

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **PALINOFACIES Y PALEOAMBIENTES DEL MIOCENO TEMPRANO – MEDIO EN LA ZONA DE TÁCATA, ESTADO ANZOÁTEGUI**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título  
de Ingeniero Geólogo  
Por el Br. Cueto M., Nora

Caracas, Marzo 2002

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **PALINOFACIES Y PALEOAMBIENTES DEL MIOCENO TEMPRANO – MEDIO EN LA ZONA DE TÁCATA, ESTADO ANZOÁTEGUI**

TUTOR ACADÉMICO E INDUSTRIAL: Dra. María Antonieta Lorente

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título  
de Ingeniero Geólogo  
Por el Br. Cueto M., Nora

Caracas, Marzo 2002

*A tí, mi buen amigo,  
pues no tiene fin tu lluvia de amor  
sobre mí..*

*A mis padres y mis hermanas:  
Karina, G. Patricia y Fabricia.*

*Cuando alguien encuentra su camino,  
no puede tener miedo, debe tener  
coraje suficiente para dar pasos errados.  
Las decepciones, las derrotas, el desánimo,  
son herramientas que utiliza Dios  
para mostrar el camino.*

*Paulo Coelho*

**Cueto M., Nora E.**

**PALINOFACIES Y PALEOAMBIENTES DEL MIOCENO  
TEMPRANO – MEDIO EN LA ZONA DE TÁCATA,  
ESTADO ANZOÁTEGUI**

**Tutor Industrial y Académico: Dra. María Antonieta Lorente. Tesis. Caracas,  
U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica.  
Departamento de Geología. Año 2002, 345p.**

**Palabras Claves:** Palinofacies, Materia Orgánica Palinológica, Paleoambientes, Formación Capaya, Formación Carapita, Tácata.

**RESUMEN.** El presente estudio consiste en desarrollar un modelo de evolución paleoambiental en el área Quiamare – La Ceiba, Campo Tácata, Estado Anzoátegui, a partir de análisis de muestras de canal del pozo Tácata I, en el intervalo del Mioceno Temprano-Medio, con base en el análisis de palinofacies, es decir, en la caracterización de la materia orgánica asociada, y su integración con la información sedimentológica.

Se analizaron un total de 99 muestras, que fueron preparadas según el procedimiento estándar palinológico con ácido fluorhídrico, ácido clorhídrico y extracción de minerales pesados. La materia orgánica palinológica se evaluó de dos maneras: una cuantitativa, a través del análisis digital de imágenes (ADIE<sup>®</sup>), donde se determinan los aspectos texturales y otra cualitativa, a través de la visualización microscópica bajo luz blanca transmitida y luz incidente fluorescente azul, donde se determinó la composición de los palinomacerales. Los resultados analíticos se evaluaron a partir de técnicas estadísticas estándares tales como histogramas de frecuencia, diagramas de caja, perfiles de distribución y análisis de agrupamiento.

Basado principalmente en el análisis de agrupamiento, se diferenciaron ocho palinofacies de las cuales dos pertenecen a la Formación Carapita y seis a la Formación Capaya. Es importante recalcar que el límite litoestratigráfico definido para las formaciones Capaya y Carapita coincide con el límite entre los dos grupos principales de palinofacies.

Se estableció una alta correlación entre los principales paleoambientes definidos a partir de la información sedimentológica y estudios de foraminíferos, con la materia orgánica palinológica. De tal forma que en la Formación Capaya las *Palinofacies VI* y *V* compuestas por material vegetal degradado y gel húmico puro, se encuentran asociadas con ambientes nerítico interno a medio con desarrollo de barras de desembocadura y barras distales; las *Palinofacies IV* y *III* constituidas por material vegetal degradado y materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen terrestre, están asociadas a un ambiente nerítico interno con desarrollo de barras de

desembocadura; la *Palinofacies II* conformada por material algal no estructurado y material vegetal degradado, está asociada a un ambiente nerítico interno a externo donde se desarrollan canales distributarios, barras de desembocadura y barras distales y la *Palinofacies I*, compuesta por Material algal no estructurado y materia orgánica amorfa finamente dispersa con fragmentos de material algal no estructurado, se asocia a ambientes nerítico medio a externo con desarrollo de barras distales.

En la Formación Carapita la *Palinofacies II* está constituida principalmente por material algal no estructurado y material vegetal degradado y se asocia a un ambiente nerítico externo con desarrollo de barras distales. Por último, la *Palinofacies I* está compuesta por material vegetal degradado y gel húmico puro, asociada a ambientes que varían entre nerítico externo a batial superior, con desarrollo de cañones submarinos.

El estado avanzado de degradación de la materia orgánica de origen terrestre (especialmente el material vegetal degradado) y el desgaste de la misma, presente en las lutitas transgresivas, son características que indican la deposición de estas partículas en diversos puntos de la plataforma.

El alto porcentaje de material algal no estructurado y la materia orgánica amorfa con material algal no estructurado que se encuentran en las lutitas transgresivas del intervalo estudiado, especialmente en las *Palinofacies I* y *II* de ambas formaciones y cuya intensidad de fluorescencia es muy elevada, coinciden con la superficie de máxima inundación propuesta por Giffuni y Moreno (2001) a una profundidad de 12780'.

La elongación y la irregularidad relativa de la materia orgánica palinológica son dos variables definitivas que permiten identificar de manera coincidente los límites que indican cambios ambientales, los cuales han sido determinados a partir de los estudios de foraminíferos o la coexistencia de dos ambientes para una misma profundidad.

Por otra parte, con base en el color de los esporomorfos (amarillo oscuro a marrón claro/fluorescencia naranja leve) se propone que la materia orgánica se encuentra marginalmente madura a madura, en o cerca de la ventana de petróleo, para la sección estudiada.

<b>INDICE DE CONTENIDO</b>		<i>Pág.</i>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>		1
<b>1.1. GENERALIDADES</b>		1
<b>1.2. OBJETIVOS Y ALCANCE</b>		1
1.2.1. Objetivo general		1
1.2.2. Objetivos específicos		2
1.2.3. Alcance		3
<b>1.3. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>		3
<b>1.4. IMPORTANCIA DEL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO</b>		5
<b>1.5. ANTECEDENTES</b>		6
<b>1.6. TRABAJOS PREVIOS</b>		6
1.6.1. Área de Tácata		6
1.6.2. Caracterización de la materia orgánica en Venezuela		9
1.6.3. Caracterización de la materia orgánica a nivel mundial		11
1.6.4. Formación Capaya y Carapita		16
<b>1.7. RESUMEN OPERACIONAL DEL POZO TÁCATA-I</b>		21
<b>1.8. AGRADECIMIENTOS</b>		23
<b>CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA</b>		27
<b>2.1. FASE I: FASE PRELIMINAR</b>		27
2.1.1. Definición de objetivos		27
2.1.2. Consulta bibliográfica		27
<b>2.2. FASE II: FASE DE LABORATORIO</b>		28
2.2.1. Selección de muestras		28
2.2.2. Descripción macroscópica de muestras de canal		29
2.2.3. Método de preparación de muestras de palinofacies		29
2.2.3.1. Identificación de las muestras		29
2.2.3.2. Lavado, disgregado y pesado de muestras		30
2.2.3.3. Tratamiento con ácido		30
2.2.3.4. Separación de líquidos pesados		33
2.2.3.5. Medición del volumen recuperado de la materia orgánica		33
2.2.3.6. Almacenamiento		34
2.2.3.7. Montaje de las muestras para palinofacies		34
2.2.3.8. Colado de las muestras		36
2.2.4. Descripción microscópica y análisis de muestras de canal		36
2.2.5. Cálculo de concentración de materia orgánica		40
<b>2.3. FASE DE GENERACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS</b>		40
2.3.1. Análisis digital de imágenes		40
2.3.1.1. Muestras de palinofacies y muestras de secciones finas de areniscas/limolitas		41
2.3.2. Evaluación de la porosidad a partir del análisis digital de imágenes, petrofísica y de la estimación visual		56
2.3.3. Métodos estadísticos		60
<b>2.4. FASE IV: FASE DE INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN</b>		62
<b>CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO</b>		63
<b>3.1. MATERIA ORGÁNICA</b>		63
3.1.1. Terminología		63
3.1.2. Clasificación		64

3.1.2.1. Los palinomorfos (Batten, 1996)	64
3.1.2.2. Materia orgánica estructurada	65
3.1.2.3. Materia orgánica no estructurada	65
3.1.2.4. Clasificaciones más utilizadas de la materia orgánica	65
<b>3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA</b>	72
3.2.1. Caracterización de la materia orgánica por técnicas ópticas	72
3.2.1.1. Materia orgánica acuática no estructurada	73
3.2.1.2. Materia orgánica acuática estructurada	73
3.2.1.3. Materia orgánica terrestre no estructurada	74
3.2.1.4. Materia orgánica terrestre estructurada	76
3.2.1.5. La materia orgánica amorfa	80
<b>3.3. PROCESOS DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA</b>	82
3.3.1. La degradación y biodegradación	82
3.3.2. Gelificación	82
3.3.3. Materia orgánica amorfa y anoxia	83
3.3.4. Ocurrencia de pirita	83
<b>3.4. PETROLOGÍA ORGÁNICA Vs. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA PALINOLÓGICA</b>	84
<b>3.5. ESTUDIOS CUANTITATIVOS DE LA MATERIA ORGÁNICA</b>	85
3.5.1. Morfología de las partículas	86
3.5.1.1. Cantidades automáticas	86
<b>3.6. MÉTODOS ESTADÍSTICOS (ESTADÍSTICA MULTIVARIANTE)</b>	91
3.6.1. Análisis de agrupamiento (Cluster analysis)	91
3.6.1.1. Distancias multivariantes (Manly, 1986 y Kovach, 1993)	94
<b>CAPÍTULO VI: GEOLOGÍA REGIONAL</b>	98
<b>4.1. EVOLUCIÓN GEODINÁMICA: CONTEXTO CARIBE</b>	98
<b>4.2. CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA</b>	101
4.2.1. Ubicación	101
4.2.2. Evolución tectónica de la Cuenca Oriental de Venezuela	103
4.2.2.1. Episodio rift: quiebre de pangea (Triásico – Jurásico Tardío)	103
4.2.2.2. Episodio margen pasivo (Jurásico Tardío – Oligoceno)	105
4.2.2.3. Episodio margen activo (Mioceno Temprano – Reciente)	105
4.2.3. Provincias geológicas	107
4.2.3.1. La Serranía del Interior	107
4.2.3.2. El piedemonte de Monagas	107
4.2.3.3. La Subcuenca de Maturín	108
<b>4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL</b>	108
4.3.1. Estructuras geológicas principales	109
4.3.2. Provincias tectónicas y estilos estructurales	109
<b>4.4. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL</b>	114
4.4.1. Basamento cristalino	114
4.4.2. Estratigrafía Pre-Cretácica (fase Pre-rift? Y rift)	116
4.4.3. Primer ciclo: Estratigrafía Cretácica – Paleógeno (fase margen pasivo)	116
4.4.3.1. Cretácico	118
4.4.3.2. Estratigrafía Paleoceno Tardío - Eoceno	118
4.4.4. Segundo ciclo: Estratigrafía Oligoceno	119

4.4.5. Tercer ciclo: Estratigrafía Neógena – Reciente (fase “foredeep”)	121
4.4.5.1. Mioceno Inferior	122
4.4.5.2. Mioceno Temprano a Mioceno Medio	124
4.4.5.3. Mioceno Superior	125
4.4.5.4. Plioceno – Pleistoceno	125
<b>4.5. DESCRIPCIÓN LITOESTRATIGRÁFICA</b>	128
4.5.1. Formación Capaya	128
4.5.2. Formación Carapita	132
4.5.3. Formación Quiamare	134
4.5.4. Formación Las Piedras	139
<b>CAPÍTULO 5: GEOLOGÍA LOCAL</b>	142
<b>5.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL</b>	142
5.1.1. Falla de Urica	143
5.1.2. Corrimiento de Pirital	145
5.1.3. Corrimiento de Tala	145
<b>5.2. ESTRATIGRAFÍA LOCAL</b>	147
5.2.1. Formación Capaya	148
5.2.2. Formación Carapita	148
5.2.3. Formación Las Piedras	149
<b>CAPÍTULO 6: ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DEL POZO</b>	152
<b>6.1. FORMACIONES CAPAYA Y CARAPITA</b>	152
6.1.2. Descripción litológica de las muestras de canal	153
6.1.2.1. Descripción litológica de la Formación Capaya	153
6.1.2.2. Descripción litológica de la Formación Carapita	158
6.1.3. Petrografía de areniscas	160
6.1.3.1. Porosidad: relación entre la estimación visual y la aplicación del análisis digital de imágenes	172
6.1.4. Secuencia paragenética y evolución de la porosidad	173
6.1.4.1. Soterramiento somero (interfase agua/sedimento – 80° C)	174
6.1.4.2. Soterramiento intermedio (80° - 130° C)	177
6.1.4.3. Soterramiento profundo (130° - 200° C)	178
6.1.5. Bioestratigrafía	179
6.1.6. Paleoambientes	181
<b>CAPÍTULO 7: CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA</b>	183
<b>7.1. FORMACIÓN CAPAYA</b>	183
7.1.1. Resultados del análisis digital de imágenes estratigráficas	183
7.1.2. Resultados de la composición de la materia orgánica palinológica	183
7.1.3. Resultados de la concentración de la materia orgánica palinológica	188
7.1.4. Resultados de fluorescencia de la materia orgánica palinológica	190
7.1.5. Resultados sintetizados y análisis estadísticos	192
7.1.5.1. Estadística general	192
7.1.5.2. Gráficos estadísticos	197
7.1.5.3. Estadística multivariante	202
<b>7.2. FORMACIÓN CARAPITA</b>	231
7.2.1. Resultados del análisis digital de imágenes estratigráficas	231
7.2.2. Resultados de la composición de la materia orgánica palinológica	231

7.2.3. Resultados de la concentración de la materia orgánica palinológica	231
7.2.4. Resultados de la fluorescencia de la materia orgánica Palinológica	235
7.2.5. Resultados sintetizados y análisis estadísticos	236
7.2.5.1. Estadística general	236
7.2.5.2. Gráficos estadísticos	240
7.2.5.3. Estadística multivariante	246
<b>7.3. INTERPRETACIONES GENERALES</b>	264
7.3.1. Formación Capaya	264
7.3.1.1. Relaciones estadísticas y paleoambientales	264
7.3.1.2. Relación registro de pozo gamma ray/SP y perfiles de distribución textural de la materia orgánica palinológica	265
7.3.2. Formación Carapita	268
7.3.2.1. Relaciones estadísticas y paleoambientes	268
7.3.2.2. Relación registro de pozo gamma ray/SP y perfiles de distribución textural de la materia orgánica palinológica	269
<b>CAPÍTULO 8: PALINOFACIES Y PALEOAMBIENTES</b>	274
<b>8.1. DEFINICIÓN DE PALINOFACIES</b>	274
8.1.1. Palinofacies de la Formación Capaya	275
8.1.1.1. Palinofacies VI: Palinofacies de material vegetal degradado	275
8.1.1.2. Palinofacies V: Palinofacies de material vegetal degradado y gel húmico puro	278
8.1.1.3. Palinofacies IV: Palinofacies de material vegetal degradado y materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen terrestre	283
8.1.1.4. Palinofacies III: Palinofacies de materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen terrestre	286
8.1.1.5. Palinofacies II: Palinofacies de material vegetal degradado y material algal no estructurado	289
8.1.1.6. Palinofacies I: Palinofacies de material algal no estructurado y materia orgánica amorfa finamente dispersa con material algal no estructurado	292
8.1.2. Palinofacies de la Formación Carapita	295
8.1.2.1. Palinofacies II: Palinofacies de material algal no estructurado y material vegetal degradado	295
8.1.2.2. Palinofacies I: Palinofacies de material vegetal degradado y gel húmico puro	297
<b>8.2. PALEOAMBIENTES</b>	303
8.2.1 Paleoambientes de la Formación Capaya	303
8.2.1.1. Paleoambientes asociados a la Palinofacies VI	304
8.2.1.2. Paleoambientes asociados a la Palinofacies V	305
8.2.1.3. Paleoambientes asociados a la Palinofacies IV	306
8.2.1.4. Paleoambientes asociados a la Palinofacies III	307
8.2.1.5. Paleoambientes asociados a la Palinofacies II	308
8.2.1.6. Paleoambientes asociados a la Palinofacies I	309
8.2.2 Paleoambientes de la Formación Carapita	310
8.2.2.1. Paleoambientes asociados a la Palinofacies II	310
8.2.2.2. Paleoambientes asociados a la Palinofacies I	311

<b>8.3. CONSIDERACIONES ESTRATIGRÁFICAS A PARTIR DE LA MATERIA ORGÁNICA PALINOLÓGICA</b>	312
<b>8.4. PREDICCIÓN DE LA GENERACIÓN DE HIDROCARBUROS A PARTIR DE LA MATERIA ORGÁNICA PALINOLÓGICA</b>	315
<b>CONCLUSIONES</b>	321
<b>RECOMENDACIONES</b>	327
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	328

**APÉNDICE A:** Descripción litológica detallada de las lutitas de las formaciones Carapita y Capaya.

**APÉNDICE B:** Descripción litológica detallada de las areniscas de las formaciones Carapita y Capaya.

**ANEXO 1: UBICACIÓN DE MUESTRAS POZO:TÁCATA I**

**ANEXO 2: INFORMACIÓN SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO TÁCATA I**

**ANEXO 3: POROSIDADES POZO: TÁCATA I**

**ANEXO 4: CURVAS DE ABUNDANCIA Y DIVERSIDAD DE FORAMINIFEROS: POZO TÁCATA I**

**ANEXO 5: INFORMACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA POZO TÁCATA I**

**INDICE DE FIGURAS**

	Pág.
1.1 Mapa de ubicación del área de estudio	4
1.2 Resumen operacional del pozo Tácata I	22
2.1 Formato de control de muestras	30
2.2 a) Remojo de las muestras, b) Lavado de muestras con tamiz de 200 micrones, c) Disgregado de muestras	31
2.3 a) Tratamiento con ácido clorhídrico y fluorhídrico, b) y c) Campana de extracción de gases, d) y e) centrifugado de las muestras	32
2.4 Almacenamiento del residuo palinológico en microtubos de ensayo	34
2.5 a) Materiales utilizados para el montaje de las muestras, b) Mechero con gelatina derretida, c) Residuo palinológico extendido sobre el portaobjetos y d) Sellado de la muestra	35
2.6 a) Ultrasonido, b) Colado de las muestras a través de tamiz de 10 micrones	37
2.7 Componentes de hardware del ADIE®. Tomado de Guía del Sistema de Intesa(2000)	38
2.8 Hardware del análisis digital de imágenes estratigráficas	39
2.9 Esquema de procesos básicos del ADIE®	42
2.10 Ventanas del ADIE® donde se muestra el proceso de calibración para los objetivos del microscopio	44
2.11 Ventanas del ADIE® donde se muestra el proceso de selección de muestras	45
2.12 Ventanas del ADIE® donde se muestra el proceso de selección de muestras	46
2.13 Continuación de esquema de procesos realizados a través del ADIE®	49
2.14 Ventana de ADIE® del proceso de segmentación de imagen, a y b) Segmentación a color, c) Segmentación manual	51
2.15 Ventana del ADIE® donde se muestra el proceso de edición de imagen, a) Edición de Partículas y Operaciones Morfológicas, b) Comparación entre Imagen Original e Imagen Editada	54
2.16 Ventana del ADIE® donde se muestra el proceso de generación de reportes, a) Generación de reporte textural partícula, b) Generación de reporte textural poro	55
2.17 Ventanas del ADIE® donde se muestra el proceso de generación de gráficos para análisis texturales	57
2.18 Ventanas del ADIE® donde se muestra el proceso de generación de gráficos para análisis texturales y los reportes granulométricos	58
2.19 Ventanas del ADIE® donde se muestra el proceso de eliminación de análisis	59
3.1 Clasificación de la materia orgánica.Tomado y modificado de Tyson (1995) a Clasificación de la materia orgánica palinológica de origen acuático según Lorente (1986) b Clasificación de la materia orgánica palinológica de origen terrestre según Lorente (1986)	67
3.2 Sección esquemática de hoja "Lycopodium" presentando la capa cuticular y epidermal.Tomado y modificado de Lorente (1986)	78
3.3 Esquema del estudio de caracterización de materia orgánica con ADIE®	85
3.4 Partícula orgánica de análisis digital de imágenes. Medidas automáticas básicas	86
3.5 Cálculo del diámetro phi. Nótese que es equivalente al diámetro phi utilizado para los análisis granulométricos convencionales	87
3.6 Modelo de dendrograma	92
3.7 Interpretación geométrica de la distancia $d_{ij}$ desde el individuo i hasta el individuo j en 2 dimensiones	93
3.8 Interpretación geométrica de la distancia $d_{ij}$ desde el individuo i hasta el individuo j en 3 dimensiones	94

4.1 Sistema de fallas Boconó – San Sebastián – El Pilar producto de la transcurriencia dextral entre las placas Caribe y Suramericana. Tomado y Modificado de Audemard (1997)	100
4.2 Estilo tectónico. Diacronismo este – oeste del movimiento de la placa Caribe contra la placa Suramerica. Tomado de Mijares (1995)	102
4.3 Cuenca petrolífera de Venezuela basadas en la distribución de sus provincias sedimentarias. Tomado Ostos y Yoris (1997) en WEC Evaluación de Pozos, Schlumberger	104
4.4 Fases del episodio rift: quiebre de Pangea. Tomado de Stephan et al. (1990)	106
4.5 Provincias Geológicas de la Cuenca Oriental de Venezuela. Tomado y modificado de Hung (1997)	108
4.6 Transecto sísmico regional destacando la zona triangular. Tomado de De Daal <i>et al.</i> (2000)	110
4.7 Elementos estructurales mayores. Tomado de De Daal <i>et al.</i> (2000)	111
4.8 Modelo geológico del área de Tácata. Tomado de De Daal <i>et al.</i> (2000)	112
4.9 Mapa de estructura en el tope del basamento. Tomado y modificado de Di Crocce(1995)	115
4.10 Mapa pre – Mesozoico generalizado. Tomado y modificado de Di Crocce(1995)	117
4.11 Mapa de facies del Oligoceno Tardío justo después de 30 millones de años. Nótese que el norte de Monagas y el cinturón plegado han sido desplazados por el acortamiento del Neógeno. Tomado y modificado de Di Crocce (1995).	120
4.12 Sección idealizada de un “foredeep”. Tomado y modificado de Bally (1989)	123
4.13 Mapa de facies del Mioceno Temprano justo después del comienzo del “foredeep” (25 Ma.). Tomado y modificado de Di Crocce (1995)	126
4.14 Mapa de facies del Mioceno Medio (15 Ma.). El norte de Monagas y el cinturón plegado derivado del levantamiento montañoso son desplazadas por la deformación Neógena Tardía. Tomado y modificado de Di Crocce (1995)	127
4.15 Mapa de facies del Plioceno Temprano hace 5.5 Ma. Tomado y modificado de Di Crocce (1995)	129
5.1 Línea sísmica noreste – suroeste del área de Tácata. Tomada y modificada de De Daal <i>et al.</i> (2000)	142
5.2 Vista tridimensional de la interpretación entre la falla de Urica, el Corrimiento de Tala y los corrimientos presentes al este de la falla de Urica. Tomado y modificado de Mijares (1995)	144
5.3 Estructuras geológicas principales para el área de estudio. Tomado de De Daal <i>et al.</i> (2000)	146
5.4 Estratigrafía local del área de Tácata. Tomado de De Daal <i>et al.</i> (2000)	150
5.5 Detalle de la cronoestratigrafía mostrando las equivalencias entre las biozonas, ciclos de tercer orden y líneas de tiempo de acuerdo a la carta de Haq <i>et al.</i> (1998)	151
6.1 Histograma de tamaño de los estudios por partícula de las formaciones Capaya y Carapita	167
6.2 Histograma de tamaño de los estudios por área de las formaciones Capaya y Carapita	167
6.3 Histograma del escogimiento de los estudios por partícula de las formaciones Capaya y Carapita	167
6.4 Histograma del escogimiento de los estudios por área de las formaciones Capaya y Carapita	167
6.5 Histograma de la kurtosis de los estudios por partícula de las formaciones Capaya y Carapita	167
6.6 Histograma de la kurtosis de los estudios por área de las formaciones Capaya y Carapita	167

6.7 Histograma de la desviación estándar de los estudios por partícula de las formaciones Capaya y Carapita	167
6.8 Histograma de desviación estándar de los estudios por área de las formaciones Capaya y Carapita	167
6.9 Histograma del área total de las formaciones Capaya y Carapita	167
6.10 Histograma de la elongación de las formaciones Capaya y Carapita	167
6.11 Histograma de la irregularidad relativa de las formaciones Capaya y Carapita	167
6.12 Diagramas de caja del tamaño de los estudios por área y por partícula de las formaciones Capaya y Carapita	168
6.13 Diagramas de caja del escogimiento de los estudios por área y por partícula de las formaciones Capaya y Carapita	168
6.14 Diagramas de caja de la kurtosis de los estudios por área y por partícula de las formaciones Capaya y Carapita	168
6.15 Diagramas de caja la desviación estándar de los estudios por área y por partícula de las formaciones Capaya y Carapita	168
6.16 Diagramas de caja del área total de las formaciones Capaya y Carapita	168
6.17 Diagramas de caja de la irregularidad relativa de las formaciones Capaya y Carapita	168
6.18 Diagramas de caja de la elongación de las formaciones Capaya y Carapita	168
6.19 Perfil de distribución de areniscas pozo Tácata I. Datos Originales	170
6.20 Perfil de distribución de areniscas pozo Tácata I. Datos Media Móvil	171
6.21 Dendrograma de todas las variables del análisis digital de imágenes de las formaciones Capaya y Carapita. Nótese la división de cinco grupos o asociaciones, las mismas se trataron de calibrar con las características litológicas específicas y la litoestratigrafía, sin embargo no se observa correspondencia entre ellas	169
6.22 Diagrama de correlación entre los valores de la porosidad (de la estimación visual y la aplicación de ADIE <sup>®</sup> ). Nótese que el coeficiente de correlación de 0.8368, es > 0.449, lo cual de acuerdo a Snedecor (1946) indica un 99% de probabilidad de relación lineal entre dos variables.	172
6.23 Cuadro de edades integradas determinadas a partir de estudios de foraminíferos, nannoplancton calcáreo y palinología (dinoflagelados)	180
6.24 Secuencia vertical idealizada y registro de un delta dominado por ríos Tomada y Modificada de Klein, (1984)	181
6.25 Secuencia vertical idealizada y registro de un delta dominado por la acción del oleaje. ( Tomada y Modificada de Klein, ( 1984)	182
6.26 Secuencia vertical idealizada y registro de un delta dominado por marea	182
7.1 Histograma de tamaño de los estudios por partícula de la Formación Capaya	208
7.2 Histograma de tamaño de los estudios por área de la Formación Capaya	208
7.3 Histograma del escogimiento de los estudios por partícula de la Formación Capaya	208
7.4 Histograma del escogimiento de los estudios por área de la Formación Capaya	208
7.5 Histograma de la kurtosis de los estudios por partícula de la Formación Capaya	209
7.6 Histograma de la kurtosis de los estudios por área de la Formación Capaya	209
7.7 Histograma de la desviación estándar de los estudios por partícula de la Formación Capaya	209
7.8 Histograma de desviación estándar de los estudios por área de la Formación Capaya	209
7.9 Histograma del área total de la Formación Capaya	210
7.10 Histograma de la elongación de la Formación Capaya	210
7.11 Histograma de la irregularidad relativa de la Formación Capaya	210

7.12	Diagramas de caja del tamaño de los estudios por área y por partícula de la Formación Capaya	211
7.13	Diagramas de caja del escogimiento de los estudios por área y por partícula de la Formación Capaya	211
7.14	Diagramas de caja de la kurtosis de los estudios por área y por partícula de la Formación Capaya	211
7.15	Diagramas de caja de la desviación estándar de los estudios por área y por partícula de la Formación Capaya	211
7.16	Diagramas de caja del área total de la Formación Capaya	212
7.17	Diagramas de caja de la irregularidad relativa y la elongación de la Formación Capaya	212
7.18	Perfil de distribución de materia orgánica del pozo Tácata I. Datos Originales	213
7.19	Perfil de distribución de materia orgánica del pozo Tácata I. Datos Media Móvil	214
7.20	Perfil de distribución de la materia orgánica pozo Tácata I	215
7.21	Concentración de la materia orgánica de las formaciones Capaya y Carapita (M.O. CMO= VM/VR)	216
7.22	Dendrograma construido a partir de los datos del tamaño, escogimiento, kurtosis y la desviación estándar, tanto de los estudios por partícula como por área, además de la irregularidad relativa y la elongación	217
7.23	Dendrograma construido a partir de los valores porcentuales correspondientes con los catorce componentes identificados de la materia orgánica palinológica	218
7.24	Dendrograma construido a partir de las variables texturales (valores utilizados en la (Figura 7.22) y de la composición (Figura 7.23)	219
7.25	Dendrograma construido a partir de las variables de la composición, la concentración y la fluorescencia de materia orgánica palinológica	220
7.26	Dendrograma construido a partir de los parámetros texturales, composición, concentración y fluorescencia de la materia orgánica palinológica	221
7.27	Dendrograma construido a partir del área total, la irregularidad y la elongación	222
7.28	Dendrogramas construidos a partir del escogimiento y la kurtosis de los estudios por partícula	223
7.29	Dendrogramas construidos a partir del escogimiento y la desviación estándar de los estudios por partícula	224
7.30	Dendrogramas construidos a partir del escogimiento y la kurtosis de los estudios por área	225
7.31	Dendrogramas construidos a partir del escogimiento y la desviación estándar de los estudios por área	226
7.32	Dendrogramas construidos a partir de los parámetros principales de los estudios por partícula	227
7.33	Dendrogramas construidos a partir de los parámetros principales de los estudios por área	228
7.34	Dendrogramas construidos a partir de las variables correspondientes a los estudios por partícula, la elongación e irregularidad relativa	229
7.35	Dendrogramas construidos a partir de las variables correspondientes a los estudios por área, la elongación e irregularidad relativa	230
7.36	Histograma del tamaño de los estudios por partícula de la Formación Carapita	250
7.37	Histograma del tamaño de los estudios por área de la Formación Carapita	250
7.38	Histograma del escogimiento de los estudios por partícula de la Formación Carapita	250
7.39	Histograma del escogimiento de los estudios por área de la Formación Carapita	250

7.40 Histograma de la kurtosis de los estudios por partícula de la Formación Carapita	251
7.41 Histograma de la kurtosis de los estudios por área de la Formación Carapita	251
7.42 Histograma de la desviación estándar de los estudios por partícula de la Formación Carapita	251
7.43 Histograma de desviación estándar de los estudios por área de la Formación Carapita	251
7.44 Histograma del área total de la Formación Carapita	252
7.45 Histograma de la irregularidad relativa de la Formación Carapita	252
7.46 Histograma de la elongación de la Formación Capaya	252
7.47 Diagramas de caja del tamaño de los estudios por área y por partícula de la Formación Carapita	253
7.48 Diagramas del escogimiento de los estudios por área y por partícula de la Formación Carapita	253
7.49 Diagramas de caja de la kurtosis de los estudios por área y por partícula de la Formación Carapita	253
7.50 Diagramas de caja de la desviación estándar de los estudios por área y por partícula de la Formación Carapita	253
7.51 Diagramas de caja del área total de la Formación Carapita	254
7.52 Diagramas de caja de la irregularidad relativa y la elongación de la Formación Carapita	254
7.53 Material algal fuertemente hidrogenado de origen desconocido. Profundidad 13030' – 13050'. Luz blanca transmitida. Nótese la diferencia de tamaños que existe entre las partículas	244
7.54 Material algal fuertemente hidrogenado de origen desconocido. Profundidad 13030' – 13050'. Luz incidente fluorescente azul. Nótese la diferencia de tamaños que existe entre las partículas	245
7.55 Dendrograma construido a partir del área total, la elongación e irregularidad relativa	255
7.56 Dendrograma construido a partir de los parámetros principales de los estudios por partícula	256
7.57 Dendrograma construido a partir de los parámetros principales de los estudios por área	257
7.58 Dendrograma construido a partir de las variables correspondientes a los estudios por área, elongación e irregularidad relativa	258
7.59 Dendrograma construido a partir del escogimiento y la kurtosis de los estudios por área	259
7.60 Dendrograma construido a partir del escogimiento y la desviación estándar de los estudios por partícula	260
7.61 Dendrograma construido a partir del escogimiento y la kurtosis de los estudios por partícula	261
7.63 Dendrograma construido a partir del escogimiento y la desviación estándar de los estudios por área	262
7.64 Material vegetal degradado y gel húmico puro. Profundidad 14600'- 14620'. Objetivo 10X. Luz blanca transmitida. Nótese en primer lugar el mal escogimiento de las partículas y además la relación que existe entre el eje máximo y mínimo de la mayoría de las partículas, que da a lugar la elongación tabloide	266
7.65 Material vegetal degradado. Profundidad 14540'- 14560'. Objetivo 10X. Luz blanca transmitida. Nótese que el escogimiento tiene a mejorar en comparación con la figura anterior y además que las partículas son menos elongadas	267

7.66 Material vegetal degradado y gel puro. Profundidad 14480'- 14500'. Objetivo 10X. Luz blanca transmitida. Nótese que las partículas se observan más redondeadas y que el escogimiento es mejor en comparación con las dos figuras anteriores	267
7.67 (1) Material vegetal degradado, (2) grano de polen y (3) epidermis. Profundidad 12500'- 12550'. Objetivo 100X. Luz blanca transmitida	270
7.68 Palinomorfo retrabajado. Profundidad 11990'- 12040'. Objetivo 100X. Luz blanca transmitida	271
7.69 Palinomorfo retrabajado. Profundidad 12750'- 12800'. Objetivo 100X. Luz blanca transmitida	271
7.70 Material vegetal degradado y escasos restos leñosos. Profundidad 12500' - 12550'. Objetivo 25X. Luz blanca transmitida	271
7.71 Epidermis. Profundidad 12500'- 12550. Objetivo 100X. Luz blanca transmitida	272
7.72 Cutícula. Profundidad 11710'- 11760. Objetivo 50X. Luz blanca transmitida	272
7.73 Gel húmico puro. Profundidad 12500'- 12550'. Objetivo 25X. Luz blanca transmitida	272
7.74 Material vegetal degradado. Profundidad 12500'- 12550'. Objetivo 25X. Luz blanca transmitida.	273
7.75 Geles húmicos puros. Profundidad 11485'- 11530'. Objetivo 10X. Luz blanca transmitida	273
8.1 Porcentajes promedios de la Palinofacies VI de la Formación Capaya	277
8.2 Porcentajes promedios de la Palinofacies V de la Formación Capaya	282
8.3 Porcentajes promedios de la Palinofacies IV de la Formación Capaya	285
8.4 Porcentajes promedios de la Palinofacies III de la Formación Capaya	288
8.5 Porcentajes promedios de la Palinofacies II de la Formación Capaya	291
8.6 Porcentajes promedios de la Palinofacies I de la Formación Capaya	294
8.7 Porcentajes promedios de la Palinofacies II de la Formación Carapita	301
8.8 Porcentajes promedios de la Palinofacies I de la Formación Carapita	302
8.9 Diagrama de tipos de kerógeno y palinomacerales. Tomado y modificado de Lorente (1986)	317

**INDICE DE TABLAS**

	Pág.
3.1 Clasificación de la materia orgánica palinológica de origen acuático según Lorente (1986)	70
3.2 Intervalos de escogimiento según Trask (1932)	88
3.3 Intervalos de kurtosis según Folk (1954)	89
3.4 Intervalos del grado de Escogimiento según Folk (1954)	89
3.5 Intervalos de la elongación de las partículas	91
3.6 Matriz de distancia para 5 objetos	96
3.7 Cálculos realizados para la matriz de distancia de 5 objetos	97
6.1 Composición general de areniscas de las formaciones Capaya y Carapita	162
6.2 Composición y textura de los granos de areniscas de las formaciones Capaya y Carapita	163
6.3 Resultados del Análisis Digital de Imágenes Estratigráficas de las formaciones Capaya y Carapita	165
6.4 Valores sintetizados de los estudios por partícula de areniscas del análisis digital de imágenes. Formaciones Capaya y Carapita	166
6.5 Valores sintetizados de los estudios por área de areniscas del análisis digital de imágenes. Formaciones Capaya y Carapita	166
6.6 Valores sintetizados de los resultados generales de areniscas del análisis digital de imágenes. Formaciones Capaya y Carapita	166
6.7 Valores de la porosidad obtenidos a través de la estimación visual y de la evaluación a partir del análisis digital de imágenes	172
6.8 Tabla Paragenética y evolución de la porosidad para las formaciones Capaya y Carapita	173
7.1 Resultados del análisis digital de imágenes estratigráficas de la Formación Capaya	184
7.2 Resultados composicionales de la materia orgánica palinológica de la Formación Capaya	186
7.3 Concentración de la materia orgánica palinológica de la Formación Capaya	188
7.4 Porcentajes de fluorescencia de la materia orgánica palinológica de la Formación Capaya	190
7.5 Valores sintetizados de los estudios por partícula del análisis digital de imágenes de la Formación Capaya	193
7.6 Valores sintetizados de los estudios por área del análisis digital de imágenes de la Formación Capaya	193
7.7 Valores sintetizados de los resultados generales del análisis digital de imágenes de la Formación Capaya	194
7.8 Valores sintetizados en porcentajes del material terrestre estructurado de la Formación Capaya	195
7.9 Valores sintetizados en porcentajes del material terrestre no estructurado de la Formación Capaya	195
7.10 Valores sintetizados en porcentajes del material acuático no estructurado de la Formación Capaya	196
7.11 Valores sintetizados de la concentración y la fluorescencia de la Formación Capaya	197
7.12 Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables área total, irregularidad relativa y elongación de la Formación Capaya	204
7.13 Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables escogimiento y kurtosis por partícula de la Formación Capaya	205
7.14 Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables escogimiento y desviación estándar por partícula de la Formación Capaya	205

7.15 Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables escogimiento, kurtosis y desviación estándar por área de la Formación Capaya	205
7.16 Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables principales por área y por partícula de la Formación Capaya	206
7.17 Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables por partícula, irregularidad relativa y elongación de la Formación Capaya	207
7.18 Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables por área, irregularidad relativa y elongación de la Formación Capaya	207
7.19 Resultados del Análisis Digital de Imágenes estratigráficas de la Formación Carapita	232
7.20 Resultados composicionales de la materia orgánica palinológica de la Formación Carapita	233
7.21 Concentración de la materia orgánica palinológica de la Formación Carapita	234
7.22 Porcentajes de fluorescencia de la materia orgánica palinológica de la Formación Carapita	235
7.23 Valores sintetizados de los estudios por partícula del análisis digital de imágenes de la Formación Carapita	236
7.24 Valores sintetizados de los estudios por área del análisis digital de imágenes de la Formación Carapita	237
7.25 Valores sintetizados de los resultados generales del análisis digital de imágenes de la Formación Carapita	238
7.26 Valores sintetizados en porcentajes del material terrestre estructurado de la Formación Carapita	238
7.27 Valores sintetizados en porcentaje del material terrestre no estructurado de la Formación Carapita	239
7.28 Valores sintetizados en porcentajes del material acuático no estructurado de la Formación Carapita	239
7.29 Valores sintetizados de la concentración y la fluorescencia de la Formación Carapita	240
7.30 Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables área total, irregularidad relativa y elongación de la Formación Carapita	246
7.31 Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables (1) principales por partícula, (2) principales por área, (3) de los estudios por área, (4) irregularidad relativa y elongación, (5) escogimiento y kurtosis por área; de la Formación Carapita	247
7.32 Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables escogimiento, kurtosis y desviación estándar por partícula de la Formación Carapita	248
7.33 Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables de los estudios por partícula, irregularidad relativa y elongación de la Formación Carapita	249
7.34 Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables escogimiento y desviación estándar por área de la Formación Carapita	249
8.1 Características de la materia orgánica en las lutitas regresivas y transgresivas e interpretación de las facies orgánicas establecidas por Jones (1987). Tomado y modificado de Pasleret. al. (1990)	313
8.2 Tipos de hidrocarburos generados por principales componentes palinomacerales según Lorente (1986)	317

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1. GENERALIDADES:

Uno de los aspectos que estudia la palinología es la materia orgánica particulada que se encuentra dispersa en las preparaciones palinológicas, en forma de fragmentos de madera, de cutículas, partículas amorfas, fragmentos de carbón, etc. (Rull, 1999). Manum (1976) introdujo el término “palinodebris” para referirse a estas partículas.

Recientemente, los estudios de materia orgánica palinológica han recibido especial atención (Combaz, 1980; Robert; 1979 y Pocock, 1982), debido a que éste término ha evolucionado hasta poseer entidad propia en el estudio de paleoambientes y de palinofacies, siendo éste último la asociación de materia orgánica palinológica (incluyendo los palinomorfos) característica de un ambiente de sedimentación particular (Batten, 1996b) o de una determinada capacidad de generación de hidrocarburos (Tyson, 1995). Actualmente, con el desarrollo de nuevos y mejores accesorios microscópicos ha sido posible el estudio detallado de la materia orgánica en los residuos palinológicos (Lorente, 1986).

### 1.2. OBJETIVOS Y ALCANCE:

#### 1.2.1. *Objetivo general:*

El objetivo fundamental del presente estudio consiste en desarrollar un modelo de evolución paleoambiental en el área Quiamare – La Ceiba, Campo Tácata, Estado Anzoátegui, a partir de análisis de muestras de canal del pozo Tácata I, en la sección correspondiente al Mioceno, con base en el estudio de palinofacies (caracterización de la materia orgánica asociada) y su integración con la información sedimentológica.

**1.2.2. Objetivos específicos:**

- Realizar el estudio palinológico partiendo de la identificación de tipos de materia orgánica y cuantificarlas en el intervalo del Mioceno, para definir asociaciones orgánicas y posteriormente establecer las palinofacies y los paleoambientes.
- Caracterizar la materia orgánica en el intervalo del Mioceno a partir del procesamiento y análisis digital de imágenes (caracterización de las formas de partículas orgánicas y distribución morfológica de las mismas).
- Aplicar análisis estadísticos para el establecimiento de paleoambientes depositacionales a partir de los datos básicos generados del procesamiento y el análisis de imágenes, además de datos suministrados del estudio de palinofacies y de la petrografía convencional.
- Construir un modelo paleoambiental con base en el estudio de asociaciones de palinofacies: composición palinomaceral, “características sedimentológicas” de la materia orgánica, niveles de concentración, niveles de fluorescencia, descripción litológica detallada de los intervalos evaluados y de los resultados de los métodos estadísticos aplicados.

**1.2.3. Alcance:**

Este estudio pretende integrar el análisis litológico detallado de la localidad estudiada con el análisis de materia orgánica particulada, tanto cuantitativa como cualitativamente, utilizando además métodos estadísticos, con el fin de desarrollar un modelo de reconstrucción paleoambiental. De este modo, se pretende establecer una metodología que pudiera ser aplicada en estudios posteriores de Materia Orgánica Palinológica y asimismo destacar la importancia de la Materia Orgánica Palinológica como una herramienta de alta resolución y confiabilidad para la evaluación de un yacimiento petrolífero.

**1.3. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:**

El área de estudio se encuentra ubicada en la región Nororiental del Estado Anzoátegui. En la zona Sur del flanco Norte de la Cuenca Oriental de Venezuela, Subcuenca de Maturín (*Figura 1.1*).

Específicamente se estudia el pozo Tácata - I, localizado en el Campo Tácata, cuyas coordenadas U.T.M. son las siguientes:

➤ N 1062865.975

➤ E 392234.444

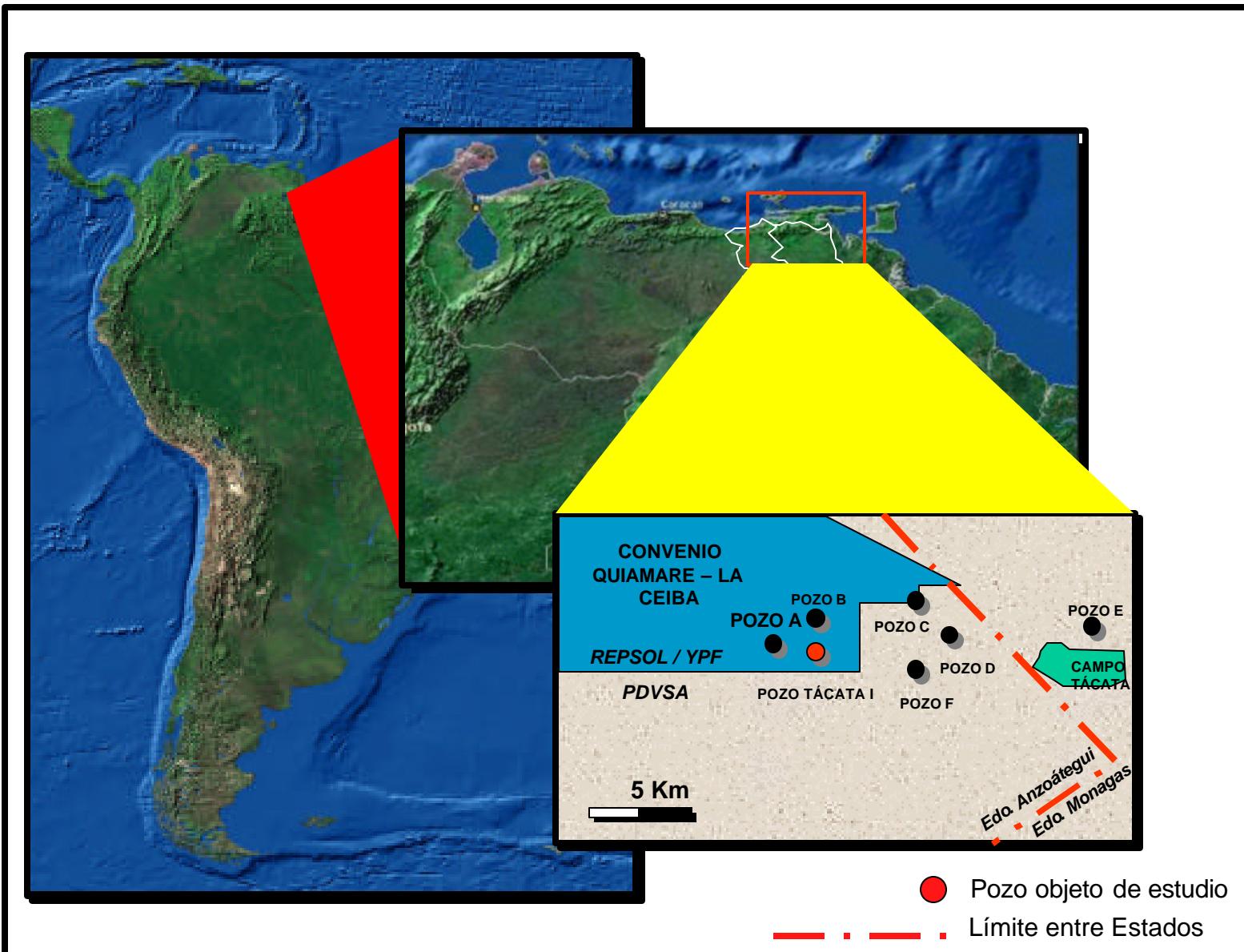


Figura 1.1. Mapa de ubicación del área de estudio.

#### **1.4. IMPORTANCIA DEL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO:**

El pozo Tácata I tiene como objetivo primario la perforación de la Formación Capaya de edad Mioceno Temprano, debido a que en perforaciones anteriores, como en el caso del Pozo – B, se han descubierto yacimientos importantes en las arenas de dicha formación, cuyas pruebas iniciales dieron como resultado 16 MBPD y actualmente produce una tasa promedio de 4 MBD.

Por otra parte, es necesario hacer mención acerca de la roca sello de estos yacimientos, la cual es la Formación Carapita. Navarro (1999) indica que esta formación en subsuelo es una de las unidades más extensas y de mayor espesor dentro de la Cuenca Oriental de Venezuela.

