Miocene alluvial distribution patterns, southern Pyrenees”, In: *Foreland Basins* (Eds Allen, P. A. y Homewood, P) pp, 247-258. Spec, Publs Int. Ass.
- HESS, H. H (1959) Notes on Operation of Frantz Isodinamic Magnetic Separator: S.G Frantz Co. Instrument Instruction Booklet, p 1-6.
- JAM, P y A. SANTOS (1987) “Cambios de facies de La Formación Freites en el sector cerro negro, Faja Petrolífera de Orinoco”. *Bol. Svg.*, Cracas, 31: 47-48.

- KERR, P. F. (1985) “Mineralogía óptica”. New York. Mc Graw-Hill, 433p.
- KIDWELL, A.L. y HUNT, J. M. (1958) “Migration of oil recent sediments of Pedernales, Venezuela”. Habitat of oil. *Am. Assoc. Petroleum Geol. United – States*. pp 790-817.
- KISER, G D., (1987) “Exploration result, Machete area, Orinoco oil belt, Venezuela”. *Journal of Petroleum Geology*, 10,(2) p.149-162.
- KRUMBEIN, W. C y SLOSS, L. L. (1969) “Estratigrafía y sedimentación”. Mexico, Centeno. 748p.
- LADD, J. W. (1976) “Relative motion of south America wit respect to north America and Caribbean tectonics”. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 87:99-976.
- LLORENTE, M. A. (1990) “Textural characteristics of organic matter in several subenvironments of the Orinoco delta”. *Geologie en Mijnbouw. Amsterdam*.p 263-278.
- LOPEZ, J .L., SAAVEDRA, I., y DUBAYS, M. (19889) “El río Orinoco, aprovechamiento sustentable. Memoria de las 1eras jornadas Venezolanas de Investigación sobre *El Río Orinoco*”. Caracas, UCV. Instituto de Mecánica de Fluidos, 414p.
- LOU BROUSSARD, M. (1975) “Deltas”. *Houston Geological Society*. 555p.

- MAKA, B., BREENDSE, H. JA. y VAN REE, M.H.M., 2007. Middle Holocene avulsión-belt deposit in the central rhine meuse delta the netherlands. *Journal Sedimentary Research* 77: 110-123.
- MANGE, M., and MAURER, H. (1992) "Heavy minerals in colours". London Chapman y Hall. 147p.
- MARNR (1990) "Zonificación Agroclimática del Territorio Federal Delta Amacuro". Vol: I-A.
- MARNR (1989) "Región natural 30 llanura deltaica y Delta del Orinoco". *Sistemas Ambientales Venezolanos Projectoven. Serie 2: Las Regiones Naturales* .N ° 30.368p.
- MÉNDEZ, B. J (1985) "Transgresiones y regresiones marinas en el Pleistoceno Tardío. Subsistencia y levantamiento en Los Roques, Las Aves y La Blanquilla". *Mem. VI Congreso Geológico Venezolano. Caracas, Tomo 8.* pp: 5570-5597.
- MÉNDEZ, B., J (1997) "El Cuaternario". *Boletín de Geología. Caracas, Volumen XVIII. N° 31, pp: 74-114.*
- MÉNDEZ, B., J (200). "Carbonatos, Origen y Sedimentación". *Facultad de Ciencias UCV. p 189-196.*
- MÉNDEZ, B., J (2000). "Geología del delta del Orinoco". *INGEOMIN. Geología. Boletín Especial N° 13. 129p. Caracas.*