Debido a la gran importancia, tanto geológica como económica, de ambas formaciones en la zona de Tácata, en los últimos años se han venido realizando diversos tipos de estudios. No obstante, el presente trabajo especial de grado aportará información referente a los paleoambientes a partir de la caracterización de la materia orgánica, la cual es una técnica que a pesar de estar empleándose desde hace 20 años aproximadamente en el ámbito mundial, en Venezuela son escasos los aportes concernientes con este tópico. Sin embargo, aún a nivel mundial, la aplicación de la tecnología de análisis digital de imágenes en este campo no es común.

También es fundamental señalar que este Trabajo Especial de Grado es el primero que se realiza en Venezuela, aplicando esta tecnología.

### **1.5. ANTECEDENTES:**

A principios de los años 50, se realizaron diversos trabajos exploratorios por parte de Mene Grande Oil Company C.A. Los estudios se iniciaron perforando diversos pozos en el campo de Tácata, entre los cuales se destaca el Pozo – D (*Figura 1.1*) debido a que la información suministrada, fue combinada para definir las secuencias estratigráficas.

Los estudios continuaron efectuándose, pero no dieron resultados satisfactorios, pues se perforaron seis pozos secos, por ende las actividades se paralizaron.

No obstante, en 1986, con el aporte de datos suministrados acerca de grandes acumulaciones de hidrocarburos, a partir de la perforación del pozo el Furrial – 1, cuya ubicación es aledaña al área de Tácata; se propuso en 1987, la perforación de un nuevo pozo. No se obtuvieron los resultados esperados, sin embargo se llevó a cabo una interpretación paleoambiental, que permitió definir zonaciones de fauna bética.

En 1998, la empresa ASTRA (Repsol YPF), descubre grandes acumulaciones de hidrocarburos en la Formación Capaya en esa área.

### **1.6. TRABAJOS PREVIOS:**

#### **1.6.1. Área de Tácata:**

Son pocos los trabajos que se han realizado en la zona de Tácata, sin embargo debido a su gran importancia económica a causa de la prospección en cuanto a yacimientos petroleros se refiere, se han efectuado estudios de diversas índoles, entre los cuales se destacan los siguientes:

*Aguasuelos (1991)* señaló que el sector de Tácata se caracteriza por la presencia de una estructura triangular asociada a un dúplex. Este dúplex de rumbo aproximado este – oeste se compone de dos escamas del Mioceno Inferior superpuestas y corridas hacia el sur por encima del Mioceno Inferior autóctono. Esta estructura se acuña hacia el sur entre el Mioceno medio inclinado al sur; la línea donde se paralizan las dos secuencias, corresponde al frente de deformación compresiva.

El dúplex de Tácata y la zona triangular asociada están fuertemente erosionadas y cubiertas en discordancia angular por el Plio – Pleistoceno (Formación Mesa y Las Piedras). Más hacia el oeste ocurre un cambio drástico donde desaparece el corrimiento de Pirital.

El límite occidental del dúplex de Tácata se ubica en la prolongación del ramal occidental de la falla de Urica, es decir donde ella se conecta con el corrimiento de Pirital; al oeste de dicho límite el equivalente del dúplex podría ser el anticlinal de Vaca y la falla inversa asociada, ambos de rumbo este – oeste; el frente de deformación compresiva se acerca a menos de 6 Km del corrimiento de Pirital donde éste último se transforma en la falla de Urica en su ramal occidental.

*Mijares (1995)* realizó un estudio cuyo propósito fue entender el estilo tectónico al oeste de la falla de Urica en el oriente de Venezuela, específicamente en el área de Tácata. La data sísmica reveló que ésta zona ha sido afectada por tres períodos de compresión y que la estructura es un abanico de imbricación que corta, subduce y deforma el diapirismo lutítico.

*García (2000)* realizó un estudio microscópico de facies sedimentarias de los pozos Tácata A, Tácata B y Tácata C, a través del reconocimiento de litologías, granulometrías, cementos, tipos de porosidades, estructuras sedimentarias (biogénicas y mecánicas) y difracción de rayos x. Estableció un ambiente de sedimentación

deltáica y ambientes diagenéticos de intermedios a profundos. Por otra parte, correlacionó los tres pozos teniendo como resultado la caracterización de las formaciones Capaya y Oficina.

**De Daal et al. (2000)** definieron una secuencia sedimentaria arenosa de edad Mioceno Temprano para el área, la cual corresponde a la Formación Capaya y parte basal de la Formación Carapita. Los ambientes de depositación de la Formación Capaya son continentales a litorales y de nerítico interno hacia la base, pasan transicionalmente a ambientes de nerítico medio a externo hacia su sección superior. Las arenas se depositaron en facies deltáticas como barras de desembocadura, barras distales, canales distributarios y deltas de marea. La profundización de la cuenca hacia el norte en el Mioceno Inferior, trajo como resultado la generación de un “foredeep” y el acortamiento de la plataforma, factores que intervinieron en la deposición de la Formación Carapita en ambientes neríticos externos a batial superior.

**Rangel (2001)** caracterizó las fracturas en la secuencia terciaria siliciclástica del Mioceno Inferior, Formación Capaya en el área de Tácata y predijo la presencia, calidad y aporte de las fracturas al sistema de flujo de hidrocarburos, a través del análisis de núcleo y análisis petrográfico de secciones finas (petrografía convencional, microscopía electrónica de barrido y catodoluminiscencia).

A partir del análisis de núcleo identificó cuatro intervalos arenosos depositados en ambientes de litoral – nerítico interno a nerítico medio, los cuales de base a tope se describen de la siguiente manera: areniscas intercaladas con limolitas, areniscas de pobre escogimiento, areniscas de grano fino de buen escogimiento, y finalmente areniscas calcáreas. Por representar un núcleo no orientado se tomó un eje de referencia para orientar las fracturas (orientación relativa), presentándose un dominio N-NE, se asume sólo un evento de fracturamiento relacionado a los procesos tectónicos más recientes en el área a partir del Mioceno Inferior, el proceso de

fracturamiento representa el último evento diagenético previo a la precipitación de los cementos postcinemáticos.

A partir del análisis petrográfico caracterizó las fracturas con base en su grado de apertura, longitud y cantidad de cemento autigénico, determinando así que la ocurrencia de fractura depende principalmente de las características de la roca y del grado de esfuerzo.

Por otra parte, los datos de porosidad y permeabilidad de núcleo obtenidos en laboratorio permitieron definir tres zonas coincidentes con las zonas de fracturas caracterizadas. Una correlación estratigráfica a nivel de las areniscas estudiadas basadas en la semejanza entre los registros gamma ray y de resistividad, permitieron predecir la presencia de fracturas tanto horizontal como verticalmente en el mismo pozo, pozos vecinos y extrapolar hacia un área potencialmente prospectiva.

#### ***1.6.2. Caracterización de la materia orgánica en Venezuela:***

En el área de estudio no se han realizado análisis de caracterización de materia orgánica. Por otra parte, en Venezuela son pocos los estudios que se han realizado referentes al tema, puesto que es en las últimas décadas cuando se ha reconocido la real utilidad e importancia de dichos estudios para la reconstrucción de palinofacies y paleoambientes, así como también para la determinación de la evolución de la historia termal y potencial generador de las rocas; en la industria petrolera.

Entre los trabajos de caracterización de materia orgánica palinológica en Venezuela se conocen los siguientes:

**Lorente (1986)** realizó un estudio palinoestratigráfico en el Terciario Superior de las cuencas de Maracaibo, Falcón y Oriental de Venezuela generando un modelo evolutivo de los paleoambientes en cada cuenca. En este estudio se trataron diversos

aspectos como lo son: evaluaciones de técnicas de muestras palinológicas, procesando series idénticas de muestras con tres métodos diferentes. De esta manera se comprueban varios aspectos que afectan las características finales de las palinofacies, como por ejemplo que las muestras que reciben calentamiento durante el tratamiento ácido (hasta 80 °C) son las que poseen el mejor recobro de palinomorfos.

Otro punto tratado fue la identificación de palinomacerales utilizando luz blanca y luz fluorescente (incidente y transmitida), lo cual permitió establecer una clasificación basada en el reconocimiento de dos grupos de palinomacerales (terrestres y acuáticos), estando cada grupo dividido en dos categorías principales (estructurados y no estructurados) y cada una de estas categorías se encuentran subdivididas en varias subcategorías. A partir de esta clasificación fue posible establecer evaluaciones preliminares del potencial de generación de petróleo y gas durante los estudios palinológicos de rutina.

También estableció en este estudio una zonación palinológica para el Terciario Superior con nueve zonas y cinco subzonas; una zona de edad Oligoceno, seis zonas de edad Mioceno, una zona de edad Plioceno y una zona de edad Pleistoceno.

Por último, presentó modelos generales y detallados para la interpretación de ambientes sedimentarios, basados en la descripción cuantitativa de las diferentes palinofacies asociadas.

**Rull (1995)** estudió los sedimentos de la laguna de Tacarigua en el norte de Venezuela, destacando que las lagunas y sus sedimentos son importantes como análogos modernos para la interpretación de asociaciones de palinofacies en sedimentos clásticos formados en ambientes tropicales. En este sentido el aporte de este trabajo consistió en comparar los resultados de los análisis orgánicos con las observaciones sedimentológicas y también estudiar los ambientes modernos para

posteriormente aplicar el principio del Uniformismo. La materia orgánica palinológica fue analizada en términos biológicos, ubicación en la laguna y de sus características texturales. Luego los resultados fueron evaluados a partir de técnicas estadísticas estándares.

Basado en los componentes principales diferenció seis grupos: los dos primeros grupos se encuentran caracterizados por la presencia de geles húmicos, representa la parte oriental de la laguna y el aporte de sedimentos proviene del Río Guapo. El tercer grupo posee geles húmicos y material vegetal degradado, representa la parte central de la laguna y el aporte de sedimento se encuentra influenciado por el Río Guapo y la boca de la laguna. El cuarto y el quinto grupo contienen alto porcentaje de material algal y/o bacterial degradado, lo cual es representativo de sedimentos próximos al cierre de la vegetación de manglar. El último grupo se caracteriza por presentar material vegetal degradado, gel húmico y material algal y/o bacterial degradado.

Debido a las variadas características de asociaciones orgánicas en los ambientes análogos modernos, la interpretación en términos ambientales y de asociaciones fósiles; resultaron complejas, se requiere de la integración de la información, así como el entendimiento previo del marco paleogeográfico general del área bajo evaluación.

#### ***1.6.3. Caracterización de la materia orgánica a nivel mundial:***

A nivel mundial los estudios de la materia orgánica se han desarrollado y expandido de manera muy eficaz en los últimos años y de acuerdo a diversos autores su utilidad se incrementa cada vez más en la industria petrolera. Los trabajos que se destacan son los siguientes:

**Gorin et al. (1990)** realizaron estudios de facies orgánicas en el Jurásico Medio a Superior en las montañas Jura, Suiza; a partir de la combinación entre análisis sedimentológicos, geoquímicos, de palinofacies y bioestratigráficos dirigidos a la interpretación de diferentes paleoambientes. Las condiciones ambientales cambian de intervalos aeróbicos cuando ocurre descenso del nivel del mar a intervalos anóxicos en las secciones condensadas.

**Lorente (1990)** realizó estudios donde resalta que la interpretación paleoambiental detallada y las evaluaciones potenciales de hidrocarburo requieren un soporte de una base de datos cuantitativa, lo cual involucra un cambio de filosofía en los estudios de palinofacies y facies orgánicas, ya que se sugiere dejar los estudios cualitativos y subjetivos para emplear métodos cuantitativos y más objetivos con el uso de una herramienta como el análisis digital de imágenes.

**Pasley et al. (1990)** realizaron un estudio donde contemplaron las variaciones de la materia orgánica en las lutitas transgresivas y regresivas en la cuenca San Juan de Nuevo México. La caracterización fue efectuada a través de petrología y geoquímica orgánica. Definieron para los sistemas regresivos contenidos abundantes de fitoclastos bien preservados correspondientes a índices de hidrógeno bastante bajos y para los sistemas transgresivos describen contenidos de materia orgánica terrestre en bajas proporciones, protistoclastos amorfos no estructurados y un alto índice de hidrógeno, además de carbón orgánico total. En las lutitas regresivas el material orgánico es no fluorescente, mientras que las lutitas transgresivas dicho material es fuertemente fluorescente con estados avanzados de degradación. Basados en la cantidad de material amorfo fluorescente, altos índices de hidrógeno y altas cantidades de carbón orgánico total; se definieron secciones de excelente potencial petrolero.

**Feng (1994)** realizó un análisis de palinofacies en depósitos de canales del delta del Río Rajang al este de Malasia. Este estudio se basó en una preparación

palinológica convencional donde se realizó un conteo de 300 partículas por muestra, al mismo tiempo se realizó la clasificación a partir del esquema de materia orgánica palinológica de la Universidad de Ámsterdam. Las palinofacies identificadas se encuentran compuestas por materia orgánica de origen terrestre con rara ocurrencia de organismos marinos. La categoría de palinodebris más abundante son las partículas heterogéneas y homogéneas no estructuradas, materia orgánica amorfa finamente dispersa y otros restos vegetales estructurados. Los resultados fueron analizados a partir del análisis de agrupamiento y partiendo de allí se reconocieron tres asociaciones y dos grupos de palinodebris. La distribución de dichas asociaciones indica un patrón de distribución regular en el delta. Por otra parte, a partir del tamaño, forma y textura de los palinodebris en conjunto con las características sedimentológicas, las características litológicas, las asociaciones de palinomorfos y la data micropaleontológica, fue posible evaluar mucho mejor los ambientes depositacionales.

**Benali et al. (1995)** realizaron la caracterización de la materia orgánica de las evaporitas restringidas de los ambientes sedimentarios en el sureste de España. Los estudios geoquímicos de la materia orgánica aclaran el grado de mezcla que existe entre las aguas de origen marino y no marino, proporcionando claves para las complejas y variables circulaciones de agua y ayudando a determinar la extensa salinidad de la cuenca. La historia sedimentaria obtenida a partir de este estudio brinda un modelo que puede ser aplicado en otras partes del mundo para el entendimiento de la relación existente entre el origen de las rocas evaporíticas y los potenciales de hidrocarburos.

**Tyson (1995)** realizó un tratado de la materia orgánica sedimentaria utilizando técnicas microscópicas bajo luz transmitida (palinofacies) y métodos geoquímicos en la caracterización de la materia orgánica particulada. La información que suministra esta técnica consiste en la determinación de controles sedimentarios, distribución y

preservación de la materia orgánica y fundamentalmente hace énfasis en las interpretaciones paleoambientales.

**Batten (1996a)** realizó un tratado donde reveló cómo se elaboran las interpretaciones de palinofacies y paleoambientes a través de la caracterización de la materia orgánica. Para este propósito hizo énfasis en aspectos fundamentales tales como el origen, la clasificación (estructurada y no estructurada) y el significado ambiental de todos los componentes que engloba la materia orgánica.

**Batten (1996b)** realizó un análisis de palinofacies y de potencial petrolero utilizando técnicas ópticas y químicas. Comparó los resultados suministrados por cada técnica y concluyó que la aplicación de ambas proporcionan respuestas de alta resolución.

**Ikuenobe et al. (1997)** realizaron un análisis de palinofacies y de índices de alteración termal de los esporomorfos en los sedimentos del Programa de Perforación Oceánica al oeste de África, con la finalidad de determinar el origen y las condiciones depositacionales de la materia orgánica en los sedimentos, así como también refinar una curva paleobatimétrica derivada de datos proporcionados de perforaciones vecinas y realizar la interpretación de la historia paleotermal del área. Identificaron doce tipos de materia orgánica amorfa dispersa: materia orgánica amorfa, palinomorfos marinos, algas, resina, debris de color negro, fragmentos de colores marrones y amarillos, fragmentos de colores marrones a negros, cutículas, tejidos vegetales, leña, esporomorfos y hongos. La abundancia relativa de estos componentes de materia orgánica fue analizada a través del análisis de agrupamiento, resultando la identificación de siete asociaciones de palinofacies. La materia orgánica amorfa y los debris de color negro son los componentes que ayudaron a definir las asociaciones de palinofacies. Las asociaciones de palinofacies se correlacionaron con las unidades litológicas, el origen de los sedimentos y los ambientes depositacionales.

**Rosales et al. (1998)** realizaron un estudio cuantitativo de los sedimentos del Terciario de la Cuenca Salina del Istmo en México. Determinaron la bioestratigrafía y evaluaron los cambios ambientales a través del análisis de los palinomorfos y de la materia orgánica. A partir de la bioestratigrafía determinaron que la edad de la cuenca corresponde al Mioceno Medio a Superior, mientras que las características de la materia orgánica indicaron que la sección corresponde a un ambiente de depósito proximal dominado por fitoclastos en condiciones óxicas.

**Freeman y Colarusso (2000)** realizaron un estudio en los paleosuelos de Siwalik y en el abanico sedimentario de Bengal referentes al análisis de la abundancia y composición isotópica de “n – alkanes” con la finalidad de obtener evidencias moleculares de la expansión de C<sub>4</sub> en las praderías de la India. Las composiciones de carbón isotópico de alto peso molecular de “alkanes”, tanto en los paleosuelos como en los sedimentos, relacionan un cambio de bajos valores (Ca -30%) a altos valores (Ca -22%), lo cual data 6 Ma. Estos cambios son similares en magnitud a los reportados por los paleosuelos de carbonato y los dientes fósiles, lo cual es consistente con una transición relativamente rápida de vegetación dominada por C<sub>3</sub> a una vegetación dominada por C<sub>4</sub>, típico de plantas de praderías semiáridas.

Por otra parte, los análisis moleculares e isotópicos de otros componentes, incluyendo n – alcohol y el bajo peso molecular de n – alkanes, indicaron contenido de materia orgánica en los paleosuelos proveniente de una mezcla de orígenes, incluyendo plantas vasculares, algas y/o cianobacterias y microorganismos. Un rango de datos es semejante a los reflejados en la composición isotópica de carbón orgánico total. Estos autores proponen que es mejor reconstruir la vegetación en ecosistemas terrestres antiguos utilizando marcas moleculares isotópicas, más que el soterramiento de carbón orgánico. Este acercamiento provee un medio de relaciones espaciales y temporales de C<sub>4</sub> de biomassas de plantas, lo cual ayudará a resolver

posibles controles tectónicos, climáticos y biológicos en el incremento de este importante componente de la biosfera terrestre.

**Curiale et al. (2000)** realizaron estudios en el Kimmeridgiense Superior en el área de Boulonnais, al norte de Francia, referentes a la interpretación de la variación del contenido y composición de la materia orgánica en respuesta a las fluctuaciones del nivel relativo del mar. Las facies orgánicas fueron caracterizadas utilizando una combinación de palinofacies, soterramiento geoquímico orgánico y la distribución del tamaño de las partículas de los residuos palinológicos totales. Las facies orgánicas presentan una buena correlación con las secuencias estratigráficas y parte de la misma coincide con dos superficies de máxima inundación. Las palinofacies en este intervalo está caracterizado por un alto contenido de fluorescencia naranja correspondiente con materia orgánica amorfa finamente dispersa. Con los datos obtenidos se estima un soterramiento aparente y se realiza una proporción de productividad primaria preservada, lo cual se traduce en estimados de paleoproducción.

**Tyson et al. (2001)** realizaron un estudio de predicción de palinofacies a partir del origen y las distancias de transporte de los sedimentos. Correlacionaron las variaciones cuantitativas de las asociaciones de materia orgánica (en cuanto a tamaño, forma y estado de preservación se refiere) con la distancia actual de las muestras con respecto al origen de los sedimentos siliciclásticos costeros. Este estudio revela que el diámetro, radio, forma y algunos otros parámetros; pueden predecir cambios hasta 55 Km costa afuera y costa adentro.

#### **1.6.4. Formación Capaya y Carapita:**

La Formación Carapita ha sido objeto de innumerables estudios debido a su gran importancia a nivel geológico y petrolero. A continuación se señalan algunos trabajos que se destacan referente a estas formaciones:

**Hedberg (1937 a, b, c)** describió la litología y microfauna de la Formación Carapita, en una sección tipo en la quebrada Carapita. Dividió la unidad en dos miembros, uno arenoso hacia el tope de la formación y uno lutítico hacia la base.

**Hedberg y Pyre (1944)** revisaron la estratigrafía del noreste de Anzoátegui y extendieron más aún el alcance de la Formación Santa Inés. Incluyeron a la Formación Carapita definida por Hedberg (1937) en dicha formación y la denominaron “Miembro Carapita”, en la parte superior, mientras que la parte inferior de la Formación Santa Inés la denominaron “Lengua o Miembro Capaya”.

**Franklin (1944)** presentó un trabajo de descripción sistemática micropaleontológica, donde lista la microfauna reconocida de la Formación Carapita, constituida por 98 géneros y especies de foraminíferos y definió dos nuevos géneros y dos nuevas especies; asignó una edad Mioceno Inferior, e intentó correlacionarla con la fauna existente en la Formación Alazán (Méjico) y Formación Finca Adelina (Cuba).

**Hedberg y Pyre (1950)** partiendo de la revisión estratigráfica realizada en el año 1944, elevaron la Formación Santa Inés a un rango de grupo con mayor cantidad aún de componentes que antes. Los anteriores miembros fueron elevados a rango de formación; en particular reconocieron la secuencia ascendente de las formaciones Capaya, Carapita y Uchirito que pasan gradacionalmente hacia el oeste (por acuñamiento de las lutitas de Carapita) a la sección conglomerática – arenosa de la sección Capiricual y hacia el este (por cambio de las formaciones Capaya y Uchirito a una facies lutítica) a una especie de secuencia de lutitas identificadas con la Formación Carapita.

**Mencher et al. (1951)** señalaron que la Formación Carapita se extiende en el substito hacia el sur y el este de su localidad tipo. Indicaron que esta formación

consiste de lutitas tan uniformes que no se pueden subdividir en miembros, pero localmente su parte superior extrema contiene arenas lenticulares de origen turbidítico, las cuales denominaron informalmente “Lutitas de Nodosaria”

**Sulek (1961)** estudió correlaciones interdepositacionales dentro de la Subcuenca de Maturín a término de confeccionar aproximaciones razonables en líneas de tiempo para clarificar las relaciones interformacionales en la región Marón – Aguasay. Allí planteó que a) el tope de la Formación Oficina coincide con el tope de la faunizona de *Globorotalia foshi foshi* de la Formación Carapita y b) la Formación Freites se correlaciona con la parte más superior de la Formación Carapita.

**Renz et al. (1963)** reemplazaron el término de Lutitas de Nodosaria usado de manera informal para designar una sección de la Formación Carapita en el subsuelo del campo Jusepín por el de Zona *Nodosaria* – 15 (Stainforth, 1971).

**Lamb (1964 a, b)** realizó un levantamiento geológico y sucesivo estudio paleontológico en una sección del río Aragua (Estado Monagas), en donde reseñó a la Formación Carapita a lo largo de la Falla de San Francisco, compuesta por algunos metros preservados de lutitas grises, altamente fosilíferas (foraminíferos) pero destruida por fallamiento y erosión.

Además, estableció que la fauna basal de la formación está representada por la Zona *Catapsydrax dissimilis*, reflejando un ambiente marino de aguas profundas y edad Mioceno.

**Lamb y Sulek (1965 a, b)** describieron en detalle las “Lutitas de Nodosaria” y las designan como Miembro Cachipo. También indican una secuencia ascendente normal de zonas, desde la de *Globigerina ciperoensis ciperoensis* hasta la de *Globorotalia menardii*.

**Stainforth (1971)** realizó una recopilación sobre la literatura de la Formación Carapita hasta esa fecha. Señala que dicha formación es concordante y transicional sobre unidades arenosas que se hacen apreciablemente más jóvenes de este a oeste. Su contacto superior normalmente es una discordancia angular, pero en ciertas zonas es normal. También señaló que las lutitas son ricas en foraminíferos, cuyas especies planctónicas son útiles para la identificación de zonaciones, mientras que las bentónicas son útiles para la interpretación paleoecológica.

Por otra parte, indicó que la Formación Carapita en su totalidad representa todo el Oligoceno y la mayor parte del Mioceno.

**Yoris (1989)** identificó ciclos de sedimentación en la Formación Carapita del subsuelo del estado Monagas, a partir de métodos de promedio móvil y series de Fourier. Entre los resultados obtenidos identificó con filtros sencillos los ciclos obtenidos que tienen una tasa de sedimentación dentro de la columna geológica, con lo cual produjo un perfil que permite correlaciones posteriores a nivel local o regional. Por otra parte, los tiempos equivalentes de sedimentación para los ciclos identificados, incluyen valores cercanos a los reportados en la literatura como resultado de grandes cambios climáticos mundiales asignados a precesión de equinoccios, variación en la inclinación del eje terrestre y excentricidad orbital de la tierra.

**Di Gianni et al. (1992)** indicaron que el límite superior de la Formación Carapita está asociado a un cambio paleoambiental que va de nerítico a batial, el cual ocurrió durante las zonas NN3/NN2 (18 a 20 millones de años).

**Crespo de Cabrera (1993)** señaló que en el Mioceno Inferior se acentúa el avance del mar desde el noreste y se sedimenta la Formación Carapita en paleoambientes predominantemente batiales. La base de esta formación está asociada

a una tasa baja de sedimentación y alta productividad biológica, lo que se refleja en gran cantidad de “pellets” glauconíticos.

**Galea y Moreno (1994)** realizaron un estudio bioestratigráfico de la Formación Carapita, en el flanco norte de la Subcuenca de Maturín (Provincia Parautóctona) entre los bloques Tala y Pirital hacia el oeste y los campos Tejero – Furrial al este. A través del seguimiento paleontológico – petrofísico de los pozos exploratorios se establecieron niveles glauconíticos, niveles con abundantes foraminíferos planctónicos y cambios paleobatimétricos, que permiten pronosticar la aproximación a la secuencia prospectiva durante la perforación. Se definen cuatro biofacies asociadas con base en el estudio de foraminíferos y se encontraron repeticiones de biofacies en los diversos pozos analizados, lo cual fue interpretado como un fallamiento sinsedimentario y posiblemente corrientes de turbidez.

**Di Gianni et al. (1994)** realizaron un estudio cuantitativo de nannoplancton calcáreo en la Formación Carapita al Noreste de Venezuela, permitiendo mejorar sensiblemente el poder resolutivo de este grupo fósil aportando dos contribuciones importantes como lo son: la obtención de biozonas confiables, correlaciones de un pozo a otro y detección de fallas y repetición de secuencias, gracias a la comparación de los espectros de nannofloras en todos los niveles estudiados.

**Navarro (1999)** determinó las relaciones sedimentarias y estratigráficas de las rocas que integran las turbiditas de la Formación Carapita en el subsuelo del norte de Monagas, en la Cuenca Oriental de Venezuela, y compara las características de éstas turbiditas con otros modelos de turbiditas formadas en cuencas tipo antepaís publicados a nivel mundial; de este modo clasificó el tipo de cuenca y estableció el contexto geodinámico donde se formaron las turbiditas. Con base en la clasificación de cuencas con depósitos tipo turbidíticos, determinó que la Subcuenca de Maturín es una Cuenca Tipo C, debido a que la sedimentación ocurrida en la Formación Carapita estuvo controlada predominantemente por la tectónica local durante el proceso de

profundización y relleno de la antefosa, y por el proceso de levantamiento y consecuente erosión de la Serranía del Interior, durante el Mioceno Inferior a Medio.

Con referencia a la Formación Capaya, prácticamente los mismos autores que estudiaron a la Formación Carapita también realizaron estudios para ésta formación, tal es el caso de Hedberg (1937 a, b y c), Hedberg y Pyre (1944), Hedberg (1950), Stainforth (1971).

Por otra parte, *De Sisto (1960)* reporta que hacia el sureste la Formación Capaya se correlaciona con las arenas P-3 a U-1 de la Formación Oficina.

*Vivas (1987)* señaló que la Formación Capaya consiste en una alternancia rítmica y paquetes de areniscas cuarzosas micáceas, algo glauconíticas de grano fino y color gris verdoso, tipo sal y pimienta. Las partes media y superior son pelíticas e interestratificadas con lutitas limosas, con nódulos de limolita ferruginosa.

*Peirson (1965)* interpretó el ambiente de sedimentación de la Formación Capaya como marino moderadamente profundo; la primera ftauña (de la Formación Querecual) en la columna sedimentaria indicó un cambio brusco en las fuentes de sedimentos desde el Escudo de Guayana a levantamientos de terrenos al norte de área de afloramiento.

### **1.7. RESUMEN OPERACIONAL DEL POZO TÁCATA-I:**

El objetivo de la perforación de este pozo consistió en delinear hacia el noreste y buzamiento abajo, los yacimientos encontrados en el Pozo B, siendo las areniscas de la Formación Capaya, el propósito principal de la empresa Repsol. La perforación culminó en el mes de abril del año 2001 y alcanzó una profundidad de 15890 pies (*Figura 1.2*).

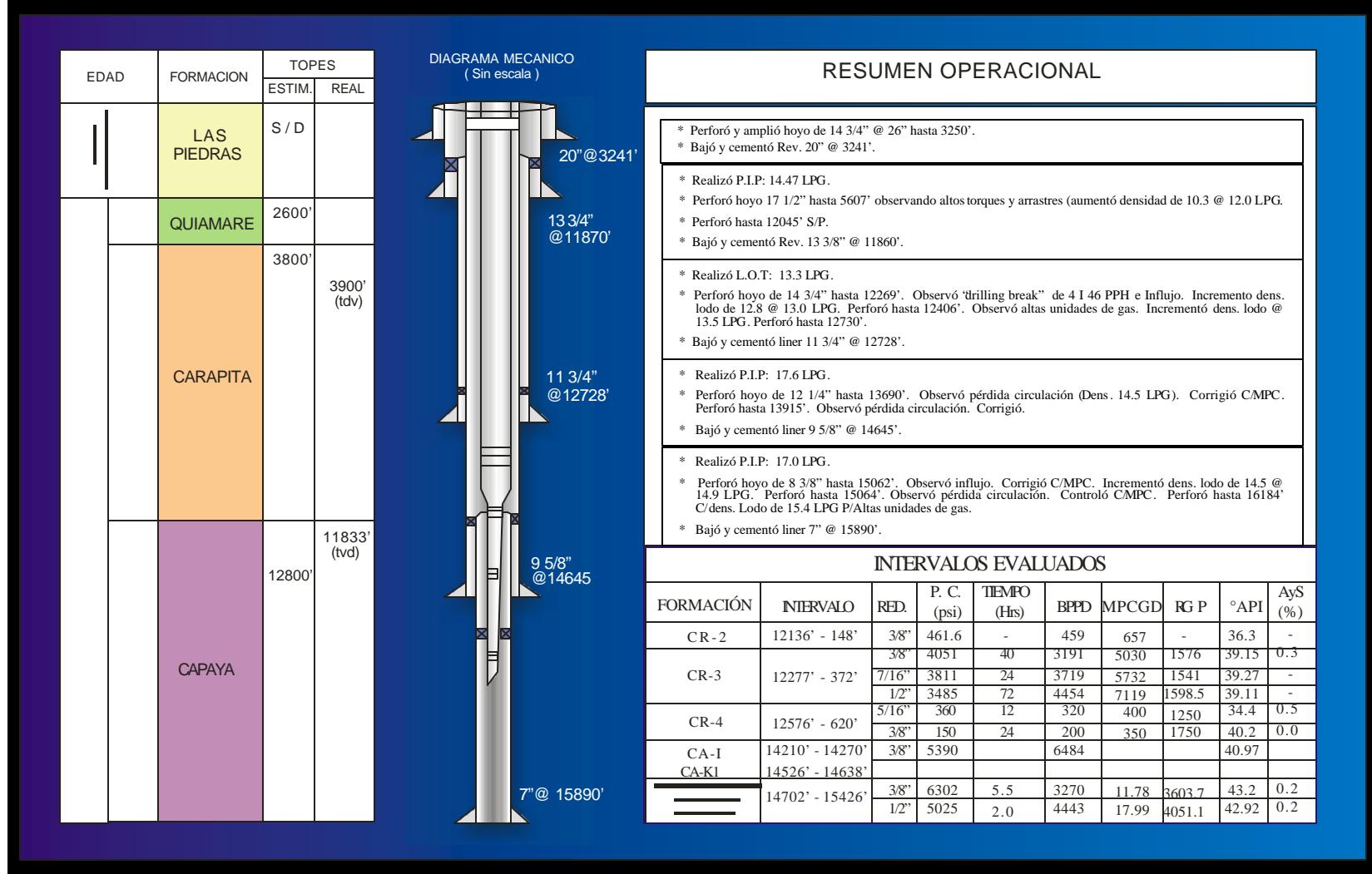


Figura 1.2. Resumen operacional del pozo 'Táctata I'

## **1.8. AGRADECIMIENTOS:**

### **AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS:**

- A la *Ilustre Universidad Central de Venezuela*, por haberme dado la oportunidad de crecer como profesional, de formar mis propios criterios y por haberme permitido profundizar en mi capacidad de discernimiento.
- A mi tutora académica, *María Antonieta Lorente*, por haber creído y confiado en mí para el desarrollo de este proyecto. Gracias por esos valiosos momentos dedicados a darme luz cuando creía estar caminando en un túnel oscuro.
- Al Profesor *Ricardo Alezones*, por ser mi consejero y mi profesor guía, desde el inicio hasta el final de mi carrera. Gracias por tus sabios consejos y por tu paciencia.
- A *Feliciano Di Santis*, por ser más que un profesor, un amigo y un padre. Gracias por tus dulces bendiciones.
- Al Profesor *Franco Urbani*, por su apoyo incondicional.
- Al Profesor *Guillermo Domínguez*, por alegrarme los días con su buen humor.
- A los Profesores *Ramón González* y *Aitor Ichaso*, por haber marcado pauta importante en mi desarrollo como Ingeniero Geólogo. Los admiro mucho.
- A la Profesora *Lilian Navarro*, por tu apoyo y dedicación desde que eras preparadora hasta hoy en día. Tus palabras de experiencia y consejos han sido de gran reflexión para mí.
- A la Profesora *Celia Bejarano*, por haberme dado ánimo y apoyo durante estos últimos años. Gracias por estar pendiente de mí persona.

### **AGRADECIMIENTOS INDUSTRIALES:**

- A *Petróleos De Venezuela, S. A.*, por darme el apoyo económico para la realización de gran parte de mis estudios y para la elaboración de este Trabajo Especial de Grado.

- A *Carlos De Sousa*, por tu dedicación incondicional y por regalarme parte de tu tiempo para ayudarme en la elaboración de este proyecto.
- A *Julieta De Daal*, por el apoyo continuo y el asesoramiento prestado. Gracias por tu tiempo y por tu gran interés.
- A *Emma Kummerow*, por brindarme su apoyo tanto profesional, para la elaboración de esta tesis, como personal, para escuchar mis inquietudes.
- Al *Laboratorio de Geología de PDVSA Chuao*.
- A *Armando Fasola, Arelis Faria, Genaro Gifunni y Joselys Moreno*, por la información suministrada para la integración de este estudio
- A *Humberto Sánchez, Gissel Gedler, Maibi Ruiz e Isbelia Durán*, por hacerme compañía los fines de semana en el edificio de PDVSA Chuao.
- A *Max Furrer*, por su asesoría valiosa y sobretodo por ser tan diligente para ayudarme a aclarar mis dudas.
- A *María Auxiliadora Vivas*, por su entera disposición a ayudarme cuando más lo necesitaba.
- A *Blas González (Don Blas)*, porque no sólo eres mi compañero de post-grado, sino un buen consejero. Solo tu presencia transmite paz a cualquier persona.

**AGRADECIMIENTOS PERSONALES:**

- A mis amigos: *Adrian Castillo, Eskeila Troconis, Mariela López, Jesús Padilla, Paolo Discepola, Darwing Rodríguez, Karla Ríos Luna, Mariela Noguera, Luis Melo (mi padrino), Juan Carlos Suárez, Juan Carlos Matos, Vanessa Machado, Alberto San Martín, Katherina Bukor, Carmen Yegres*. Cada momento compartido con ustedes, lo disfruté al máximo.
- A mis nuevos amigos *Belkis Guerra, Francisco Quintero, Reinaldo Aguilera, María Daniela Rangel, Alma Chavez, Joaquín Aristimun, María Gabriela Castillo*, por compartir día a día los avances de este proyecto.

- A mis amigos del primer semestre *Gerardo Salazar, Romilka Salazar, John Carlos González, Luis Villarreal, Miguel Velazquez, Miguel Trujillo, Gilmar Parra, Ana González, Morális González*. Soy muy afortunada por tenerlos.
- A la familia *Orta Ortíz*, por su gran amor y por darme calor de hogar durante estos cinco años de carrera universitaria.
- A la familia *Quijada Freites*, en especial a *Milena Freites*, por preocuparse de mi persona. Gracias por esas vacaciones maravillosas en Semana Santa y por consentirme los fines de semana cuando realicé la pasantía en Puerto La Cruz.
- A *Carmen Arreaza y Hugo Moreno*, por todo el amor y dedicación que han tenido para mí estos últimos meses, sobre todo en este momento tan importante de mi vida. Jamás tendré las palabras precisas para hacerles llegar mi gratitud y mi cariño sincero. ¡¡Gracias *Finita* porque desde que llegaste a mi vida no hago más que agradecerle a Dios, ya que tu amor de madre me fortalece todos los días!!.. Espero que sea así por siempre.
- A la familia *Del Valle Daza y Valero Laborde*, por preocuparse por mí mientras he estado ausente de Maracaibo.
- A la familia *Grado*, por el apoyo total cuando comencé a vivir sola. Gracias *Gustavo*, porque sé que siempre serás mi amigo incondicional y mi hermano.
- A mis hermanas y amigas *Abby Sánchez, Tibisay Loreto y Yoasmali Barrios*, por estar siempre dispuestas a escucharme y a darme fuerzas para continuar avanzando con firmeza.
- A *Milena Quijada y Daniel Menéndez*, por las noches de desvelo juntos y por ser más que mis compañeros de clases, mis amigos y hermanos. Gracias por confiar en mí, pues es para mí una bendición tener sus amistades.
- A *Helen Vera y Harold Contreras*, porque son únicos y valientes pastorcitos. Gracias por ayudarme a hacer mi camino más ligero y firme y por mostrarme la única Verdad.
- A *Lenin González y Patricia Tardáguila*, por las tardes y noches que me estuvieron apoyando durante la realización de la tesis. Gracias por sus palabras alentadoras cuando más lo necesitaba.

- A *Ivan Arias De Lima*, por apoyarme en un momento difícil de mi vida. Gracias por no dejarme sola.
- A *Josmar Blanco y María Carolina Orta*, porque ambas simbolizan para mí un lazo de amistad y hermandad que nunca podrá romperse.
- A *Crisanto Silva*, por tu eterno amor. Siempre te llevaré en mi corazón.
- A *Ernesto Tundidor*, por tus regaños afectivos y por estar siempre allí.
- A *Colette Bachmann y Markus Worgartner*, por enseñarme que los sueños no tienen límites y que la amistad no tiene fronteras.
- A *Erika González*, por tu apoyo total y por darme parte de tu tiempo para escucharme. Me alegra haberte conocido!!! Gracias por tu dulce y sincera amistad.
- A *José Antonio Esteves*, por tu gran apoyo pese a que estás en Holanda.
- A *Elena Reyes Payares*, por quererme profundamente y por recordarme que *María Coromoto* aún vive en nuestros corazones.
- A mis compañeras de residencias *Elizabeth Ledezma, Gabriela Cabarcas, Heydi Soublet y Yulimer González*. Gracias por soportarme.

## CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

### 2.1. FASE I: FASE PRELIMINAR:

#### 2.1.1. Definición de objetivos:

Esta fase consistió en establecer de manera precisa todos los objetivos planteados en el estudio, después de hacer una evaluación tanto de los requerimientos del área de Tácata, como de los trabajos previos realizados en Venezuela y a nivel mundial referentes a la caracterización de la materia orgánica palinológica.

#### 2.1.2. Consulta bibliográfica:

Luego de establecer los objetivos del estudio, se realizó una recopilación bibliográfica más extensa donde se evaluaron diversos tópicos, tales como:

- *Trabajos previos realizados en la zona de estudio*, orientados a los análisis de palinofacies y de materia orgánica palinológica.
- *Trabajos previos en otras zonas*, donde se traten aspectos como los citados en el punto anterior.
- *Trabajos previos referentes a la evolución regional tectono-estratigráfica y ambiental de la Cuenca Oriental de Venezuela*, específicamente de la Subcuenca de Maturín y el Campo Tácata, donde se destacan las Formaciones Capaya y Carapita.
- *Fundamentos teóricos* sobre palinofacies y materia orgánica palinológica aplicada a la industria petrolera.

- *Revisión de información referente a metodologías* empleadas para la selección de muestras, su posterior procesamiento y análisis.
- *Revisión de informes técnicos* relacionados con cualquiera de los tópicos señalados anteriormente.

El propósito de esta fase consistió en enfatizar los puntos importantes a tratar en el estudio y de este modo proporcionar un cronograma de actividades adecuado, de manera tal que se cumplieran todas las metas propuestas.

## **2.2. FASE II: FASE DE LABORATORIO:**

### **2.2.1. Selección de muestras:**

El intervalo a estudiar se encuentra comprendido entre los 11400 pies y los 15500 pies, es decir, un total de 4100 pies (alrededor de 1249.68 m).

El criterio general de selección de muestras de canal consistió en la toma de muestras de lutitas/limolitas en la sección estudiada, a partir del “master log” de pozo en intervalos constantes de 50’ hasta la profundidad de 12850’, después de este punto el muestreo se realizó cada 20’ a 30’. El *Anexo I* muestra la ubicación de las muestras evaluadas para los distintos análisis realizados en el pozo.

Las muestras seleccionadas totalizan 132 para todo el intervalo. Cabe señalar que de las mismas, 99 corresponden a muestras lutíticas/limolíticas y las 33 restantes son de areniscas.

### **2.2.2. Descripción macroscópica de muestras de canal:**

Esta fase consistió en la descripción de los diferentes aspectos que pueden ser observados en cada una de las 132 muestras de canal, donde se contemplaron características tales como: composición mineralógica, color y textura (la cual se refiere a los rasgos y arreglos de los granos que componen a los sedimentos, destacándose algunos parámetros importantes a examinar como lo son el tamaño de grano, morfología y el escogimiento). Dicha descripción se realizó a partir de la visualización a través de una lupa WILD M5A de ocular 20X con aumentos de 6, 12, 25 y 50; y también a partir del apoyo de la colección personal de muestras de canal de Ruiz (2001).

A algunas de las muestras de areniscas (siete en total) se les realizó “picking” con la finalidad de elaborar secciones finas adicionales, puesto que las veintiseis (26) secciones finas restantes habían sido elaboradas previamente para los estudios sedimentológicos convencionales.

### **2.2.3. Método de preparación de muestras de palinofacies:**

La preparación de muestras se realizó en el Laboratorio de Geología que se encuentra ubicado en la sede de PDVSA, Exploración, Producción y Mejoramiento en Caracas (edificio Chuao); y comprendió diferentes pasos:

#### *2.2.3.1. Identificación de las muestras:*

Los equipos utilizados tienen una capacidad para procesar ocho muestras por día. La *Figura 2.1* muestra un formato que fue diseñado en el laboratorio de PDVSA para llevar el control de las muestras que se realizan a diario:

<i>Muestra</i>		<i>Tipo</i>				<i>Preparación</i>		<i>Fecha</i>
<i>Pozo</i>	<i>Profundidad</i>	<i>Canal</i>	<i>Pared</i>	<i>Núcleo</i>	<i>Superf.</i>	<i>Regular</i>	<i>Normal</i>	
X		X					X	
X		X					X	
X		X					X	

*Figura 2.1. Formato de control de muestras.*

#### 2.2.3.2. Lavado, dispersión y pesado de muestras:

Luego de llenar dicho formato, se procedió a lavar las muestras con detergente líquido o con kerosene para eliminar de sus superficies la contaminación del lodo de perforación y la impregnación de hidrocarburo. Previo a esto, las muestras se remojaron con el detergente durante 20 minutos.

Después de lavar las muestras se pesaron diez gramos y se dispersaron con un mortero hasta tener partículas de 1 mm aproximadamente (*Figura 2.2*).

#### 2.2.3.3. Tratamiento con ácido:

Las ocho muestras trituradas se colocaron en envases plásticos, se les agregó ácido fluorhídrico (HF) al 48% y se dejaron reaccionar durante 12 horas en una campana de extracción de gases. En este período de tiempo se agitaban regularmente. Luego de la disolución, el ácido era decantado para posteriormente lavar la muestra con agua destilada y por último centrifugarla. De este modo se eliminaron los silicatos presentes.

Luego se realizó el mismo procedimiento con ácido clorhídrico (HCl) al 37%, con la finalidad de eliminar los carbonatos contenidos en las muestras. En la *Figura 2.3* se observa parte del procedimiento descrito.



Figura 2.2. a



Figura 2.2. b



Figura 2.2. c

Figura 2.2. a. Remojo de las muestras, 2.2. b. Lavado de muestra con tamiz de 200, micrones, 2.2. c. Disgregado de muestra.



Figura 2.3. a



Figura 2.3. b



Figura 2.3. c



Figura 2.3. d



Figura 2.3. e

Figura 2.3. a. Tratamiento con ácido clorhídrico y fluorhídrico, 2.3. b. y 2.3. c. Campana de extracción de gases, 2.3. d. y 2.3. e. centrifugado de las muestras.

Los residuos palinológicos se lavaron y decantaron varias veces con agua destilada hasta que la misma, al desecharla, quedara incolora y por último se lavaron con alcohol.

#### *2.2.3.4 Separación de líquidos pesados:*

Los residuos o fracción de materia orgánica palinológica junto con las partículas minerales insolubles fueron mezclados con bromuro de zinc ( $ZnBr_2$ ), densidad 2.2, y se centrifugaron a 1500 r.p.m. durante tres a cinco minutos.

La fracción flotante (materia orgánica) se recuperó en otro tubo de ensayo y posteriormente se lavó con una solución diluida de ácido clorhídrico (HCl) al 10%.

Posteriormente en el tubo de ensayo inicial se colocó de nuevo bromuro de Zinc ( $ZnBr_2$ ) con el propósito de continuar con la recuperación de materia orgánica. Este proceso fue repetido varias veces hasta recuperar la mayor cantidad de materia orgánica.

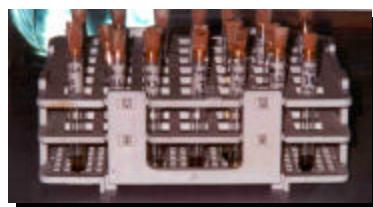
Se realizó un lavado final con ácido clorhídrico (HCl) diluido, seguido por un enjuague con agua destilada a toda la materia orgánica recuperada y finalmente las partículas minerales insolubles fueron desechadas.

#### *2.2.3.5. Medición del volumen recuperado de la materia orgánica:*

El residuo (materia orgánica palinológica) se coloca en un tubo de ensayo graduado con la finalidad de medir el volumen recuperado, para calcular la concentración de la materia orgánica.

#### 2.2.3.6. Almacenamiento:

A la materia orgánica recuperada se le agregó alcohol y se centrifugó durante 12 minutos a una velocidad de 1500 r.p.m., luego el alcohol fue decantado y se le colocó glicerina de forma tal que las partículas permanecieran dispersas entre sí. Dicho material recuperado fue almacenado en microtubos de ensayo de un mililitro y se les colocaron tapas de corcho (*Figura 2.4*).



*Figura 2.4: Almacenamiento del residuo palinológico en microtubos de ensayo*

#### 2.2.3.7. Montaje de las muestras para palinofacies:

Este fue el último paso para obtener las láminas de palinofacies y consistió en remover la materia orgánica almacenada en los microtubos de ensayos con una micropipeta. Previo a esto, se limpiaron con alcohol los portaobjetos y cubreobjetos y se dispusieron de manera ordenada sobre una hoja blanca (*Figura 2.5.a*).

Luego sobre cada portaobjeto se añadió una porción pequeña de gelatina derretida (2 ó 3 gotas), con la micropipeta se tomó una gota de cada residuo palinológico y se puso sobre el portaobjeto de manera expandida (*Figura 2.5.b y 2.5.c*). Seguidamente, se colocó el cubreobjetos y los bordes fueron sellados con esmalte de uñas (*Figura 2.5.d*).

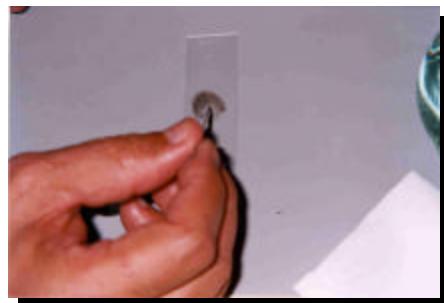
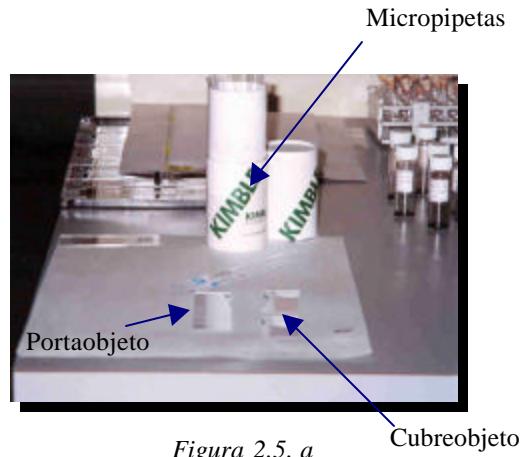


Figura 2.5. c



Figura 2.5. d

Figura 2.5. a. Materiales utilizados para el montaje de las muestras. 2.5. b. Mechero con gelatina derretida. 2.5. c. Residuo palinológico extendido sobre el portaobjetos. 2.5. d. Sellado de la muestra.

#### 2.2.3.8. *Colado de las muestras:*

Para las muestras de palinofacies este paso no se ejecuta, sin embargo algunas de las muestras presentaban alto contenido de materia orgánica amorfa finamente dispersa y es importante destacar que este componente impide el perfecto desarrollo del análisis digital de imágenes, por lo tanto surgió la necesidad imperante de colar las muestras para ciertos niveles de la secuencia (*Anexo 1*).

El proceso consiste en dispersar la materia orgánica pasándola por un ultrasonido durante un minuto, y luego por un tamiz de 10 micrones. Finalmente, la materia orgánica es almacenada para su posterior montaje (*Figura 2.6.a y 2.6.b*).

#### 2.2.4. *Descripción microscópica y análisis de muestras de canal:*

La descripción microscópica de las muestras de areniscas consistió en la observación de diez secciones finas adicionales a las ya analizadas por la sedimentóloga Kummerow (2001); a través del microscopio petrográfico. Se determinaron todos los parámetros sedimentológicos y se clasificaron de acuerdo a Pettijhon *et al.* (1972). Posteriormente, todas las secciones de areniscas se evaluaron a través del sistema ADIE® (Análisis Digital de Imágenes Estratigráficas) para obtener los datos cuantitativos de las características texturales.

Por último, la descripción de las 99 muestras de palinofacies se basó en dos premisas fundamentales; una cuantitativa y una cualitativa. La primera fue efectuada a través del ADIE® cuyos componentes son: un microscopio óptico, una cámara digital y una estación de trabajo con la aplicación informática ADIE® (*Figuras 2.7 y 2.8*). Todo el equipo se encuentra en PDVSA, E P y M. La segunda se basó en la observación de cada muestra a través del microscopio óptico *Leica*,



Figura 2.6. a



Figura 2.6. b

Figura 2.6. a. Ultrasonido, 2.6. b. Colado de las muestras a través de tamiz de 10 micrones.

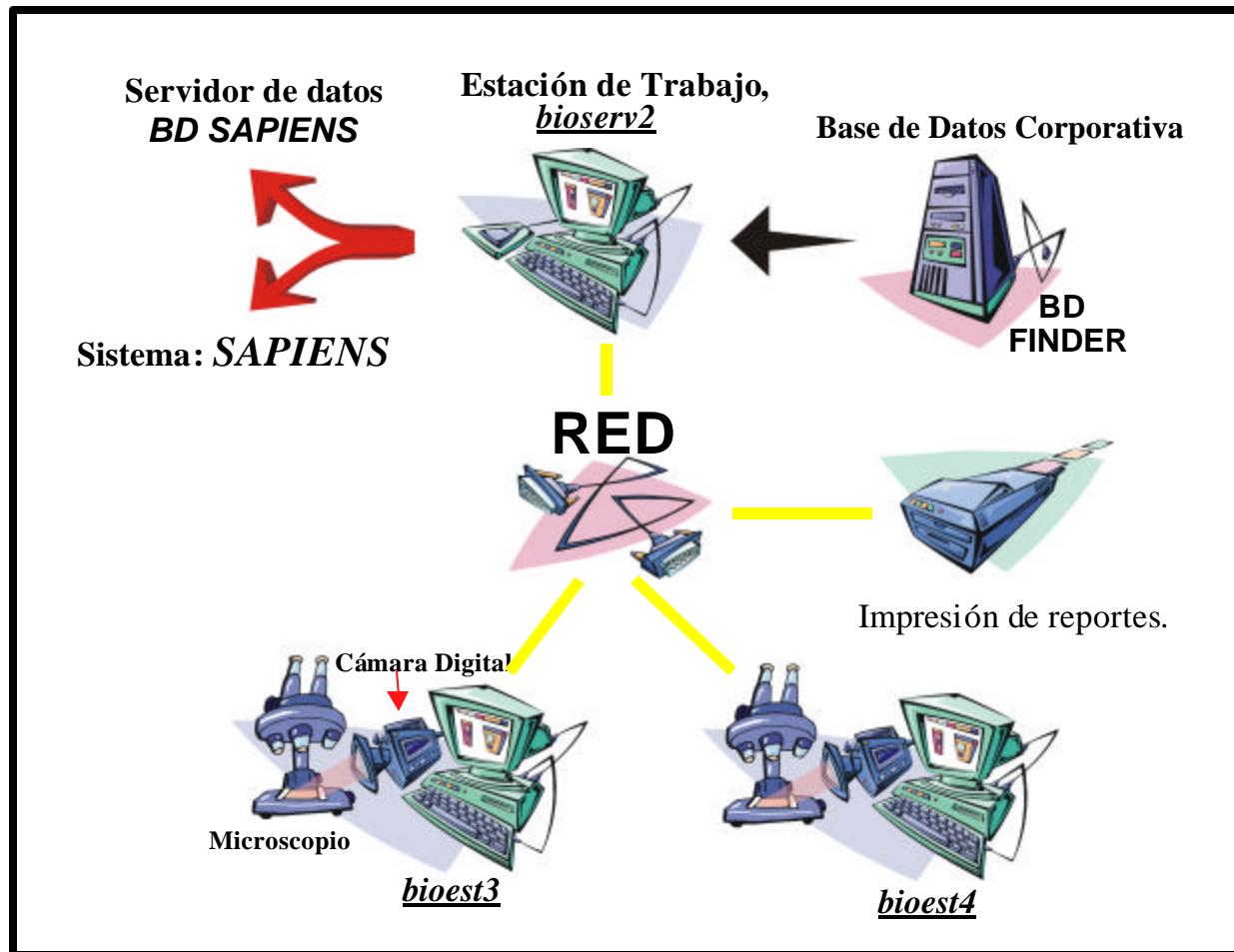
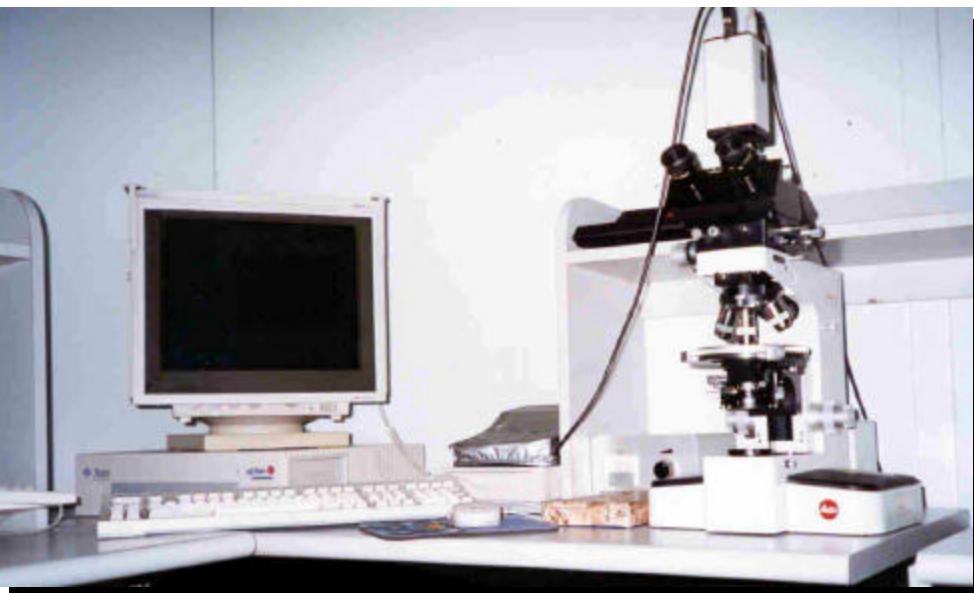


Figura 2.7. Componentes de hardware del ADIE ®. Tomado de Guía del Sistema ADIE® (2000).



*Figura 2.8. Hardware del análisis digital de imágenes estratigráficas.*

utilizando luz blanca transmitida y luz fluorescente incidente azul, con ocular de 10X – 25 y objetivos de 10X, 25X (inmersión) para las partículas de mayor tamaño y de 50X, 100X (ambos de inmersión) para los detalles mayores. La composición fue determinada a través de la clasificación de la materia orgánica palinológica de Lorente (1986).

#### **2.2.5. Cálculo de concentración de materia orgánica:**

La concentración de la materia orgánica viene dada por la siguiente fórmula de acuerdo a Lorente (1986):

$$\boxed{\text{C.M.O} = \text{V.M.O} / \text{V.R}}$$

Donde:            C.M.O = Concentración de la Materia Orgánica

                      V.M.O = Volumen de la Materia Orgánica

                      V.R.   = Volumen de la Roca

El volumen de la roca viene dado por la relación entre el peso y la densidad. El peso corresponde a los 10 gramos iniciales de las muestras, mientras que la densidad se estimó a partir del registro de densidad del pozo.

### **2.3. FASE III: FASE DE GENERACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS**

#### **2.3.1. Análisis digital de imágenes:**

La generación de los datos cuantitativos (conteo de la materia orgánica palinológica) se realizó a través del análisis digital de imágenes estratigráficas

ADIE<sup>®</sup>, el cual es un sistema computarizado que permite realizar trabajos en diferentes áreas, tales como la estratigrafía, estudios palinológicos y estudios sedimentológicos. Estos dos últimos son los que se consideran para los fines establecidos del presente trabajo:

El análisis digital de imágenes de secciones finas de roca o concentraciones de materia orgánica, permite su caracterización en términos texturales, es decir; tamaño, forma de la partícula o poro y orientación.

A continuación se describen los pasos dados para la realización del análisis digital de imágenes tanto para las láminas de palinofacies como para las secciones finas de areniscas/limolitas.

#### *2.3.1.1. Muestras de palinofacies y muestras de secciones finas de areniscas/limolitas:*

Antes de iniciar la aplicación de este sistema es necesario establecer el número de partículas que se van a contabilizar por cada muestra. El conteo de la materia orgánica palinológica no posee un criterio único definido, sin embargo varios autores, como Rosales *op. cit.*, señala que un conteo mínimo de 350 en total, garantiza la confiabilidad estadística. No obstante, en el presente trabajo se realizó un conteo de 750 partículas como mínimo, a fin de generar resultados de alta resolución.

El ADIE<sup>®</sup> permite realizar un análisis de las propiedades morfológicas de los concentrados de materia orgánica, a partir de la generación de imágenes y consiste de varios pasos que se encuentran representados en la *Figura 2.9*.

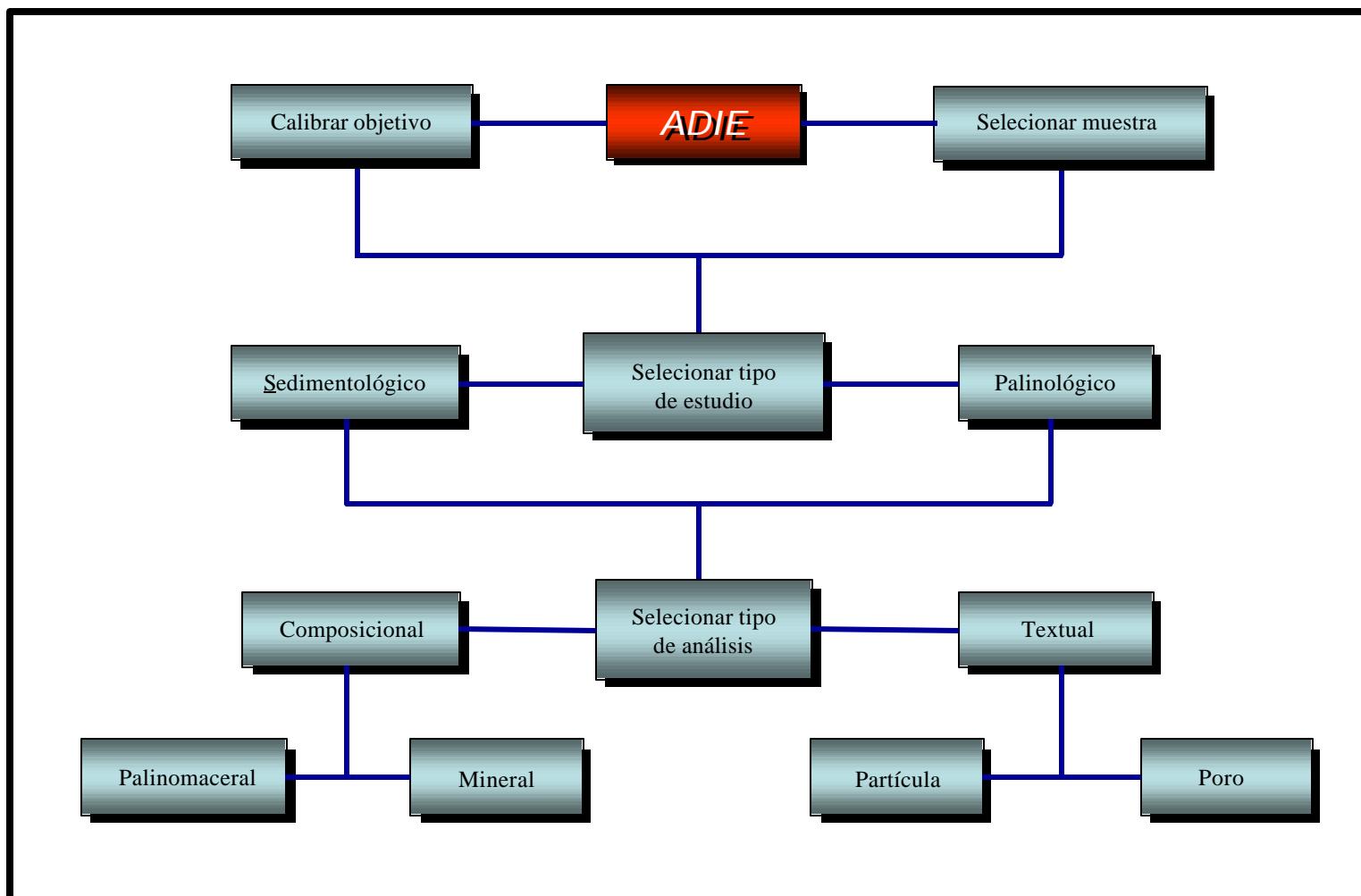


Figura 2.9. Esquema de procesos básicos del ADIE.<sup>a</sup>

A continuación se describen cada uno de los procesos citados en la *Figura 2.9*:

a) *Calibrar objetivo:*

Este es el primer proceso que se llevó a cabo y consistió en adaptar los objetivos del microscopio a una medición horizontal y vertical, la cual permite obtener los valores verdaderos de las partículas, a partir de las imágenes capturadas a través de la cámara. Este proceso sólo se realizó al inicio del análisis y debe ejecutarse cada vez que la cámara sea sustituida o cambiada de posición (*Figura 2.10*).

b) *Seleccionar muestras:*

Una vez calibrados los objetivos se procedió a seleccionar la muestra a analizar, la cual previamente se encontraba cargada en el sistema. El menú de ayuda presenta dos opciones que permiten escoger si la muestra es de canal o de superficie, en el presente trabajo todas las muestras se corresponden con muestras de canal (*Figura 2.11*).

c) *Seleccionar tipo de estudio:*

Este proceso permitió escoger el tipo de análisis a llevarse a cabo, es decir, si se corresponde con un análisis palinológico o sedimentológico (*Figura 2.12*).

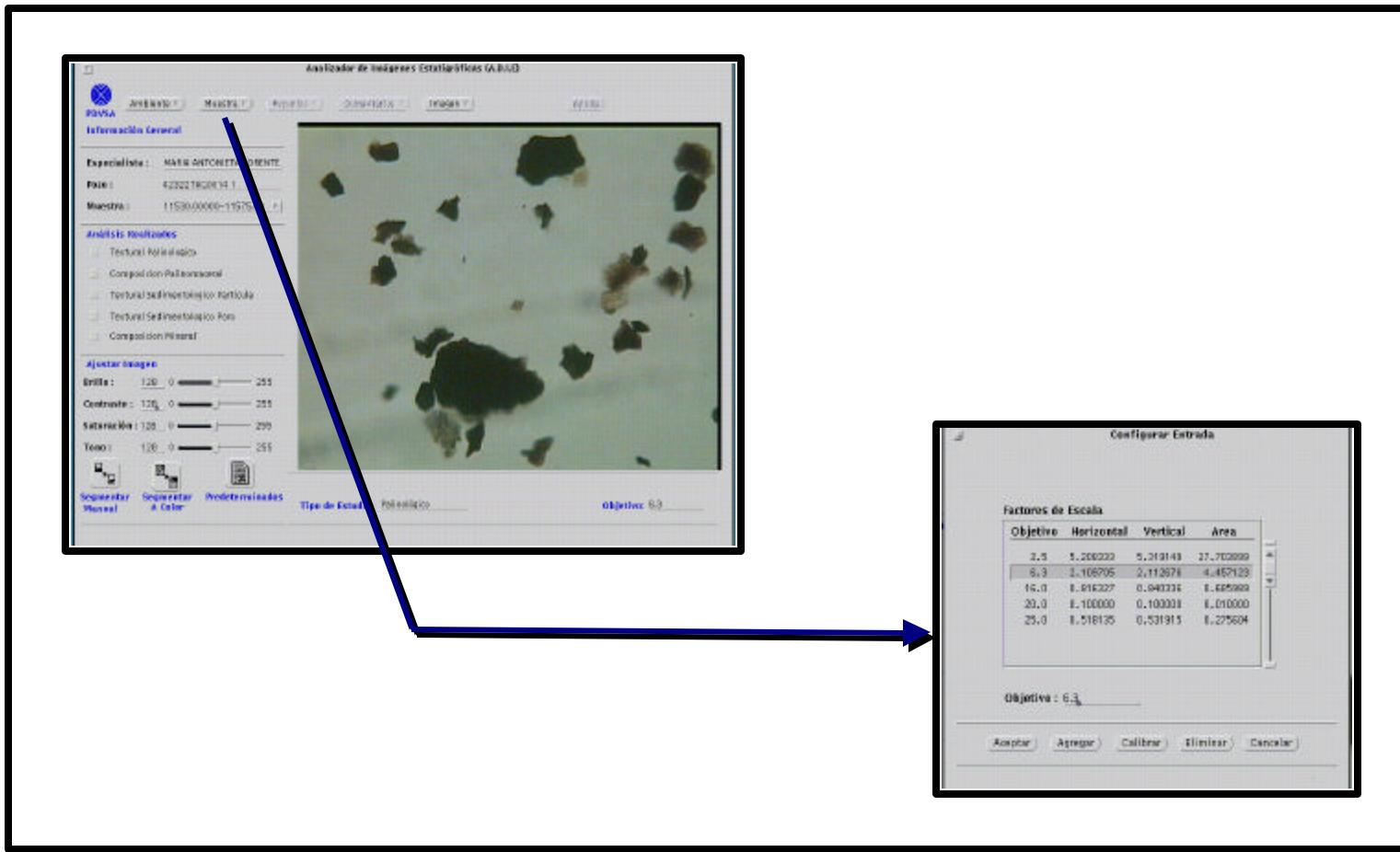


Figura 2.10. Ventanas del ADIE® donde se muestra el proceso de calibración para los objetivos del microscopio.

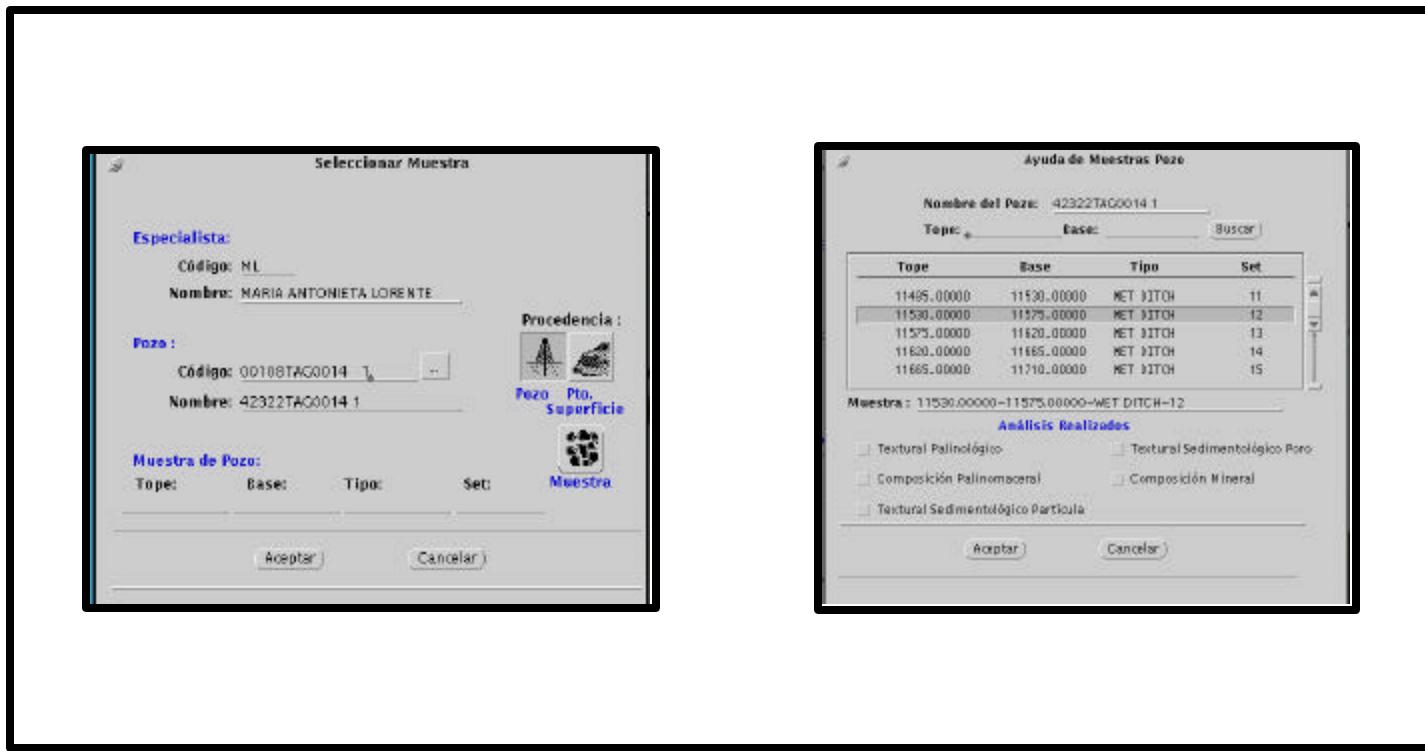


Figura 2.11. Ventanas del ADIE® donde se muestra el proceso de selección de muestras.

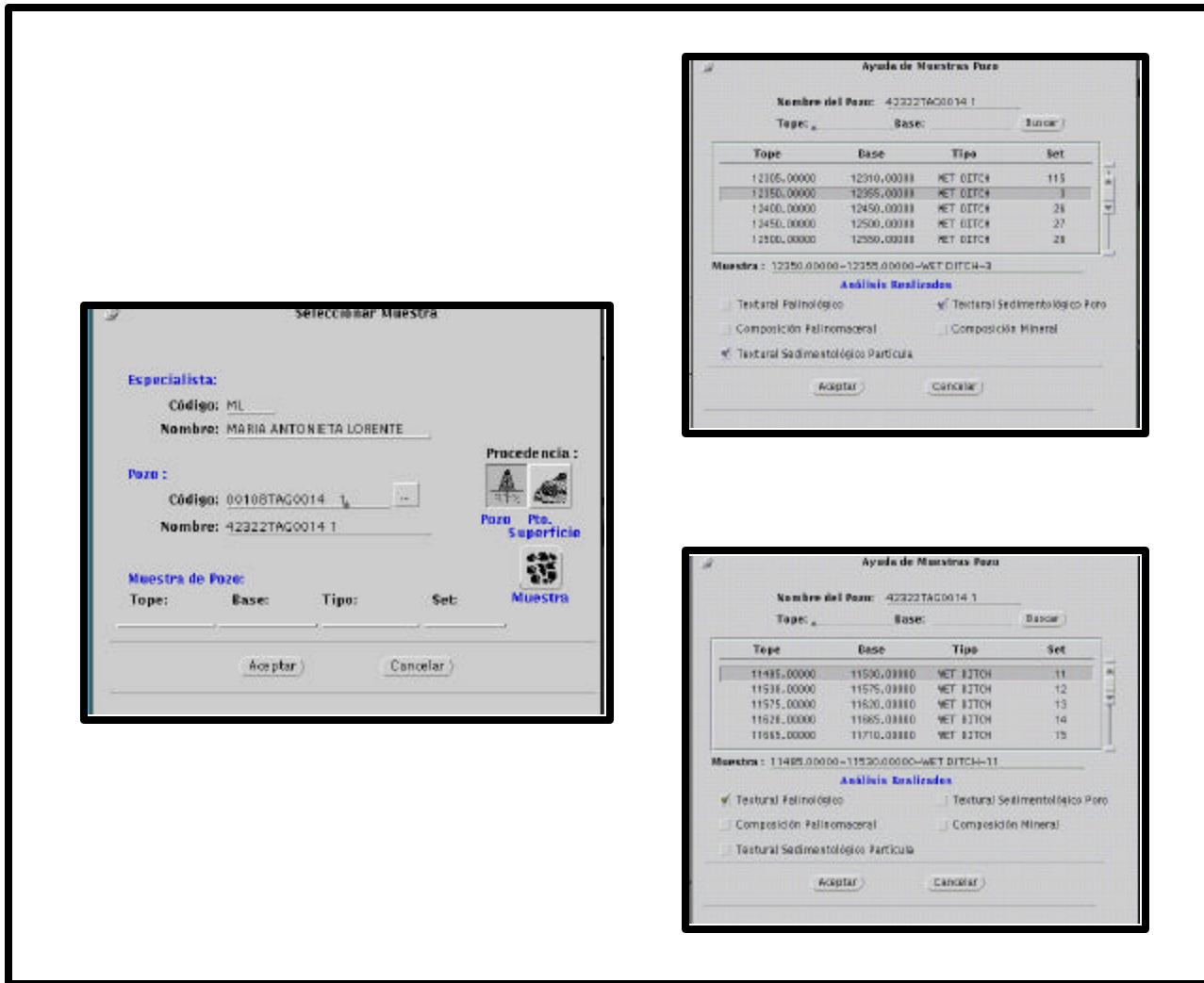


Figura 2.12. Ventanas del ADIE® donde se muestra el proceso de selección de muestras.

*d) Seleccionar tipo de análisis:*

Luego de haber seleccionado el tipo de estudio, se procedió a escoger si el tipo de análisis es de carácter composicional o textural. Es importante señalar que, para el presente trabajo se realizaron únicamente los análisis texturales para el caso de las muestras de palinomacerales, puesto que el análisis composicional se realizó con la ayuda de un microscopio con luz incidente fluorescente azul. En el caso de las areniscas/limolitas se realizaron únicamente los análisis texturales, ya que la composición fue realizada a partir de la estimación visual convencional bajo luz blanca transmitida.

*e) Análisis textural partícula:*

Este es el proceso que se encarga de realizar los cálculos de la caracterización de las partículas (Guía del Sistema ADIE®, 2000), bien sean de materia orgánica particulada o granos de rocas detríticas.

Una vez especificado el tipo de estudio, es decir, palinológico o sedimentológico y luego de haber obtenido la imagen editada, se genera el reporte que indica los valores texturales de la muestra. Cada análisis textural por sector en la muestra se denomina *fase* y se realizaron tantas fases como fueron necesarias, hasta completar el conteo de las 750 partículas para el caso de los palinomacerales y 30 partículas para el caso de las areniscas/limolitas. Los resultados de cada fase al final son sumarizados y promediados.

*f) Análisis Textural Poro:*

Este proceso es el encargado de realizar los cálculos de caracterización de poros (Guía del Sistema ADIE®, 2000). Las consideraciones del proceso son iguales al paso anterior, sólo que en esta oportunidad se contaron todos los poros presentes en

las secciones, puesto que el porcentaje de porosidad es relativamente bajo a moderado.

Después de haber cumplido los pasos anteriormente descritos, se procedió a ejecutar otros procesos que permitieron definir mejor la imagen capturada y editarla para la posterior generación de los reportes texturales y de los gráficos. La *Figura 2.13* muestra dichos procesos.

*g) Capturar imagen:*

Por medio de este proceso la cámara de vídeo captura la imagen del campo visual que se obtiene a través del microscopio. Este proceso se realizó tantas veces como fue necesario, ya que la imagen capturada es la base de los demás procesos de imagen que se llevan a cabo, a fin de mejorar la calidad de la misma y posteriormente editarla.

*h) Ajustar contraste, brillo, saturación y tono:*

Las imágenes capturadas por la cámara de vídeo generalmente carecen de buena resolución, por consiguiente es necesario disminuir o aumentar el contraste, brillo, saturación y tono de las mismas. Este proceso se ejecutó cada vez que se capturaba una imagen nueva y de esta manera la imagen capturada era ajustada hasta lograr que la resolución alcanzara el parecido máximo a la imagen del campo visual que era observada a través del microscopio.

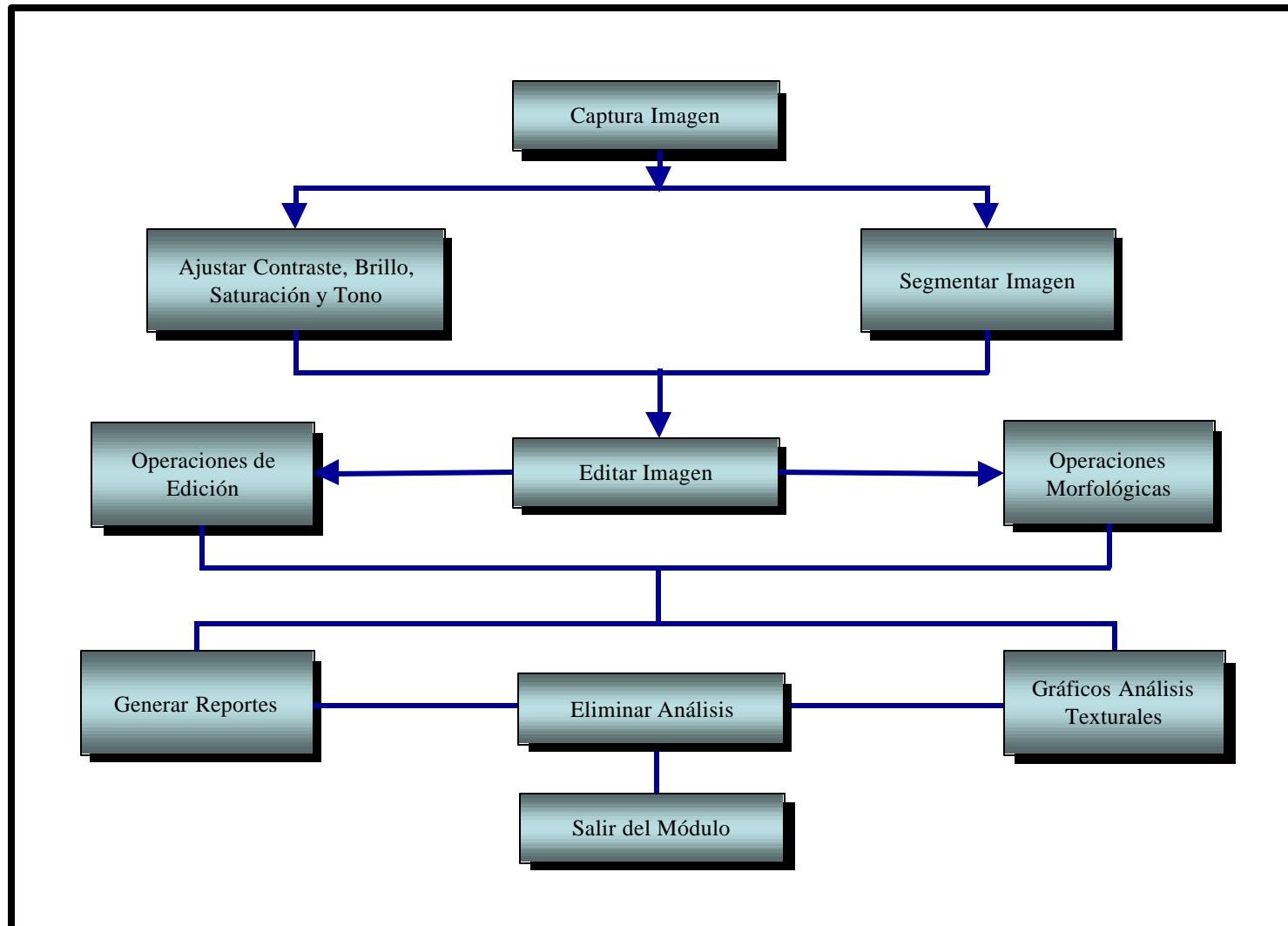


Figura 2.13. Continuación de esquema de procesos realizados a través del ADIE®.

*i) Segmentar imagen:*

Con la segmentación se logra tener información de los colores presentes en la imagen y dónde está cada uno de ellos. El resultado de la segmentación es una imagen dividida en regiones homogéneas, donde cada una de ellas tiene un color dominante y se reduce el número de colores presente en la imagen a un conjunto de colores principales (Guía del Sistema ADIE®, 2000).

Este proceso permitió seleccionar, de acuerdo a su color, las partículas a analizar dentro de las muestras. En el caso de la materia orgánica particulada, la cual se clasifica en el programa como partículas opacas, translúcidas y transparentes; se realizaban fases individuales seleccionando cada caso por separado. Dependiendo de la calidad de la imagen, la segmentación era realizada de manera manual, cuando la imagen era de baja resolución o automática, cuando la imagen era de alta resolución. En el presente trabajo la segmentación automática era la utilizada para la mayoría de los casos (*Figura 2.14*).

*➤ Segmentación manual:*

La imagen que recibe como insumo básico este proceso es la imagen capturada del microscopio, con la cual se determina su **Histograma** de luminancia y **ocho Niveles de Umbrales de Segmentación** representados por colores, cada uno con dos barras deslizadoras asociadas, las cuales representan el nivel bajo y alto de luminancia para cada rango de segmentación. La información de cada pixel se convierte a su correspondiente valor de luminancia. Una vez realizada esta conversión, se seleccionaban las partículas a analizar, a través de los rangos de luminancia u **ocho Umbrales de Segmentación** (Guía del Sistema ADIE®, 2000).



Figura 2.14. a



Figura 2.14. b

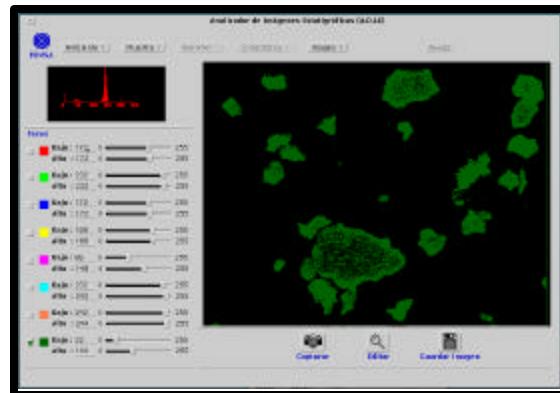


Figura 2.14. c

Figura 2.14. Ventanas de ADIE® del proceso de segmentación de imagen. 2.14. a. y b. Segmentación a color; 2.14. c. Segmentación manual.

➤ *Segmentación a color o automática:*

La Segmentación a Color se basa en extraer de una imagen sus colores característicos (Guía del Sistema ADIE®, 2000). Este proceso presenta tres tipos de segmentación que se describen a continuación:

La *segmentación a color mínima* posee baja resolución y se aplicaba cuando la calidad de la imagen capturada y ajustada en cuanto a su brillo, tono, contraste y saturación se refiere; era de alta resolución.

La *segmentación a color media* posee mejor resolución en contraste con el caso anterior y era aplicada cuando la calidad de la imagen capturada y ajustada en cuanto a su brillo, tono, contraste y saturación se refiere; era de resolución moderada.

La *segmentación a color máxima* posee la mayor resolución y era aplicada cuando la calidad de la imagen capturada, a pesar de ser ajustada en cuanto a su brillo, tono, contraste y saturación se refiere; su resolución era baja. Cuando se aplicaban segmentaciones máximas a imágenes de alta resolución, la duración de este proceso aumentaba de manera considerable, es por ello que antes de segmentar la imagen se verificaba la resolución de la misma para determinar qué tipo de segmentación sería utilizada, y de este modo se optimizaba el tiempo para continuar con la aplicación de los siguientes procesos.

j) *Editar imagen:*

Luego de haber seleccionado las partículas a analizar y después de segmentar la imagen se procedió a editar la misma. Este paso permite hacer modificaciones de manera manual a las partículas cuya forma original no se corresponde con las características reflejadas en la imagen segmentada. Las operaciones que se realizaron consistían en erosionar o dilatar la partícula; con esto se lograba ajustar el tamaño de

la misma a su tamaño real (comparándola con la imagen segmentada), de igual forma se corregían las irregularidades de los bordes. Este último proceso descrito se denomina *Operación Morfológica*.

Por otra parte, en ocasiones era necesario llenar las partículas que poseían cráteres en su interior o partículas que quizás variaban de color y al segmentarlas sólo tomaban los colores más parecidos al seleccionado originalmente, dejando espacios vacíos. Este proceso se denomina *Operación de Edición*. Entre otras operaciones de edición se tienen la *Eliminación de Partículas del Borte*, con lo cual se borran todas las partículas que se encuentran incompletas en el recuadro que soporta la imagen; *Eliminación de Partículas Pequeñas*, con lo cual se borran las partículas menores a tres micras que no necesariamente pertenecen a algún grano (en el caso de las areniscas/limolitas) o a una partícula de materia orgánica palinológica (*Figura 2.15*).

*k) Generar reportes:*

Una vez obtenida la imagen definitiva, se procedió a generar los reportes que suministra el ADIE®, ellos son: Reporte textural partícula, el cual muestra el número de fases realizadas, el número de partículas contadas, el área total ( $\text{mm}^2$ ), la irregularidad relativa y la elongación; Reporte textural poro (en el caso de las areniscas/limolitas), el cual muestra los mismos parámetros estipulados para el reporte textural partícula y adicionalmente la orientación; y Reporte textural fases, el cual se genera cada vez que una fase es culminada (*Figura 2.16*).

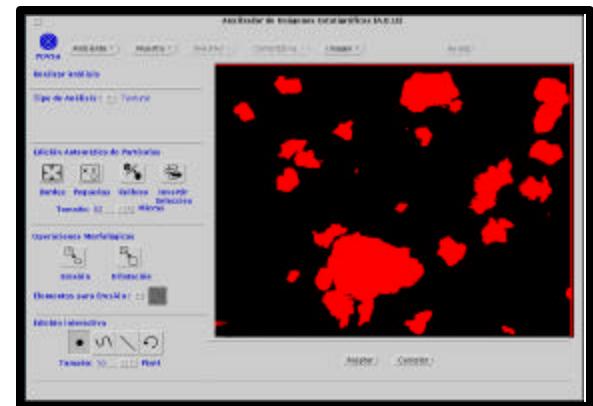


Figura 2.15. a

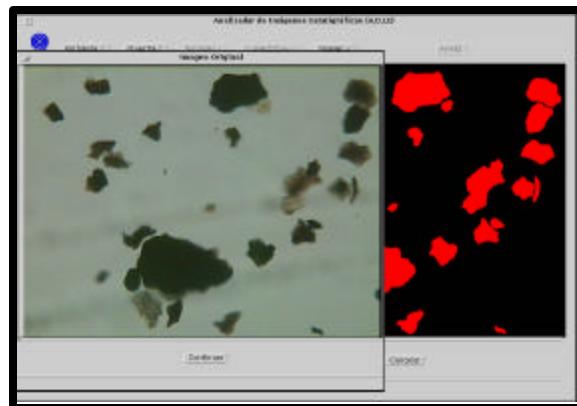


Figura 2.15. b

Figura 2.15. Ventanas del ADIE® donde se muestra el proceso de edición de imagen. 2.15. a. Edición de Partículas y Operaciones Morfológicas; 2.15. b. Comparación entre Imagen Original e Imagen Editada.

**Reporte Textural Partícula**

Destino :  Archivo    Número de Fases Realizadas : 3

Número de Partículas: 896  
Área Total (mm<sup>2</sup>): 0.311116  
Irregularidad Relativa: 1.07  
Elongación: 1.64

Directorio : /usuarios/epxg1  
Archivo :

Aceptar    Cancelar

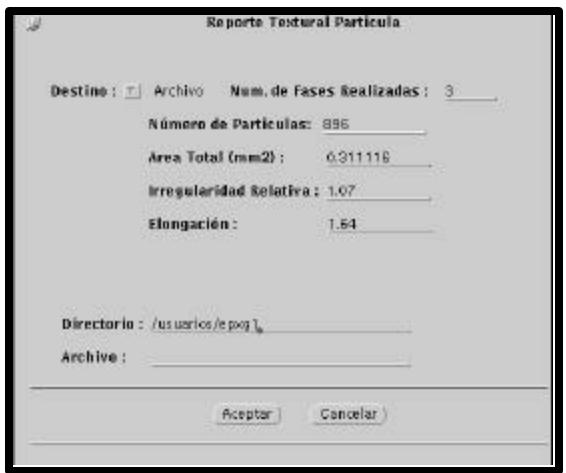


Figura 2.16. a

**Reporte Textural Poro**

Destino :  Archivo    Número de Poros: 35

Área Total (mm<sup>2</sup>): 0.068337  
Irregularidad Relativa: 1.30  
Elongación: 2.20  
Orientación (grados): 100.32

Directorio : /usuarios/epxg1  
Archivo :

Aceptar    Cancelar

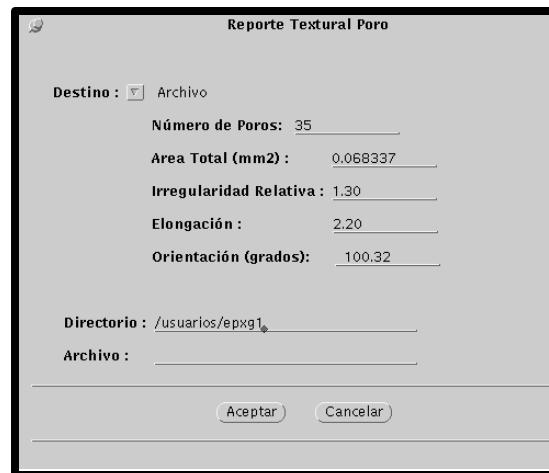


Figura 2.16. b

Figura 2.16. Ventanas del ADIE® donde se muestra el proceso de generación de reportes. 2.16. a. Generación de reporte textural partícula; 2.16. b. Generación de reporte textural poro.

*l) Gráficos de análisis texturales:*

A partir de este proceso se generan los gráficos, que a su vez suministran la información morfológica de las partículas analizadas: tamaño promedio, escogimiento o selección, agudez o kurtosis y desviación estándar. Es importante señalar que, se generan dos juegos de datos morfológicos: una es la granulometría por área y otra es la granulometría por partículas, partiendo de allí se tiene que los gráficos representan la distribución granulométrica por partícula, distribución granulométrica por área, elongación e irregularidad relativa (*Figura 2.17 y 2.18*).

*m) Eliminar análisis:*

Este paso se realiza cuando se produce algún tipo de error, referente a la aplicación de cualquiera de los pasos explicados anteriormente, durante el análisis de la muestra. La *Figura 2.19* muestra la ventana del ADIE® que permite realizar la eliminación del análisis.

**2.3.2 Evaluación de la porosidad a partir del análisis digital de imágenes, petrofísica y de la estimación visual:**

La porosidad se evaluó a través de tres técnicas diferentes, no obstante el *Anexo 3* muestra la integración de los resultados obtenidos a partir de cada una de ellas.



**Figura 2.17.** Ventanas del ADIE® donde se muestra el proceso de generación de gráficos para análisis texturales.

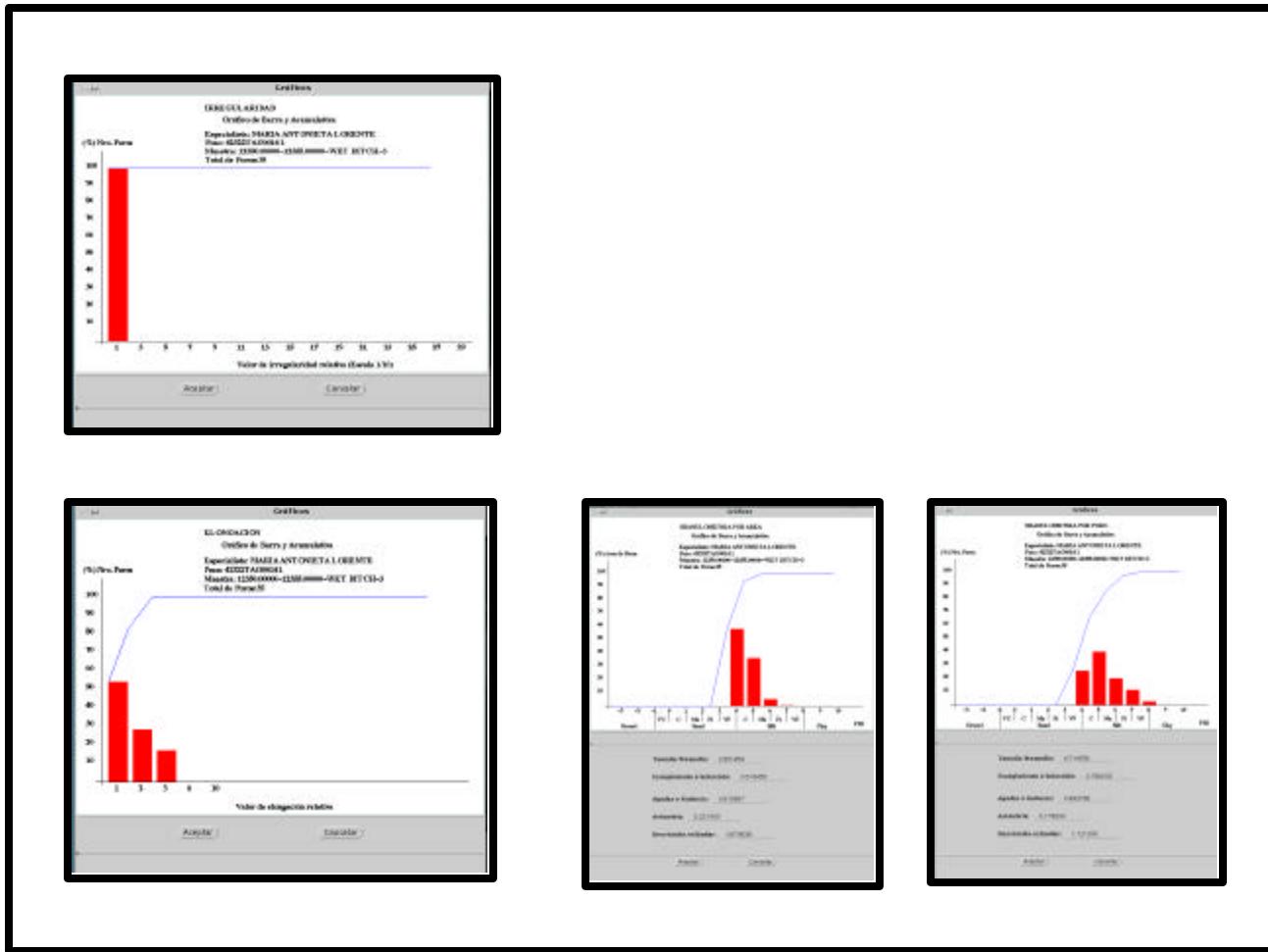


Figura 2.18. Ventanas del ADIE® donde se muestra el proceso de generación de gráficos para análisis texturales y los reportes granulométricos. .