- MÉNDEZ, B., J (2006). “Petrología”. P.D.V.S.A. 363p. Caracas.
- MENDÉZ, B., J (2004) sedimentación en la plataforma continental y frente atlántico del Delta del Orinoco. Frente Atlántico Venezolano. Investigaciones Geoambientales. Pp 25-37. [Consulta: 2010, junio 6]
- MENDÉZ, B., J (S/F) Formación del delta del Orinoco durante las transgresiones y regresiones marinas en el Pleistoceno Tardío y Holoceno. Instituto de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. 6 p
- MORELOCK, J. (197). “Guayana-Orinoco continental sediments”. *Ins. Oceanográfico, Univ. De oriente, Bol.*, 11(1): 57-61.
- MUNRO, E y SMITH, F.D. “The Urica Fault Zone, Northeastern Venezuela”. En: Caribbean-South American Plate Boundary and regional tectonics. Editores. W.E. Bonini; R. B Hargraves y R Shagam. Geological Soc. OF America Memoir 162. p.p 213-216. 1984.
- NWACHUKWU, J. Y. M y BARKER, C (1985)” Organic matter: size fraction relationships for Recent Sediments from the Orinoco Delta, Venezuela” *Marine and petroleum Geology*. United Kingdom. 2(3): 202-209.
- O’Braian, C.P., y Wels, G.L., (1986) Fluvial fans: myths, misconceptions and the end of terminal fan model : *Journal of Sedimentary Research*, v. 77, p150-176.

- PEES, S. T., BANKS, L.M., SEGOVIA. AV., (1971) "Petroleum geology of Territorio Federal Delta Amacuro, Venezuela". Transactions of the Caribbean Geological conference = Memorias-Conferencia Geológica del Caribe, 5, p. 199.
- PETOLEOS DE VENEZUELA, S.A (P.D.V.S.A), (1995) "Imagen radar del Delta del Orinoco, Escala 1:250000".
- PIMENTEL DE BELLIZZIA, N., (1984) "Mapa geológico estructural de Venezuela". República de Venezuela. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General Sectorial de Geología y Minas. Escala 1:25000.000.
- ROMERO, H. A. (1975) "Distribución de elementos en sedimentos de fondo del río Orinoco: influencia de la granulometría y el transporte". Caracas, UCV. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, 190p. Trabajo Especial de Grado.
- SMITH, D. G., 1983, Anastomosed fluvial deposits: modern and ancient examples in Alberta, Canada: Canadian Journal of Earth Sciences, V. 17, p136-140.
- SOULAS, J. P. y SINGER, A. (1982) "Investigaciones neotectónicas en la zona nororiental de Venezuela". Caracas. *Acta Científica de venezolana* .33 (1 supl.), p348 (Resumen).
- STAINFORD, R.M (1978). "Was it the Orinoco?" *Am. Assoc. Pet. Geol., Bull.* 62(2): 303-306.

- TOSIANI, T. YANES, C. RAMÍREZ, A. (2004). Sedimentos recientes frente al delta del Orinoco Venezuela. Frente Atlántico Venezolano. Investigaciones Geoambientales. pp 57-63.[Consulta: 2010, junio 6]
- WENTWORTH, H., C. K (1922). “A scale of grade and class terms for clastic”. Jour. Geol., 30:377-392
- ZANNIN, P.G., PARDO, M., y NOEL, S. (1983) “Estudio geológico y geoquímico preliminar de las fuentes termales, Aguas sulfurosas y volcanismo sedimentario del estado Monagas y Territorio Federal Delta Amacuro”. Caracas, UCV: Escuela de Geología, Minas y Geofísica, 492p. Trabajo Especial de Grado.

APÉNDICE

- APÉNDICE 1.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M1
- APÉNDICE 2.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M2
- APÉNDICE 3.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M3
- APÉNDICE 4.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M4
- APÉNDICE 5.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M5
- APÉNDICE 6.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M6
- APÉNDICE 7.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M7
- APÉNDICE 8.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA2M1
- APÉNDICE 9.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA2M2
- APÉNDICE 10.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA2M3
- APÉNDICE 11.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA2M4
- APÉNDICE 12.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA3M1
- APÉNDICE 13.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA3M2
- APÉNDICE 14.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA3M3
- APÉNDICE 15.** Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA3M4
- APÉNDICE 16.** Tabla datos morfológicos de ABA_1M_1
- APÉNDICE 17.** Tabla datos morfológicos de ABA_1M_4
- APÉNDICE 18.** Tabla datos morfológicos de ABA_2M_1
- APÉNDICE 19.** Tabla de datos morfológicos de ABA_3M_3
- APÉNDICE 20.** Tabla de orden de persistencia de los minerales pesados
- APÉNDICE 21.** Tabla de discriminación de los minerales según su peso específico
- APÉNDICE 22.** Minerales pesados y su relación con su roca fuente