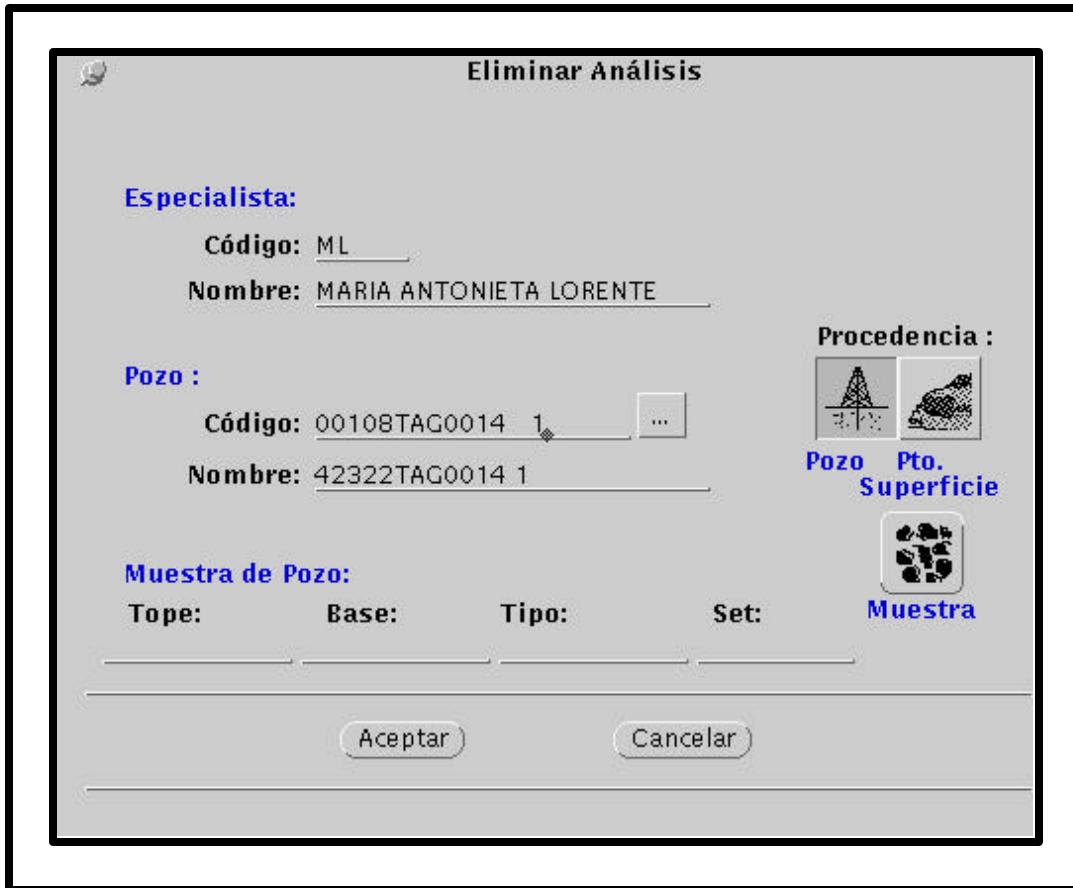


Figura 2.19. Ventanas de ADIE® donde se muestra el proceso de eliminación de análisis.

La evaluación petrofísica fue realizada por Lezama (2001), mientras que la estimación visual se realizó al mismo tiempo con los análisis de petrografía convencional. Por su parte, el análisis digital de imágenes también permitió cuantificar la porosidad de una manera muy sencilla y precisa, lo cual se explicará a continuación:

En el proceso de análisis textural poro y luego de haber efectuado todos los pasos citados en la *Figura 2.13*, se procedió al cálculo de la porosidad con base en el área en mm<sup>2</sup> ocupada por los poros en cada muestra y en el área total de la pantalla de trabajo. Posteriormente, con una simple regla de tres se determina el porcentaje de la porosidad.

### 2.3.3 *Métodos estadísticos:*

Como se dijo anteriormente, se contaron un total de 750 partículas para el caso de las muestras de palinofacies y 30 partículas para el caso de las secciones finas de areniscas. Partiendo de allí, a través del análisis digital de imágenes se obtuvo un gran número de datos (*Tabla 7.1*), de igual forma, a partir del análisis composicional de las muestras de palinofacies se obtuvo otro gran número de datos que comprenden los porcentajes composicionales de los distintos tipos de materia orgánica palinológica, los niveles de fluorescencia de cada elemento presente y la concentración (*Tabla 7.2, 7.3 y 7.4*). Por consiguiente, fue necesario aplicar diversos métodos estadísticos que permitieran ver el comportamiento de cada uno de los parámetros evaluados a lo largo de la secuencia, para los posteriores análisis de resultados. Entre los métodos estadísticos aplicados se tienen los *métodos estadísticos generales o simples* que comprenden: Normalización de Datos, Media Móvil, Desviación de la Media (media – valor inicial), Rango (valores máximos y mínimos), Promedio y Desviación Estándar; los *métodos estadísticos gráficos*: Perfiles de Distribución, Histogramas de Frecuencia y diagramas de caja; y los

*métodos estadísticos multivariantes:* Análisis de “Cluster” o Análisis de Agrupamiento.

La *Normalización de Datos* se realizó en excel a partir de la diferencia entre el valor inicial y la media dividida entre la desviación estándar. Esta aplicación se efectuó para cada uno de los parámetros obtenidos del ADIE®. Los cálculos de la *Media Móvil* se realizaron promediando cada tres muestras con el propósito de suavizar la curva original y la *Desviación de la Media*, también se realizaron en excel y al igual que en la normalización de los datos, se aplicó para todos los parámetros obtenidos del ADIE®.

La graficación de los *Perfiles de Distribución* se realizaron a través de la aplicación *Ragware* para los datos originales del ADIE®, para los datos normalizados y para aquellos que son producto de los cálculos de la media móvil y desviación de la media.

Los *Histogramas de Frecuencia* se realizaron en Excel y los *Diagramas de Caja* se realizaron a través del programa estadístico NCSS.

Es importante señalar que debido a que las tendencias de los perfiles de distribución para los datos originales, normalizados y los que son producto de la media móvil y la desviación de la media; son similares, es decir, las curvas a lo largo de la secuencia tienen el mismo comportamiento; todos los gráficos, incluyendo los del análisis de agrupamiento se realizaron a partir de los datos originales del ADIE®.

Uno de los métodos estadísticos utilizados habitualmente para este tipo de estudios, es el análisis de cluster o análisis de agrupamiento, el cual permite establecer asociaciones, en este caso se asoció la materia orgánica palinológica de acuerdo a sus características comunes en cuanto a parámetros texturales, porcentajes composicionales y de concentración, se refiere.

El programa utilizado para realizar los análisis de agrupamiento fue el *MVSP*, *MultiVariate Statistical Package versión 3.1*. Las variables agrupadas se pueden observar en la *Tabla 7.1*, la cual es la matriz de datos de las características texturales de la materia orgánica que se preparó para la aplicación de todos los métodos estadísticos aplicados en este trabajo, aunadas a las variables composicionales (*Tabla 7.2*), variaciones de niveles de fluorescencia (*Tabla 7.3*) y la concentración (*Tabla 7.4*). Las especificaciones hechas al programa que dieron resultados satisfactorios son las siguientes:

- “Constrained clustering”\*
- Transformación de la data: ninguna
- Método de agrupamiento: farthest neighbour
- Distancia o Similaridad: euclíadiana

\*Esta opción permite mantener el orden original de las muestras a analizar, es decir, respeta el orden estratigráfico, lo cual es ideal para estudios geológicos de cualquier clase.

#### **2.4. FASE IV: FASE DE INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN:**

En esta etapa se integró toda la información obtenida, luego de realizarse una validación de los datos, paso necesario para la elaboración de un posterior modelaje estático paleoambiental del área en estudio.

Una vez obtenidos los resultados en su totalidad, se procedió a realizar una calibración coherente con el propósito de soportar las interpretaciones. Dicha calibración está basada en los análisis de palinofacies, la información de los estudios de foraminíferos y los análisis sedimentológicos.

## CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

### 3.1. MATERIA ORGÁNICA:

#### 3.1.1. Terminología<sup>1</sup>:

La materia orgánica que se encuentra dispersa en las rocas sedimentarias se denomina Materia Orgánica Sedimentaria (SOM) y es diferente a la originalmente depositada en dichas rocas, ya que ha sido sometida a procesos diagenéticos y de alteración térmica. En la terminología geoquímica, la fracción de esta materia orgánica sedimentaria que es insoluble en solventes orgánicos se conoce como el kerógeno (Tissot y Welte, 1984). Aunque en muchos estudios de generación potencial de hidrocarburos con métodos palinológicos se usa también este término, lo cual no es recomendable ya que en las preparaciones palinológicas no se utilizan solventes orgánicos (Batten, 1996b). El residuo de materia orgánica particulada, que queda después del tratamiento con los ácidos no oxidantes en rocas sedimentarias, se denomina apropiadamente en palinología **Materia Orgánica Palinológica**.

El significado de este término ha evolucionado hasta tener entidad propia en el estudio de paleoambientes, y se denomina **palinofacies** a la asociación de Materia Orgánica Palinológica (incluyendo a los palinomorfos) característica de un ambiente de sedimentación particular (Batten, 1996b) o de una determinada capacidad de generación de hidrocarburos (Tyson, 1995).

Tanto los petrográfos como los palinólogos han descrito las **Facies Orgánicas/Palinofacies**<sup>2</sup> a partir del estudio de muestras de kerógeno, así como también las han descrito para determinar o definir paleoambientes y evaluar las propiedades de las rocas.

---

<sup>1</sup> Tomado de Rull (1999)

Las facies orgánicas en general, son definidas en términos de material orgánico algal, amorfo, terrestre, oxidado, etc., es decir de manera cualitativa.

La situación en palinología es muy similar. La descripción común de las palinofacies es de la manera siguiente: “tejido leñoso/ amorfo de color marrón – negro, restos de plantas degradadas, tejidos vegetales degradados delgados”. Estos términos muy utilizados, pero al mismo tiempo subjetivos no proporcionan información acerca de las características texturales de las asociaciones orgánicas.

Sin embargo, si un conjunto estándar de datos para la caracterización de partículas y una clasificación común para la materia orgánica es adoptada, será posible compilar una base de datos cuantitativamente sustancial en un tiempo relativamente corto.

### ***3.1.2. Clasificación<sup>1</sup>:***

Existen diversas clasificaciones de la Materia Orgánica Palinológica, que obedecen a diferentes puntos de vista y aplicaciones (Tyson, 1995). Sin embargo el primer nivel de subdivisión suele ser muy parecido, discriminando tres grandes grupos: palinomorfos, materia estructurada y materia no estructurada (también llamada amorfa por algunos).

#### ***3.1.2.1. Los palinomorfos (Batten 1996 a,b):***

Tschudy (1961) refiere éste término a todos los microfósiles con paredes de material orgánico resistentes al ácido, que pueden ser hallados en las preparaciones palinológicas citados en la metodología. En adelante, dentro del texto los siguientes microfósiles serán considerados palinomorfos: pequeñas esporas (isosporas, microesporas), megaesporas, esporangia, granos de pre-polen y polen, pequeñas

---

<sup>2</sup> Tomado de Lorente (1990)

semillas y cuerpos similares a semillas (incluyendo envolturas de huevos), mallas reticuladas (considerados como fragmentos de capullos), esclerotia, cuerpos frutales, esporas y otras partes reproductoras de los hongos, “*Charophyte gyrogonites*” no calcáreos, acritarcos (incluyendo leioesferas), *Phycomata* (o quistes) de algas prasinofitas (*Tasmanidites*, *Crassosphaeridites*, etc.), cuerpos fluorescentes tamaño nanofósil y cuerpos similares a bacterias, quistes de algas marinas (dinoflagelados), “chitinozoos”, “melanosclerites”, mandíbulas de gusanos marinos (escolecodontes), membranas internas de foraminíferos.

### 3.1.2.2. *Materia orgánica estructurada:*

Las partículas que se incluyen en esta parte de la clasificación son aquellas cuya forma o textura reflejan organización en los tejidos, por ejemplo, los fragmentos leñosos de cutículas, de epidermis, tejidos de animales, hifas o micelios de hongos, entre otras.

### 3.1.2.3. *Materia orgánica no estructurada:*

Estas partículas no presentan ni en su forma ni en su textura, nada que refleje organización de tejido y se puede subdividir a su vez en *partículas homogéneas* (mayores de 2  $\mu\text{m}$ , con un borde bien definido y apariencia uniforme), *partículas heterogéneas* (mayores de 2  $\mu\text{m}$ , sin bordes bien definidos y sin apariencia uniforme) y *materia fina dispersa* (todas las partículas menores de 2  $\mu\text{m}$ ). Dentro de cada una de las dos primeras categorías, las subdivisiones se efectúan por la textura (vítreo, granular, esponjosa, laminar, etc.) y sus propiedades de fluorescencia.

### 3.1.2.4. *Clasificaciones más utilizadas de la materia orgánica:*

A continuación se presentan las tres clasificaciones más utilizadas a nivel mundial:

- *Clasificación de la materia orgánica según Batten (1996 a,b):*

➤ Palinomorfos

Granos de polen y esporas  
Esporas de hongos y otras partes reproductoras  
Quistes de dinoflagelados  
Acritarcos  
Algas prasinofitas  
Algas clorococales  
Zygnemataceas y otras algas verdes  
Cianobacterias  
Membranas de foraminíferos  
Quitinozoos  
Escolecodontos  
Misceláneos

➤ Materia orgánica estructurada

Fitoclastos

Resto leñoso (negro o marrón)  
Carbón y otros fitoclastos negros  
Cutículas  
Cortezas y corcho  
Otros tejidos no cuticulares  
Tubos, filamentos y cabellos  
Hifas de hongos

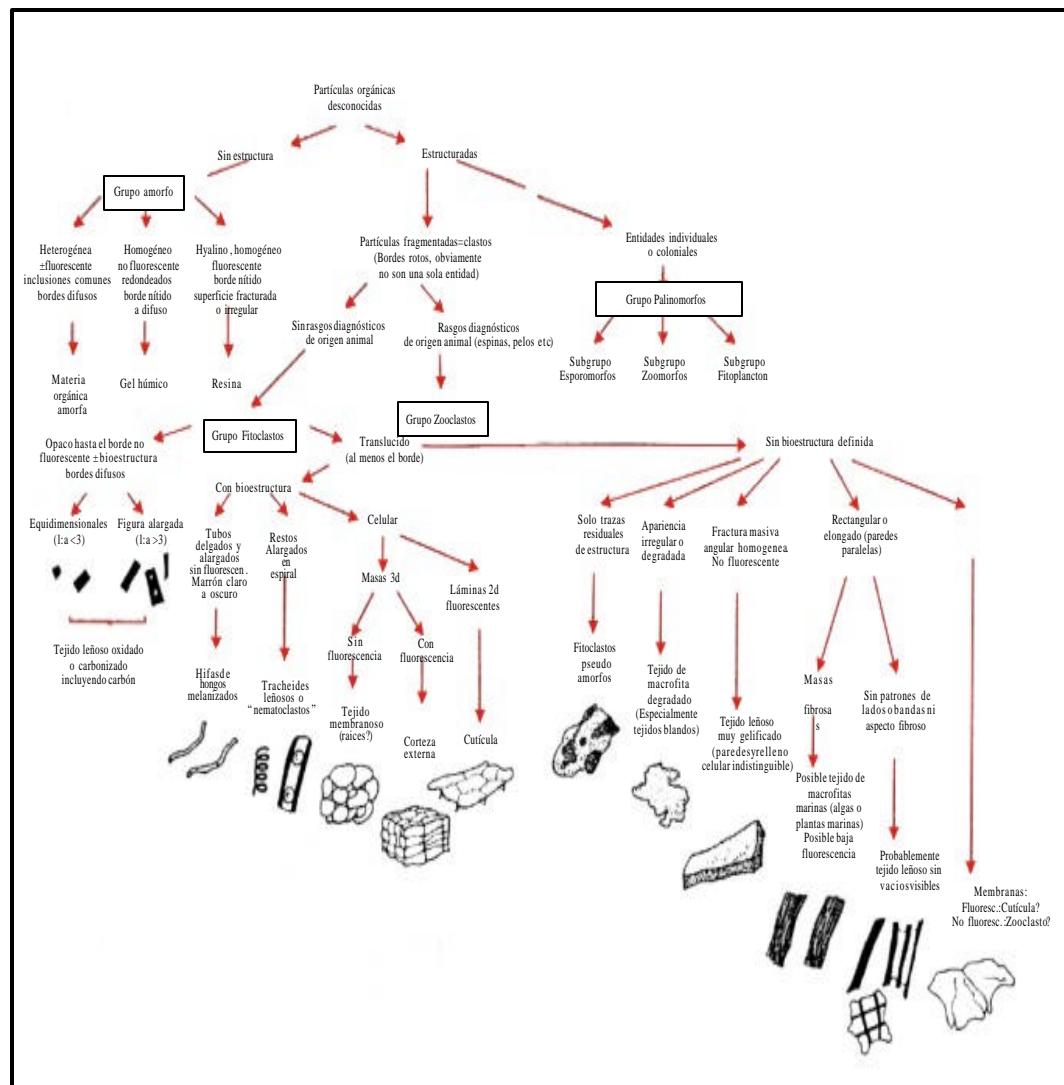
Zooclastos

➤ Materia orgánica no estructurada

Materia orgánica amorfa  
Materia orgánica amorfa de origen terrestre  
Materia orgánica amorfa de origen marino  
Materia gelificada  
Resina y ámbar  
Bitumen sólido

- Clasificación de la materia orgánica según Tyson (1995):

Los principales tipos de partículas que se reconocen en esta clasificación se observan en la *Figura 3.1*.



**Figura 3.1. Clasificación de la materia orgánica.** Tomado y modificado de Tyson (1995).

- *Clasificación de la materia orgánica según Lorente (1986):*

Las clasificaciones de materia orgánica a nivel mundial en general, no han sido enmarcadas en una sola. No obstante, la propuesta por Lorente (1986) es la más característica y completa, por lo tanto será la utilizada en el presente trabajo, la cual es descrita a continuación (Lorente, 1986):

<sup>2</sup>La presencia o ausencia de fluorescencia permite la diferenciación automática de dos principales grupos:

➤ *Materiales fluorescentes:*

Esta categoría comprende los siguientes tipos de materia orgánica (pero en este nivel no es posible hacer una diferenciación):

- *Material acuático:* Masas algales y bacteriales, algas coloniales y células algales simples.
- *Material terrestre:* Gel húmico con inclusiones, resina, cutícula, esporomorfos y restos esqueléticos de animales.

➤ *Materiales no fluorescentes:*

- *Material terrestre:* Carbón, material vegetal degradado, hongos, epidermis y restos leñosos.

Una subdivisión automática es posible con base en la presencia o ausencia de la estructura interna o externa:

- *Materiales fluorescentes estructurados:* Algas coloniales, células algales simples, polen y esporas.
- *Materiales fluorescentes no estructurados:* Masas algales y bacteriales, resina y gel húmico con inclusiones
- *Materiales no fluorescentes estructurados:* Restos de epidermis, restos de madera y restos de hongos.
- *Materiales no fluorescentes no estructurados:* Gel húmico, carbón y material vegetal degradado.

En la *Tabla 3.1* se muestra la clasificación de Lorente (1986) basada principalmente en la división según su origen (*Tabla 3.1.a. materia orgánica palinológica de origen acuático* y *Tabla 3.1. b. materia orgánica palinológica de origen terrestre*).

PALINOMACERALES		EQUIVALENTES MACERALES EPETROLOGÍA ORGÁNICA		EQUIVALENZA CON DIAGRAMA DE WANKREWILLEN
MATERIAL ACUÁTICO	NO ESTRUCTURADO	Masas algales	Sapropelítico	I / II
	ESTRUCTURADO	Masas bacteriales	Sapropelítico	
		Algas coloniales	Alginitas	I
		Algas celulares simples	Alginitas	II / I

Tabla 3.1. a. Clasificación de la materia orgánica palinológica de origen acuático según Lorente (1986).

PALINOMACERALES		EQUIVALENTES MACERALES EN PETROLOGÍA ORGÁNICA		EQUIVALENCIA CON DIAGRAMA DE VAN KREVELEN	
MATERIAL TERRESTRE	NO ESTRUCTURADO	Gel húmico	Puro	Colinita	<b>III</b>
			Con inclusiones	Desmocolinita	<b>III / II</b>
	Resina			Resinita	<b>II</b>
	Carbón			Fusinita, semifusinita, inertodetrinita	<b>IV</b>
	Material vegetal degradado				<b>III</b>
ESTRUCTURADO	Exinico	Cuticular	Cuticular	Cutinita	<b>II</b>
			Esporomórfico	Esporotinita	<b>I</b>
			Restos de hongos	Esclerotinita	<b>IV?</b>
			Restos de esqueletos de animales		<b>II / III?</b>
	Epidermal			Telinita	<b>III</b>
	Leñoso			Telinita	<b>III</b>

Tabla 3.1. b. Clasificación de la materia orgánica palinológica de origen terrestre según Lorente (1986).

### 3.2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA<sup>3</sup>:

Los estudios de materia orgánica se pueden realizar a través de diferentes técnicas, algunas de ellas son las siguientes: Ópticas, Químicas, Físicas y Físico-Químicas.

Es importante destacar que para el presente estudio se aplica la técnica óptica y en ella se realiza el enfoque, para la caracterización de la materia orgánica.

#### 3.2.1. Caracterización de la materia orgánica por técnicas ópticas:

Existe una diferenciación entre dos grupos principales, uno de origen acuático (de agua dulce o marino) y uno de origen terrestre. Ambos grupos se dividen en materiales estructurados y no estructurados, dependiendo del reconocimiento de la estructura celular.

La diferenciación entre materiales fluorescentes y no fluorescentes es importante en la descripción individual, debido a que el alto contenido de hidrógeno en la materia orgánica fluorescente indica una influencia directa en la generación del tipo de hidrocarburo.

La generación de hidrocarburo a partir de los diferentes tipos de materia orgánica se puede distinguir en la *Tabla 8.3*. De igual forma se realiza una correlación con los principales tipos de kerógeno (*Figura 8.9*).

### 3.2.1.1. *Materia orgánica acuática no estructurada:*

Esta categoría incluye dos clases genéticamente diferentes: una de origen **algal** y una de origen **bacterial**, conocidas en petrología orgánica como masa sapropelítica.

Bajo luz transmitida ambos materiales parecen una delgada nube sin forma, pero el material algal generalmente tiene un aspecto peculiar en cuanto a su estructura interna se refiere, pues guardan su estructura genética. Por otra parte, ambos materiales son difíciles de distinguir de ciertos tipos de materiales vegetales degradados. Esta diferenciación es especialmente importante para los dos primeros debido a que tienen buen potencial para la generación de hidrocarburo líquido, mientras que el último es el elemento principal para la generación de gas.

La distinción solo es posible utilizando luz fluorescente (U.V. o Azul). El material de tipo algal bacterial presenta colores amarillos fluorescentes, mientras que el material vegetal degradado no presenta fluorescencia.

### 3.2.1.2. *Materia orgánica acuática estructurada:*

Esta categoría también incluye dos clases: material algal celular simple o colonial. Ambas clases son conocidas en Petrología orgánica como alginita. Bajo luz blanca transmitida se encuentran constituidas de todos los géneros de algas fósiles reconocidos.

Los restos de algas coloniales presentan un intenso color amarillo fluorescente (U.V.). Entre los mejores grupos conocidos de esta categoría están las colonias de *Botryococcus*.

---

<sup>3</sup>Tomado de Lorente (1986).

Los restos algales celulares simples presentan una intensa tonalidad amarilla a naranja (U.V), dependiendo del grupo fósil que se encuentre presente.

### 3.2.1.3. *Materia orgánica terrestre no estructurada:*

Esta categoría incluye cuatro clases, cuya naturaleza es distintiva para cada una: dos de ellas son producto de la exudación de las plantas (gel húmico y resina), las otras dos son el resultado de la transformación de restos vegetales (carbón y material vegetal degradado).

El **gel húmico** se observa bajo luz transmitida como fragmentos angulares de color dorado oscuro a marrón oscuro con estructura no celular y algunos de ellos con fractura concoidea. Muchas partículas oscuras generalmente tienen los bordes brillantes. Bajo luz blanca incidente, la carencia de una estructura celular ayuda a distinguir estas partículas de otras categorías, como por ejemplo el material leñoso oscuro o algunos fragmentos de carbón. La presencia de inclusiones permite la división de esta clase en dos grupos: **gel puro** y **gel con inclusiones**, pero la única manera de diferenciar los dos grupos es a partir de la luz ultravioleta. El gel húmico no posee fluorescencia. Sin embargo las inclusiones tienen fluorescencia de color amarillo y generalmente están constituidas por fragmentos de cutícula y esporomorfos.

La diferenciación es importante desde el punto de vista de generación de hidrocarburos, ya que dependiendo del tipo y la cantidad de inclusiones, este material puede ser un alto o bajo potencial generador de hidrocarburo líquido.

La **resina** se muestra bajo luz transmitida como material concoideo de color dorado de muchas formas: redondeadas, en forma de gotas y en forma de tubos.

Cuando se aplica la luz ultravioleta, el material presenta fuerte fluorescencia en colores amarillos o amarillos rojizos.

El **carbón** se muestra bajo luz transmitida de color negro; son fragmentos angulares, los cuales usualmente son imposibles de diferenciar del gel húmico oscuro con luz blanca transmitida. Bajo luz blanca incidente, estos fragmentos son claramente reconocidos por sus propiedades grafitosas, pero son absolutamente inertes bajo luz incidente ultravioleta.

Este material es probablemente importante para la formación de gas, pero no produce acumulaciones comerciales (Gutjahr, 1983).

El **material vegetal degradado** es amorfo y de colores marrones oscuros bajo luz blanca transmitida. Este material es muy difícil de distinguir de la materia orgánica no estructurada, especialmente cuando la estructura celular no ha sido preservada. Bajo luz incidente fluorescente es inerte y bajo luz blanca incidente presenta chispas brillantes.

Cuando la degradación es producida por el ataque bacterial (biodegradación), este material sufre una destrucción diferencial de los componentes lípidos y comienza indirectamente a enriquecerse de los componentes lípidos de los cuerpos bacteriales (Bailey, 1981). Estos procesos influyen en la generación potencial de hidrocarburo, dependiendo del grado de transformación.

Es posible alcanzar el nivel en el cual el material vegetal original es transformado a una masa bacterial fluorescente.

### 3.2.1.4. Materia orgánica terrestre estructurada:

Esta categoría incluye cuatro subdivisiones, todas ellas derivadas de los principales organismos vivientes en ambientes terrestres.

El **material exínico** es un grupo complejo con cuatro componentes diferentes, todos ellos con características especiales de los restos de tejidos más externos de algunos grupos de animales (artrópodos) y de plantas (incluyendo hongos). Cada grupo se describe por separado:

- El *material cuticular* está compuesto por los restos de las capas más externas de los tallos, raíces y corteza (Stach *et al.*, 1982). Este material es secretado por la epidermis y posee de manera impresa el patrón celular epidermal. Por esta razón es muy difícil distinguir la cutícula de la epidermis bajo luz blanca transmitida. Con el uso de la luz incidente fluorescente, esta diferenciación es posible, porque el material cuticular posee colores amarillos a naranjas fluorescentes (luz U.V y luz azul, respectivamente), mientras que el material epidermal no presenta fluorescencia.

La principal razón por la cual se diferencia el material cuticular del epidermal es que el primero permite la generación de hidrocarburo líquido y el segundo genera gas.

Típicamente, la preservación de las hojas en sedimentos, está asociado con ambientes fluvio-deltáicos de baja energía y lacustres, pero su abundancia es rara vez algo más que local (Gastaldo y Huc, 1992). Solo en contadas oportunidades en láminas de carbón tienden a formar la mayor parte de la materia orgánica fósil preservada (Teichmüller, 1982; Dimichele *et al.*, 1984; Han 1989; Lapo y Drozdova 1989; Nip *et al.*, 1989).

La mayor parte de los fragmentos cuticulares en las preparaciones son originados en hojas. La abundancia en sedimentos decrece rápidamente al alejarse de los distributarios del delta (Muller, 1959; Gastaldo y Huc, 1992) y estos son finamente triturados y además no comunes en ambientes marinos abiertos.

La abundancia relativa de cutículas está directamente relacionada con pantanos salobres (Hancock y Fisher, 1981) “delta top embayment” y prodelta (Parry *et al.*, 1981; Nagy *et al.*, 1984) sorpresivamente son reportados en depósitos de “levee” (Hancock y Fisher; Fisher y Hancock, 1985). También son comunes en rellenos de canales abandonados y lutitas lacustres que se acumulan en los planos aluviales (Allen, 1976; Batten, 1977). Boulter y Riddick (1986) reportan que las cutículas indican condiciones depositacionales de alta energía. Habib (1982) indica que también se hallan en entrampadas en abanicos submarinos.

- El *material esporomórfico* está representado por todas las especies de polen y esporas de acuerdo a sus características propias morfológicas. Se presenta de colores amarillos fluorescentes bajo luz ultravioleta.

- Los *restos de hongos* son representados por todas las especies de estructuras de hongos. Este grupo es absolutamente inerte bajo luz incidente ultravioleta.

- Los *restos de animales esqueletales* son representados por un grupo de tejidos semitransparentes de color amarillo oscuro a marrón, el cual consiste probablemente de material quitinoso. Presenta fluorescencia bajo luz incidente ultravioleta.

El *material epidermal* está compuesto de los restos de las capas celulares externas de las plantas (*Figura 3.2*). Bajo luz transmitida se observa su estructura celular, pero es necesario, como se dijo anteriormente, aplicar la luz ultravioleta para diferenciarlo del material cuticular.

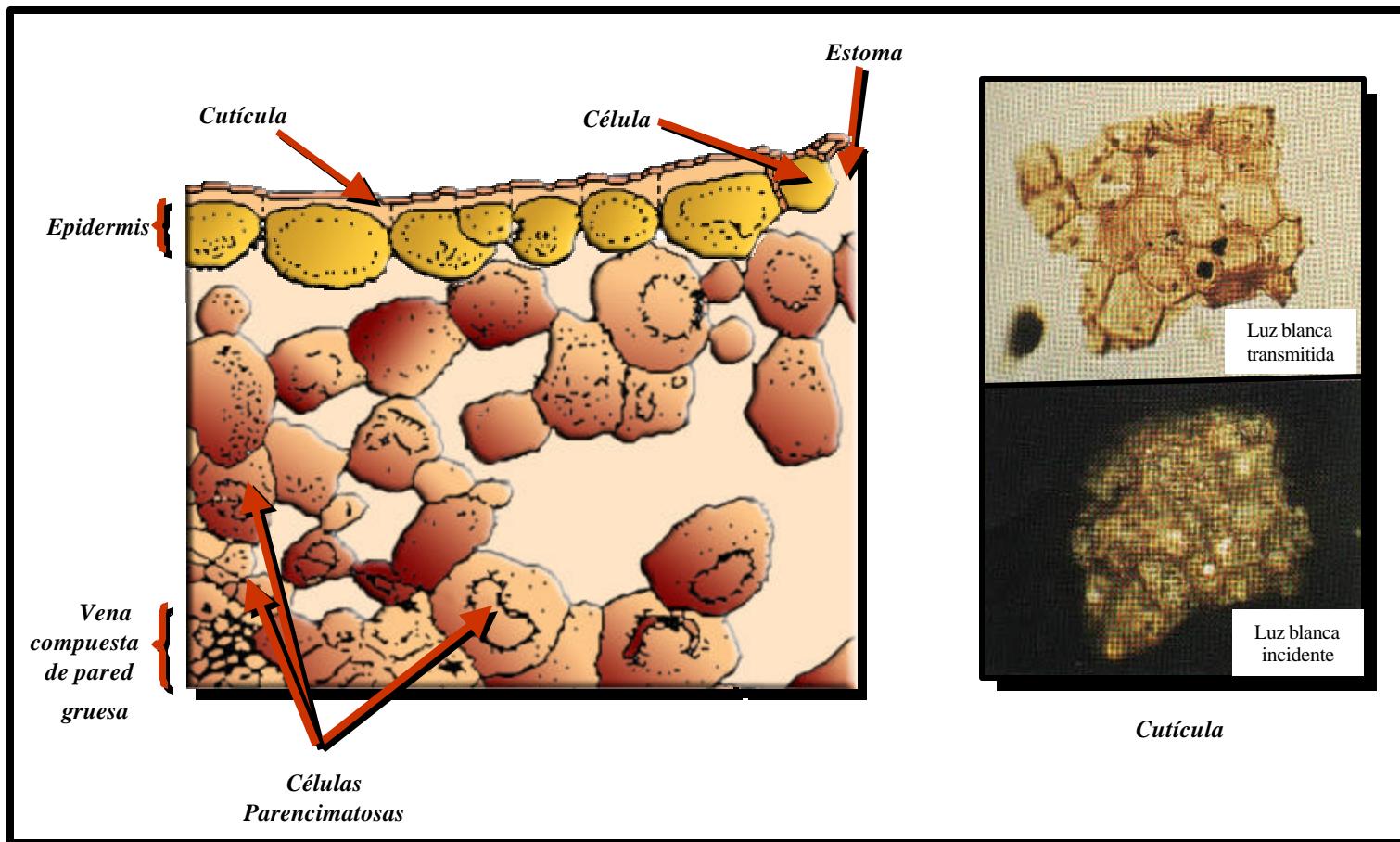


Figura 3.2. Sección esquemática de hoja “*Lycopodium*” presentando la capa cuticular y epidermal. Tomado y modificado de Lorente (1986).

El **material leñoso** está compuesto por restos de tallos, corteza, raíces (excluyendo el material epidermal). Bajo luz transmitida estas estructuras vegetales se reconocen fácilmente por sus tejidos variados (alargados, enrejados, etc.), por sus colores marrones oscuros y por sus bordes rectos. Por otra parte, bajo luz ultravioleta este material es inerte.

Este material, al igual que el material epidermal, es un buen potencial para la generación de gas.

El volumen de fitoclastos dispersos que se preservan en los sedimentos pueden ser clasificados como restos leñosos en varios estados de preservación. Las paredes celulares responden de modo diferente dependiendo de su composición. Típicamente, su integridad estructural y las inclusiones; se perderán, las paredes cambiaran su forma original y se gelifican y decoloran (Batten, 1996 a,b).

Siempre después de un ataque significativo por hongos, la estructura de los restos leñosos todavía se preserva intacta. Esto es porque muchos hongos destruyen la celulosa y la hemicelulosa. El proceso decae acompañado de la pérdida de peso, lo cual es más rápido cuando los restos leñosos son expuestos a la atmósfera y periódicamente son humedecidos y bien oxigenados, lo que permite el crecimiento de hongos. Las condiciones continuamente secas y/o saturadas de agua, inhiben el ataque (Batten, 1996 a,b).

Asociaciones de relativa abundancia de restos leñosos negros o fitoclastos opacos, son observados en antiguos sedimentos depositados en ambientes de comparativamente alta energía, tales como: canales, barras de canales, “levees” y otros ambientes de frentes de delta proximales, estuarios y ambientes de carácter marino-costeros. No obstante estas partículas también se pueden observar en facies marino-profundo (Batten, 1996 a,b).

La formación de materiales similares al **carbón** por oxidación subacuática y/o subárea, además de alteración por ataque de hongos actualmente permanece sin evidencia (Batten, 1981; Winston, 1993).

### 3.2.1.5. *La materia orgánica amorfa:*

La aplicación del término materia orgánica amorfa indica una falta de forma distintiva y sin borde definido. Esto sin embargo no quiere decir que su apariencia física y composición química (Suzuki, 1984; Tissot, 1984) sean invariablemente la misma. El origen, el ambiente de deposición y el grado de alteración termal (Batten, 1983) tienen algún efecto en estas características, y los fitoclastos, palinomorfos, pirita y otros minerales detriticos, además de cada microfósil no palinológico, puede ser incorporado en esta matriz (Batten, 1996 a,b).

Debido a que ninguna de las clasificaciones para la materia orgánica amorfa está completa, algunos autores como Batten (1983) prefieren describir la apariencia general de este tipo de materia orgánica sin una categoría formal desde el punto de vista morfológico o de origen. El origen puede ser difícil de determinar sin utilizar métodos adicionales como la caracterización paleontológica y sedimentológica. El color no puede ser utilizado para la clasificación debido a los cambios que toman lugar debido al calentamiento (Christiansen, Koch *et al.*; 1989).

- La *materia orgánica amorfa de origen terrestre* puede contener restos celulares biodegradados y productos de este proceso, así como las precipitaciones orgánicas.

La materia orgánica puede estar dominada por grupos de palinofacies asociadas con condiciones de agua fresca a fluvio-marinos, lacustrino-lagunal y

pantanos salobres. Estas partículas tienden a disgregarse y a ser removidas más fácilmente en las preparaciones palinológicas por oxidación.

- La *materia orgánica amorfa de origen acuático*, en especial la de origen marino, se determina fácilmente con luz fluorescente, indicando que es termalmente inmadura o madura para la generación de hidrocarburo líquido. Bajo luz transmitida se observan pequeñas partículas oscuras estructuradas y palinomorfos que se asocian con las masas amorfas (Teichmüller, 1982). La común y fuerte fluorescencia son claramente indicativos de su origen algal. La escasez de materiales orgánicos estructurados de origen marino, es seguramente un reflejo de la falta de tejidos resistentes (Estes y Steinberg, 1988), lo cual puede explicar el registro pobre de algas marinas (Keen y Piper, 1976).

En contraste, la presencia de algas reconocibles y en general la aceptación de la materia amorfa marina es en mayor parte derivada de las algas alteradas microbianamente, el origen preciso de la materia amorfa es incierto. La especulación de este problema se ha incrementado en relación con la posibilidad de que la materia microbial esté envuelta. El carácter laminado de algunas acumulaciones de materia amorfa es utilizado como evidencia en el soporte de ésta y en escala palinológica puede también ser reflejado por su ocurrencia en hojuelas.

De acuerdo a Tyson (1989) la materia amorfa recuperada de dichas rocas atan de manera uniforme y fuerte a las partículas fluorescentes con bordes distintivos algunas veces angulares. También puede contener minúsculos cuerpos fluorescentes.

Los términos amorfinita y sapropelinita fueron adaptados por Van Gijzel, 1982; posteriormente modificado por Senftle *et al.*, 1987 y Mukhopadhyay *et al.*, 1985, respectivamente, como una alternativa a la bituminita. Van Gijzel (1982) considera que son formalmente equivalentes a la materia orgánica amorfa vista por palinólogos a través de luz transmitida, y describe tres variaciones: (1) materia

esponjosa amorfa resultante de biodegradación de algas (sapropelinita I) asociado con *Botryococcus* y *Tasmanites*; (2) materia mezclada sin estructura, amorfa finamente dispersa, granosa y esponjosa; que también contiene restos de fitoplancton y zooplancton y se piensa que es derivado de mezclas de plancton con lípidos bacteriales (sapropelinita IIA; Mukhopadhyay, 1989b) y (3) materia similar a la anterior pero más agrupada y grumosa con fragmentos de esporas, cutícula, quistes de dinoflagelados y otros planctónicos que pueden ser preservados (sapropelinita IIB; Mukhopadhyay, 1989b). La intensidad de la fluorescencia de estas últimas es significativamente menor que aquellas de sapropelinita I, como puede ser esperado debido a la gran contribución de material derivado de plantas terrestres.

### **3.3. PROCESOS DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA:**

#### ***3.3.1. La degradación y biodegradación:***

La degradación y biodegradación son dos procesos que pueden ser detectados en diferentes tipos de materia orgánica bajo luz transmitida, basado en la presencia de pirita framboidal y en los contornos difusos de las partículas, pero también pueden estar confirmados por el brillo en la superficie de estos materiales cuando son observados bajo luz blanca incidente.

#### ***3.3.2. Gelificación:***

Se refiere en parte a la formación de geles húmicos amorfos. Estas substancias pueden ser producidas durante el complejo proceso de caída y degradación del tejido de las plantas que resultan en la preservación de las características originales o en la homogeneización de las estructuras. Aunque los petrólogos usualmente pueden distinguir varias formas de materiales gelificados, ésta es una tarea más difícil para los palinólogos. En efecto, resulta complicado discernir

entre los fitoclastos marrones de los negros, sin embargo no incrementa significativamente la habilidad para interpretar palinofacies. Esto es debido a que ellos son derivadas de la misma serie de procesos que causan la expansión, relleno, y eventual eliminación de las estructuras (*Batten, 1996 a,b*).

### **3.3.3. *Materia orgánica amorfa y anoxia:***

La materia amorfa usualmente es el componente orgánico dominante de sedimentos acumulados en condiciones marinas anóxicas (Summerhayes, 1987; Tyson 1987) especialmente en áreas alejadas de una significativa influencia terrestre. En carbonatos marinos esto puede ser derivado casi enteramente de plantas acuáticas. Los restos de microforaminíferos pueden ser comunes, además de membranas de bacterias y productos de descomposición que también son preservados (Raynaud *et al.*, 1988; Parkes *et al.*, 1990, 1993), aunque muchos autores opinan que las bacterias sólo representan un pequeño porcentaje de la materia orgánica sedimentaria. La materia amorfa puede también dominar el contenido orgánico de sucesiones no marinas (Batten, 1983; Duncan y Hamilton, 1988; Stemmerik *et al.*, 1990), nuevamente en respuesta a la dioxia - anoxia. La escasez de detritus de plantas terrestres en los ambientes marinos (Sladen y Batten, 1984) y no marinos (Powell *et al.*, 1990) puede ser correlacionada con clima árido o semi-árido.

### **3.3.4. *Ocurrencia de pirita:***

En condiciones de bajo nivel de oxígeno, el consumo de materia orgánica por metazoos es reducida o eliminada, y la degradación toma lugar por desnitrificación y luego por las bacterias anaeróbicas (fermentación, metanogenesis, reducción de sulfato). Los porcentajes varían de acuerdo con la temperatura (Given *et al.*, 1983; Bender y Heggie, 1984; Tyson, 1995). Sin embargo la descomposición anaeróbica no ocasiona la completa oxidación de la materia orgánica. Sus componentes más estables, tales como los lípidos tienden a acumularse en los sedimentos (Kelts, 1988).

La mayor reducción de sulfatos ocurre en los centímetros superiores de los depósitos; uno de los productos residuales es H<sub>2</sub>S el cual puede reaccionar con el hierro y formar pirlita especialmente cuando la depositación en condiciones anóxicas es lenta (Berner 1978, 1981, 1984; cf. Fisher y Hudson, 1987). Comúnmente la pirlita es abundante en conjunto con algas marinas, materia orgánica amorfa y restos de materia orgánica parcialmente carbonizada en ambientes de marinos a salobres (Cohen *et al.*, 1984; Batten, 1985; Lin y Morse, 1991; Brown y Cohen, 1994). Es menos común asociada a restos de plantas acuáticas. Los ambientes anóxicos de agua dulce a salobre no marina e hipersalinos, en los que los niveles de sulfato son bajos, están generalmente menos propensos a las bacterias relacionadas con la producción de pirlita. En contraposición, las arqueobacterias productoras de metano pueden ser descomponedores significativos (Batten, 1996 a,b).

### **3.4. PETROLOGÍA ORGÁNICA VS. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA PALINOLÓGICA<sup>3</sup>:**

Es importante destacar que la relación que existe entre la clasificación de la materia orgánica palinológica y la terminología de la petrología orgánica es parcial porque la filosofía entre ambas es completamente diferente.

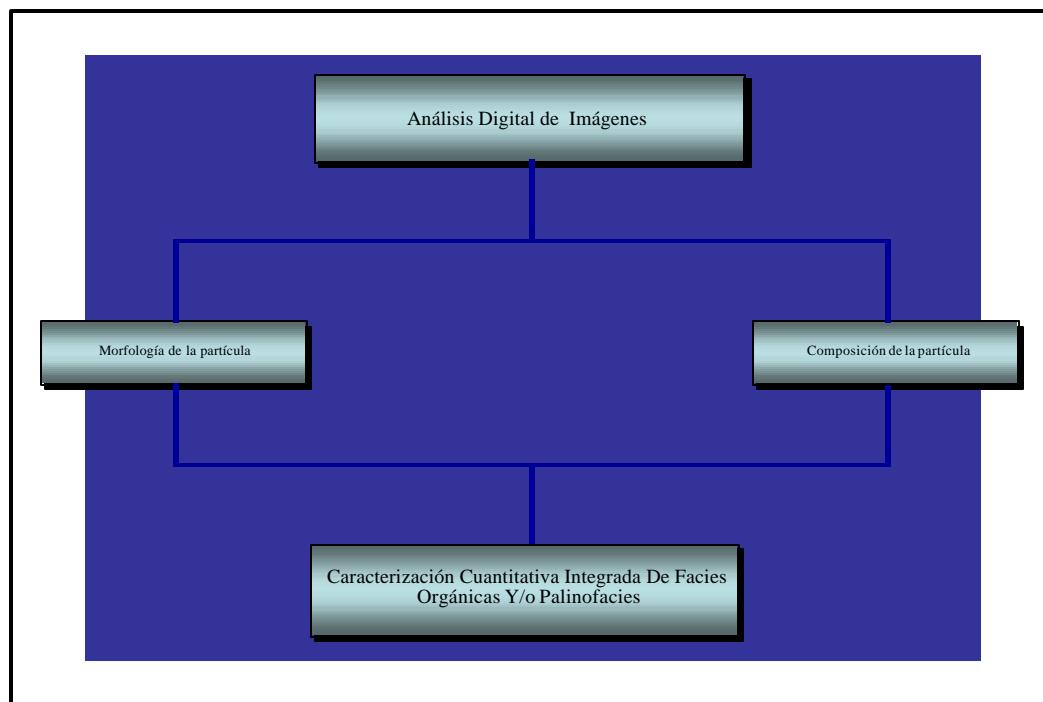
Por ejemplo, en la clasificación de petrología orgánica (Stach *et al.*, 1982), los restos de hongos son incluidos en el grupo de la inertita, junto con la fusinita y la semifusinita, pero desde el punto de vista palinológico es más lógico incluir esta categoría en la *materia orgánica terrestre estructurada*.

Para los palinólogos resulta más importante el entendimiento biológico y bioquímico de los residuos orgánicos fósiles, pues de este modo se obtiene información sobre los paleoambientes y la generación de hidrocarburo potencial.

Mientras que para los petrólogos orgánicos la clasificación arroja información sobre la calidad del carbón y la historia diagenética de los depósitos.

### 3.5. ESTUDIOS CUANTITATIVOS DE LA MATERIA ORGÁNICA<sup>2</sup>:

Con base en lo discutido previamente, se realizan los estudios de caracterización de materia orgánica y de las palinofacies, a través de la cuantificación de análisis digital de imágenes (ADIE®) de las partículas de acuerdo a la composición y la morfología, lo cual se esquematiza en la *Figura 3.3*:

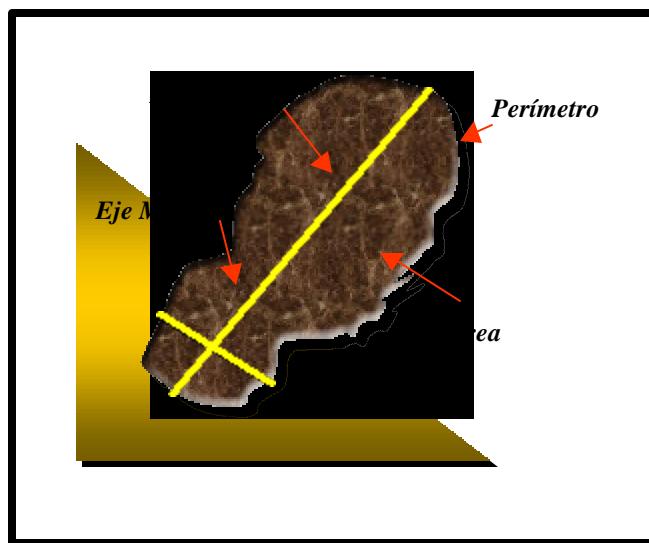


*Figura 3.3. Esquema del estudio de caracterización de materia orgánica con ADIE®.*

### 3.5.1. Morfología de las partículas:

#### 3.5.1.1. Cantidades automáticas básicas:

El análisis digital de imágenes calcula cantidades básicas para cada partícula presente en el campo de visión dado: área, perímetro, eje máximo, eje mínimo, además de algunos otros ejes presentes en las partículas (*Figura 3.4*).