APÉNDICE 1. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M1

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	0	0,00	0,00	0,00
60	2.0	1,9	1,91	0,69	0,69
80	2.5	24,2	24,30	8,74	9,42
120	3.0	148,5	149,14	53,61	63,03
170	3.5	66,4	66,69	23,97	87,00
230	4.0	22,4	22,50	8,09	95,09
Bandeja	4.5	13,6	13,66	4,91	100,00
P Tf (Gramos)		277	278,2	100	100,00

APÉNDICE 2. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M2

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	0	0,00	0,00	0,00
60	2.0	0	0,00	0,00	0,00
80	2.5	2	2,01	0,51	0,51
120	3.0	118,6	118,96	29,95	30,45
170	3.5	155,2	155,67	39,19	69,65
230	4.0	69,9	70,11	17,65	87,30
Bandeja	4.5	50,3	50,45	12,70	100,00
P Tf (Gramos)		396	397,2	100	100,00

APÉNDICE 3. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M3

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	4,2	4,22	0,75	0,75
60	2.0	12,2	12,25	2,17	2,92
80	2.5	21,8	21,89	3,88	6,80
120	3.0	287,4	288,53	51,19	58,00
170	3.5	131,4	131,91	23,41	81,40
230	4.0	50,8	51,00	9,05	90,45
Bandeja	4.5	53,6	53,81	9,55	100,00
P Tf (Gramos)		561,4	563,6	100	100,00

APÉNDICE 4. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M4

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	1,1	1,10	0,23	0,23
60	2.0	4,4	4,41	0,93	1,16
80	2.5	6,3	6,32	1,33	2,49
120	3.0	194,7	195,32	41,15	43,64
170	3.5	141,8	142,25	29,97	73,61
230	4.0	69,2	69,42	14,62	88,23
Bandeja	4.5	55,7	55,88	11,77	100,00
P Tf (Gramos)		473,2	474,7	100	100,00

APÉNDICE 5. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M5

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	5,5	5,52	1,59	1,59
60	2.0	11,4	11,45	3,30	4,90
80	2.5	5,6	5,62	1,62	6,52
120	3.0	80,3	80,63	23,26	29,78
170	3.5	81,8	82,13	23,70	53,48
230	4.0	78,1	78,42	22,62	76,10
Bandeja	4.5	82,5	82,83	23,90	100,00
P Tf (Gramos)		345,2	346,6	100	100,00

APÉNDICE 6. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M6

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	0	0,00	0,00	0,00
60	2.0	4,4	4,41	1,47	1,47
80	2.5	10,2	10,23	3,41	4,88
120	3.0	88,3	88,54	29,51	34,39
170	3.5	69,9	70,09	23,36	57,75
230	4.0	48,8	48,93	16,31	74,06
Bandeja	4.5	77,6	77,81	25,94	100,00
P Tf (Gramos)		299,2	300	100	100,00

APÉNDICE 7. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA1M7

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	0	0,00	0,00	0,00
60	2.0	5,4	5,41	1,42	1,42
80	2.5	7,6	7,61	2,00	3,43
120	3.0	81,6	81,73	21,51	24,93
170	3.5	120,3	120,49	31,71	56,64
230	4.0	94,3	94,45	24,86	81,50
Bandeja	4.5	70,2	70,31	18,50	100,00
P Tf (Gramos)		379,4	380	100	100,00