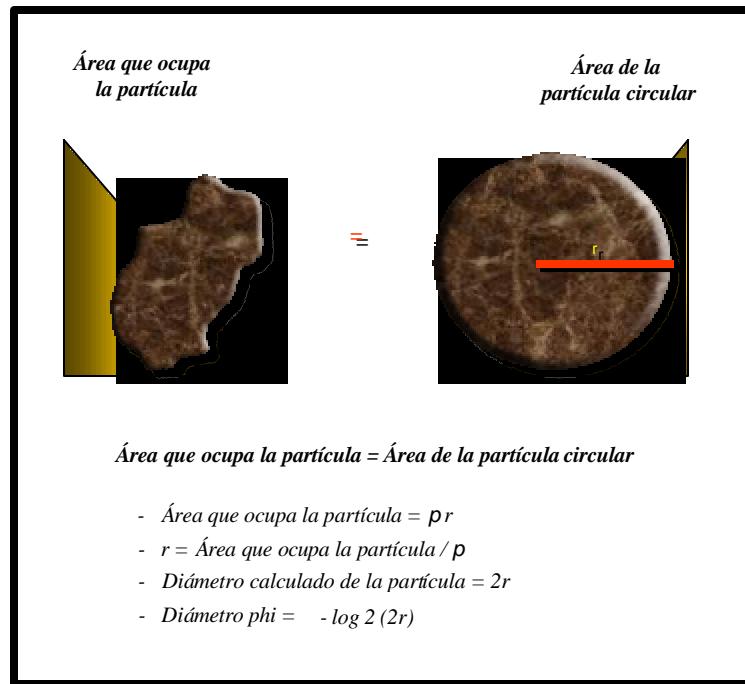


*Figura 3.4. Partícula orgánica de análisis digital de imágenes. Medidas automáticas básicas.*

#### - Cálculo del diámetro phi:

El diámetro *phi* es utilizado para la caracterización de las partículas y el cálculo de diferentes parámetros de las mismas. Está basado en la conversión matemática que compara a la partícula con un círculo utilizando el área de la misma como el área de una partícula circular perfecta (Lorente, 1986).

En la *Figura 3.5* se ilustra el tamaño de la partícula y el cálculo del diámetro *phi*.



*Figura 3.5. Cálculo del diámetro phi. Notese que esto es equivalente al diámetro phi utilizado para los análisis granulométricos sedimentológicos convencionales.*

- *Caracterización de la morfología:*

El sistema permite calcular y almacenar las diferentes variables relacionadas a las partículas y clasificarlas de acuerdo a la *escala Ø (phi)* que se encuentra en la tabla de datos *clase\_diámetro* dentro de la base de datos de la aplicación ADIE® (Guía del Sistema ADIE®, 2000).

Los datos están basados en el porcentaje del número de partículas que corresponde a cada una de las clases granulométricas recalculada con respecto al número total de partículas presentes en la imagen.

Adicionalmente, asumiendo  $\emptyset N$  el valor de  $\emptyset$  para el cual se alcanza el N% del valor máximo de la curva acumulativa, se calculan parámetros estadísticos requeridos por estudios granulométricos, a saber:

- *Tamaño:  $(AEl6 + AE50 + AE84)/3$*

Es una indicación de los esfuerzos que las corrientes de agua, hielo o aire tuvieron para acarrear el sedimento antes de ser depositado (Navarro, 1998).

- *Escogimiento o Selección:  $(AE75 - AE25)/2$*

En la *Tabla 3.2* se muestran los intervalos de escogimiento según Trask (1932):

*Tabla 3.2. Intervalos de escogimiento según Trask (1932).*

<i>So</i>	<i>Grado de escogimiento</i>
<2,5 *	Bien escogido
~3	Moderadamente escogido
>4,5	Mal escogido

- *Agudez o Kurtosis:  $(AE95 - AE5)/2.44(AE75 - AE25)$*

Conocida también como angulosidad gráfica indica la agudeza o angulosidad de la curva de frecuencia, lo cual es reflejo del grado de escogimiento (Navarro, 1998). En la *Tabla 3.3* se muestran los intervalos de la kurtosis según Folk (1954).

**Tabla 3.3. Intervalos de kurtosis según Folk (1954).**

<b><math>K_G</math></b>	<b>Kurtosis</b>
< 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

➤ Desviación estándar:  $[(\bar{A}84 - \bar{A}16)/4 + (\bar{A}95 - \bar{A}5)/6.6]$

Indica el grado de escogimiento de la muestra y la respuesta de las fluctuaciones en el nivel de energía de la corriente basándose en la variedad de tamaños (Navarro, 1998). En la *Tabla 3.5* se muestran los intervalos de escogimiento según Folk (1954).

**Tabla 3.4. Intervalos del grado de Escogimiento según Folk (1954).**

<b><math>S_I</math></b>	<b>Grado de escogimiento</b>
<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

- *Caracterización de la forma del grano:*

El método de determinación de tamaño de grano está basado en el cálculo del diámetro que tiene la partícula.

Los parámetros necesarios para determinar la forma del grano son el área de la partícula, el perímetro, el eje mínimo y el eje máximo. La forma de la partícula en el ADIE® se encuentra expresada por los datos de la elongación y la irregularidad relativa almacenados en su base de datos.

➤ *Elongación:*

La elongación está basada en la relación: eje máximo/eje mínimo y representa el grado de elongación de la partícula. Los resultados son expresados con rangos que van desde 1 (perfectamente equidimensional) hasta >10 (partículas filiformes). En la *Tabla 3.6* se muestran los intervalos de los diferentes tipos de elongación.

➤ *Irregularidad relativa:*

Por su parte, la irregularidad relativa está basada en la relación entre el perímetro de la partícula y su perímetro mínimo posible. El cálculo del perímetro mínimo posible está basado en un procedimiento similar para el cálculo del diámetro *phi*. El perímetro mínimo puede ser calculado asumiendo el perímetro de una partícula circular. Así que:  $r = \text{Área que ocupa la partícula}/\pi = >$  al perímetro calculado  $= 2\pi r$  por el perímetro calculado  $= 2(\text{Área que ocupa la partícula})/\pi$ .

Los resultados son almacenados en la base de datos de la aplicación ADIE®, dentro de los siguientes rangos:

1.00 – 1.50	Regular
1.60 – 2.00	Irregular
2.10 – 3.00	Muy Irregular

*Tabla 3.5. Intervalos de la elongación de las partículas.*

Límites de Clases	Representación Esquemática	Clases de Elongación
1.00		Equidimensional
1.49		
1.50		Quasidimensional
1.99		
2.00		Tabloide
2.99		
3.00		Tabloide elongado
5.99		
6.00		Tabloide Fuertemente elongado
10.00		
>10.00		Filiforme

### 3.6. MÉTODOS ESTADÍSTICOS (ESTADÍSTICA MULTIVARIANTE):

#### 3.6.1. Análisis de agrupamiento (*cluster analysis*)<sup>4</sup>:

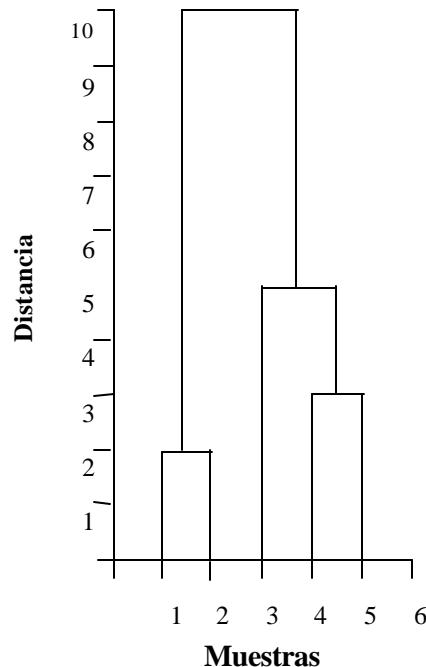
Para una muestra de  $n$  objetos, cada uno de los cuales posee variables  $p$ , se genera un esquema para los grupos de objetos de clases similares que se encuentran presentes en las muestras. El método es completamente numérico y los números de clases no son conocidos. Este resulta más difícil que para los análisis de funciones discriminantes debido a que en este último caso los grupos son ya conocidos.

---

<sup>4</sup> Tomado de Manly (1994)

El análisis de agrupamiento genera asociaciones inesperadas lo cual sugiere que las relaciones sean investigadas y adaptadas al tipo de análisis que se realiza

Muchos algoritmos han sido propuestos para el análisis de agrupamiento. En este Trabajo Especial de Grado se prestará atención particular a las técnicas jerárquicas, con las cuales se generan dendrogramas, que pueden observarse en la *Figura 3.6.*



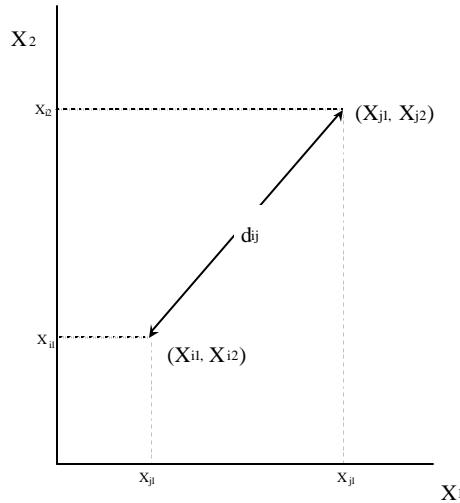
*Figura 3.6. Modelo de dendrograma.*

La generación de dendrogramas comienza con el cálculo de la distancia de cada individuo con respecto a los otros que se encuentran presentes dentro de las muestras. Los grupos son formados por un proceso de aglomeración o división. Con la aglomeración todos los objetos comienzan solos en grupos de uno. Los grupos cerrados son gradualmente unidos hasta que finalmente todos los individuos están en grupos individuales.

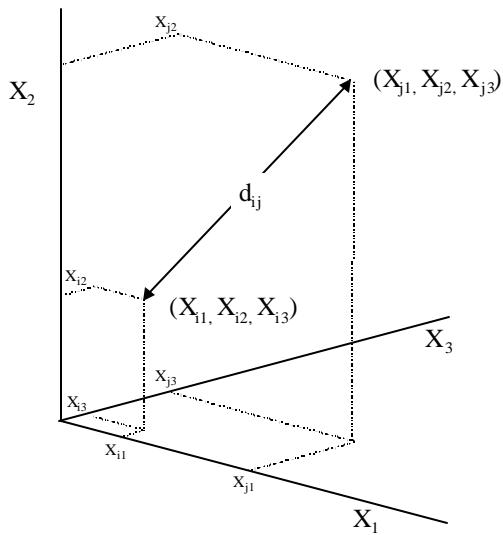
Los *cálculos de las distancias* dependen de lo siguiente: los datos para el análisis de agrupamiento usualmente consisten de valores de variables  $X_1, X_2, \dots, X_p$  de  $p$  para  $n$  objetos. Para el algoritmo jerárquico estos valores son usados a fin de producir un arreglo de distancia entre los individuos. El cálculo de la distancia se realiza con la función de la distancia de Euclídea donde:

$$d_{ij} = \sqrt{\left\{ \sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right\}}$$

$X_{ik}$  Es igual al valor de la variable  $X_k$  para el individuo  $i$  y  $x_{jk}$  es el valor de la variable para el individuo  $j$ . La interpretación geométrica de la distancia  $d_{ij}$  desde el individuo  $i$  hasta el individuo  $j$  se encuentra ilustrada en la Figura 3.7 y 3.8 para los casos de dos y tres variables respectivamente.



*Figura 3.7. interpretación geométrica de la distancia  $d_{ij}$  desde el individuo  $i$  hasta el individuo  $j$  en 2 dimensiones.*



**Figura 3.8. interpretación geométrica de la distancia  $d_{ij}$ desde el individuo  $i$  hasta el individuo  $j$  en 3 dimensiones.**

Usualmente las variables son estandarizadas o normalizadas antes de realizar el cálculo de las distancias, así que todas las variables  $p$  son igualmente importantes en las distancias determinadas.

#### 3.6.1.1. Distancias multivariantes<sup>5</sup>:

Para iniciar la discusión de cuantificar distancias se considerará el caso más simple donde existen  $n$  objetos, cada uno de los cuales tiene valores por  $P$  variables,  $X_1, X_2, \dots, X_p$ . Los valores para el objeto  $i$  pueden entonces ser denotadas por  $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip}$  y estos por objeto  $J$  como  $X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jp}$ . El problema es para cuantificar la distancia entre estos dos objetos.

Si únicamente existe  $p=2$  variables entonces los valores pueden ser graficados como se muestra en la *Figura 3.7* del teorema de Pitágoras, el cual indica que el largo

---

<sup>5</sup> Tomado de Manly (1986) y Kovach (1993).

$d_{ij}$  de la línea que une el punto del objeto  $i$  con el punto del objeto  $J$  (distancia Euclídea) es:

$$d_{ij} = \sqrt{\{(x_{i1} - x_{j1})^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2\}}$$

Con variables  $p=3$  los valores pueden ser tomadas como coordenadas en el espacio al graficar la posición de las  $i$  y  $j$  individuales tal como se muestra en la *Figura 3.8*. El teorema de Pitágoras da la distancia entre los dos puntos y es:

$$d_{ij} = \sqrt{\left\{ \sum_{k=1}^3 (x_{ik} - x_{jk})^2 \right\}}$$

Con mas de tres variables no es posible utilizar el valor de las mismas para graficar los puntos físicamente. Sin embargo los casos de dos y tres variables sugieren que la distancia Euclídea generalizada puede servir como una medida satisfactoria para muchos propósitos:

$$d_{ij} = \sqrt{\left\{ \sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right\}}$$

Deduciendo de la ecuación anterior se tiene claro que si una de las variables medidas es mucho más móvil que las otras, entonces esta dominará el cálculo de la distancia.

En la práctica es usualmente deseable que todas las variables tengan la misma influencia en el cálculo de la distancia. Esto es alcanzado a través de un escalamiento preliminar de las variables para estandarizarlas, y puede ser logrado, por ejemplo, al dividir cada variable por su desviación estándar por los  $n$  individuos que están siendo comparados.

El cálculo de las distancias y similitudes de cuantificación es el primer paso en el análisis de datos multivariantes especialmente utilizado en el análisis de agrupamiento y métodos de ordenamiento. Por esta razón el cálculo de estas cuantificaciones es usualmente más fácil de realizar a través de aplicaciones informáticas que están diseñadas para utilizar estos métodos, o las opciones de agrupamiento y ordenamiento de muchas aplicaciones estadísticas generales. Por ejemplo la aplicación *MVSP* (Kovach, 1993) permite calcular 18 diferentes cuantificaciones desde las matrices de datos iniciales y almacenarlas para uso posterior.

Por otra parte, los *métodos jerárquicos* aglomerativos se inician con una matriz de "distancias" entre individuos (*Tabla 3.6*). Todos los individuos se inician solos en grupos de tamaño uno y grupos que están cercanos son mezclados. Existen varias formas de definirlo y la más simple es el "vecino más cercano". Por ejemplo suponiendo que existe la siguiente matriz de distancias para 5 objetos:

*Tabla 3.6. Matriz de distancia para 5 objetos.*

	1	2	3	4	5
1	-				
2	2	-			
3	6	5	-		
4	10	9	4	-	
5	9	8	5	3	-

El cálculo se realiza como se muestra en la *Tabla 3.7*. Los grupos son mezclados a un nivel dado de distancia que si uno de los individuos en un grupo se encuentra a esa distancia o más cerca de al menos un individuo del segundo grupo.

**Tabla 3.7.** Cálculo realizado para la matriz de distancia de 5 objetos.

<i>Distancia</i>	<i>Grupo</i>
0	1,2,3,4,5
2	(1,2),3,4,5
3	(1,2),3,(4,5)
4	(1,2),(3,4,5)
5	(1,2,3,4,5)

A la distancia de 0 todos los 5 objetos encajan con ellos mismos. La matriz de distancia muestra que la distancia mas corta entre 2 objetos es 2, la cual se encuentra entre el primer y segundo objeto. Por esta razón, al nivel de distancia de 2 existen 4 grupos (1,2), (3), (4) y (5). La próxima distancia más cercana entre objetos es 3, la cual se encuentra los objetos 4 y 5. De este modo, a la distancia de 3 existen tres grupos (1,2), (3) y (4,5). La próxima menor distancia es 4, la cual se encuentra entre los objetos 3 y 4. Es por ello que a este nivel de distancia existen 2 grupos (1,2) y (3,4,5). Finalmente el próximo grupo de menor distancia es 5, la cual se encuentra entre los objetos 2 y 3 y entre los objetos 3 y 5. A este nivel los dos grupos se unen en uno solo (1,2,3,4) y el análisis es completado. El dendrograma mostrado en la *Figura 3.6* ilustra como toma lugar la aglomeración.

Con las conexiones del "vecino más lejano" de forma opuesta al método anterior dos grupos se mezclan solo si el miembro más distante de los dos grupos están suficientemente cerca.

## CAPÍTULO 4: GEOLOGÍA REGIONAL

### 4.1. EVOLUCIÓN GEODINÁMICA: CONTEXTO CARIBE:

Según Burke *et al.* (1984), el mar Caribe se formó por la separación del continente Americano del Africano y la posterior fragmentación entre Norte y Sur América. Una interpretación relacionada con la evolución del mar Caribe y del golfo de México, depende en gran medida de la forma en la que los tres continentes llamados: Yucatán, Chortis y la Isla de Pines, encajan entre sí y que estos autores tratan como pequeños trozos de corteza continental.

Erlich y Barret (1990) sugieren un modelo de tectónica de placas en el cual el arco de isla ancestral de las Antillas Mayores fue generado en la parte este del Pacífico durante el Jurásico Tardío y el Cretácico Temprano y que al mismo tiempo interactuó con el oeste y el noroeste de Suramérica durante el Cretácico Tardío al Paleoceno Temprano. Posteriormente, los terrenos alóctonos fueron movilizados progresivamente hacia el este a través de un sistema de fallas que limitaba las placas Caribe y Suramericana, este proceso se llevó a cabo en el Paleoceno Temprano a Medio. Durante el Paleoceno Tardío al Eoceno Temprano y Medio, un cambio en el movimiento relativo de la Placa Caribe con respecto a la Placa Suramericana causó una colisión oblicua que sobreoció los bloques alóctonos sobre Suramérica.

La sismicidad y la tomografía sísmica del límite sur de la Placa Caribe, sugiere que hubo subducción de la misma, por debajo de la placa de Suramérica (Van Der Hilst, 1990).

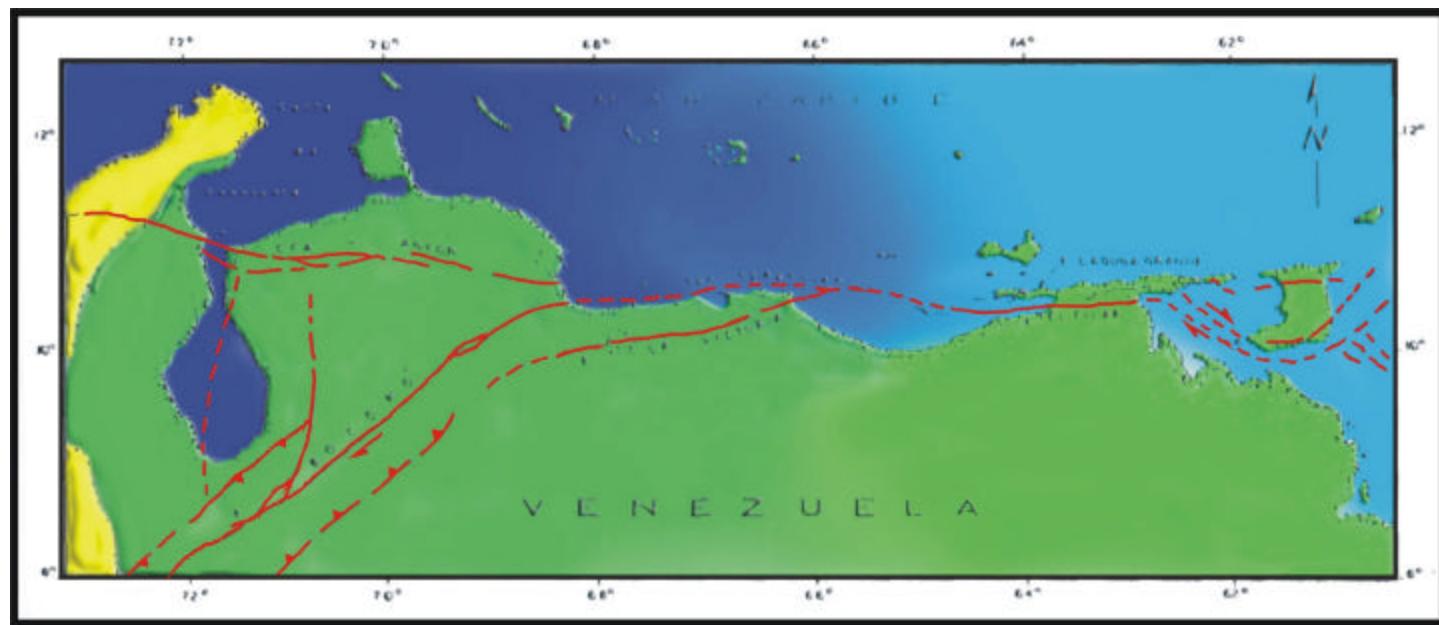
El límite entre las placas Caribe y Suramericana está constituido por una zona de deformación compleja de un centenar de kilómetros de ancho, a la cual se encuentra asociada lo esencial del volumen montañoso del norte de Venezuela, conformado por la cadena andina (Andes de Mérida), la Cordillera de la Costa y la

Serranía del Interior. No obstante, la transcurrencia dextral entre ambas placas en gran parte parece estar acomodada por el sistema de fallas de Boconó – San Sebastián – El Pilar (Hess y Maxwell, 1953; Rod, 1956; Molnar y Sykes, 1969; Minster y Jordan, 1978; Perez y Aggarwal, 1981; Stephan, 1982; Aggarwal, 1983; Schubert, 1984; Soulás, 1986; Beltran y Giraldo, 1989; Soulás, 1989) (*Figura 4.1*).

El límite meridional actual de la placa Caribe en territorio venezolano, es decir, el sistema transcurrente dextral conformado por las fallas de Boconó, San Sebastián y El Pilar, es un límite joven en la evolución geodinámica Cenozoica de la placa Caribe, durante su paso progresivo hacia el este con respecto a América del Sur (Audemard, 1993).

Por otra parte, Audemard (1993) señala que el mecanismo de subducción y colisión oblicua imperante durante el Terciario y previo al Mioceno Medio en el margen meridional caribeño, responsable de acomodar tanto el acortamiento norte – sur generado por la convergencia de las dos Américas como el desplazamiento relativo hacia el este de la placa Caribe, se hace insostenible por los niveles de colisión alcanzados entre ambas placas, dándose inicio desde entonces (17 a 15 Ma) a una repartición de las deformaciones (“partitioning”): fallas transcurrentes dextrales de orientación este – oeste y estructuras de acortamiento con vergencia sursureste preponderante. Este mecanismo de deformación es aún activo hoy en día a lo largo de la frontera meridional Caribe.

Passalacqua *et al.* (1995) indica que dicha migración causó diacronismo sedimentológico y tectónico a lo largo del borde norte de Venezuela, como también repartición de las deformaciones (partitioning), tal como lo expone Audemard *et al.* (1993).



*Figura 4.1. Sistema de fallas Boconó - San Sebastián y El Pilar producto de la transcurriencia dextral entre las placas Caribe y Suramericana. Tomado y modificado de Audemard (1997).*

Passalacqua *et al.* (1995) también señala que de oeste a este, la migración y el “partitioning” de las deformaciones compresivas se encuentran evidenciados por los siguientes elementos estructurales principales:

- Desplazamiento progresivo hacia el este de la Placa Caribe a lo largo de la Falla El Pilar.
- Emplazamiento progresivo de diversas napas de la Serranía alóctona a lo largo de las fallas de Urica, San Francisco y Los Bajos.
- Acortamientos norte – sur a lo largo del corrimiento frontal (El Furrial y Pirital) con orientación N60 – 70E.

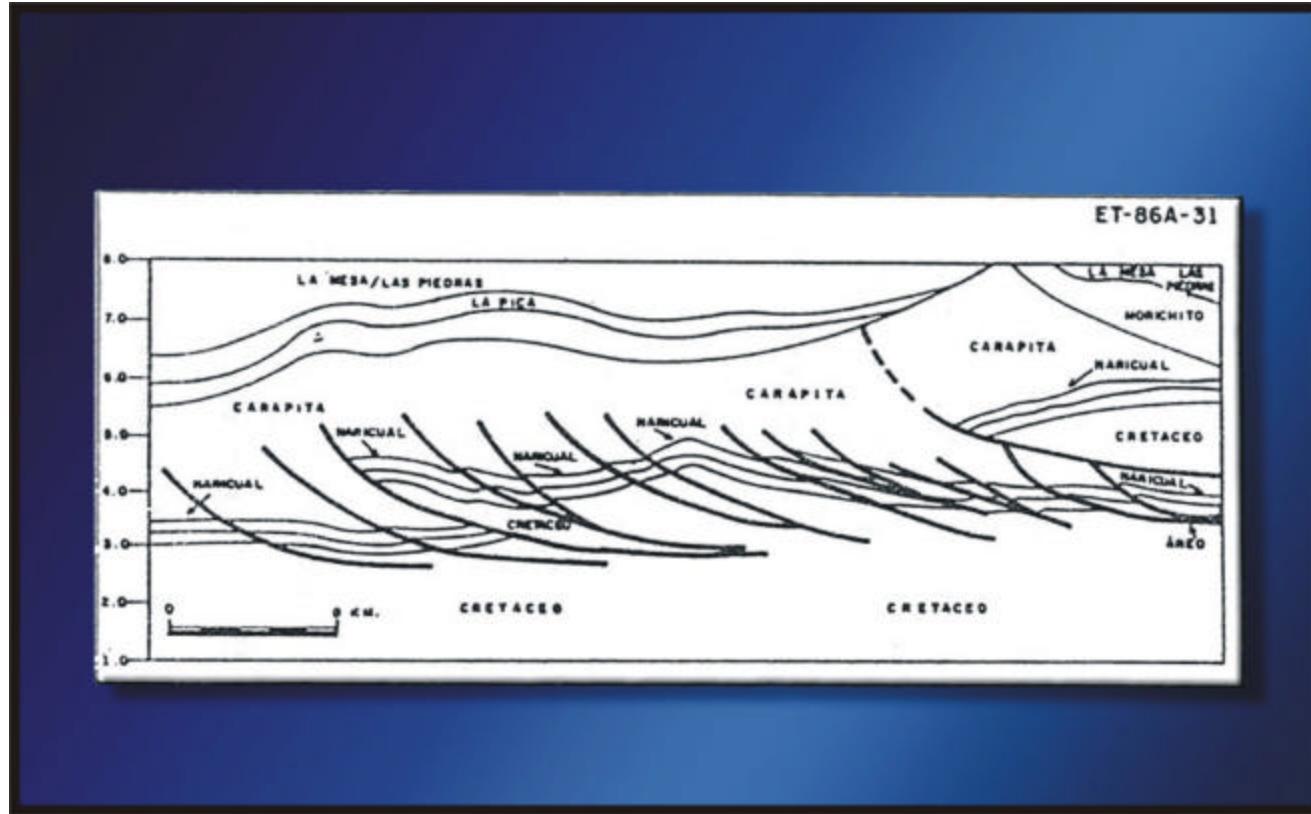
El movimiento final que involucra compresión / transpresión entre las placas de Suramérica y del Caribe es diacrónico de oeste a este. Esta dirección de movimiento coincide con la deformación hacia el norte y hacia el este (las elevaciones montañosas se encuentran localizadas al norte y el frente de deformación se encuentra orientado hacia el sur) (*Figura 4.2*).

La Cuenca Oriental de Venezuela se ha generado como resultado de una compleja interacción entre las placas litosféricas de Suramérica, Norteamérica y del Caribe (Stephan *et al.*, 1990; Pindell *et al.*, 1990; Erlich y Barret, 1990).

## **4.2. CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA:**

### **4.2.1. Ubicación:**

La Cuenca Oriental de Venezuela es una depresión topográfica y estructural ubicada en la región centro-este del país, específicamente se encuentra localizada entre las coordenadas 8° y 11° de latitud norte y 61° y 66° de longitud oeste. Esta depresión tiene una longitud aproximada de 800 Km en sentido oeste-este, un ancho promedio de 200 Km de norte a sur, estimando así un área aproximada total de



*Figura 4.2. Estilo tectónico. Diacronismo este - oeste del movimiento de la placa Caribe contra la placa Suramericana. Tomado de Mijares (1995).*

160.000 km<sup>2</sup>. Dicha cuenca comprende los estados Anzoátegui, Monagas, Guárico, Delta Amacuro y parte de Sucre, prolongándose hasta la plataforma Deltana y sur de Trinidad. Topográficamente, se caracteriza por extensas llanuras y una zona de mesas en Anzoátegui y Monagas.

La Cuenca Oriental de Venezuela es una gran depresión asimétrica limitada al sur por el borde septentrional del Cratón de Guayana, al norte por el cinturón móvil de las Serranías del Interior, tanto Central como Oriental, al oeste por el levantamiento de El Baúl y hacia el este se extiende costa afuera en la Plataforma Deltana. De este modo, el flanco sur se encuentra inclinado ligeramente hacia el norte y el flanco norte más tectonizado y con mayor buzamiento. El borde norte de dicha cuenca es delineado por la zona de fallas de El Pilar (límite entre las placas Suramericana y Caribe).

Con base en sus características sedimentológicas, tectónicas y estratigráficas la Cuenca Oriental de Venezuela se divide en dos subcuenca: Subcuenca de Guárico en la zona oeste y Subcuenca de Maturín en la zona este, en ésta última se localiza la zona de estudio (*Figura 4.3*).

#### **4.2.2. Evolución tectónica de la Cuenca Oriental de Venezuela:**

De acuerdo a Di Croce (1995) se pueden diferenciar tres principales episodios tectónicos, los cuales son:

##### **4.2.2.1. Episodio rift: quiebre de pangea (Triásico - Jurásico Tardío):**

La fase rifting tiene lugar como producto de la separación de América del Norte de Gondwana (Feo Codecido *et al.*, 1984). Por otra parte, el quiebre

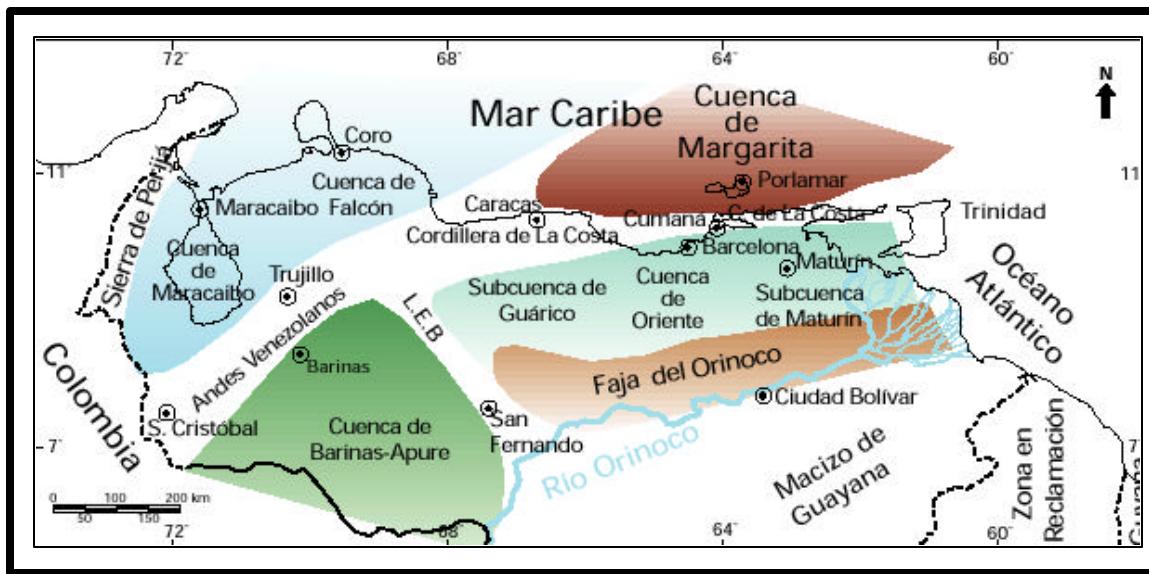


Figura 4.3. Cuencas petrolíferas de Venezuela, basadas en la distribución de sus provincias sedimentarias. Tomado de Ostos y Yoris (1997) en WEC Evaluación de Pozos, Schlumberger.

continental entre Norteamérica y Suramérica ocurre a finales del Jurásico. La subsidencia del margen norte de Suramérica ha permitido el desarrollo de un extenso margen pasivo (*Figura 4.4*). La secuencia sedimentaria depositada (3 a 4 Km de espesor) se encuentra compuesta predominantemente de rocas clásticas marinas.

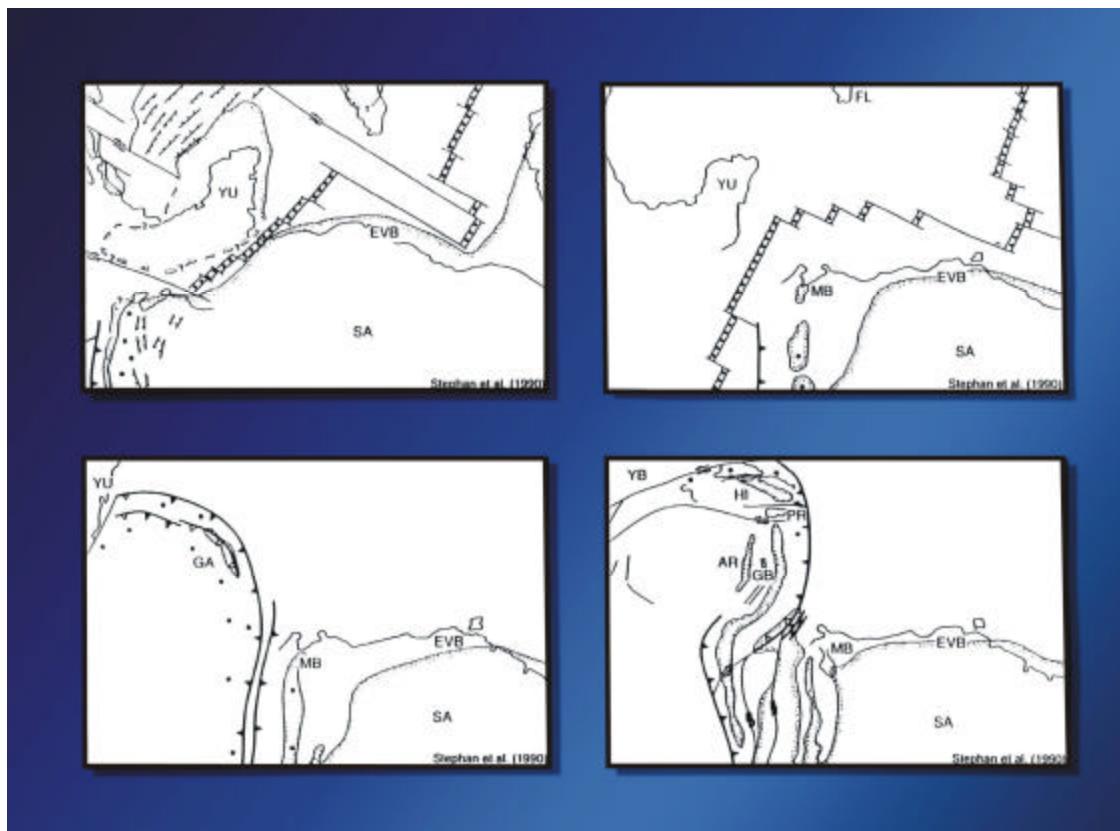
#### *4.2.2.2. Episodio margen pasivo (Jurásico Tardío - Oligoceno):*

En el Campaniense, el arco de islas magmático de las Protoantillas Mayores colisionó con el margen pasivo de Norteamérica (Cuba Española) y Suramérica (Venezuela). Durante el Paleoceno Inferior la expansión del piso oceánico entre América del Norte y del Sur cesa y la Placa del Caribe comienza a migrar hacia el norte. Inicialmente, los efectos de esta colisión en el margen nororiental de Venezuela son insignificantes.

Finalmente, la deformación transpresional desde el Paleoceno Tardío hasta el Reciente avanza diacrónicamente a lo largo del borde norte de Suramérica (Pindell y Barrett, 1990). El conjunto de transpresiones en el oeste de Venezuela fue durante el Eoceno Temprano – Medio y progresivamente las transpresiones más jóvenes (región central y oriental de Venezuela) afectan eventualmente durante el Oligoceno Tardío – Mioceno Medio.

#### *4.2.2.3. Episodio margen activo (Mioceno Temprano - Reciente):*

Durante el Mioceno Temprano – Medio al Reciente, la Cuenca Oriental de Venezuela es definida en respuesta al esfuerzo y a la carga antepaís, en este momento la deformación transpresional incrementa hacia el este. Actualmente la Cuenca Oriental de Venezuela se encuentra localizada cerca de la conexión entre la placa Atlántica, de Norteamérica y del Caribe.



*Figura 4.4. Fases del episodio rift: quiebre de Pangea. Tomado de Stephan et al. (1990).*

#### **4.2.3. Provincias geológicas:**

De acuerdo a Hung (1997) la Cuenca Oriental de Venezuela puede ser dividida en tres provincias geológicas:

##### *4.2.3.1. La Serranía del Interior:*

La Serranía del Interior se encuentra limitada al norte por la falla transcurrente dextral El Pilar con dirección este – oeste, al sur por el corrimiento de Pirital con orientación N70°E, al oeste por la zona de falla de Urica con orientación noroeste – sureste y al este por la zona de falla Los Bajos (*Figura 4.5*).

La falla de San Francisco divide a la Serranía en dos bloques: el bloque de Bergantín al oeste y el Bloque de Caripe al este y se une al sur con la falla Quiriquire (González de Juana *et al.*, 1980).

La Serranía del Interior se encuentra formada por pliegues y corrimientos de rocas que poseen edad desde el Cretácico hasta el Reciente. Estas rocas fueron depositadas en el episodio de margen pasivo de la Cuenca Oriental de Venezuela (González de Juana *et al.*, 1980).

##### *4.2.3.2. El Piedemonte de Monagas:*

El Piedemonte de Monagas se encuentra limitado al norte por los corrimientos de Pirital y Quiriquire y al sur por el frente de deformación (Lilliu, 1990).

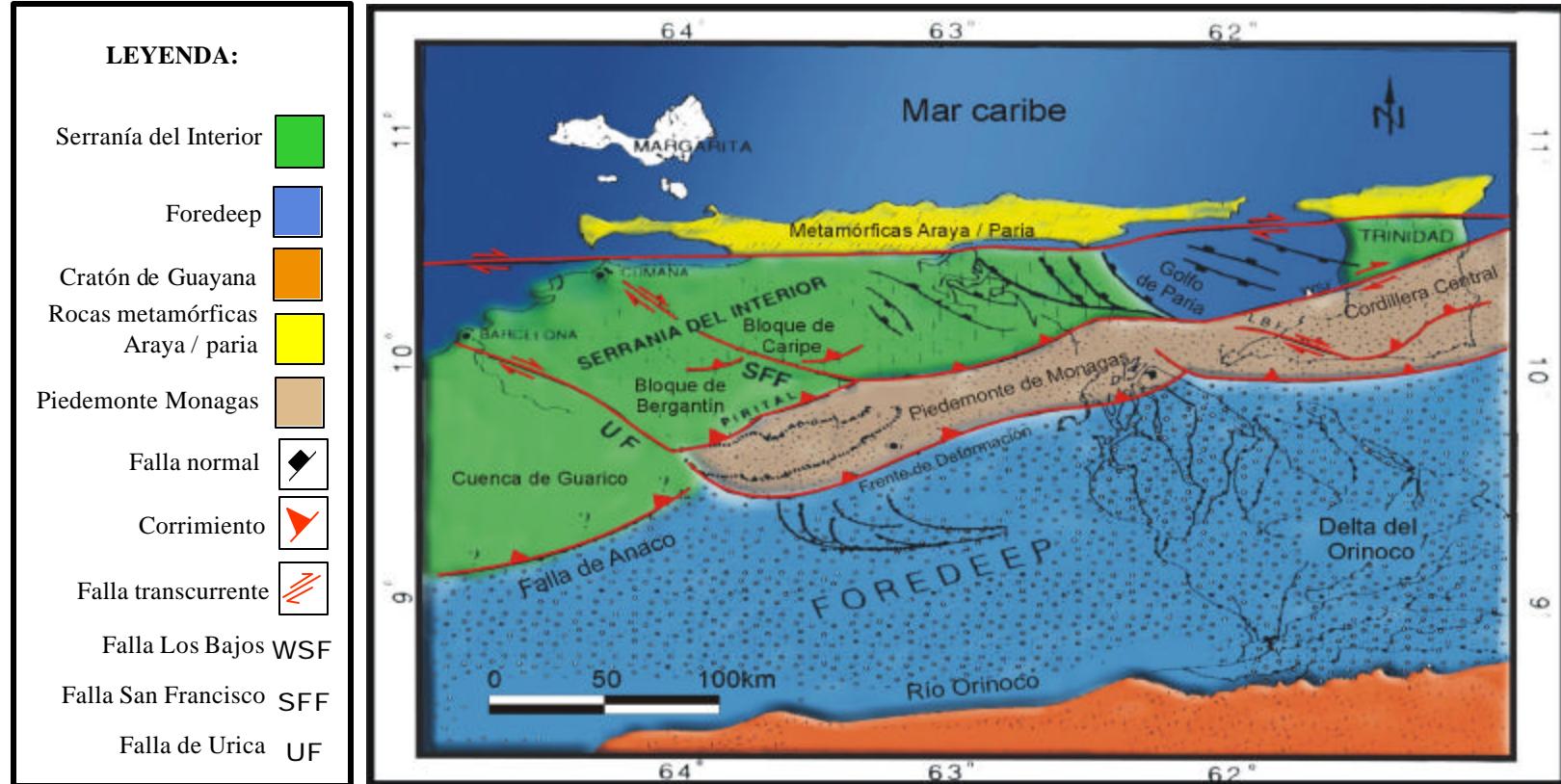


Figura 4.5. Provincias geológicas de la Cuenca Oriental de Venezuela. Tomado y modificado de Hung (1997).

Los eventos compresionales del Neógeno evidenciados por anticlinales y las expresiones diapíricas en la superficie definen la deformación frontal de la Cuenca Oriental de Venezuela (Aymard *et al.*, 1990).

#### 4.2.3.3. *La Subcuenca de Maturín:*

La Subcuenca de Maturín se encuentra limitada al nor – noroeste por el frente de deformación, al sur por el Escudo de Guayana y al noreste por el Océano Atlántico. El margen sur de esta cuenca antepaís se caracteriza por un basamento que contiene fallas normales. El área de Tácata, que corresponde al área de estudio, se encuentra ubicada en esta subcuenca (*Figuras 1.1 y 4.3*).

### **4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL:**

La Cuenca Oriental de Venezuela hacia el norte, se presenta plegada y fallada, dentro de un marco tectónico compresivo relacionado a la colisión de la placa Caribe con la Suramericana a partir del Oligoceno Superior, hasta el Mioceno Superior cuando ocurre la reactivación de todos los elementos estructurales preexistentes (paroxismo tectónico) con la formación de nuevas estructuras (pliegues, fallas inversas y corrimientos) paralelas a la Serranía del Interior Daal *et al.* (2000).

Al frente del bloque Cretáceo sobre corrido se encuentra una zona parautóctona con un desplazamiento horizontal entre 3 y 18 kilómetros aproximadamente, el cual forma una zona triangular cuyo límite sur es un retrocorrimiento y es en esta zona donde se encuentra la estructura del área de Tácata. Esta zona triangular se desarrolla dentro de las lutitas del Mioceno Medio (Formación Carapita), por pliegues disarmónicos o apilamientos de pequeñas escamas. Presenta un despegue ciego hacia el sur en su

base y un retrocorrimiento hacia el norte emergente en su tope; hacia el norte está limitada por la zona de los corrimientos Tala y Pirital (*Figuras 4.6, 4.7 y 4.8*). En esta zona se han encontrado las grandes acumulaciones de hidrocarburo del norte de Monagas (Daal *et al.*, 2000).

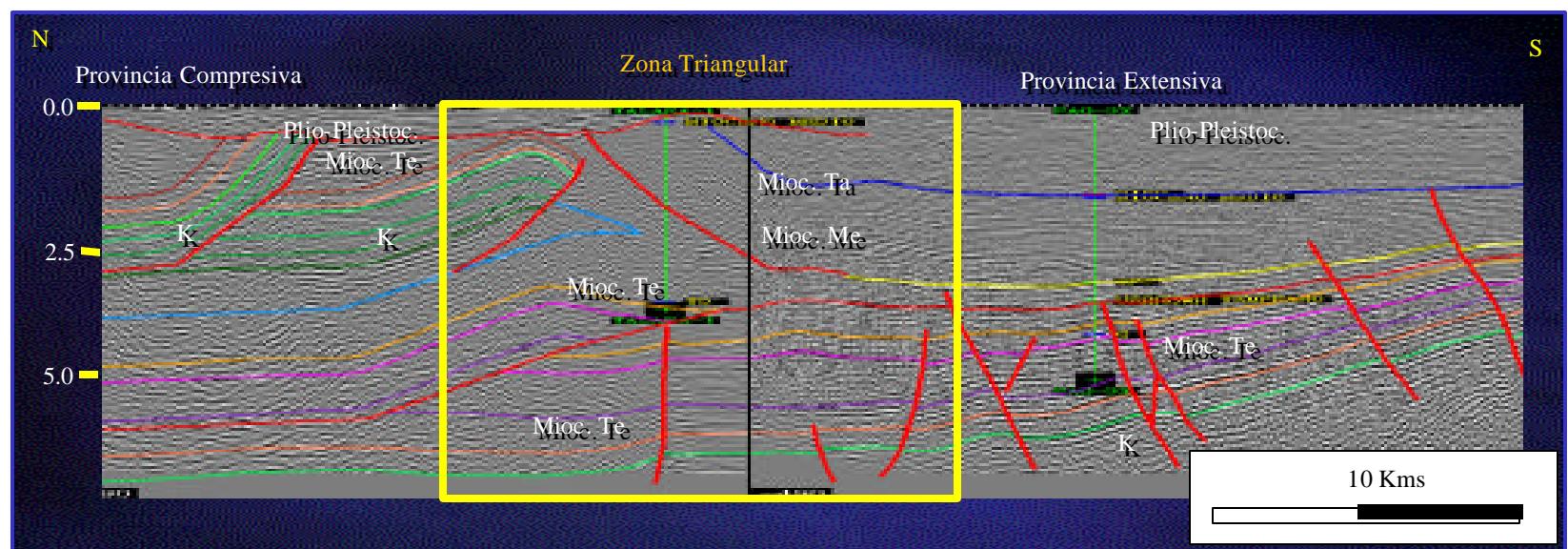
La Cuenca Oriental de Venezuela hacia el sur se caracteriza por un homoclinal de buzamiento suave (3-5 grados) hacia el NE, cuyos sedimentos terciarios continúan por debajo de los cabalgamientos, con fallas normales de rumbo este-oeste franco y este-noreste, cuyos sistemas se completan con los sistemas transversales de rumbos noroeste y noreste, asociadas a un régimen extensivo durante el Jurásico y reactivadas en el Oligo-Mioceno, el plegamiento es muy suave y es en esta provincia donde se han identificado acumulaciones de hidrocarburos, en los campos tradicionales del Área Mayor de Oficina (Daal *et al.*, 2000).

#### **4.3.1. Estructuras geológicas principales:**

Las principales estructuras geológicas de la Cuenca Oriental de Venezuela según Hung (1990) son: El Pilar, Urica, San Francisco, Pirital y Los Bajos.