APÉNDICE 8. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA2M1

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	0	0,00	0,00	0,00
60	2.0	8	8,02	2,00	2,00
80	2.5	4,5	4,51	1,13	3,13
120	3.0	164	164,37	41,09	44,22
170	3.5	124,4	124,68	31,17	75,39
230	4.0	58,5	58,63	14,66	90,05
Bandeja	4.5	39,7	39,79	9,95	100,00
P Tf (Gramos)		399,1	400	100	100,00

APÉNDICE 9. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA2M2

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	0	0,00	0,00	0,00
60	2.0	0	0,00	0,00	0,00
80	2.5	5,9	5,91	1,79	1,79
120	3.0	143,9	144,16	43,69	45,48
170	3.5	109,9	110,10	33,36	78,84
230	4.0	42	42,08	12,75	91,59
Bandeja	4.5	27,7	27,75	8,41	100,00
P Tf (Gramos)		329,4	330	100	100,00

APÉNDICE 10. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA2M3

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	0	0,00	0,00	0,00
60	2.0	2,5	2,51	0,56	0,56
80	2.5	8,4	8,43	1,87	2,43
120	3.0	185,4	186,14	41,37	43,80
170	3.5	152,9	153,51	34,11	77,91
230	4.0	59,3	59,54	13,23	91,14
Bandeja	4.5	39,7	39,86	8,86	100,00
P Tf (Gramos)		448,2	450	100	100,00

APÉNDICE 11. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA2M4

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	0	0,00	0,00	0,00
60	2.0	0	0,00	0,00	0,00
80	2.5	5,9	5,91	1,79	1,79
120	3.0	143,9	144,16	43,69	45,48
170	3.5	109,9	110,10	33,36	78,84
230	4.0	42	42,08	12,75	91,59
Bandeja	4.5	27,7	27,75	8,41	100,00
P Tf (Gramos)		329,4	330	100	100,00

APÉNDICE 12. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA3M1

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	2,1	2,10	0,50	0,50
60	2.0	7,3	7,34	1,76	2,27
80	2.5	2,6	2,61	0,63	2,90
120	3.0	94,9	95,40	22,93	25,83
170	3.5	134,8	135,52	32,58	58,41
230	4.0	87,3	87,76	21,10	79,50
Bandeja	4.5	84,8	85,25	20,49	100,00
P Tf (Gramos)		413,8	415,9888352	100	100,00

APÉNDICE 13. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA3M2

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	4	4,02	1,34	1,34
60	2.0	8,3	8,34	2,78	4,12
80	2.5	14,2	14,26	4,75	8,87
120	3.0	159,9	160,60	53,53	62,40
170	3.5	67,4	67,69	22,56	84,97
230	4.0	24,7	24,81	8,27	93,24
Bandeja	4.5	20,2	20,29	6,76	100,00
P Tf (Gramos)		298,7	300	100	100,00

APÉNDICE 14. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA3M3

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	2,8	2,81	0,64	0,64
60	2.0	6,2	6,22	1,42	2,07
80	2.5	21,2	21,26	4,87	6,94
120	3.0	240,3	240,96	55,20	62,14
170	3.5	99,1	99,37	22,77	84,91
230	4.0	36	36,10	8,27	93,18
Bandeja	4.5	29,7	29,78	6,82	100,00
P Tf (Gramos)		435,3	436,5	100	100,00

APÉNDICE 15. Tabla con datos granulométricos obtenidos en: ABA3M4

TAMIZ	ABERTURA Φ	P RET (Gr.)	P CORR (Gr.)	% PCORR	% P ACUM
C	-3.0	0	0,00	0,00	0,00
A	-2.5	0	0,00	0,00	0,00
5	-2.0	0	0,00	0,00	0,00
7	-1.5	0	0,00	0,00	0,00
10	-1.0	0	0,00	0,00	0,00
14	-1/2	0	0,00	0,00	0,00
18	0	0	0,00	0,00	0,00
25	1/2	0	0,00	0,00	0,00
35	1.0	0	0,00	0,00	0,00
45	1.5	3,5	3,52	1,17	1,17
60	2.0	8,8	8,85	2,95	4,12
80	2.5	10,2	10,26	3,42	7,55
120	3.0	166,9	167,91	55,97	63,51
170	3.5	60,4	60,76	20,25	83,77
230	4.0	22,2	22,33	7,44	91,21
Bandeja	4.5	26,2	26,36	8,79	100,00
P Tf (Gramos)		298,2	300	100	100,00