#### **4.3.2. Provincias tectónicas y estilos estructurales:**

Según Parnaud *et al.* (1995) se han reconocido dos provincias tectónicas; una de ellas es la provincia autóctona que se extiende desde el eje de la cuenca del Río Orinoco. Está caracterizada por fallas normales cuya orientación es N60-70E y fallas transcurrentes jóvenes que se localizan hacia la parte sur. Las fallas transcurrentes poseen orientación N70W y se encuentran en la parte norte de la provincia, afectando tanto a los depósitos Cretáceos como a los Paleógenos. Hacia el norte las fallas por colapso gravitatorio afectan las rocas sedimentarias del Mioceno – Plioceno.



*Figura 4.6. Transecto sísmico regional destacando la zona triangular. Tomado de De Daal et al. (2000).*

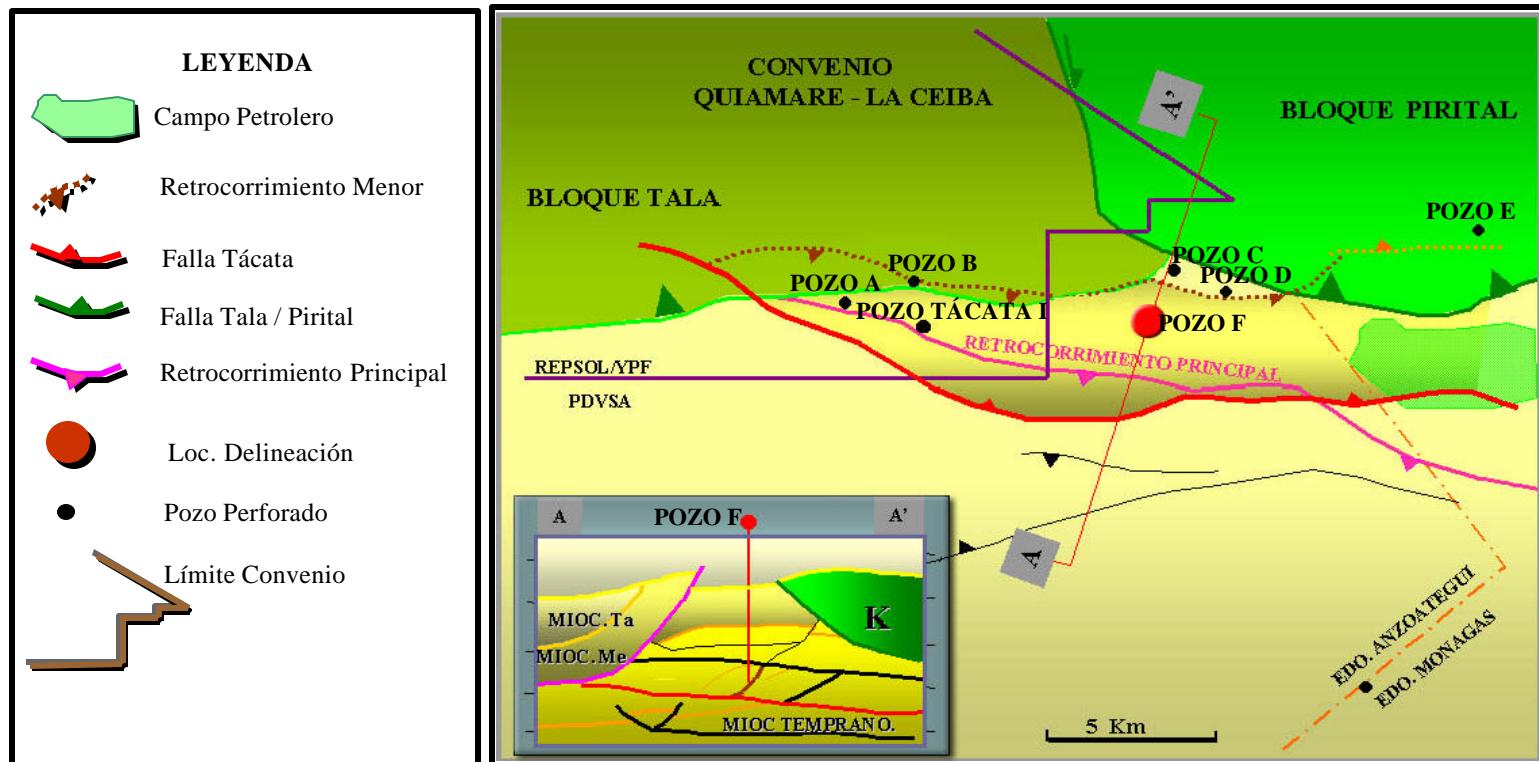


Figura 4.7. Elementos estructurales mayores. Tomado de De Daal et al. (2000).

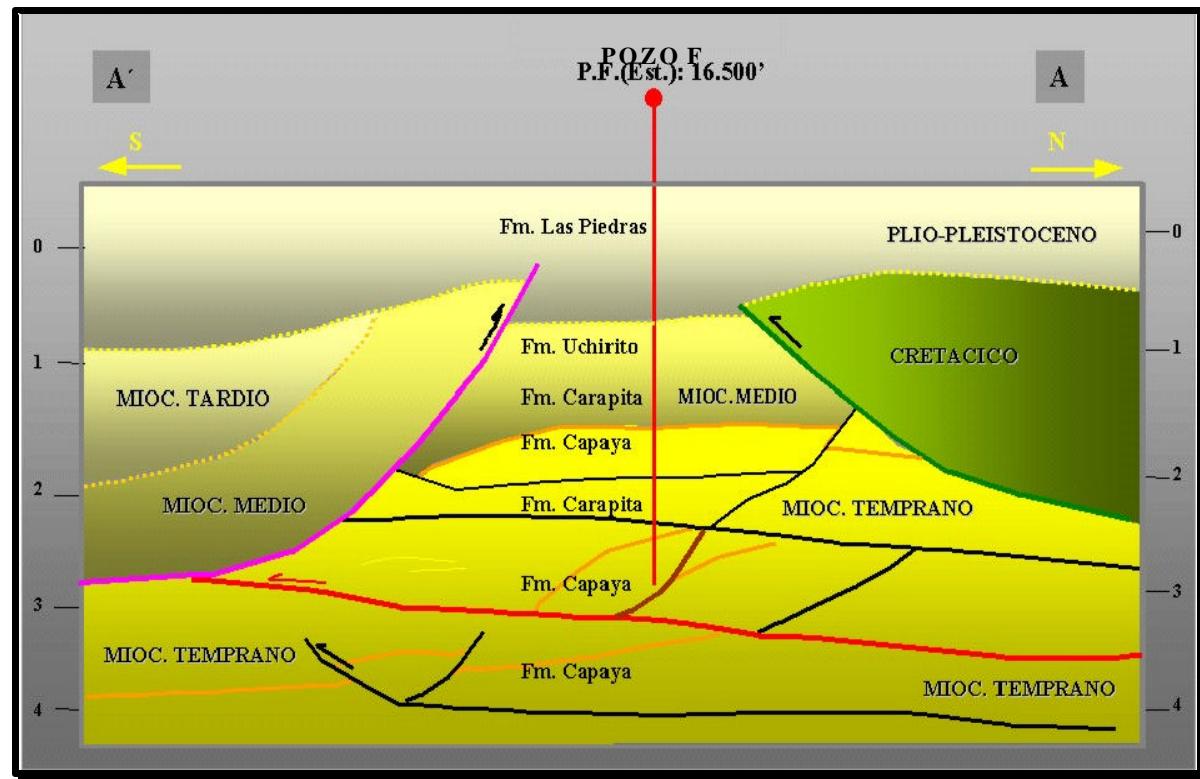


Figura 4.8. Modelo geológico del área de Tácata. Tomado de De Daal et al. (2000).

La provincia es alóctona y se extiende desde la falla El Pilar hasta el eje de la cuenca correspondiendo al sistema de vergencia sur. Este estilo estructural compresivo está caracterizado de la siguiente manera (Parnaud *et al.*, 1995):

- Unidad tectónica de cobertura delgada: se encuentra representada por depósitos Cretáceos – Terciarios, que son separados de su substrato a lo largo de una interfase principal de superficie de despegue Jurásica – Cretácica (cantidades de evaporitas o carbones localizados a profundidades de 10 – 15 Km). La separación somera ocurre cuando en el apilamiento tectónico, especialmente entre el límite de los depósitos plataformales Mesozoicos y Paleógenos y los pobemente litificados del Neógeno (como la Formación Carapita).
- La deformación frontal de la provincia alóctona localmente corresponde a zonas triangulares, con progresivos acuñamientos del “foredeep”, Formación Carapita por las secuencias Mesozoicas y Paleógenas en la rampa El Furrial. Otra estructura triangular ocurre por debajo de la deformación frontal que se encuentra presente a lo largo del alto de Pirital.
- Los pliegues cilíndricos a escalas kilométricas asociados a corrimientos poseen una orientación N60-70W, y son principalmente rampas anticlinales en el área El Furrial.
- Las secuencias de corrimientos son principalmente secuencias piggyback.
- Las fallas transcurrentes dextrales con una dirección N50 – 60W (Falla de Urica, San Francisco y Los Bajos) separan la Serranía del Interior dentro de áreas de evolución estructural diacrónica.
- Una zona intermedia presenta estilo estructural compresivo y extensional y la misma es interpretada entre las provincias anteriormente descritas (autóctona y alóctona).

#### **4.4. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL:**

A continuación se describen brevemente las características de los tres principales ciclos estratigráficos definidos en la Cuenca Oriental de Venezuela por Di Croce (1995), los cuales documentan la paleogeografía y la evolución depositacional regional de la cuenca en respuesta a los procesos tectónicos de placas y sus estilos estructurales asociados. Previamente, se tratará el basamento cristalino y luego el primer ciclo (Fase Margen Pasivo), el segundo ciclo (Estratigrafía Oligoceno) y el tercer ciclo (Fase “foredeep”):

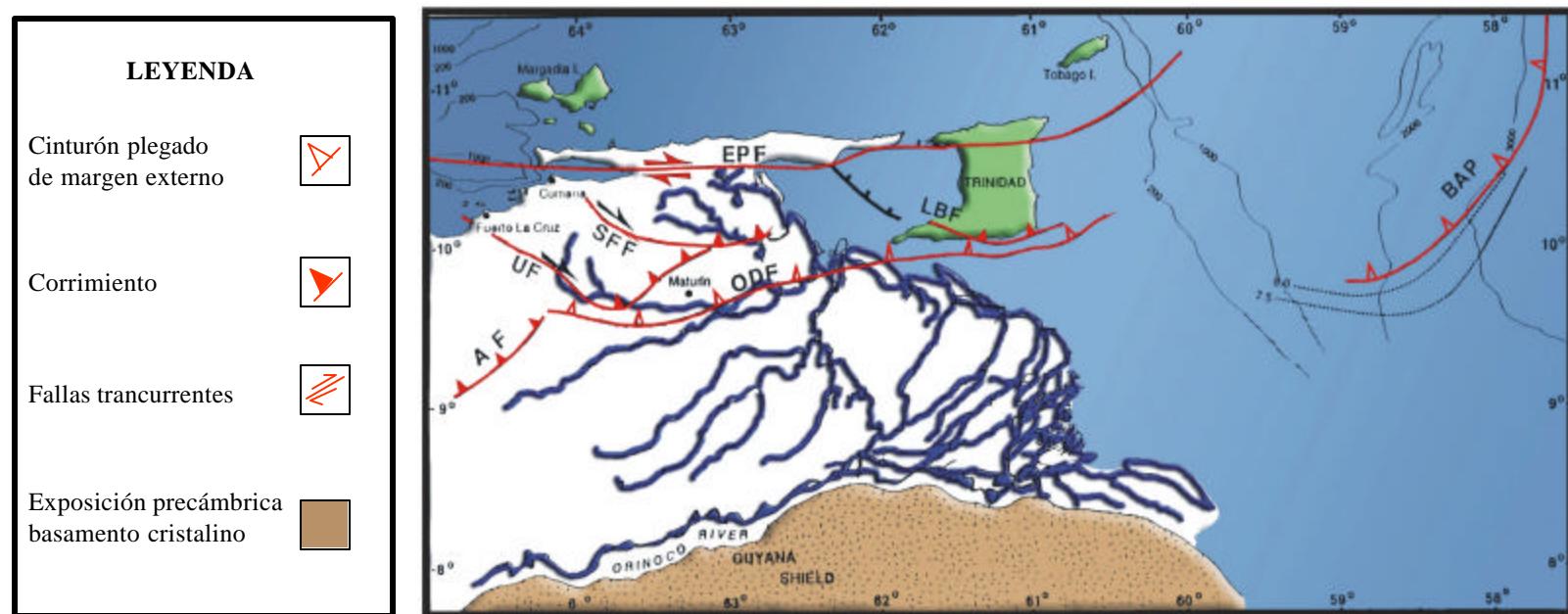
##### **4.4.1. Basamento cristalino:**

De acuerdo a Feo Codecido *et al.* (1984), el basamento cristalino de la era Precámbrica (Escudo de Guayana), está compuesto principalmente de rocas metasedimentarias y metaígneas, ubicándose dentro de las facies anfibolita a granulita. Dicha litología posee intrusiones de granito. González de Juana *et al.* (1980) reporta para estas rocas cristalinas un rango de edad que abarca desde los 3600 hasta 800 millones de años. Al sureste de Venezuela el basamento cristalino posee 1500 metros de espesor, el cual se encuentra compuesto por una secuencia de granos clásticos que van de grueso a fino, cherts, ftnitas, sills y diques de diabasas.

Por otra parte, hacia el norte del Río Orinoco, el tope del basamento se profundiza al norte por debajo de los pliegues frontales de la Serranía del Interior.

Costa afuera, hacia el este, el basamento Precámbrico se extiende hasta ubicarse por debajo del margen pasivo Atlántico, de esta manera se genera la transición a corteza oceánica.

En la *Figura 4.9* se muestra un mapa donde se aprecian las estructuras en el tope del basamento.



*Figura 4.9. Mapa de estructura en el tope del basamento. Tomado y modificado de Di Croce (1995).*

#### **4.4.2. Estratigrafía Pre – Cretácia (fase Pre – rift? y rift):**

Las rocas Precretácicas se corresponden con la base del Cámbrico y las Formaciones Carrizal y Hato Viejo. Por otra parte, una de las estructuras más importantes es el Graben de Espino, el cual se encuentra compuesto por capas rojas estériles con intercalaciones de flujos basálticos cuya edad estimada es de 162 millones de años (*Figura 4.10*). Por otra parte, el Jurásico es reconocido por un evento rifting y se le asigna el nombre de Formación La Quinta.

Fox *et al.* (1970) indica que el Jurásico Superior se encuentra compuesto por fragmentos de rocas angulares, de gránulos, consolidadas con buen escogimiento y por granos de ortocuarzitas calcarenáceas, cuya composición se encuentra representada por cuarzos redondeados, debris y gránulos no esqueletales con glauconita.

#### **4.4.3. Primer ciclo: Estratigrafía Cretácea - Paleógeno (fase margen pasivo):**

Durante el Cretáceo y el Paleógeno, se produce la subsidencia del margen pasivo de Venezuela, de igual manera se generan cambios eustáticos globales del nivel del mar, y se depositan las secuencias siliciclásticas como producto de ambos eventos.

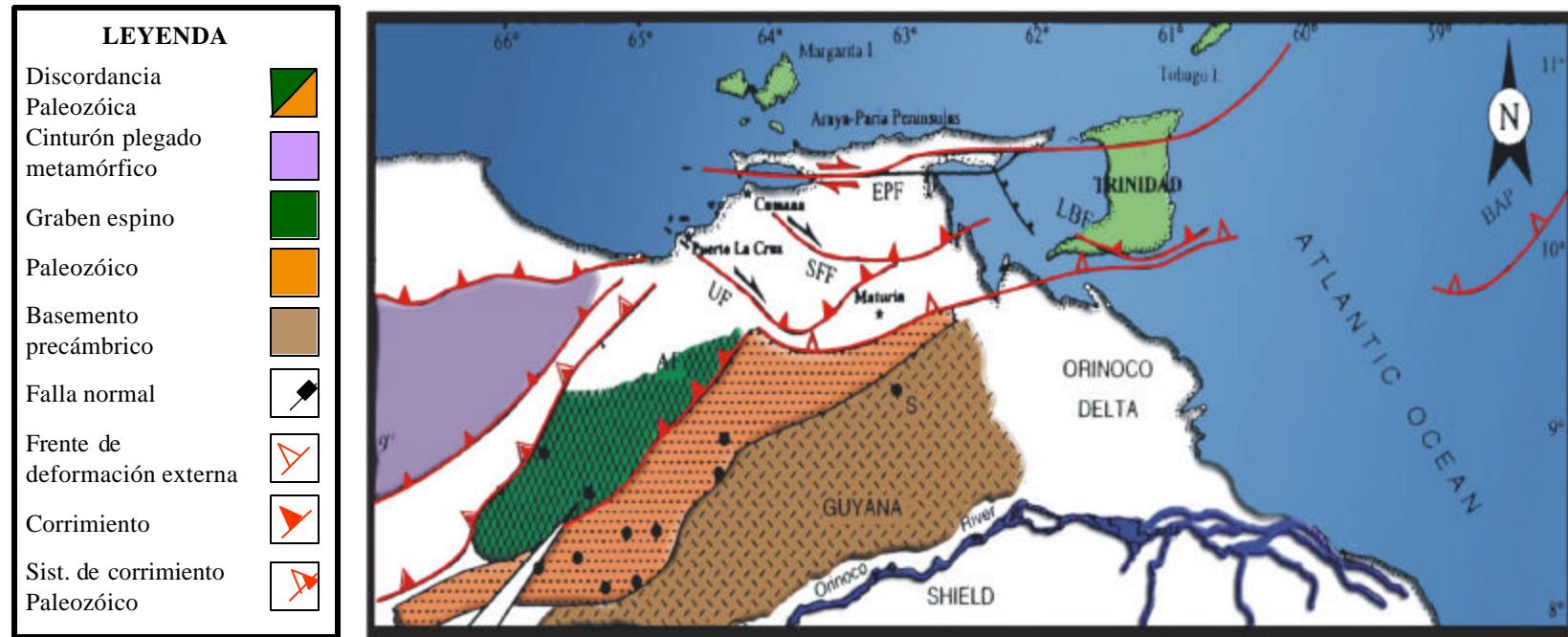


Figura 4.10. Mapa pre - Mesozoico generalizado. Tomado y modificado de Di Croce (1995).

#### 4.4.3.1. Cretácico:

La base del Cretácico es equivalente al Grupo Temblador de edad Aptiense – Albiense. Esta Unidad alcanza los 1970 pies de espesor hacia el norte y se divide en dos subunidades: la subunidad inferior, que corresponde a la Formación Canoa de edad Aptiense Medio a Albiense, la cual consiste de areniscas de grano grueso interestratificada con limolitas que fueron depositados en un ambiente continental. La subunidad superior corresponde a la Formación Tigre de edad Cenomaniana a Campaniana y se encuentra compuesta de dos litofacies, una basal que se caracteriza por la intercalación de lutitas con areniscas y una superior que consiste de calizas dolomíticas y lutitas glauconíticas (González de Juana *et al.*, 1980).

Esta subunidad fue depositada en ambientes lagunales/ transicionales/ marinos someros hacia la base, mientras que hacia el tope el ambiente es de nerítico externo.

#### 4.4.3.2. Estratigrafía Paleoceno Tardío – Eoceno:

Se presentan dos subunidades depositacionales. La subunidad inferior posee 300 pies de espesor y dos litofacies distintivas: una litofacies basal, caracterizada por calizas de ambiente marino somero, con presencia de algas, ostrácodos y abundantes foraminíferos planctónicos y otra litofacies superior que consiste de lutitas limosas y lutitas negras con abundancia de foraminíferos planctónicos y bentónicos.

La subunidad superior posee 380 pies de espesor y consiste de lutitas glauconíticas interestratificadas con capas delgadas de lutitas limosas y areniscas de grano fino. La bioestratigrafía se encuentra integrada básicamente por foraminíferos, y el ambiente depositacional es batial (1500 pies).

El Eoceno Tardío se corresponde con la depositación de la Formación Vidoño (Rohr, 1991).

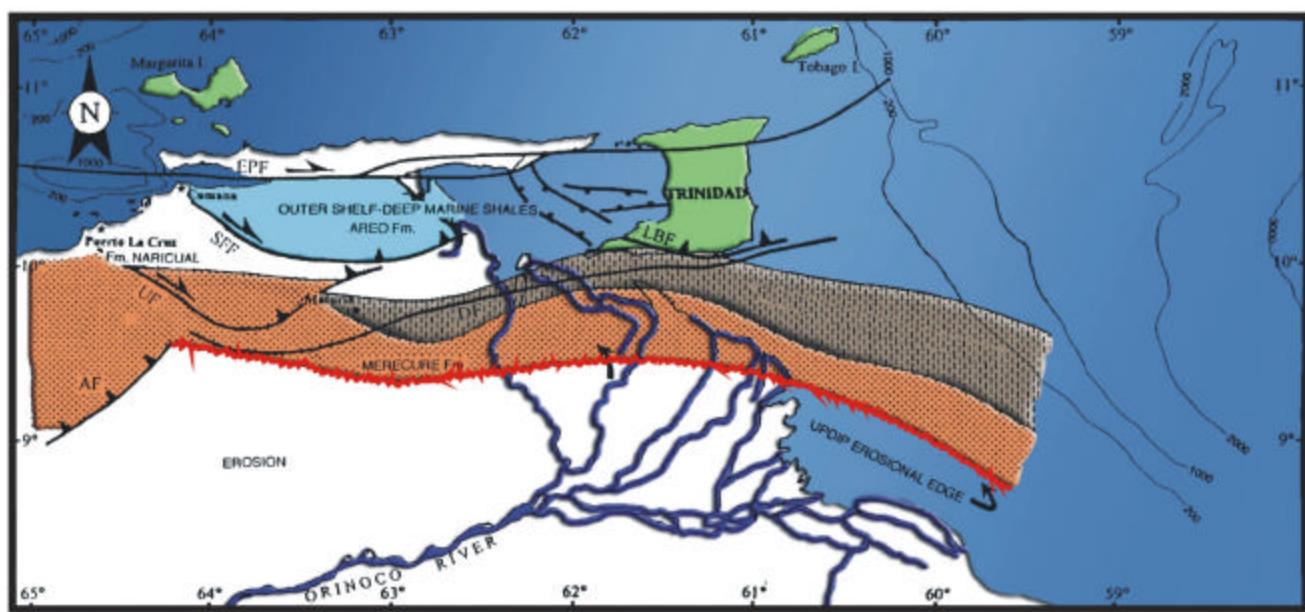
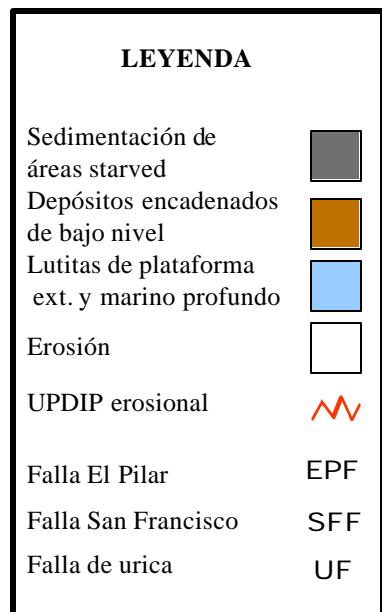
#### **4.4.4. Segundo ciclo: Estratigrafía Oligoceno:**

Cabe destacar que de acuerdo a González de Juana *et al.* (1980); Arnstein, *et al.* (1985) y Carnevali, (1989) el Oligoceno en el piedemonte de Monagas es el yacimiento más importante de la cuenca. Los mejores yacimientos ocurren en las formaciones Naricual y Jabillos, esta última infrayace a la Formación Carapita, y posteriormente grada verticalmente a una secuencia de agua dulce a salobre conocida como Formación Merecure.

Hung (1997) sugiere que hacia el sur y al oeste de la cuenca las rocas sedimentarias pertenecen a la Formación Merecure.

De acuerdo a Di Croce (1995) esta unidad estratigráfica del Oligoceno posee 650 pies aproximadamente y consiste de dos litofacies: una litofacies basal compuesta de lutitas glauconíticas con abundantes fósiles (gasterópodos y foraminíferos) que grada a calizas glauconíticas y esqueletales (estromatopóridos y foraminíferos) interestratificadas con areniscas calcáreas de color blanco, de granos finos a medios; y otra litofacies superior que consiste de una secuencia de areniscas blancas, cuyo tamaño de grano es medio a grueso, poco consolidadas y se engrosan hacia el tope de la secuencia. La bioestratigrafía se encuentra integrada por foraminíferos y algunos macrofósiles. El ambiente depositacional es marino somero asociado con una plataforma carbonática.

La *Figura 4.11* consiste en un mapa de facies del Oligoceno Tardío (de acuerdo a Di Croce, 1995).



*Figura 4.11. Mapa de facies del Oligoceno Tardío justo después de 30 millones de años. Nótese que el norte de Monagas y el cinturón plegado han sido desplazados por el acortamiento del Neógeno. Tomado y modificado de Di Croce (1995).*

#### **4.4.5. Tercer ciclo: Estratigrafía Neógena - Reciente (fase “foredeep”):**

Los cambios de regímenes de subsidencia en la Cuenca Oriental de Venezuela ocurren desde el Oligoceno Tardío hasta el Mioceno Temprano. En el contexto de la convergencia oblicua entre las Placas del Caribe y Suramérica, la tendencia este-oeste del margen pasivo Cretácico-Paleogeno de América del sur, colisiona de manera transpresional con el frente de la Placa Caribe.

Dicha colisión oblicua migra progresivamente hacia el este durante el periodo de tiempo nombrado anteriormente, dividiendo la cuenca “foreland” en tres áreas: (1) área sur (de Cerro Negro a Oritupano) correspondiente a la zona de plataforma, (2) área central (de Acema – Casma a Pirital) correspondiente al “foredeep” y (3) el área norte (norte de la falla de Pirital) correspondiente al área de corrimiento (*Figura 4.12*) (Parnaud *et al.*, 1995).

El “foredeep” localizado al sur de la deformación frontal, fue aislado de la plataforma por la inclinación (Parnaud *et al.*, 1995).

Se presentan tres direcciones de transporte de sedimentos con lo cual se caracteriza el relleno de la cuenca “foredeep” y son las siguientes:

- Una dirección de transporte longitudinal este-oeste.
- Una dirección al sur proveniente de las adyacencias del Cráton de Guayana.
- Una dirección al nornoroeste proveniente de los sedimentos que emergen del cinturón plegado de la Serranía del Interior con algunos sedimentos retrabajados de las unidades del Cretácico-Terciario Temprano, las cuales afloran hacia el norte. Es importante mencionar que una cantidad significante de sedimentos provenientes del Plio-Pleistoceno de la

Serranía del Interior son atrapados en cuencas “piggyback” y no llegan hasta la cuenca “foreland”.

De lo anteriormente expuesto, resultan alrededor de 20.000 pies de espesor de sedimentos en la sección Neógena, la cual cubre a los sedimentos depositados durante el margen pasivo desde el Cretácico hasta el Paleogeno, tanto costa afuera como costa adentro. La sección Neógena se engrosa hacia el cinturón orogénico de la Serranía del Interior y hacia el margen Atlántico.

#### *4.4.5.1. Mioceno Temprano:*

La estratigrafía y el ambiente depositacional de base a tope del Mioceno Temprano consiste de dos litofacies principales: la primera tiene un espesor entre 45 a 70 pies y se encuentra compuesta de areniscas de grano grueso a medio interestratificadas con capas delgadas (5 a 10 pies) de lutitas, sin embargo de manera ocasional se aprecian capas de lignito. Esta litofacies fue depositada en un ambiente fluvial. La segunda litofacies se encuentra constituida por dos secuencias progradantes granocrecientes, las cuales se caracterizan por lutitas basales alternadas con facies de limolitas y areniscas, finalizando con areniscas de grano grueso – medio a fino. Esta litofacies fue depositada en un ambiente litoral a marino somero.

Para el Mioceno Temprano ocurre una profundización sustancial que produce una discordancia importante, la cual separa los sedimentos neríticos del Oligoceno (Formación Merecure) de las lutitas batiales y las turbiditas delgadas del Mioceno Temprano (Formación Carapita).

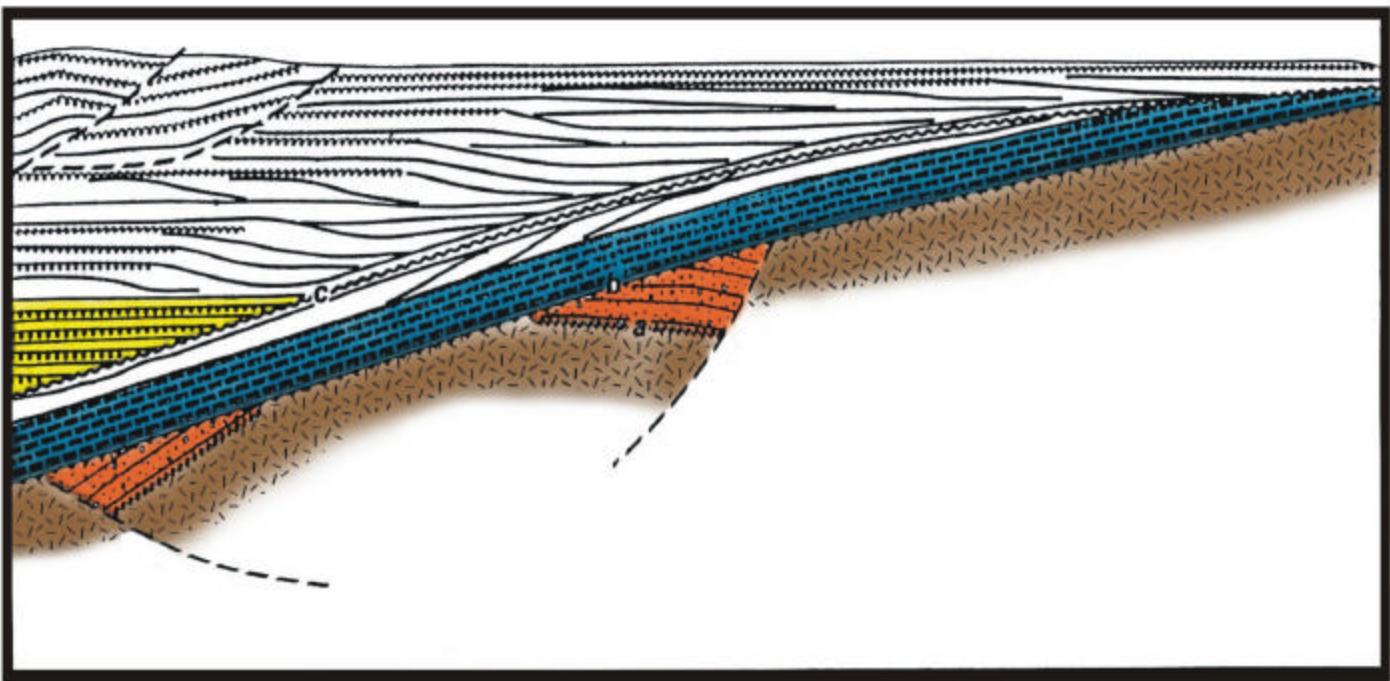
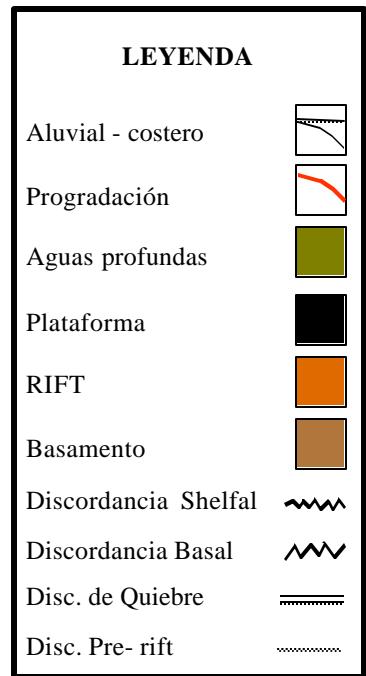


Figura 4.12. Sección idealizada de un “foredeep”. Tomado y modificado de Bally (1989).

Parnaud *et al.* (1995) indica que la Formación Carapita es una secuencia gruesa y el sello principal de los yacimientos del Oligoceno – Mioceno (formaciones Freites y Oficina) y también es considerada como una potencial roca fuente, mezclada con diversos tipos de materia orgánica de origen tanto continental como marina.

El mapa paleogeográfico basado en Di Croce, (1995) muestra los principales régimenes depositacionales durante el Mioceno Temprano. Se pueden observar tres tendencias: hacia el oeste y sur de la cuenca, se aprecian lutitas y areniscas continentales a planicie costera (Parte superior de la Formación Merecure), lo cual se une con lutitas platformales de aguas someras y areniscas de grano grueso a fino de barras litorales (Formación Oficina). Hacia el norte, cercano a la deformación frontal y cercano al cinturón plegado, se observan lutitas de aguas profundas con estratos turbidíticos delgados (Parte inferior de la Formación Carapita), las cuales se observan en “onlap” en la discordancia basal del “foredeep” (*Figura 4.13*).

#### 4.4.5.2. Mioceno Temprano a Mioceno Medio:

Se tienen cuatro litofacies que de base a tope se presentan de la siguiente manera: la primera corresponde a una sección de lutitas de color gris a marrón con capas ocasionales de areniscas, pellets de glauconita y diversidad de faunas que aportan una edad Mioceno Temprano. La segunda litofacies presenta patrones granocrecientes con lutitas basales y cambios variables de facies de limolitas a areniscas, finalizando con areniscas de grano medio a grueso. Estos sedimentos fueron depositados en un ambiente litoral a marino somero. La tercera litofacies corresponde a una sección gruesa masiva (aproximadamente 2000 pies) de lutitas limosas con abundante fauna bética y planctónica, que dan una edad Mioceno Medio (Serrivaliense), lo cual se corresponde con la Formación Freites. La última litofacies corresponde a una gruesa sección (1500 a 2500 pies) de lutitas grises a verde oliva localmente interestratificadas con capas delgadas de areniscas de grano fino. Estos

sedimentos fueron depositados en ambientes de aguas profundas, en el rango batial superior/ nerítico externo a nerítico interno.

Dentro del “foredeep” el Mioceno Inferior a Medio se puede dividir en dos secuencias depositacionales con ciclos regresivos hacia la base y ciclos transgresivos hacia el tope. Estos paquetes fueron depositados en un ambiente litoral a marino somero con barras costeras que progradan principalmente de oeste a este. Estos ciclos contribuyen al relleno del “foredeep”.

El mapa paleogeográfico basado en Di Croce (1995) muestra el régimen de deposición regional durante el Serrivaliense, debido a que para esa edad la sedimentación estuvo fuertemente controlada por la subsidencia del “foredeep” (*Figura 4.14*).

#### *4.4.5.3. Mioceno Superior:*

El Mioceno Superior representa una fase transgresiva y se pueden diferenciar dos litofacies principales (4000 pies de espesor): la primera litofacies consiste de lutitas y limolitas intercaladas con areniscas pobamente escogidas de grano medio a fino, restos de plantas y eventuales capas de lignito. El ambiente depositacional es continental a planicie costera. La segunda litofacies contiene lutitas grises y verde oliva con abundantes foraminíferos bénicos, limolitas y areniscas pobamente escogidas. Estos sedimentos fueron depositados en ambientes marino somero a nerítico externo/ batial superior.

#### *4.4.5.4. Plioceno – Pleistoceno:*

El Plioceno - Pleistoceno consiste de patrones granocrecientes compuesta de areniscas conglomeráticas, pobamente escogidas de grano fino a grueso, limolitas micáceas color rojo - marrón y lutitas con ocasionales estratos de lignito.

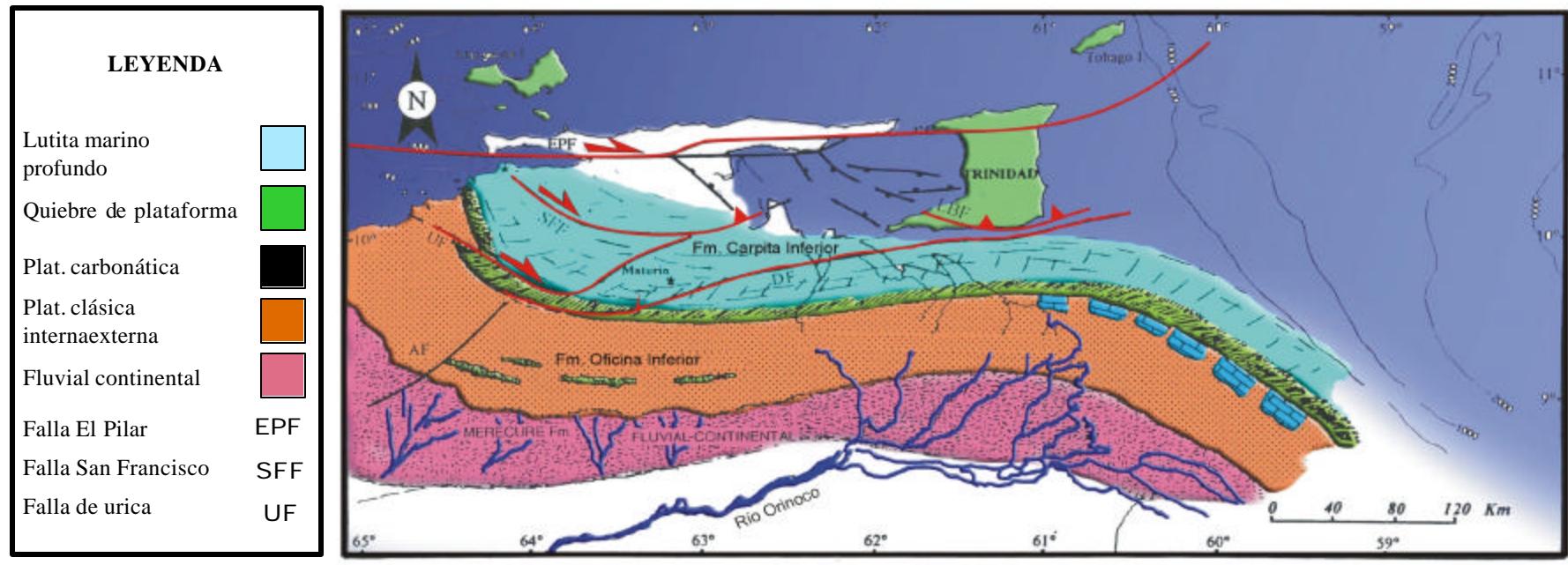


Figura 4.13. Mapa de facies del Mioceno Temprano justo después del comienzo del “foredeep” (25 Ma). Tomado y modificado de Di Croce (1995).

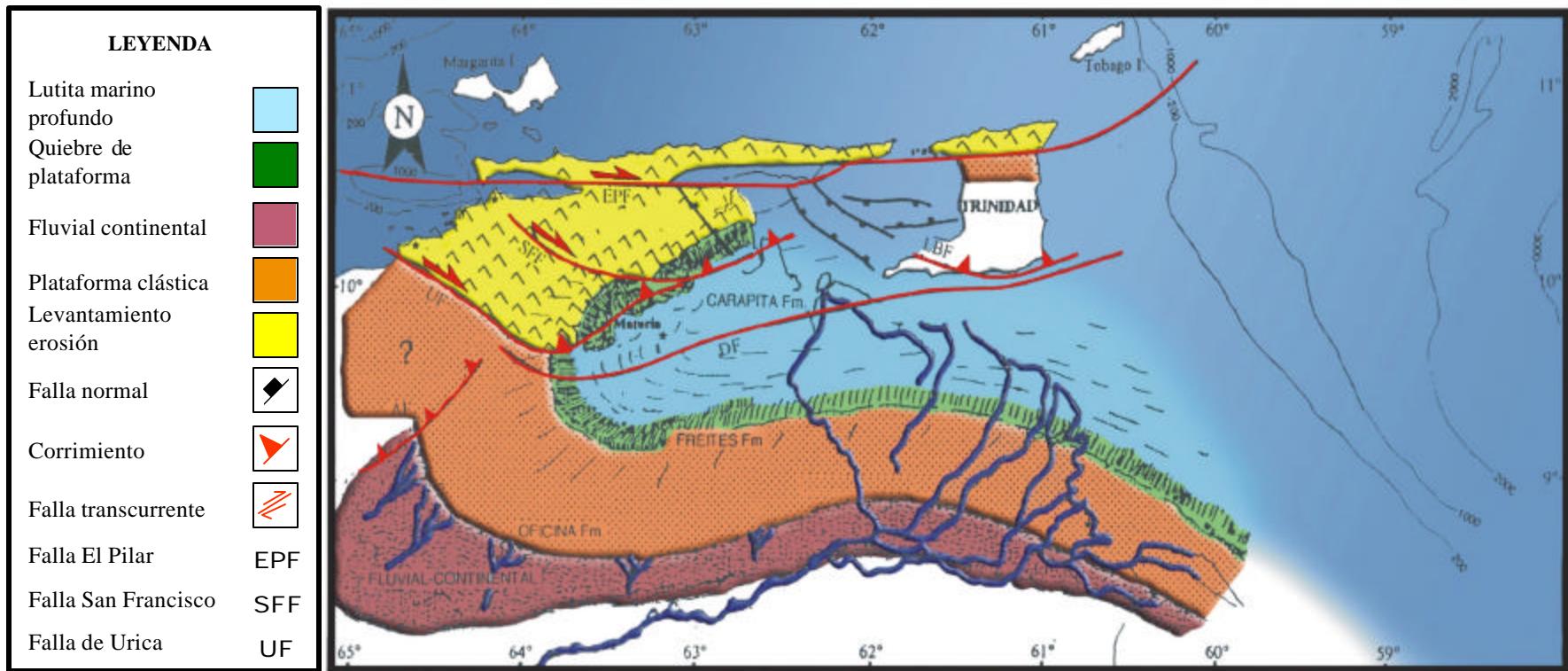


Figura 4.14. Mapa de facies del Mioceno Medio (15 Ma). El norte de Monagas y el cinturón plegado derivado del levantamiento montañoso son desplazados por la deformación Neógena Tardía. Tomado y modificado de Di Croce (1995).

La presencia de fauna es muy pobre, sin embargo la edad para esta unidad es Pliocena y los ambientes depositacionales son marino somero a continental.

En la *Figura 4.15* se muestra el mapa del Plioceno Temprano hace 5.5 millones de años.

El Plio-Pleistoceno se corresponde con un ciclo regresivo que incluye una facies granodecreciente hacia la base seguida por una deposición granocreciente hacia el tope (Hung, 1997).

#### **4.5. DESCRIPCIÓN LITOESTRATIGRÁFICA:**

A continuación se describirán las formaciones geológicas más importantes del marco regional que engloba la zona de estudio (Tomado y modificado del Léxico Estratigráfico, 2001):

##### **4.5.1. Formación Capaya:**

**Autor:** Hedberg y Pyre, 1944

**Edad:** Mioceno Temprano

Por infrayacer la Formación Capaya, a pelitas con *Catapsydrax dissimilis* de edad Mioceno Temprano (Formación Carapita), y por suprayacer a la Formación Naricual, de edad probada Oligoceno terminal-Mioceno basal (Vivas, 1987), se considera de edad Mioceno Temprano, correspondiente a las zonas *Globorotalia kugleri* y *Catapsydrax dissimilis*, según zonación de Stainforth *et al.* (1975).

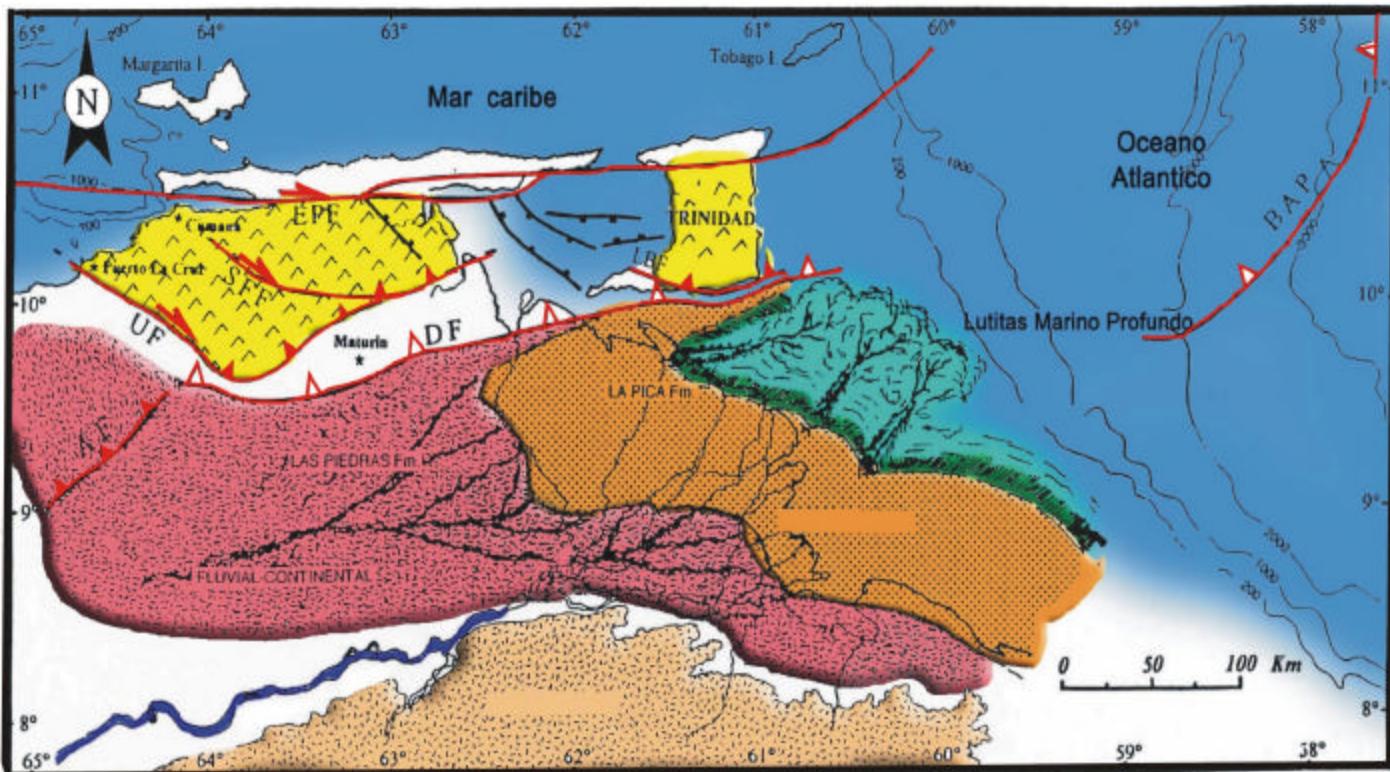
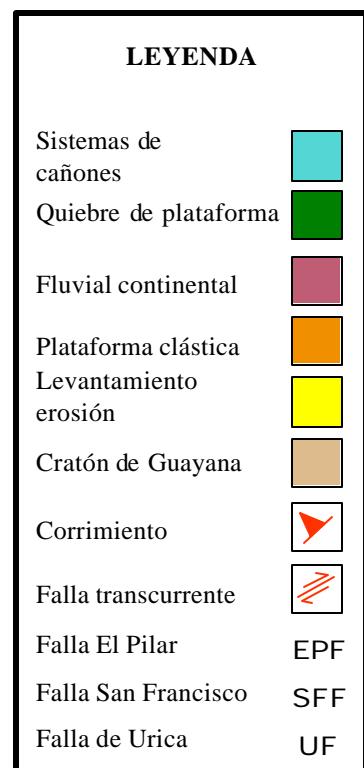


Figura 4.15. Mapa de facies del Plioceno Temprano hace 5.5 Ma. Tomado y modificado de Di Croce (1995).

**Localidad tipo:** Quebrada Carapita, coincidente con el intervalo descrito originalmente por Hedberg (1937-b) como miembro inferior (arenoso) de su Formación Carapita. Este holoestratotipo se halla en la hoja 1:100.000 de Cartografía Nacional N° 7345. La sección tipo es una secuencia volcada, sobre el flanco septentrional del sinclinal de Teresén.

**Descripción litológica:** Hedberg y Pyre (1944) describieron la unidad como areniscas de colores gris, gris verdoso, gris marronusco-verdoso, marrón y "sal y pimienta", de grano fino, laminadas, con intercalaciones de lutitas limosas o arenosas con niveles de nódulos de arcilita siderítica. Peirson (1965) reportó que las areniscas tienen estratificación gruesa (hasta 12 m), con laminaciones finas, localmente cruzadas y asociada con material micáceo y carbonáceo. El color verdoso y la presencia de fthanita son las principales características de la formación. Las lutitas (hasta 80% de la formación) son muy limosas, con láminas y capas delgadas de arenisca arcillosa muy fina, de color gris marronusco a gris, raramente gris oscuro. Carbones y lignitos de hasta 0.35 m de espesor aparecen cerca de la base en el área tipo.

Hedberg (1937-c) mencionó la presencia persistente de granate y cloritoide, con algunas ocurrencias de estaurolita y glaucofano, además de ilmenita, leucoxeno, circón, rutilo, anatasa y brookita.

La Formación Capaya, según Vivas (1987), consiste en una alternancia de ritmitas y paquetes de areniscas cuarzosas, micáceas, algo glauconíticas, de grano fino a medio, y aún guijarroso, de color claro, y de areniscas limosas, micáceas y glauconíticas de grano fino, de color gris verdoso, tipo sal y pimienta. Las partes media y superior de la secuencia se torna más pelítica, y contienen interestratificaciones de lutitas limosas, con nódulos de limolita ferruginosa. En el holoestratotipo, afloran dos capas de carbón, una en la base, y otra en el tope de la formación. En secciones de referencia de la región, Vivas (1987) cita lentes subconglomeráticos polimícticos con clastos de chert negro y micritas negras con

*Zoophycos*, sp. Las estructuras sedimentarias, tanto en areniscas como en ritmitas, son laminación paralela, gradación normal e inversa en la misma capa, moldes de carga, laminación cruzada festoneada o planar. Las psamitas de la formación presentan bioturbación en todos los niveles; en la parte inferior, se citan *Cochlichnus* y *Planolites*; y en la superior, *Teichichnus* icno sp.

**Espesor:** Hedberg y Pyre (1944-a y b) citan 670 m de espesor en la sección tipo, aumentando hacia el oeste, hasta su coalescencia con la Formación Capiricual. Peirson (1965) midió 640 m en la sección tipo, 657 m en la quebrada Peña y asignó un espesor de 1.031 m a la Formación Capaya en el pozo Divi-1. Vivas (1987) mide 425 m de la sección tipo en la quebrada Teresén, 490 m en el río Aragua, 750 m en la quebrada El Maco, todas hacia el sureste.

**Extensión geográfica:** La Formación Capaya se encuentra siempre en asociación con las formaciones Carapita y Uchirito. Constituye una banda de 500-800 m de ancho entre las quebradas Peña y Carapita; esta bien desarrollada en el río Aragua y ha sido reconocida en el río Areo, 50 km al este de la quebrada Carapita. Se extiende por lo menos hasta la quebrada Macó, al oeste. En el subsuelo, el intervalo 5080'-8463' del pozo Divi-1, localizado a 17 Km al sur del frente de montaña, está asignado a la formación Capaya (Peirson, 1965). La formación constituye afloramientos continuos en el noreste del estado Anzoátegui, por 55 Km desde la autopista de Barcelona-km 52, al noroeste, hasta el río Amana al sureste (Vivas, 1987).

**Expresión topográfica:** Forma colinas bajas, a lo largo del frente meridional de la serranía del interior oriental.

**Contactos:** En la región tipo, la Formación Capaya suprayace a la Formación Naricual, concordante y transicionalmente; e infrayace a la Formación Carapita, a la cual pasa gradualmente hacia el este y sureste. Hacia el noroeste, del área tipo, esta unidad fue separada arbitrariamente por Hedberg y Pyre (1944-a), de la parte inferior

de la Formación Capiricual. Vivas (1987), demuestra la continuidad de la Formación Capaya en esta dirección, al no poderse distinguir litológicamente ambas formaciones; Capaya tiene prioridad de página sobre Capiricual, en su definición original. Localmente, al noroeste del río Querecual, la Formación Capaya, se presenta en contacto tectónico con la Formación Uchirito suprayacente (Vivas, 1987).

**Correlación:** Hacia el sureste, la Formación Capaya, pasa gradualmente a la Formación Carapita (Stainforth, 1971), siendo correlativa de la parte media de esta última, correlaciona además con la Formación Naricual. Hacia el sur, se le considera correlativa con las "arenas" P-3 a U-1 de la Formación Oficina (De Sisto, 1960).

**Paleoambientes:** Peirson (1965) interpretó al ambiente de sedimentación como marino moderadamente profundo; la primera aparición de abundante fítnita (de la Formación Querecual) en la columna sedimentaria le indicó un brusco cambio en las fuentes de sedimentos desde el Escudo de Guyana a levantamientos de terrenos al norte del área de afloramiento. En la segunda edición del Léxico Estratigráfico de Venezuela (1970), se adjudica, un ambiente salobre a esta formación. Los foraminíferos citados por Pierson (en Vivas, 1987) de la sección tipo, y las estructuras sedimentarias, sugieren ambiente de nerítico externo para los miembros inferior y medio, que pasan a ambiente batial, en la parte superior de la Formación Capaya. Los moluscos citados del tope de la formación, sugieren paleopropundidades de  $500 \pm 40$  m: *Cuspidaria*, *Crenella*, etc. (Macsotay en Vivas, 1987).

#### **4.5.2. Formación Carapita:**

**Autor:** Hedberg (1937-a)

**Edad:** Oligoceno-Mioceno

**Localidad tipo:** Quebrada Carapita, tributaria del río Querecual, entre 2 y 5 Km, al norte de Santa Inés, distrito Libertador, estado Anzoátegui, Hoja 7345, esc. 1:100.000, Cartografía Nacional. No se ha descrito sección de referencia para el subsuelo.

**Descripción litológica:** En el subsuelo, la Formación Carapita consiste casi exclusivamente de lutitas de color gris oscuro a negro, macizas, a menudo lustrosas, en general calcáreas y con un alto contenido de foraminíferos. Localmente pueden ser piríticas o glauconíticas (Stainforth, 1971).

En términos generales, las areniscas son escasas y sólo se presentan en las áreas donde la Formación Carapita pasa gradualmente a las formaciones Oficina al sur y Capiricual al oeste, o donde está presente el Miembro Chapapotal, constituido por areniscas lenticulares turbidíticas.

**Espesor:** Por cuanto los pozos que han atravesado la Formación Carapita hasta llegar a las unidades infrayacentes se encuentran en la faja piemontina, donde la erosión pre-La Pica afectó a la Formación Carapita, no se conoce una sección completa de la formación en el subsuelo. El espesor original de la formación en la mayor parte de la cuenca, oscila entre 4500 y 6000 m (Stainforth, 1971).

**Extensión geográfica:** En el subsuelo, la Formación Carapita está presente en el norte de Monagas, extendiéndose hacia el este por debajo del golfo de Paria (Renz *et al.*, 1963).

**Contactos:** El contacto inferior de la Formación Carapita asciende cronológicamente hacia el oeste y descansa sobre formaciones distintas dependiendo del sitio en la cuenca. Hacia el oeste, las lutitas de la formación son concordantes, con un contacto diacrónico y transicional, sobre las formaciones Naricual y Capaya. Hacia el oeste, suprayacen concordantemente a las lutitas y limolitas de la Formación Areo, aunque

localmente puede ser discordante (Lamb y De Sisto, 1963). A lo largo del flanco norte de la cuenca, el tope de la Formación Carapita está truncado, e infrayace con fuerte discordancia a la Formación La Pica, o a la Formación Las Piedras más al norte (Stainforth, 1971).

**Correlación:** La Formación Carapita es correlativa de las formaciones Freites, Oficina, Naricual, Capiricual y Quiamare en el subsuelo de Venezuela oriental. Hacia el este, se correlaciona con las formaciones Brasso, Cipero y Nariva de Trinidad. Al oeste de la subcuenca de Maturín, considerando las formaciones marinas hasta cierto punto homólogas con la Formación Carapita, se reconocen como unidades correlativas la Formación Roblecito, en la subcuenca de Guárico; las formaciones Guacharaca y Grupo Agua Salada, en Falcón oriental; con formaciones El Paraíso, Pecaya, Pedregoso y Agua Clara, en Falcón central y occidental y las formaciones Siamaca, Uitpa, Jimol, y Castillete, en la Península de la Guajira (Stainforth, 1971).

**Paleoambientes:** En su mayor parte, el ambiente de sedimentación de la Formación Carapita fue extensión de facies marinas profundas que pasan lateralmente hacia los bordes de la cuenca, a facies marinas someras y marginales, con discordancias intraformacionales en el flanco norte.

La Formación Carapita representa una invasión marina iniciada en el Oligoceno, y una retirada del mar durante el Mioceno Superior, con migración del eje de la cuenca en dirección sur, a lo largo del tiempo (Stainforth, 1971).

#### **4.5.3. Formación Quiamare:**

**Autor:** Hedberg y Pyre, 1944

**Edad:** Mioceno Temprano-Tardío

Los foraminíferos planctónicos reportados por Peirson (1965) sugieren Mioceno Temprano. El Miembro Salomón sugiere una edad Mioceno Superior basal (Campos y Osuna, 1977) (Campos *et al.*, 1980). La fauna consistió de numerosos individuos, y no fue retrabajada como aseveraron Campos *et al.* (1980), por lo tanto la edad Pliocena queda descartada.

**Localidad tipo:** La sección tipo se encuentra en Anzoátegui nororiental, a lo largo de la carretera Puerto La Cruz-Oficina, desde el kilómetro 36.5 en la cresta de Boca de Tigre, hacia el sur hasta San Mateo, casi hasta el inicio de los afloramientos de la Formación Las Piedras. Según Salvador (1964), la definición Los miembros Revoltijo, Salomón y San Mateo (antes "Dividive"), poseen secciones tipo, designadas por Hedberg y Pyre (1944), y El Pilar, designado por Vivas y Macsotay (1989). Regiones tipos, aunque no localidades específicas de los Miembros El Pilar y Guanape, fueron descritas por Hedberg (1950).

**Descripción litológica:** Secuencia monótona de arcilitas gris verdosas, rojas pardas y gris-azulado, en capas plurimétricas poco definidas, con intercalación de areniscas guijarroosas, lutitas carbonáceas y lignito en capas lenticulares, métricas. El carácter distintivo de la formación lo constituyen las secuencias arcilíticas dominantes (entre 80% y 95%) moteadas, abigarradas, monótonas; los miembros se distinguen entre sí por proporciones variables de otras litologías, como las areniscas guijarroosas, los escasos niveles carbonáticos (Onoto) o algunos conglomerados masivos (El Pilar, Guanape, Peña Mota). Además, se observan cambios laterales rápidos de litofacies en estos sedimentos continentales a marinos muy marginal, haciendo difícil ubicar con precisión los contactos entre miembros. El miembro de mayor extensión lateral en sentido este-oeste es Salomón, tipificado por las arcilitas abigarradas, monótonas.

En la región de Camatagua, Bell (1968-b), reconoció lodolitas (90%) con intercalaciones de areniscas y conglomerados lenticulares; los conglomerados en esta

área presentan matriz arcillosa en lugar de arenosa, como es el caso más al este. Las lodolitas y arcilitas suelen ser ferruginosas, lo cual les confiere coloraciones rojas, rojo-violáceas, rasgo que es más notorio en el sector septentrional de los afloramientos, y que ha servido para tratar de separar formaciones nuevas. Los estudios por difracción de rayos-X, indican una composición principalmente de caolinita, con cantidades pequeñas de cuarzo, plagioclasa, muscovita y hematita (Bell, 1968-b).

**Espesor:** En su región tipo, la Formación Quiamare tiene unos 3.050 m de espesor (Young *et al.*, 1956). De Sisto (1960) con base en un perfil eléctrico compuesto de Anzoátegui nororiental, estimó espesores de mas de 1.280 m para la formación, mas de 885 m para el Miembro Salomón (erosionado en su tope) y 395 m para el Miembro Revoltijo. El Miembro San Mateo está erosionado en ese área, pero mide 15 m de espesor en su sección tipo. Vivas y Macsotay (1989) reportaron más de 4.000 m en el transecto Potocos-Caigua-San Miguel, y más de 1.500 m tectonizados entre Valle de Guanape y El Alambre. Peirson (1965) reportó un mínimo de 2.560 m en el sector este de su afloramiento. Entre Valle de Guanape y El Alambre, mas de 1.500 m, tectonizados. Hacia el este, la unidad ha sufrido erosión progresivamente más intensa, y más allá del saliente de Aragua, la unidad se halla ausente.

Debido al enorme espesor de la formación y la pobreza de sus afloramientos, es difícil llegar a valores precisos para su espesor. Los valores de Peirson (1965), basados en un combinación de secciones medidas, correlaciones con fotografías aéreas y el control de pozos, dan estimados de un máximo de 6.000 m. La formación se adelgaza a unos 3.500 m hacia el este, a expensas de la Formación Capiricual.

**Extensión geográfica:** Debido a su gran espesor y bajos buzamientos, la formación tiene la más amplia distribución de afloramientos de toda la parte nororiental y norcentral de Anzoátegui. La Formación Quiamare, se extiende a lo largo del frente de montañas en los estados Anzoátegui (área de Santa Inés) y Guárico (área de

Altagracia de Orituco), según Hedberg (1950-a) y Salvador (1964). Su extensión hasta la región de Camatagua (Estado Aragua) descrita por Bell (1968), es puesta en duda por Beck (1978). Su extensión hacia el sur nunca ha sido definida, donde pasa lateralmente a la Formación Chaguaramas. Peirson *et al.* (1966) señalan afloramientos de esta unidad tanto al oeste como al sur de Ortíz, estado Guárico, aunque admiten no poder separarla de la Formación Chaguaramas Superior.

**Expresión topográfica:** Los estratos de Quiamare se expresan con un relieve bajo que, sin embargo, refleja las trazas de las capas más resistentes en las grandes estructuras como: el Anticlinal de Quiamare, las gruesas areniscas del Miembro San Mateo forman una colina baja de cierta persistencia que definen el Sinclinal de Dividive, y los conglomerados del Miembro El Pilar conforman una prominente cresta elevada (570 m) en su sitio de mayor desarrollo, desde donde se extienden hacia el este y oeste colinas más bajas que reflejan su interdigitación con la parte mas arcillosa de la formación.

**Contactos:** Originalmente se pensó que la base de la Formación Quiamare es concordante y generalmente transicional sobre las formaciones Quebradón y Capiricual (Hedberg, 1950-a). Esta relación se confirmó, pero sólo en el noreste de Anzoátegui y con la Formación Uchirito solamente; al norte de Anzoátegui, la relación con la Formación Quebradón, infrayacente, es de discordancia angular (Vivas y Macsotay, 1989). En la región de Camatagua, suprayace concordantemente a la Formación Quebradón (Bell, 1968-b); entre Boca del Unare y Altagracia de Orituco, se observó fallado contra la Formación Quebradón; un contacto de discordancia se dedujo por análisis cartográfico (Vivas y Campos, 1977). El tope de la Formación Quiamare está truncado por erosión, excepto en Anzoátegui norcentral, donde se halla cubierto por la Formación Freites. Hacia el sur, la unidad pasa gradual y transicionalmente a la Formación Chaguaramas superior (Peirson *et al.*, 1966; Bell, 1968-b), aunque nunca se hayan definido los límites respectivos. Peirson (1965)

reportó que Quiamare se interdigita hacia el este con la Formación Carapita y es transicional lateralmente con la Formación Oficina hacia el sur y sureste.

**Correlación:** La Formación Quiamare en las áreas inmediatamente adyacentes, sólo es correlativa de la Formación Siquire, en la cuenca del bajo Tuy (Beck, 1985); en la subcuenca de Monagas, posiblemente sea correlativa de la Formación Carapita Superior y de la Formación Morichito (Chiock, 1985; Campos *et al.*, 1985).

Hacia el este, Quiamare se interdigita con las Formaciones Carapita, Capiricual y Uchirito y, hacia el suroeste con Chaguaramas superior. Con respecto a la Formación Oficina, el Miembro Salomón corresponde aproximadamente al intervalo Oficina, Tope Arena C-1/base, Arena F-3; el Miembro Revoltijo corresponde al intervalo Oficina Tope Arena F-4/Tope Arena F-8 (De Sisto, 1960).

**Paleoambientes:** Quiamare fue depositado principalmente en ambientes que variaban entre continentales, salobres y aguas marinas muy llanas que, en escasos niveles llegaban a aguas marinas abiertas. En conjunto, la formación refleja el rápido relleno de una cuenca en donde la tasa de sedimentación se mantenía a la par con la subsidencia. Hedberg (1937-b; 1950-a) presentó una lista de moluscos indicativos de facies de aguas marinas, llanas o salobres, provenientes de los miembros Salomón y San Mateo, de las áreas orientales de los afloramientos, donde la Formación Quiamare grada a unidades más marinas, como la Formación Carapita (González de Juana *et al.*, 1980). La Formación Quiamare desde su descripción original, fue considerada como un depósito continental, piemontino, cuyos conglomerados eran de carácter orogénico (Campos y Osuna, 1977). Los afloramientos de Anzoátegui septentrional son interpretados como paleosuelos, con cauces fluviales, con sólo escasos horizontes marinos someros en el Miembro Salomón (Vivas y Macsotay, 1989). En los estados Guárico y Aragua, el paleoambiente es continental, piemontino, de suelos selváticos zurdados por cursos fluviales (Bell, 1968-b; Beck, 1977). Sus rasgos corresponden a una típica molasa post-orogénica, relacionada a la

estructuración de la Serranía del Interior, tanto oriental como central (Vivas y Macsotay, 1989).

#### **4.5.4. Formación Las Piedras:**

**Autor:** González de Juana, 1946

**Edad:** Mioceno Tardío-Plioceno

González de Juana (1946) la colocó en el Plioceno, basado en su posición estratigráfica discordante encima de la "formación Punche" (Formación Freites) de edad "decididamente Mioceno Tardío". Los pocos fósiles y sus relaciones estratigráficas indican la edad de Mioceno Tardío a Plioceno.

**Localidad tipo:** Pozo Las Piedras N° 1, de la antigua concesionaria California Petroleum Corp., entre 275 y 1280 m (González de Juana, 1946), y el intervalo 488-1372 m (aproximadamente 1600-4500) (Hedberg, 1950).

**Descripción litológica:** En la localidad tipo, la Formación Las Piedras consiste en areniscas micáceas, friables, de grano fino y colores gris claro a gris verdoso, interlaminada con lutitas gris a verdoso, arcilitas sideríticas, grises, lutitas ligníticas y lignitos (Hedberg, 1950). También se encuentran algunas calizas arenosas duras y de color verde. González de Juana (1946) mencionó un conjunto mineralógico más complejo que el de la Formación Mesa, con abundante andalucita, biotita, clorita, cloritoide, kyanita y corundum y, menos abundante, granate, glaucofano, hornblenda, epidoto, estaurolita, sillimanita, muscovita y titanita.

El Miembro Basal Prespuntal, en su localidad tipo, entre los km 67 y 70 de la carretera de Puerto La Cruz a San Tomé, entre San Mateo y Cantaura, contiene en su parte inferior areniscas conglomeráticas que pasan hacia arriba a areniscas laminadas,

ferruginosas con limolitas y arcillas pardo-rojizas moteadas. En la parte superior predominan arcillas pardo-rojizas yesíferas, con ocasionales capas de arenisca en capas delgadas. El Miembro Caicaito, localizado entre los Km 73 y 79 de la misma vía, consiste principalmente en arcilitas y limolitas gris azulado, que meteorizan a colores pardos, con intercalaciones de areniscas laminares localmente duras y calcáreas.

**Espesor:** En la sección tipo, la formación tiene 1005 m de espesor, el cual aumenta hacia el eje de la cuenca de Maturín, hasta un máximo probable de 1370 m (L.E.V., 1970). Hacia los flancos de la cuenca, el espesor disminuye aproximadamente a la mitad. En cuanto a los miembros Prespuntal y Caicaito, sus espesores en el área tipo San Mateo-Cantaura, son de 457 y 305 m, respectivamente.

Según Hedberg (1950), 884 m en el pozo tipo, 460 m en los afloramientos de Anzoátegui hasta 1.525 m en pozos del eje de la cuenca. De Sisto (1961) mostró algunas 2.286 m de "Mesa-Sacacual" en el eje de la cuenca. Barnola (1960) reportó un espesor que varía entre cero y 2.400 m en el campo Pedernales.

**Extensión geográfica:** La formación aflora en la porción septentrional de los estados Anzoátegui y Monagas. En el subsuelo se extiende al este hasta Pedernales, Territorio Delta Amacuro y golfo de Paria. Hacia el sur, llega a las cercanías del río Orinoco en la faja petrolífera.

**Expresión topográfica:** Terreno plano o de suaves ondulaciones.

**Contactos:** En la parte norte de la cuenca de Maturín, la Formación Las Piedras es concordante sobre la Formación La Pica. En el borde norte de la cuenca, la formación traslapa los límites de La Pica y yace con fuerte discordancia angular sobre unidades del Mioceno al Cretácico. En el flanco sur de la cuenca, yace concordantemente sobre la Formación Freites. En el área mayor de Oficina, el contacto ha sido establecido en

la base de la Arena Tau, nombre aplicado localmente a la arena basal de la formación. En general, se emplea el criterio de fijar el contacto donde aparezcan las primeras capas de ambiente marino de la Formación Freites. En el extremo sur de la cuenca, ya cerca del río Orinoco, la formación yace posiblemente sobre el basamento ígneo metamórfico, al desaparecer la Formación Freites por acuñamiento (Jam y Santos, 1987).

En el lineamiento de los campos petroleros de Tacat-Santa Bárbara-Jusepín, la Formación Las Piedras aparece descansar concordantemente sobre la Formación La Pica, y discordantemente sobre Morichito y Carapita al norte del acuñamiento La Pica (Carnevalli, 1988). Hacia Delta Amacuro, la parte superior de Las Piedras se confunde con la parte inferior de la Formación Paria (Salvador, 1961).

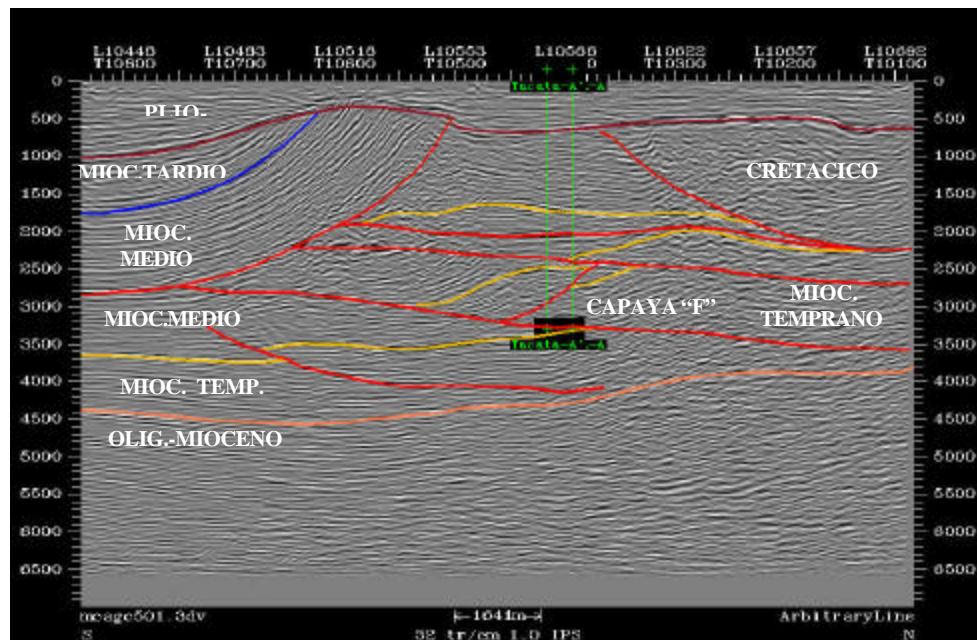
**Correlación:** Las Piedras (parte superior) es parcialmente equivalente a las Formaciones Quiriquire y (parte inferior) a la Formación La Pica. En Trinidad, las unidades equivalentes son las formaciones Taipero y parte superior de Springdale (área norte) y Erin y Morne l' Enfer (L.E.V., 1970).

**Paleoambientes:** Aguas dulces a salobres según Hedberg (1937). En el área del campo Pedernales, la formación fue depositada en un ambiente deltáico a marino somero (Barnola, 1960).

## CAPÍTULO 5: GEOLOGÍA LOCAL

### 5.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL:

La estructura local está conformada por el solapamiento de corrimientos de ángulo bajo, retrocorrimientos y pliegues asociados, que dan origen a la zona triangular. Estas características pueden ser observadas en la *Figura 5.1*, que corresponde a una línea sísmica arbitraria en dirección norte-sur (De Daal *et al.*, 2000).



*Figura 5.1. Línea sísmica noreste-suroeste. Tomada y modificada de De Daal *et al.* (2000).*

De Daal *et al.* (2000) señala que las estructuras geológicas prominentes para el marco regional que engloba la zona de estudio son: los Corrimientos de Tala y Pirital separados por la falla de Urica, los cuales ponen en contacto rocas de edad cretácica con sedimentos más jóvenes. Estos elementos estructurales se describen a continuación (*Figura 4.7*):

### 5.1.1. Falla de Urica:

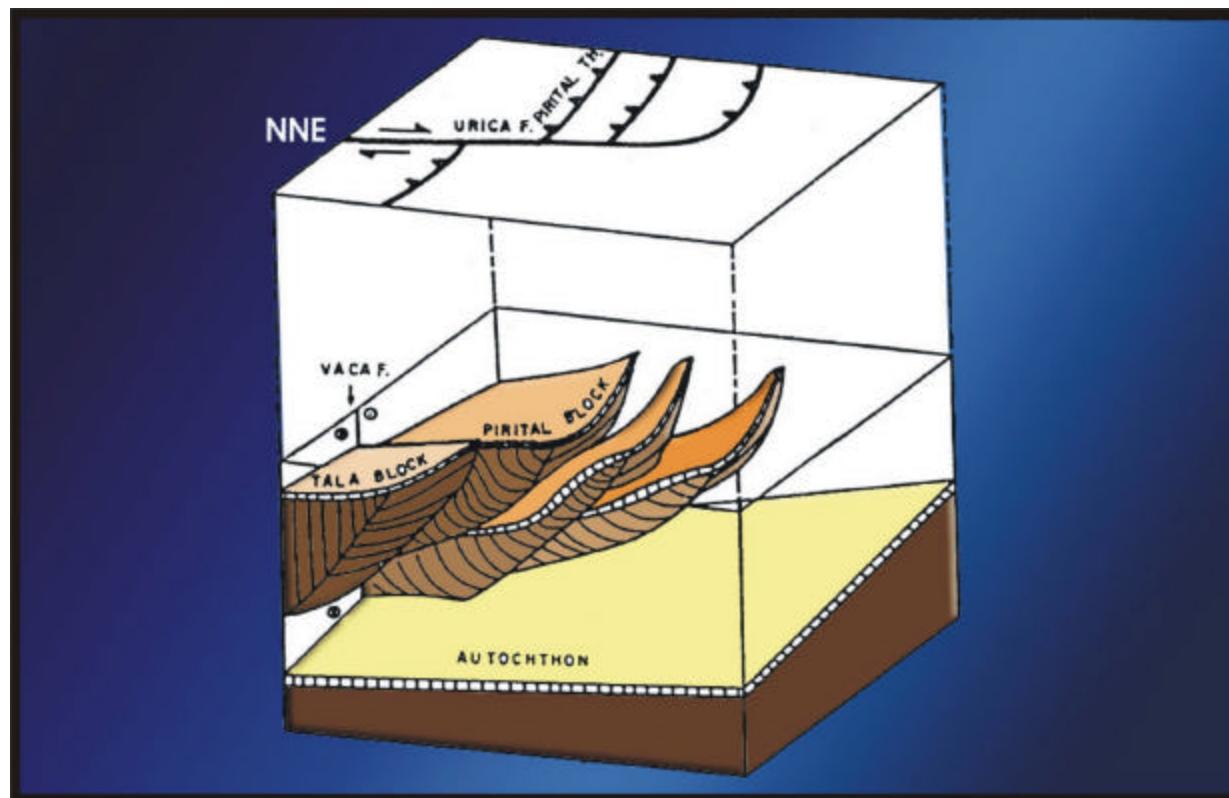
La falla de Urica es la de mayor importancia a nivel regional (Aguasuelos, 1991) ya que pone en contacto rocas cretácicas con rocas terciarias y al igual que las fallas de San Francisco y Los Bajos – El Soldado, posee dirección noroeste – sureste y es considerada una falla transcurrente sintética asociada a la falla El Pilar (González de Juana *et al.*, 1980). Sin embargo, Aguasuelos Ingeniería (1991) opina que estas fallas son rampas laterales del corrimiento principal presente en la Serranía del Interior.

Mijares (1995) asevera que la falla de Urica actúa como una rampa lateral con movimiento hacia el sureste de los Bloques Tala y Pirital (*Figura 5.2*), lo cual se evidencia por la deformación compresional en el Bloque Bergantín, el cual se aprecia en posición sur en relación con el Bloque Santa Rosa.

Aguasuelos (1991) señala que esta falla comprende dos tramos: uno occidental de unos 40 km de longitud ubicado al sur de Barcelona y Río Amana, de rumbo N110 – 120E, en el cual la falla y el material involucrado están expuestos en superficie; y un tramo oriental de unos 55 km de longitud, totalmente oculto por debajo del Cuaternario de rumbo N130 – 140E.

El tramo occidental posee de 4 a 7 km de ancho y la zona se encuentra comprendida entre el río Querecual y el río Amana. Está limitado por dos fallas maestras transcurrentes dextrales, contra la primera se amortiguan los pliegues de la Serranía y la segunda trunca hacia el este los pliegues de la subcuenca de Maturín (Vivas *et al.*, 1985; Vivas *et al.*, 1986 y Vivas *et al.*, 1987).

El tramo oriental se prolonga hacia el sureste con un rumbo N135E, siguiendo el margen oriental del río Amana, en su parte meridional desplaza dextralmente el anticlinal pre – Morichito (Aguasuelos, 1991).



*Figura 5.2. Vista tridimensional de la interpretación entre la falla de Urica, el corrimiento de Tala y los corrimientos presentes al Este de la falla de Urica. Tomado y modificado de Mijares (1995).*

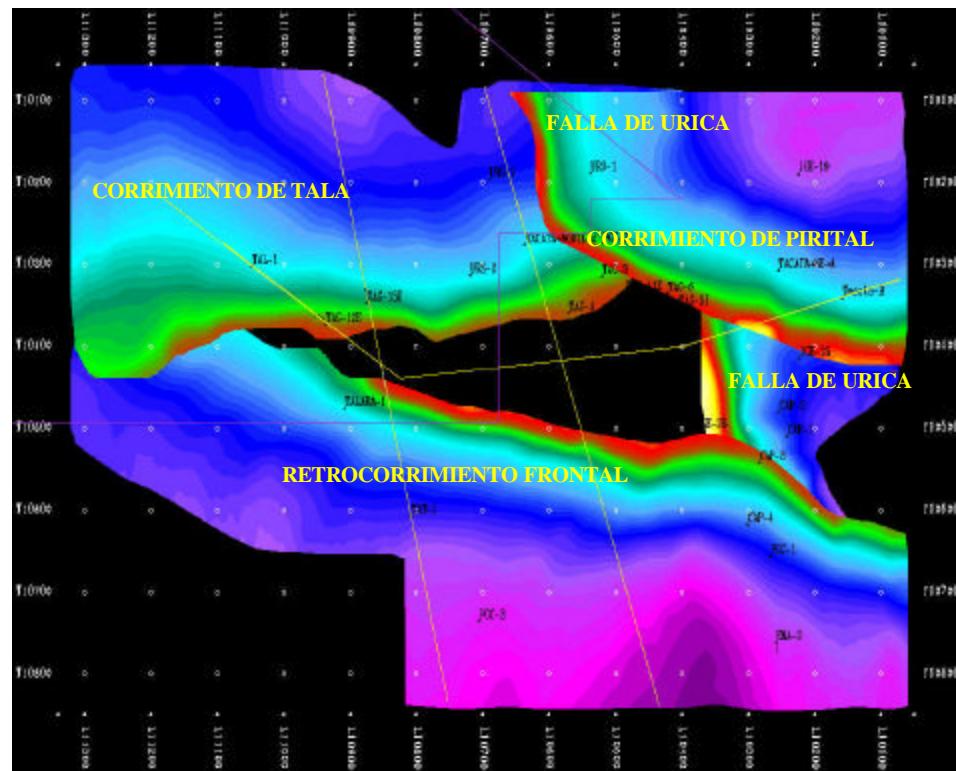
### **5.1.2. Corrimiento de Pirital:**

Aguasuelos (1991) señala que el corrimiento de Pirital es el frente tectónico hundido y sellado de la Serranía del Interior Oriental. Hacia el norte del mismo la columna sedimentaria refleja una sedimentación continua desde el Cretácico Inferior hasta el Mioceno Inferior, mientras que hacia el sur del corrimiento la columna sedimentaria es tipo Subcuenca de Guárico con un hiatus en todo el Paleoceno – Eoceno y facies de nerítico interno.

### **5.1.3. Corrimiento de Tala:**

Aguasuelos (1991) considera que el corrimiento de Tala tiene un rumbo estimado N80E. Hacia el oeste el corrimiento desaparece como tal y se conecta con la terminación meridional del ramal occidental de la falla de Urica. Hacia el este se encuentra desplazado y truncado por la ramal oriental de la misma falla.

En la *Figura 5.3* se muestra el cartografiado de estas estructuras principales, la tonalidad de colores indica los niveles estructurales en tiempo, el color amarillo corresponde a las zonas mas altas estructuralmente y la gradación de los otros colores (azul, morado, etc.) indican zonas de mayor profundidad en tiempo, nótese además, el efecto de la falla de Urica separando los corrimientos de Tala y Pirital.



*Figura 5.3. Estructuras geológicas principales para el área de estudio.*

*Tomado de De Daal et al. (2000).*

## 5.2. ESTRATIGRAFÍA LOCAL:

La información de los pozos perforados (registros, muestras de canal, núcleos, etc.) integrada con la información geofísica, indica que la columna estratigráfica del área de Tácata, objeto de estudio, está representada por la evolución de dos ciclos sedimentarios de edad cretácica y terciaria, separados por la discordancia pre-oligocena y que fueron depositados en ambientes que varían de continental / costero a batial (De Daal *et al.*, 2000) (*Figura 5.4 y 5.5*).

La secuencia cretácica, constituida por lutitas, areniscas, fíltanas y calizas fosilíferas, está representada por el Grupo Sucre (fms. Barranquín, El Cantil y Chimana), Grupo Guayuta (formaciones Querecual y San Antonio) y Formación San Juan (De Daal *et al.*, 2000).

La secuencia mejor conocida por la perforación de los pozos es la terciaria: formaciones Naricual/Merecure/Capaya, Carapita y Uchirito o sus equivalentes formaciones La Pascua, Roblecito y Chaguaramas, al oeste y Merecure y Oficina, al este. Esta secuencia terciaria se depositó en un ciclo mayor transgresivo – regresivo, que va desde el Oligoceno Tardío al Mioceno Tardío. Esto conformó un complejo de depósitos que van de fluvio-deltáicos (Naricual / Merecure / Capaya) a marinos profundo (Carapita), que pasan a depósitos regresivos litorales, deltáicos y continentales (Uchirito / Quiamare), por encima y discordantemente se encuentra el relleno total de la cuenca representado por areniscas conglomeráticas de las formaciones Mesa-Las Piedras. En el Frente de Montañas, se reconoce también al Grupo Merecure (formaciones Naricual, Areo y Los Jabillos), y a las Formaciones Quebradón y Quiamare. Es de hacer notar, que el Eoceno, no conocido en el área penetrada por el Pozo B, se depositó más al norte y posteriormente fue tectónicamente transportado hacia el sur a su posición actual en el Bloque de Tala, donde ha sido identificado en el área con la perforación del Pozo C (De Daal *et al.*, 2000).

En la *Figura 5.1* se puede observar que hacia el norte del área de Tácata – Pirital, las formaciones presentes son Mesa- Las Piedras del Mioceno Tardío – Plio/ Pleistoceno hacia el tope y por debajo de ellas, se encuentran en contacto discordante la sección Mioceno Medio a Temprano, representada por las formaciones Quiamare, Uchirito, Carapita, Capaya (Pozo B, Pozo C y Pozo I).

Las formaciones perforadas por el pozo Tácata I, en el área de estudio son de base a tope: Capaya, Carapita, Quiamare y Las Piedras; (*Figura 1.2*), las mismas son las descritas a continuación:

#### **5.2.1. Formación Capaya:**

Esta sección se caracteriza por una alternancia de areniscas y lutitas que muestran apilamientos de secuencias agradacionales depositadas durante el Mioceno Temprano. Se midieron de 1300 a 1500 pies de espesor, pero se observa fallamiento y repetición de secciones, detectadas tanto por el análisis bioestratigráfico como por la interpretación sísmica. Los ambientes son más someros en la base (litoral a nerítico interno) y profundizan algo hacia el tope, pudiendo llegar a nerítico externo – batial superior (De Daal *et al.*, 2000).

#### **5.2.2. Formación Carapita:**

Se encuentra caracterizada por sedimentos marino profundos, de ambientes que van de nerítico externo a batial superior a medio. Constituida por lutitas y limolitas de color negro o gris oscuro, con algunos niveles muy delgados de limolitas arenosas, y arenas. Estas últimas de espesores generalmente delgados y que en algunos casos corresponden a depósitos turbidíticos, que pueden haberse acumulado en concavidades del talud, o han sido producto de derrumbes, los cuales son

frecuentes en estos ambientes profundos (Tácata A), también se encuentran niveles arenosos que corresponden a depósitos de plataforma (De Daal *et al.*, 2000).

Esta formación se caracteriza por poseer una fauna de foraminíferos muy abundante y diversa. Su edad en el área es Mioceno Temprano a Medio. La sección puede medir de 3000' a 4000', pero en los pozos estudiados se encuentra fallada y muestra varias repeticiones de sección, al igual que lo que ocurre en la Formación Uchirito. Más al sur es equivalente a la Formación Oficina de edad Mioceno Temprano a Medio, a la que pasa transicionalmente (De Daal *et al.*, 2000).

### **5.2.3. Formación Las Piedras**

La unidad consiste principalmente de sedimentos finos mal consolidados, que incluyen areniscas y limolitas moderadamente carbonáceas, lutitas arcillosas y arcilitas abigarradas. El contacto inferior es discordante sobre las unidades anteriormente descritas. Se observan evidencias en la sísmica de relaciones geométricas características de solapamientos (“onlaps”) en los sedimentos más jóvenes y de truncaciones (“toplaps”) de sedimentos del Mioceno Medio contra la base de esta secuencia. Esta unidad es de edad Mio-Plioceno y carece de fósiles marinos, sólo se han encontrado moluscos de origen fluvial (De Daal *et al.*, 2000).

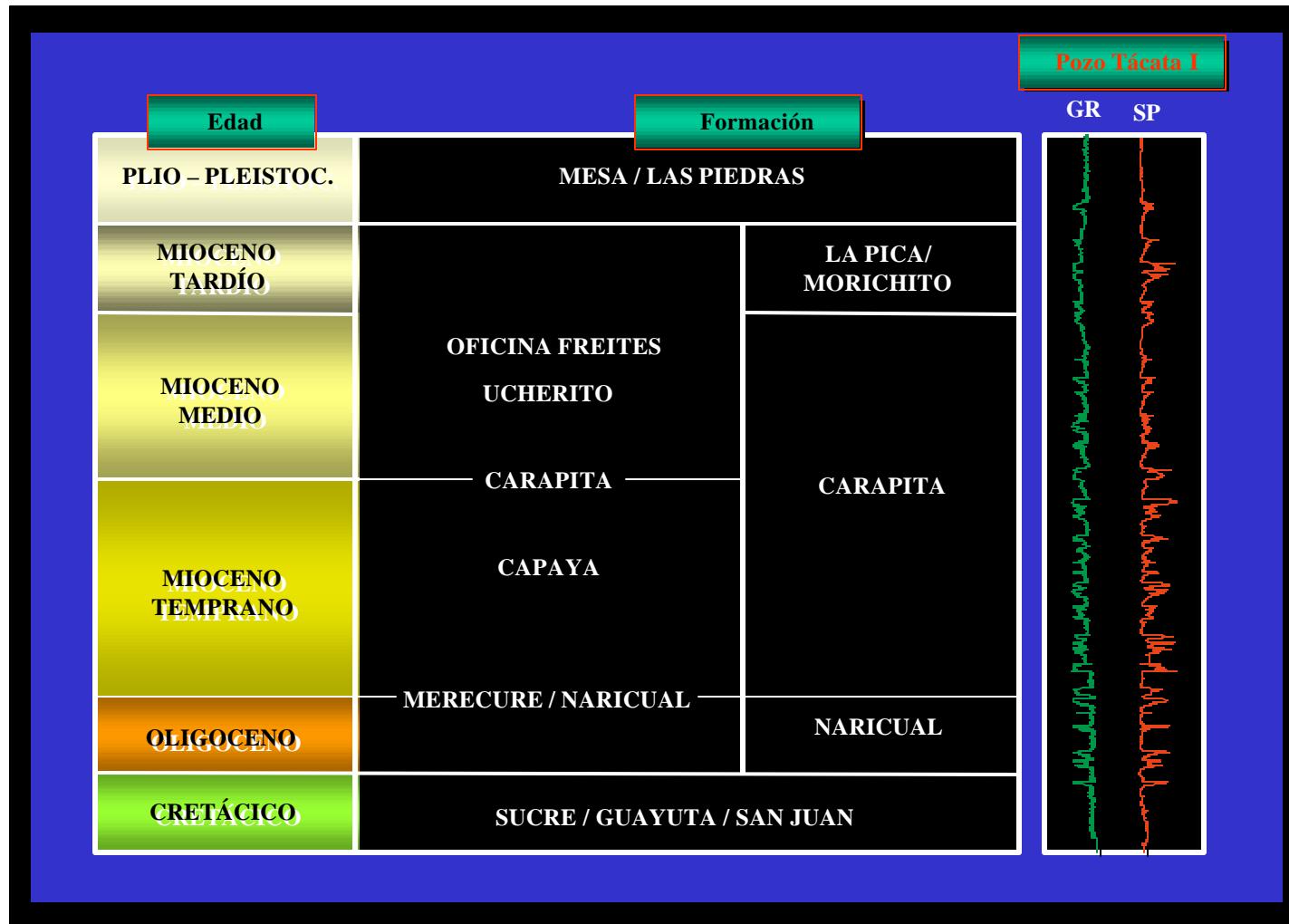


Figura 5.4. Estratigrafía local del área de Tácata. Tomado de De Daal et al. (2000).

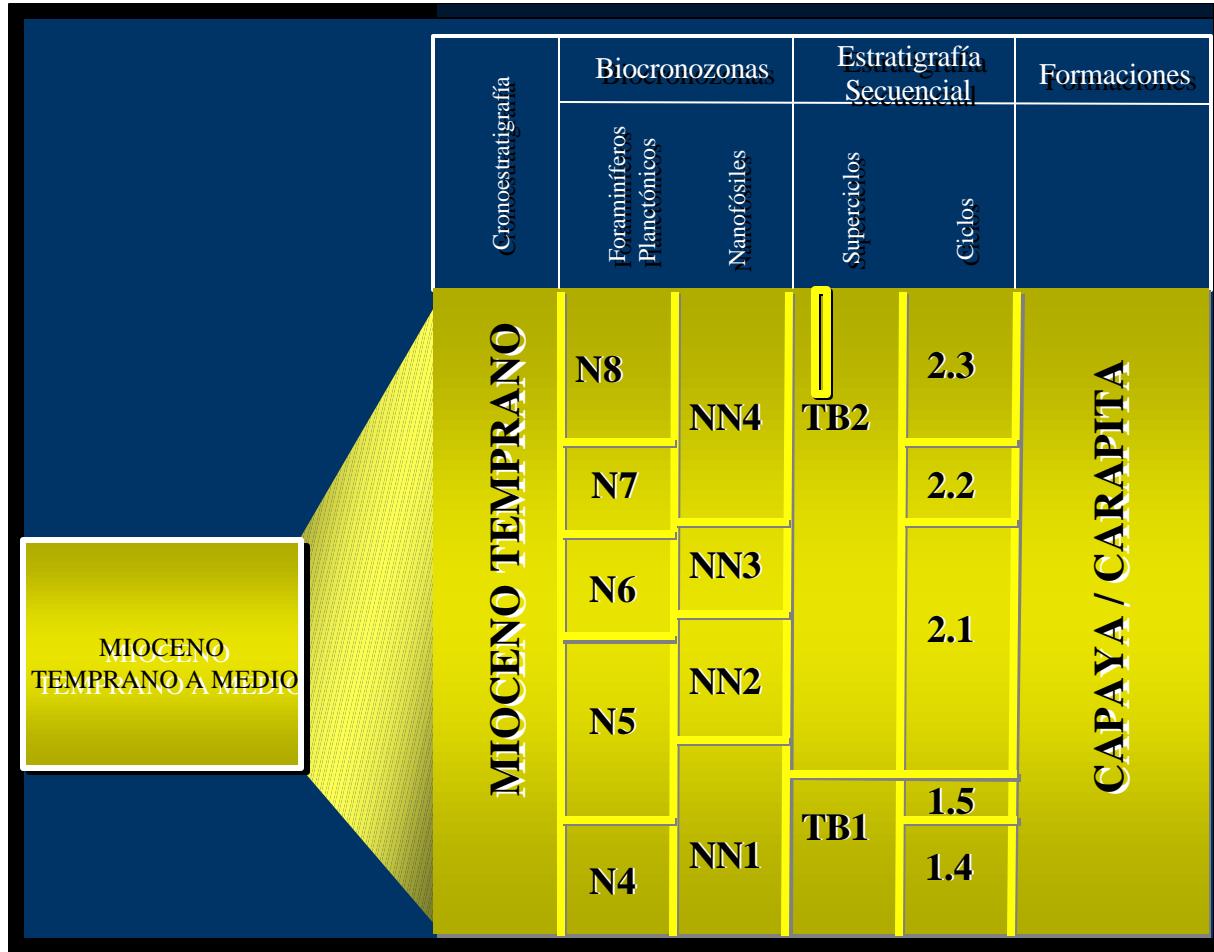


Figura 5.5. Detalle de la cronoestratigrafía mostrando las equivalencias entre las biozonas, ciclos de Tercer Orden y líneas de tiempo de acuerdo a la carta de Haq et al. (1988). Tomado y modificado de De Daal et al. (2000).

## CAPÍTULO 6: ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DEL POZO

En este capítulo se tratarán rasgos generales referentes a la sedimentología y a la bioestratigrafía de cada una de las formaciones estudiadas, aún cuando algunos de estos aspectos no correspondan a un objetivo del presente Trabajo Especial de Grado. Sin embargo, éstos han sido tomado en cuenta debido a que forman parte de la integración con los datos y análisis realizados en este estudio.

### 6.1. FORMACIONES CAPAYA Y CARAPITA:

Los análisis sedimentológicos (petrografía convencional y diagénesis) fueron realizados por Kummerow (2001) quién evaluó de manera detallada el intervalo de estudio. La ubicación de las muestras y los resultados sintetizados del análisis sedimentológico completo se encuentran en los *Anexos 1 y 2*, respectivamente.

El estudio sedimentológico se calibró con los resultados obtenidos a partir del análisis digital de imágenes, para lo cual se seleccionaron 33 secciones finas de areniscas en total (26 corresponden a las analizadas por Kummerow, 2001), a lo largo de la sección estudiada.

A partir de los resultados obtenidos a través del análisis digital de imágenes, se realizaron análisis *estadísticos simples o generales, gráficos y multivariantes*, a fin de observar el comportamiento para las muestras seleccionadas.

Los análisis estadísticos aquí mostrados, sólo indican una tendencia y permiten a su vez establecer una comparación entre la estimación visual y los resultados cuantitativos de la aplicación ADIE®, dado que el espaciamiento del muestreo no es constante y además, el mismo es reducido. De modo que las variables comparables son el tamaño de grano, el escogimiento y la porosidad.

### **6.1.2. Descripción litológica de las muestras de canal:**

En el *Apéndice A* y *B* se destacan las descripciones litológicas detalladas de cada muestra seleccionada para la elaboración de los análisis sedimentológicos, de palinofacies, foraminíferos, nannoplancton calcáreo y dinoflagelados, realizados para el intervalo de estudio. A continuación se hace la descripción litológica generalizada de base a tope de los intervalos tanto arenosos, como limolíticos y lutíticos de las formaciones Capaya y Carapita.