APÉNDICE 16. Tabla con datos morfológicos de ABA₁M₁

Esfericidad	%Frecuencia	Frecuencia
[0.1, 0.3)	8	4
[0.3, 0.5)	16	8
[0.5, 0.7)	76	38
[0.7, 0.9)	0	0
[0.9, 1,0)	0	0

Redondez	%Frecuencia	Frecuencia
[0.1, 0.3)	8	4
[0.3, 0.5)	20	10
[0.5, 0.7)	60	30
[0.7, 0.9)	12	6
[0.9, 1,0)	0	0

APÉNDICE 17. Tabla con datos morfológicos de ABA₁M₄

ESFERICIDAD	%Frecuencia	Frecuencia
[0.1, 0.3)	6	3
[0.3, 0.5)	24	12
[0.5, 0.7)	26	13
[0.7, 0.9)	44	22
[0.9, 1.0)	0	0

REDONDEZ	%Frecuencia	Frecuencia
[0.1, 0.3)	18	9
[0.3, 0.5)	22	11
[0.5, 0.7)	52	26
[0.7, 0.9)	8	4
[0.9, 1.0)	0	0

APÉNDICE 18. Tabla con datos morfológicos de ABA₂M₁

Esfericidad	%Frecuencia	Frecuencia
[0.1, 0.3)	12	6
[0.3, 0.5)	26	13
[0.5, 0.7)	36	18
[0.7, 0.9)	24	12
[0.9, 1.0)	2	1

Redondez	%Frecuencia	Frecuencia
[0.1, 0.3)	20	10
[0.3, 0.5)	14	7
[0.5, 0.7)	56	28
[0.7, 0.9)	10	5
[0.9, 1.0)	0	0

APÉNDICE 19. DATOS MORFOLÓGICOS DE ABA₃M₃

ESFERICIDAD	%Frecuencia	Frecuencia
[0.1, 0.3)	8	4
[0.3, 0.5)	16	8
[0.5, 0.7)	26	13
[0.7, 0.9)	48	24
[0.9, 1.0)	2	1

REDONDEZ	%Frecuencia	Frecuencia
[0.1, 0.3)	8	4
[0.3, 0.5)	20	10
[0.5, 0.7)	38	19
[0.7, 0.9)	34	17
[0.9, 1.0)	0	0

APÉNDICE 20. Tabla de orden de persistencia de los minerales pesados

ORDEN DE PERSISTENCIA	ORDEN GENERALIZADO DE ESTABILIDAD QUÍMICA		
MODIFICADO POR PETTIJHON (1941)	PETTIJHON et al. (1973)	LIXIVIACIÓN ÁCIDA MORTON (1985 a)	FLUIDOS DE POROS A PROFUNDIDAD SALINOS O ALCALINOS MORTON (1985 a)
OLIVINO	MUY INESTABLE	OLIVINO, PIROXENOS	OLIVINOS, PIROXENOS
SILIMANITA	OLIVINO	ANFIBOLES	ANDALUSITA, SILIMANITA
PIROXENO	INESTABLE	ESFENA	ANFIBOLES
ESFENA	HORBLENDA	APATITO	EPIDOTO
ANDALUSITA	ACTINOLITA	EPIDOTO, GRANATE	ESFENA
ANFIBOLES CA	AUGITA	CLORITOIDE, ESPINELA	CIANITA
GLAUCOFANO	DIOPSIDO	ESTAUROLITA	ESTAUROLITA
SERIES DE RIEBECKITA	HIPERSTENO	CIANITA	GRANATE
EPIDOTO	ANDALUSITA	ANDALUSITA, SILIMANITA	APATITO, CLORITOIDE, ESPINELA
CIANITA	MODERADAMENTE ESTABLE	TURMALINA, RUTILO, CIRCON	
ESTAUROLITA	EPIDOTO		De acuerdo a recientes observaciones (MM) el granate y el apatito parecen ser más estable el cloritoide y la espinela
MONAZITA	CIANITA		
XENOMITA	GRANATE		
APATITO	SILIMANITA		
GRANATE	ESFENA		El orden de incremento de estabilidad De la estaurolita es el siguiente:
CIRCON	ZOICITA		ESTAUROLITA
TURMALINA	ESTABLE		CLORITOIDE, ESPINELA
RUTILO	APATITO		GRANATE
	GRANATE		APATITO
	ESTAUROLITA		RUTILO, TURMALINA, CIRCÓN
	MONAZITA		
	ULTRAESTABLE		
	RUTILO		
	CIRCON		
	TURMALINA		
	ANATASA		

Los minerales están ordenados desde el tope en orden creciente de estabilidad, tomado de MANGE Y MAURER (1922).

APÉNDICE 21. Tabla de discriminación de los minerales según su peso específico.

Tomado de FEO-CODECIDO (1960)

PESO ESPECIFICO PROMEDIO	MINERAL	FRACCION
2,30	GLAUCONITA	L
2,32	YESO	I
2,60	CAOLINITA	V
2,65	CUARZO	I
2,66	FELDESPATO	A
2,71	CALCITA	N
2,85	DOLOMITA	A
2,89	BROMOFORMO	
2,90	MOSCOVITA	
3,07	GLAUCOFANO	
3,10	TURMALINA	
3,15	HORNBLENDA	P
3,20	ANDALUCITA	E
3,24	SILIMANITA	S
3,30	ZOICITA	A
3,37	EPIDOTO	D
3,41	CLORITOIDE	A
3,48	TITANITA	
3,64	CIANITA	
3,71	ESTAUROLITA	
3,80	GRANATE	
3,84	PLEONASTA	
3,88	ANATASA	
3,95	BRUQUITA	
4,00	LEUCOXENO	
4,21	RUTILO	
4,70	CIRCÓN	
4,75	ILMENITA	
5,15	MONACITA	
5,17	MAGNETITA	

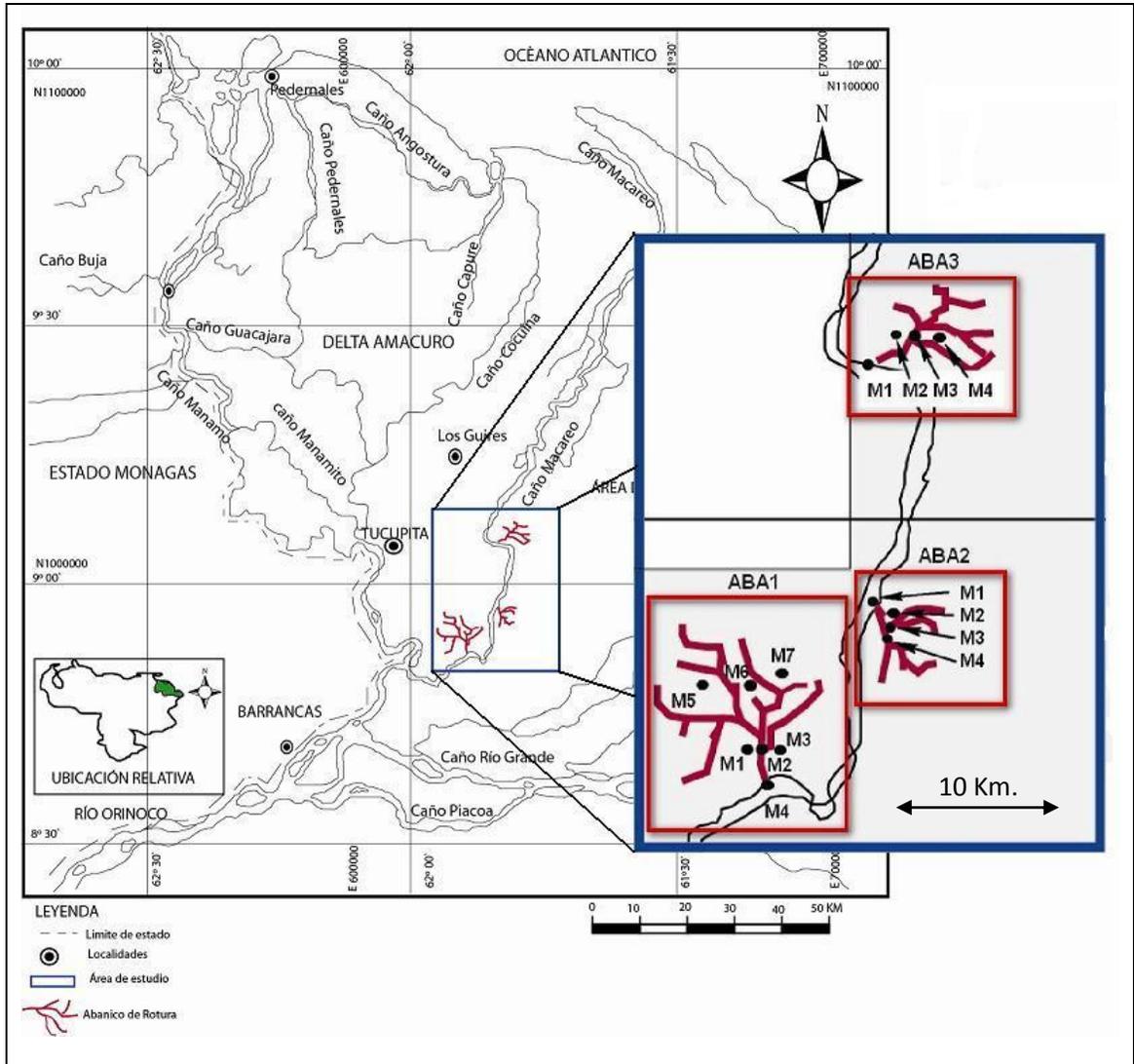
APÉNDICE 22. Minerales pesados y su relación con su roca fuente.

(Tomado de FRIEDMAN y SANDERS (1978))

MINERALES PESADOS	IGNEA MAFICA	IGNEA FELSICA	METAMORFICA ALTO GRADO	METAMORFICA BAJOP GRADO	HIDROTHERMAL (VENAS, Pegm.)	ORIGEN SEDIMENTARIO
ANATASA	X					
AUGITA	X		X			
BROOKITA	X					
CASITERITA		X			X	
CROMITA	X					
HIPERESTENO	X		X			
ILMENITA	X	X	X			
LEUCOXENO	X	X		X		
MAGNETITA	X	X	X			
OLIVINO	X					
RUTILO	X					
SERPENTINA	X					
APATITO		X				
BIOTITA		X	X	X		
MUSCOVITA				X		
HORBLENDA		X	X			
MONAZITA		X		X		
ESFENA		X				
TURMALINA		X		Marrón palido euhedral	X	
CIRCÓN		X	X	X		
FLURITA		X			X	
GRANATE			X	X		
TOPACIO		X			X	
ANDALUSIA			X			
EPIDOTO			X	X		
CIANITA			X	X		
SILIMANITA			X			
ESTAUROLITA			X			
ZOISITA			X		X	
BARITA						X

ANEXO

MAPA DE UBICACIÓN DE MUESTRA



Mapa de Muestras. Tomado y modificado de (Méndez, 2000).