#### *6.1.2.1. Descripción litológica de la Formación Capaya:*

##### *- Profundidad: 15420'-15500'*

Este intervalo se encuentra caracterizado por la presencia de lutitas de color gris mediano, laminadas, la dureza varía de moderada a alta. En la base de la secuencia éstas lutitas son de carácter no calcáreo, mientras que hacia el tope son calcáreas. Se aprecian algunas limolitas de manera esporádica.

También es posible observar en este intervalo areniscas de color blanco, de grano medio, selección moderada y ligeramente calcáreas. Así como también, areniscas de color blanco, pero de grano muy fino y con buena selección.

##### *- Profundidad: 15360'-15400'*

La base de este intervalo se caracteriza por presentar lutitas de color gris claro a medio, dureza suave, muy calcáreas, compactas, masivas. Eventualmente se aprecian restos de madera.

El tope del intervalo contiene lutitas con las mismas características observadas en la base, pero también se observan lutitas de color gris medio con intercalaciones de

limolitas calcáreas de color beige, cuyo tamaño de grano es muy fino, a su vez posee una matriz arcillosa de color gris amarillento.

- *Profundidad: 15200'-15360'*

La base de este intervalo se encuentra caracterizada por la presencia de lutitas de color gris oscuro intercaladas, pocas veces, con arenas beige, se observa laminación y presentan una dureza suave, aunque en ocasiones el comportamiento es friable. Presencia de óxido de hierro.

Seguidamente en el intervalo se observan lutitas de color gris claro a gris moderado con intercalaciones esporádicas de areniscas color beige. Muy ligeramente calcáreas. La composición de las areniscas es esencialmente de granos de cuarzo subangulares a subredondeados, mal escogidos y tamaño de grano muy fino. También se pueden observar hacia el tope lutitas masivas, de color gris moderado, laminadas.

Entre las profundidades 15300' y 15305' se observan areniscas de color gris claro a medio, mal seleccionadas, angulares, subangulares a subredondeados, en ocasiones se presentan muy duras, con tamaño de grano fino, matriz arcillosa marronuzca, no calcáreas. También se aprecian calizas poco consolidadas, cristales de calcita y yeso con hábito fibroso. Se observan trazas de hidrocarburo pesado.

Entre las profundidades 15215' y 15220' se observan areniscas de color gris, de grano fino a medio, bien a mal seleccionadas y ligeramente calcáreas.

Posteriormente se aprecian lutitas laminadas de color gris medio intercaladas con arcillas de color gris amarillento, la dureza es suave y son de carácter calcáreo. También se aprecian lutitas de color gris medio intercaladas con limolitas de color

marrón amarillento; y lutitas ligeramente calcáreas de color gris oscuro a negro, de dureza moderada a suave, con moteados de yeso (alrededor de 80%).

El tope de la secuencia contiene lutitas de color gris medio a oscuro y masivas, además se observan lutitas de color beige intercaladas con limolitas de color beige, la dureza es suave y son ligeramente calcáreas.

- *Profundidad: 14800' – 15195'*

La base de la secuencia se caracteriza por la presencia de lutitas levemente calcáreas, de color gris medio a gris oscuro, con una dureza que varía entre suave, moderada a muy dura. En ocasiones, dichas lutitas se encuentran laminadas e intercaladas con limolitas de color beige, cuya composición es esencialmente cuarzo, aunque en menor proporción se observa muscovita.

La parte media y el tope de la secuencia se caracteriza por la presencia de lutitas calcáreas, aunque en ocasiones no son calcáreas, finamente laminadas de color gris mediano a oscuro. Se observa óxido de hierro y micropirita oxidada. Eventualmente se observan intercalaciones con limolitas de color beige mal consolidadas.

En el tope de la secuencia también es posible observar areniscas cuyo color varía entre blanco, gris claro y beige, con tamaño de grano fino y bien seleccionadas en la mayoría de los casos, pues en ocasiones se observan con selección moderada, los grano son subangulares y la matriz es cuarzosa con fragmentos de lutitas. Sin embargo, de manera esporádica se observan areniscas ligeramente calcáreas de grano grueso, mal seleccionadas con posibles impregnaciones de hidrocarburo.

- *Profundidad: 14580' – 14795'*

La base y tope del intervalo se caracterizan por la presencia de lutitas ligeramente calcáreas de color gris oscuro, de aspecto masivo, oxidadas y de dureza suave. Hacia la base se observa intercalación entre las lutitas y limolitas de color beige, no calcáreas y mal consolidadas. También se aprecian lutitas negras de dureza muy alta con un alto porcentaje de oxidación. Por otra parte, hacia el tope de la secuencia también se distingue madera petrificada (xilópalo), fragmentos de carbón y cristales de yeso.

En el tope de este intervalo se observan areniscas de color blanco y de color negro, de tamaño de grano fino y bien seleccionadas. También es posible apreciar areniscas ligeramente calcáreas de grano medio y grueso con moderada y mala selección, respectivamente. Se distinguen fragmentos de carbón.

- *Profundidad: 14320' - 14560'*

La base de este intervalo se caracteriza por la presencia de lutitas calcáreas de color gris claro a medio, con bandas de yeso y una dureza que varía entre moderada y alta, masivas. Mientras que el tope se caracteriza por la presencia de lutitas de color gris oscuro, de dureza suave a moderada y eventualmente se aprecian laminadas e intercaladas con arcillas de color beige. En ocasiones se observa lodo carbonático de manera aleatoria.

El tope del intervalo presenta areniscas calcáreas blancas y “sal y pimienta” de grano fino a muy fino, bien seleccionadas, aunque en algunos casos la selección es moderada. También se observan areniscas incoloras, de grano medio, mala selección y no calcáreas.

*- Profundidad: 14240'-14320'*

Este intervalo se caracteriza por la presencia de lutitas calcáreas de color gris medio a oscuro de dureza moderada con moteados blancos de yeso, masivas, en ocasiones se aprecian laminadas. Se aprecian fragmentos de carbón. Eventualmente se observan lutitas de color gris oscuro con intercalaciones de areniscas cuarzosas de color beige con granos mal escogidos, muy finos, de subredondeados a subangulosos y poco consolidadas. También en este intervalo se presentan areniscas calcáreas de grano medio a muy fino, con mala y buena selección, respectivamente.

*- Profundidad: 14150'-14200'*

En este intervalo se observan lutitas de color gris medio a oscuro, cuya dureza varía de moderada a alta, masivas y en ocasiones laminadas y calcáreas, se aprecia bandeadimiento de lodo carbonático dispuesto paralelo a la laminación. Se distinguen micas (muscovita y biotita) en gran proporción, micropiritas oxidadas y moteados de yeso.

*- Profundidad: 14140'-14100'*

En este intervalo se observan lutitas gris marronuzco, de dureza alta, ligeramente calcáreas y masivas. También se aprecian lutitas calcáreas de color gris medio, de dureza alta, intercaladas con arcillas amarillentas, se observan cristales de yeso y óxido de hierro. También se presentan en este intervalo areniscas calcáreas de grano muy fino, bien seleccionadas

*- Profundidad: 14140' – 12800'*

Este intervalo, en general, se caracteriza por presentar lutitas de color gris claro a gris oscuro intercaladas con arcillas color beige a gris amarillento. La dureza

de la lutita varía de suave a moderada y eventualmente se separa en forma de bloques. Este tipo litológico, en toda la secuencia, es calcáreo, en ocasiones se observan micropiritas y costras delgadas de óxido de hierro.

Hacia la base de la secuencia se presentan laminaciones gruesas de lutitas con presencia de micas, especialmente, muscovita.

Es importante destacar, que en algunos casos las lutitas tienen características similares a las descritas anteriormente, pero intercaladas con limolitas de color beige, de tamaño de grano muy fino, subangulares y con un escogimiento pobre.

También se observan calizas blancas recristalizadas a una profundidad de 13940' a 13945' (*Anexo 2*) y areniscas de color blanco, de grano muy fino, bien seleccionadas y ligeramente calcáreas, aunque también se distinguen de manera esporádica, no calcáreas.

#### *6.1.2.2. Descripción litológica de la Formación Carapita:*

##### *- Profundidad: 12650' – 12800'*

La base de este intervalo se encuentra conformado por lutitas laminadas de color gris medio a gris oscuro, masivas, de dureza moderada y ligeramente calcáreas. Eventualmente se presentan escamas de óxido de hierro en muy baja proporción y de manera dispersa se observan moteados de lodo carbonático.

En el tope de este intervalo la litología predominante consiste de lutitas de color gris medio a gris oscuro con presencia de lodo micrítico, poseen aspecto masivo y dureza muy suave. También hacia el tope se observan lutitas como las descritas anteriormente, pero intercaladas con arcillas de color beige y en ocasiones se aprecian intercaladas con lodo micrítico.

- *Profundidad: 12510' – 12650'*

Este intervalo se caracteriza por presentar hacia la base, areniscas grisáceas de composición cuarzosa con fragmentos de lutitas. El tamaño de grano es fino, de subangulares a subredondeados y poseen un escogimiento que varía de pobre a regular; la dureza es moderada, en ocasiones se observan niveles calcáreos. También se aprecian areniscas de color beige claro, mal preservadas, tamaño de grano muy fino y dureza moderada. Poseen fragmentos de lutitas en su composición y presentan óxido de hierro de manera escasa.

El tope de este intervalo se encuentra dominado por areniscas de color gris claro (color no uniforme) con presencia de micas, dureza suave, tamaño de grano fino, angulares a subangulares, escogimiento regular, matriz arcillosa poco consolidada y de carácter calcáreo.

- *Profundidad: 12400' – 11485'*

Este intervalo contiene hacia la base lutitas de color gris oscuro, brillantes, de aspecto masivo, alta dureza y presencia de muscovita. Mientras que hacia el tope de este intervalo se observan lutitas de color gris claro a gris medio, de aspecto masivo con una dureza que varía de suave a moderada. Se observan micas, en especial muscovita. También están presentes, areniscas de color gris claro con blanco, composición cuarzosa con fragmentos de lutitas en menor proporción, tamaño de grano fino a muy fino, buena selección, ligeramente calcáreas a no calcáreas.

Entre el intervalo 12165' y 12170' de profundidad, se observan areniscas de color gris claro con fragmentos de lutitas en su composición, dureza suave, tamaño de grano muy fino, subangulares a subredondeados, arreglo pobre, presencia de muscovita, muy calcáreas.

### 6.1.3. Petrografía de Areniscas:

La composición general de las 33 muestras de areniscas de las formaciones Capaya y Carapita se pueden observar detalladamente en la *Tabla 6.1*. Existe un predominio de granos en general (60% - 98%), el porcentaje de matriz es considerable (1% - 40%), el cemento mayormente, se presenta en trazas, sin embargo eventualmente alcanza el 15%. La porosidad también se presenta en trazas, pero el rango porcentual oscila entre 2% y 9%.

La composición de los granos es predominantemente el cuarzo (*Tabla 6.2*), mientras que el tipo de cemento en la mayoría de los casos es silíceo y carbonático, aunque esporádicamente se observa cementación de arcillas autigénicas.

El tipo de porosidad es secundaria y se debe a procesos de disolución de sílice y de arcillas. No obstante, se observa porosidad por disolución de feldespatos, de caolinita y hacia la base del intervalo se aprecian trazas de porosidad por microfracturas.

De acuerdo con los análisis petrográficos, las muestras estudiadas corresponden a cuarciarenitas, sublitarenitas, wackas cuarzosas, wackas líticas y subarcosas; según la clasificación de areniscas de Pettijhon *et al.* (1972). Las cuarciarenitas y las wackas cuarzosas son las más abundantes y se distribuyen uniformemente a lo largo del intervalo estudiado. Por su parte, las wackas líticas se localizan predominantemente hacia el tope del intervalo, mientras que las subarcosas se observan hacia la base.

La *Tabla 6.2* muestra la composición y textura de los granos de areniscas del pozo Tácata I. En cuanto a composición, es importante destacar que entre las

profundidades 12510' – 13365' se observan fragmentos de lutita con materia orgánica.

En cuanto a textura se refiere, el tamaño de grano varía de limo grueso (0.04 mm) a arenas muy gruesas (1,35 mm). La redondez por su parte, hacia la base del intervalo es predominantemente subangular a subredondeada y hacia el tope angular, subangular a subredondeada. La selección o escogimiento hacia la base de la secuencia varía de moderado a malo, en la parte media es bueno y hacia el tope, específicamente las muestras de areniscas correspondientes a la Formación Carapita, el patrón de escogimiento presenta una mezcla que varía entre malo, moderado y bueno.

*Tabla 6.1. Composición general de areniscas de las formaciones Capaya y Carapita.*

Profundidad	Composición General (%)					
	Granos	Matriz	Cemento	Tipo de Cemento	Porosidad	Tipo de Porosidad
11965'-11970'	87	5	5	Silíceo y Parchos de cementación carbonática	3	Por disolución de sílice
12130'-12135'	88	5	Tz	Siliceo y arcillas autigénicas	7	Por disolución de matriz y sílice
12165'-12170'	88	10	Tz	Carbonático	2	Por disolución de sílice
12305'-12310'	85	5	2	Arcillas Autigénicas Sílice y Trazas de Carbonatos	8	Por disolución
*12350'-12355'	75	16	2	Carbonático	7	Primaria?
12510'-12515' (A)	93	7	Tz	Clorite,Silice y Trazas de Calcita	Tz	Por disolución de arcillas
12610'-12615' (A)	76	19	Tz	Sílice y Arcillas Autigénicas	5	Por disolución de sílice
12610'-12615' (C)	85	15	Tz	Carbonático	Tz	Por disolución de sílice
12990'-12995'	74	14	4	Parches de cemento carbonático	7	Por disolución de sílice
13050'-13055'	76	19	Tz	Siliceo , Clorítico	5	Por disolución de sílice y feldespastos
13225'-13230'	85	15	Tz	Carbonático	No se observa	No se observa
13280'-13285'	93	5	Tz	Siliceo y parches de trazas de cemento Carbonático	2	Por disolución de sílice y arcillas
13295'-13300'	93	1	1	Siliceo y Parches de cementación Carbonática	5	Por disolución de sílice y arcillas
13350'-13355'	89	5	2	Siliceo	4	Por disolución de sílice y arcillas
13360'-13365'	80	9	2	Siliceo	9	Por disolución de arcillas
13385'-13390'	85	15	Tz	Siliceo, Clorita e Ilita	No se observa	No se observa
13550'-13555' (A)	88	5	Tz	Siliceo y Arcillas Autigénicas	7	Por disolución de arcillas
13530'-13555' (B)	94	3	Tz	Siliceo y Carbonático	3	Por disolución de arcillas
13695'-13700'	98	Tz	2	Siliceo	No se observa	No se observa
13760'-13765'	93	5	2	Siliceo y parches de cemento Carbonáticos	No se observa	No se observa
*13785'-13790' (A)	87	10	Tz	Carbonático	3	Por disolución de arcillas
*13785'-13790' (B)	70	30	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa
13925'-13930'	90	7	3	Siliceo y parches de cemento Carbonáticos	Tz	Por disolución de sílice y caolinita
*14000-14005	87	10	Tz	Carbonático	3	Por disolución de arcillas
*14075'-14080'	76	20	1	Siliceo y parches de cemento Carbonáticos	3	Por disolución de arcillas
*14270'-14275' (A)	80	20	Tz	Carbonático	Tz	Por disolución de sílice
*14270'-14275' (B)	78	20	No se observa	No se observa	2	Por disolución de sílice y arcillas
*14360'-14365' (A)	78	5	15	Siliceo y Carbonático	2	Primaria?
*14360'-14365' (B)	94	3	No se observa	No se observa	3	Por disolución de carbonatos y arcillas
14125'-14130' (A)	90	10	Tz	Siliceo y parches de cemento Carbonáticos	Tz	Por disolución de sílice
14125'-14130 (B)	93	7	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa
14525'-14530'	95	5	Tz	Siliceo y parches de cemento Carbonáticos	Tz	Por disolución de arcillas detriticas y microfracturas
14725'-14730'	95	5	Tz	Sílice, Arcillas y Carbonatos	Tz	Por microfracturas y disolución
*14860'-14865' (A)	80	15	Tz	Sílice y carbonatos	5	Por disolución de arcillas y sílice
*14860'-14865' (B)	88	5	No se observa	No se observa	7	Por disolución de arcillas y sílice
*14860'-14865' (C)	87	10	No se observa	No se observa	3	Por disolución de carbonato y sílice
14910'-14915'	92	3	Tz	Siliceo y en menor escala carbonático	5	Por disolución de plagioclasas y arcillas
15062'-15067' (A)	60	40	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa
15062'-15067' (B)	98	2	Tz	Sílice	Tz	Por disolución
15215'-15220'	97	3	Tz	Siliceo y parches de cemento Carbonáticos	Tz	Por disolución de matriz
*15400'-15405'	97	3	No se observa	No se observa	No se observa	No se observa
*15400'-15405'	77	15	No se observa	No se observa	8	Por disolución de carbonato y sílice

\* Muestras evaluadas por Cueto (2001).

Tabla 6.2. Composición y textura de los granos de areniscas de las formaciones Capaya y Carapita.

Profundidad	Composición de Granos (%)																				Textura												
	Cuarzo	Feldespato	Fragmentos Bioclásticos	Fragmento de Foraminíferos	Circón	Turmalina	Biotita	Muscovita	Glauconita	Clorita	Peloides	Peloides fosfáticos	Goetita	Glauconitas	Clorita	Pirita Framboidal	Pirita Cúbica	Pirita amorfia	Caolinita	Ilita	Carbonato	Fragmentos de Roca				Tamaño	Redondez	Selección	Emp.				
																						Chert y Esquistos	Esquistos Cloríticos y Chert	Lutitas y Chert	Esquistos	Lutitas	Chert						
11965'-11970'	87																									0,45-0,04	An-SR	M	A				
12130'-12135'	83	Tz																								0,10-0,05	SA-R	B	A				
12165'-12170'	70	3			Tz									5		5										0,07-0,04	An-Sr	B	S				
12305'-12310'	82					Tz																				0,45-0,10	An-SA	M	A				
*12350'-12355'	60	5																								10	0,17	SA-SR	Md	A			
12510'-12515'(A)	90																									3 (con M.O.)	0,7-0,07	An-SA	Md a M	A			
12610'-12615'(A)	76	Tz																									0,18-0,04	An-SA	M	A			
12610'-12615'(C)	80	Tz																									5	0,15-0,07	An-SR	B	S		
12990'-12995'	74	Tz				Tz																					Tz	0,07-0,04	SA-R	B	A		
13050'-13055'	76	Tz																									Tz	0,07-0,04	SA-R	B	A		
13225'-13230'	72	Tz	Tz																								10	0,18-0,07	An-Sr	B	S		
13280'-13285'	88																										Tz	0,14-0,10	AS-SR-R	B	A		
13295'-13300'	93																											0,18-0,07	SA-R	B	A		
13350'-13355'	86																										Tz	0,18-0,07	SA-R	B	A		
13360'-13365'	77																										Tz	0,18-0,05	SA-BR	B	A		
13385'-13390'	85	Tz																									Tz	0,14-0,10	An-SR	B	A		
13550'-13555'(A)	82	Tz																									Tz	0,14-0,07	An-SR	B	A		
13530'-13555'(B)	84																										Tz	10	SA-SR	M	A		
13695'-13700'	98																											0,40-0,04	An-SA	M	A		
13760'-13765'	93																											0,16-0,07	An-SA	Md-B	A		
*13785'-13790'(A)	80																										Tz	0,11	An-SR	Md	A		
*13785'-13790'(B)	70	Tz																										0,16	An-SA	M	S		
13925'-13930'	90	Tz																									Tz	1,35-0,07	SA-SR	M	A		
*14000'-14005'	82	2																										0,27	An-SA	Md-M	A		
*14075'-14080'	73	1																									Tz	0,15	An-SA	Md-B	A		
14125'-14130'(A)	90																										Tz	0,50-0,04	An-SR	M	A		
14125'-14130'(B)	93	Tz																									Tz	0,18-0,07	SR-R	Md	A		
*14270'-14275'(A)	75	3																										2	0,4	SR-R	Md	A	
*14270'-14275'(B)	72	3																										3	0,18	SR-R	Md	A	
*14360'-14365'(A)	76	2																											0,32	SA-SR	Md-B	S	
*14360'-14365'(B)	94																												0,16	SA-SR	M	A	
14525'-14530'	87	5																									Tz	0,15-0,07	SA-R	B	A		
14725'-14730'	95	Tz																									Tz	0,36-0,07	SA-SR	M	A		
*14860'-14865'(A)	75		5	Tz																								0,08	SA-SR	Md-M	A		
*14860'-14865'(B)	85																										Tz	0,15	SA-SR	Md	A		
*14860'-14865'(C)	82																											5	0,16	SA-SR	Md	S	
14910'-14915'	85	Tz																									Tz	7	0,18-0,07	SA-R	Md	A	
15062'-15067'(A)																													0,40-0,05	An-R	M	S	
15062'-15067'	98																													0,30-0,05	A-SR	M	A
15215'-15220'																																	

Por último, el empaquetamiento es predominantemente apretado, aunque ocasionalmente se aprecia suelto.

Las variables texturales obtenidas de la aplicación ADIE<sup>®</sup> se muestran en la *Tabla 6.3*. El tamaño promedio tanto de los estudios por área, como de los estudios por partícula oscila entre arenas muy gruesas y limos medios ( $0.0004\phi$  -  $5.5\phi$ ). El escogimiento es bueno de acuerdo a la clasificación de Trask (1932), sin embargo la desviación típica incluyente (0.5 – 1.3) y la kurtosis (0.7 – 3.3) según Folk (1954), indican que el escogimiento varía entre malo, moderadamente bien escogido a bien escogido. La elongación varía entre equidimensional a fuertemente tabloide (1.45 – 6.94) y la irregularidad relativa varía entre regular y muy irregular (1.12 – 2.48).

Los resultados obtenidos de la *estadística básica o simple* se muestran en las *Tablas 6.4* y *6.5*. Los valores del tamaño y la kurtosis son mayores en los estudios por partícula en contraste con los estudios por área, mientras que el escogimiento y la desviación son mucho menores. Los rasgos de las dos primeras variables son similares en ambos estudios, no obstante las otras dos variables son mayores al doble. Sin embargo, es importante destacar que la combinación de los dos tipos de estudios muestran claramente que los rangos observados en la estimación visual, son muy similares a los obtenidos a partir de la aplicación del sistema ADIE<sup>®</sup>.

En la *Tabla 6.6*. se indican los valores sintetizados de los resultados generales de las formaciones Capaya y Carapita. La fluctuación de los valores a lo largo del intervalo estudiado es poca, a excepción de la elongación.

**Tabla 6.3. Resultados del Análisis Digital de Imágenes Estratigráficas de las formaciones Capaya y Carapita.**

Formación	Número de muestra	Profundidad	Número de Fases	Número de Partículas	Área Total (mm <sup>2</sup> )	Irregularidad Relativa	Elongación	Estudios por Partícula				Estudios por Área			
								Tamaño	Escogimiento	Kurtosis	Desviación*	Tamaño	Escogimiento	Kurtosis	Desviación*
CARAPITA	1	11915'-11920'	1	5	0,000233	2,487971	2,125996	2,527778	0,208333	3,319672	1,194697	0,000443	0,000221	0,737705	0,000271
	2	11965'-11970'	1	32	0,155357	1,26	4,17	4,121111	0,6875	1,092896	1,080139	3,397912	0,343842	1,317481	0,594531
	3	12130'-12135'	1	49	0,214664	1,31	2,61	3,877665	0,488191	0,935297	0,69602	3,543835	0,310011	1,209249	0,487991
	4	12165'-12170'	4	30	0,102131	1,21	1,65	3,949346	0,508578	0,753506	0,633593	3,734361	0,328187	1,089176	0,545956
	5	12305'-12310	2	34	0,325602	1,29	3,83	3,285724	0,402778	1,25212	0,694057	3,02009	0,5105	0,737685	0,625581
	6	12350'-12355'	2	38	0,202554	1,15	1,53	3,901538	0,473558	1,060997	0,748042	3,544551	0,272276	1,034983	0,393509
	7	12510'-12515'	2	37	0,411722	1,27	3,28	3,842	0,852083	0,939116	1,205667	2,355229	0,696411	0,868114	0,963361
	8	12610'-12615'	1	182	0,676141	1,272914	1,75416	3,760272	0,572997	0,912959	0,782087	2,430664	0,313605	1,095168	0,467196
CAPAYA	9	12990'-12995'	1	31	0,086071	1,17	1,63	4,173905	0,427976	0,848059	0,585315	4,012262	0,499741	0,738044	0,612629
	10	13050'-13055'	1	33	0,087627	1,23	3,34	4,305	0,461349	1,224248	0,780179	3,725022	0,674599	0,827557	0,896952
	11	13225'-13230'	2	33	0,360581	1,21	1,66	3,209804	0,53125	0,945034	0,742389	2,910777	0,490431	0,773065	0,623344
	12	13280'-13285'	2	30	0,169286	1,32	3,9	3,810526	0,462406	1,218679	0,779825	3,276062	0,396382	1,112192	0,642973
	13	13295'-13300'	1	35	0,142356	1,27	3,28	4,260423	0,792857	0,872286	1,072792	3,351118	0,39507	1,313782	0,702702
	14	13350'-13355'	1	37	0,115346	1,18	1,84	4,565646	0,8125	0,833811	1,0661	3,6315	0,366288	1,395675	0,676905
	15	13360'-13365'	1	33	0,184525	1,34	3,53	4,17675	0,815104	1,16273	1,301133	3,25686	0,403425	1,047381	0,629775
	16	13385'-13390'	1	31	0,125201	1,23	4,11	4,439675	1,003846	0,79918	1,288259	3,35265	0,364068	1,341476	0,653498
	17	13550'-13555'	1	31	0,182488	1,28	3,27	3,897675	0,685897	0,986652	0,975712	3,114673	0,554318	0,89549	0,74415
	18	13695'-13700	3	31	0,155859	1,49	6,94	5,532974	0,665625	1,285307	1,192076	2,063837	0,310589	2,472241	1,110939
	19	13760'-13765'	2	32	0,241692	1,19	1,56	3,590788	0,363636	1,397541	0,65703	3,215598	0,428737	0,87089	0,598967
	20	13785'-13790'	2	30	0,125205	1,14	1,46	4,093773	0,559066	1,243606	0,89374	3,6735	0,311679	1,123706	0,50851
	21	13925'-13930'	1	32	0,188594	1,27	3,5	3,96987	0,954545	0,7667	1,198268	2,993907	0,540745	0,891893	0,727918
	22	14000'-14005'	2	38	0,041482	1,13	1,76	4,820461	0,443636	0,86939	0,618925	4,546254	0,32222	1,277387	0,523444
	23	14075'-14080'	1	40	0,052804	1,12	1,71	4,804265	0,424242	0,904241	0,610917	4,524775	0,299499	1,181873	0,465383
	24	14125'-14130'	1	43	0,174068	1,16	2,15	4,385417	0,729167	0,872365	0,996162	3,154284	0,633571	0,899981	0,867272
	25	14270'-14275'	1	39	0,128869	1,2	1,69	4,10937	0,535604	0,922161	0,7308	3,769669	0,359576	1,00998	0,566783
	26	14360'-14365'	1	34	0,176137	1,19	1,55	3,965595	0,569196	0,860281	0,749112	3,334041	0,57545	0,93031	0,825728
	27	14525'-14530'	2	34	0,113581	1,18	1,5	4,0625	0,53125	0,788332	0,670909	3,751182	0,333111	1,087206	0,558015
	28	14725'-14730'	1	31	0,133246	1,29	3,51	3,930906	0,548718	0,815124	0,705224	3,326569	0,488961	1,067089	0,755955
	29	14860'-14865'	2	30	0,124024	1,13	1,45	3,994902	0,554412	0,891421	0,749831	3,589559	0,294779	1,159883	0,453256
	30	14910'-14915'	2	29	0,129337	1,27	3,5	4,018462	0,579327	0,901979	0,780594	3,308168	0,600635	0,903545	0,841846
	31	15062'-15067'	1	30	0,200062	1,19	2,08	4,25	0,904762	0,839894	1,191035	2,602253	0,724623	0,975479	1,067633
	32	15215'-15220'	1	37	0,189437	1,17	1,63	3,882609	0,514266	1,040994	0,793225	3,371985	0,344425	1,286629	0,596033
	33	15400'-15405'	2	29	0,115827	1,16	1,65	3,892456	0,481086	0,936528	0,689581	3,582668	0,291334	1,15331	0,446542

\* Desviación Típica

**Tabla 6.4.** Valores sintetizados de los estudios por partícula de areniscas del análisis digital de imágenes. Formaciones Capaya y Carapita.

	Estudio por partícula			
	Tamaño	Escogimiento	Kurtosis	Desviación
Promedio	4,043	0,592	1,045	0,874
Máximo	5,533	1,004	3,320	1,301
Mínimo	2,528	0,208	0,754	0,585
Desv. Est.	0,508	0,182	0,442	0,226

**Tabla 6.5.** Valores sintetizados de los estudios por área de areniscas del análisis digital de imágenes. Formaciones Capaya y Carapita.

	Estudio por área			
	Tamaño	Escogimiento	Kurtosis	Desviación
Promedio	0,986	0,955	0,910	2,780
Máximo	5,533	3,320	3,320	4,546
Mínimo	0,182	0,182	0,226	0,000
Desv. Est.	1,243	0,567	0,561	1,364

**Tabla 6.6.** Valores sintetizados de los resultados generales del análisis digital de imágenes. Formaciones Capaya y Carapita.

	Número de Fases	Número de Partículas	Área Total (mm <sup>2</sup> )	Irregularidad Relativa	Elongación
Promedio	1	38	0,161	1,227	2,635
Máximo	4	182	0,676	2,488	6,940
Mínimo	1	5	0,0002	0,232	1,225
Desv. Est.	0,774	30,733	0,120	0,338	1,563

Entre los *gráficos estadísticos* de las formaciones estudiadas, los histogramas son unimodales en la mayoría de las variables, no obstante, en el caso de la desviación estándar por partícula y la elongación, son bimodales. Por otra parte, generalmente son asimétricos a excepción del escogimiento en los estudios partícula (*Figuras 6.1 a 6.11*). Por otra parte, los *diagramas de caja* confirman las tendencias presentadas en los histogramas de frecuencias, pues en la mayoría de los casos los existe dispersión de los datos que se encuentran por encima del valor central o media (*Figuras 6.12 a 6.18*).

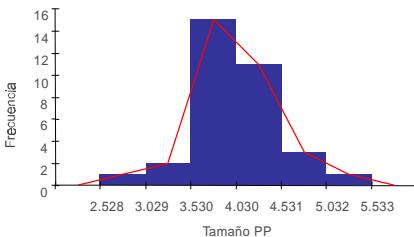


Figura 6.1. Histograma de tamaño de los estudios por partícula de las formaciones Capaya y Carapita

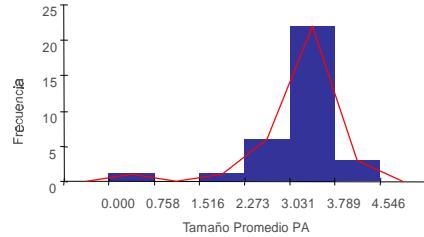


Figura 6.2. Histograma de tamaño de los estudios por área de las formaciones Capaya y Carapita

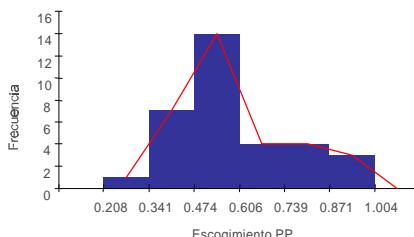


Figura 6.3. Histograma del escogimiento de los estudios por partícula de las formaciones Capaya y Carapita

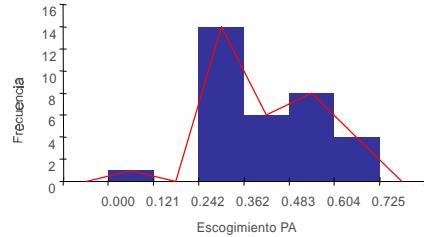


Figura 6.4. Histograma del escogimiento de los estudios por área de las formaciones Capaya y Carapita

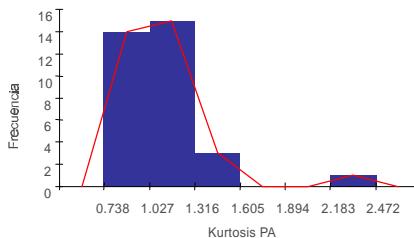


Figura 6.5. Histograma de la kurtosis de los estudios por partícula de las formaciones Capaya y Carapita

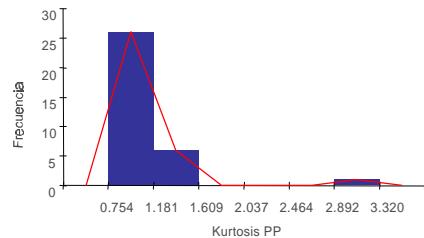


Figura 6.6. Histograma de la kurtosis de los estudios por área de las formaciones Capaya y Carapita

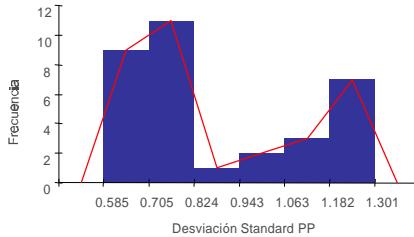


Figura 6.7. Histograma de la desviación estándar de los estudios por partícula de las formaciones Capaya y Carapita

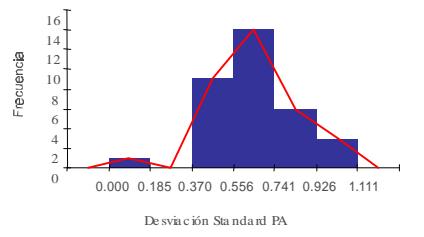


Figura 6.8. Histograma de desviación estándar de los estudios por área de las formaciones Capaya y Carapita

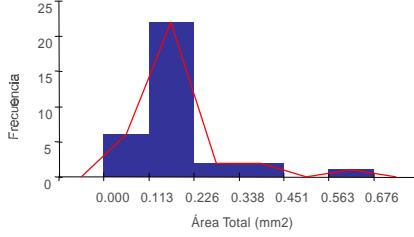


Figura 6.9. Histograma del área total de las formaciones Capaya y Carapita

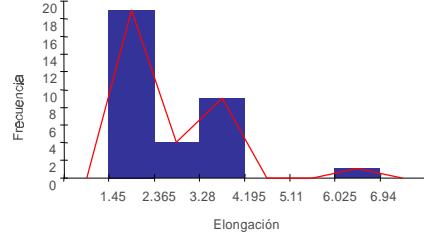


Figura 6.10. Histograma de la elongación de las formaciones Capaya y Carapita

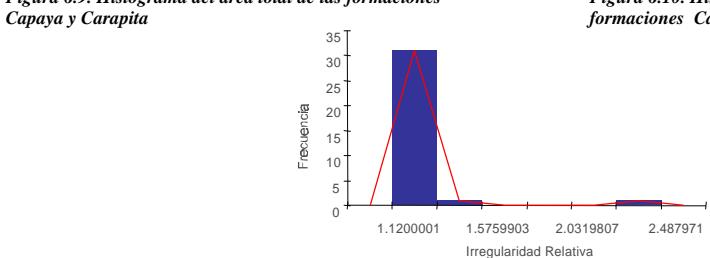
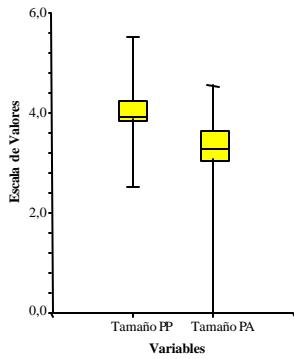
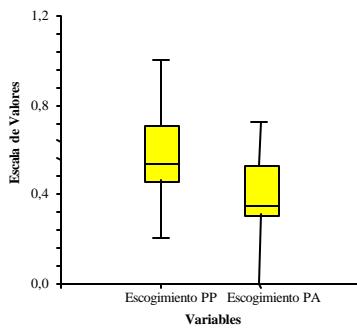


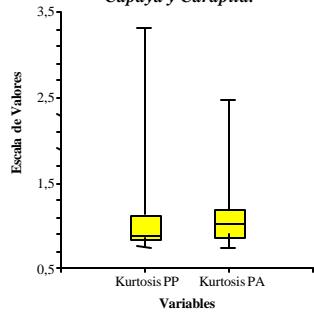
Figura 6.11. Histograma de la irregularidad relativa de las formaciones Capaya y Carapita



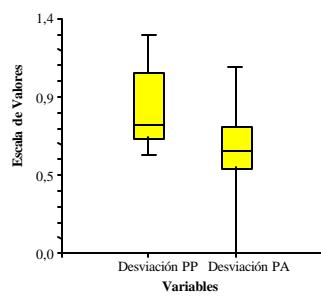
*Figura 6.12. Diagramas de cajas del tamaño de los estudios por área y por partícula de las formaciones Capaya y Carapita.*



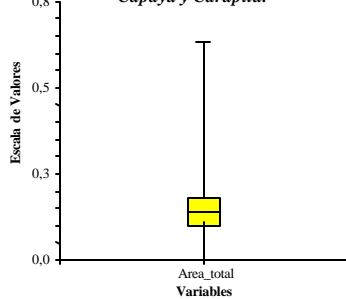
*Figura 6.13. Diagramas de cajas del escogimiento de los estudios por área y por partícula de las formaciones Capaya y Carapita.*



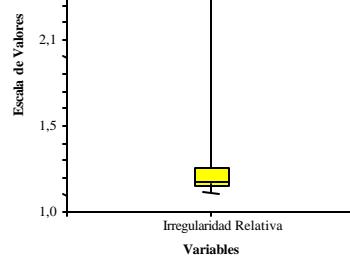
*Figura 6.14. Diagramas de cajas de la kurtosis de los estudios por área y por partícula de las formaciones Capaya y Carapita.*



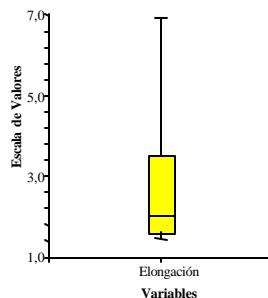
*Figura 6.15. Diagramas de cajas de la desviación estándar de los estudios por área y por partícula de las formaciones Capaya y Carapita.*



*Figura 6.16. Diagrama de caja del área total de las formaciones Capaya y Carapita.*



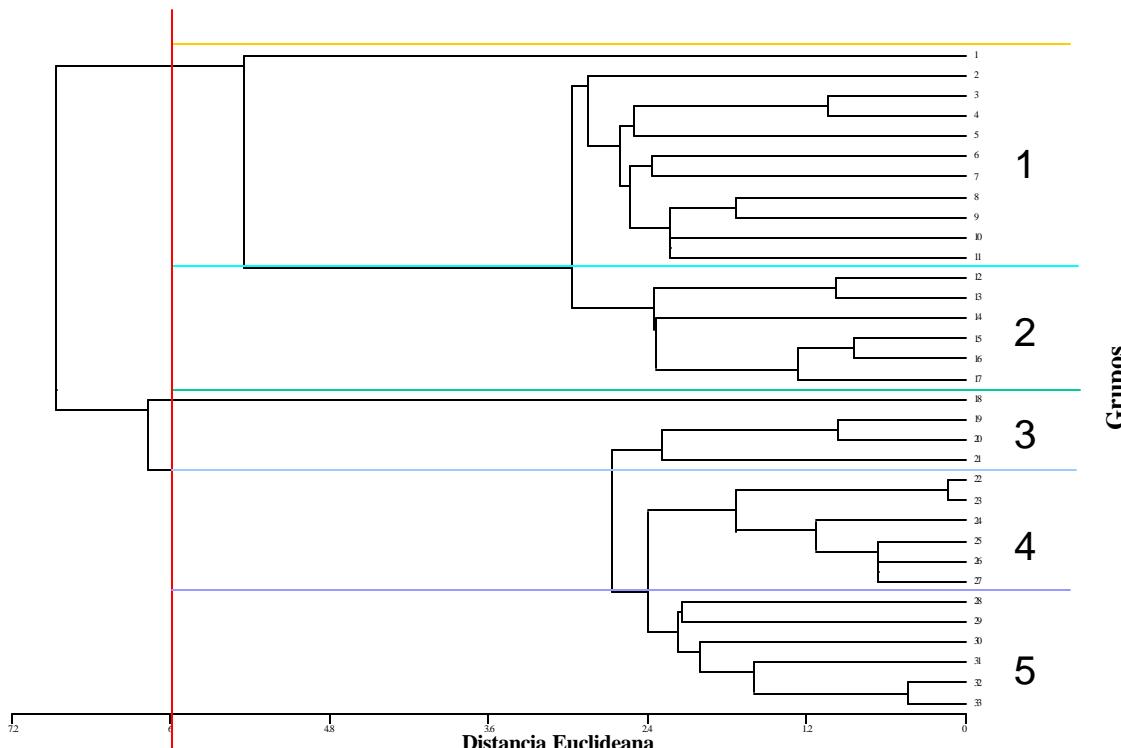
*Figura 6.17. Diagrama de caja de la irregularidad relativa de las formaciones Capaya y Carapita.*



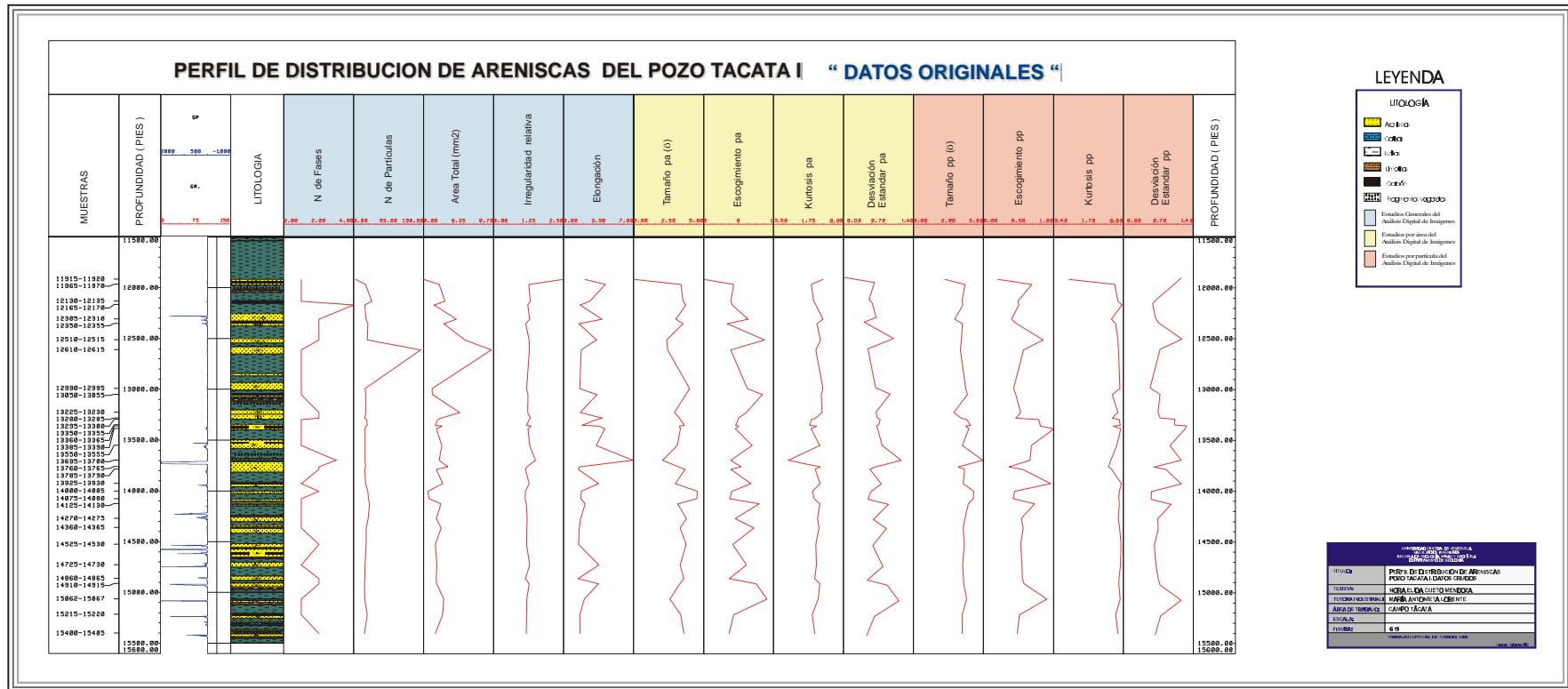
*Figura 6.18. Diagrama de caja de la elongación de las formaciones Capaya y Carapita.*

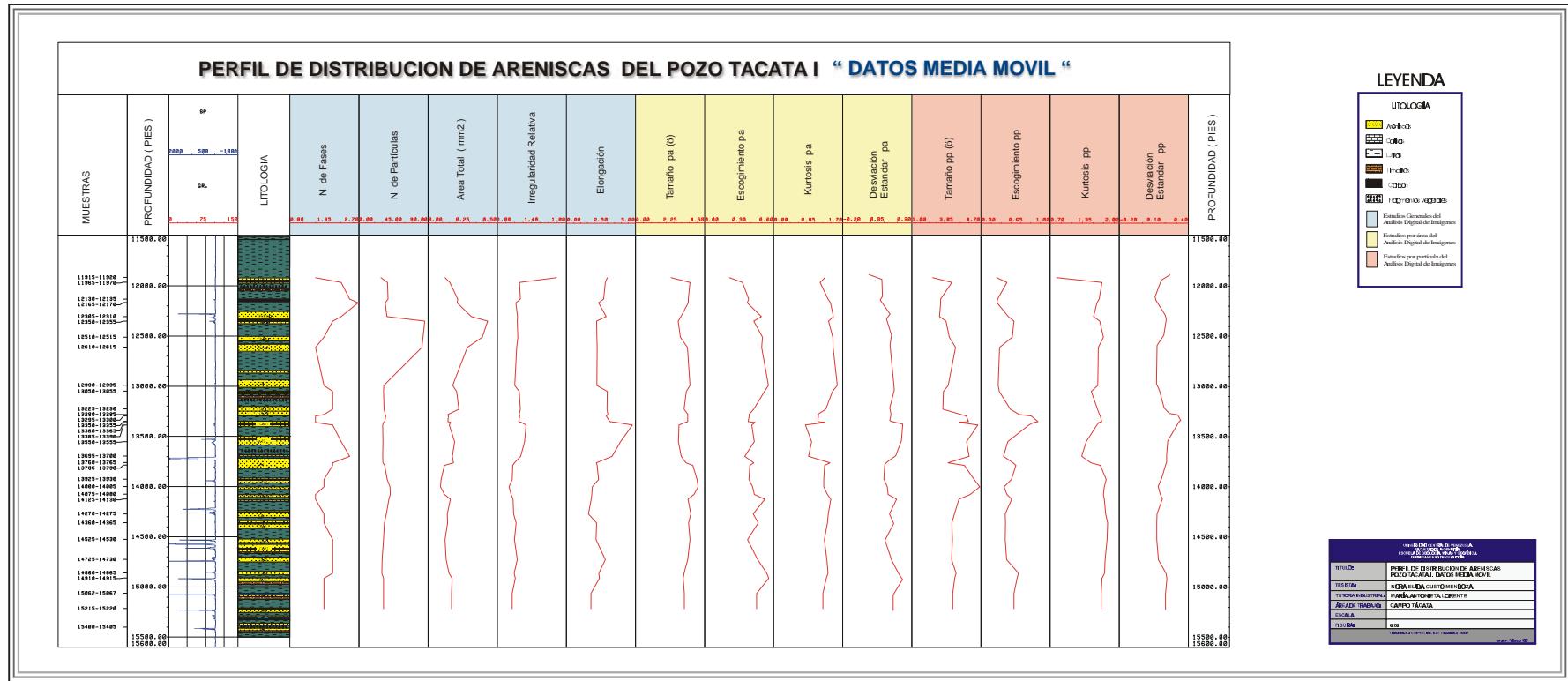
Los *perfles de distribución*, al igual que en la estadística simple muestran un comportamiento poco variable, a excepción de las profundidades comprendidas entre 13100' y 13790', donde todas las variables presentan amplia fluctuación, así por ejemplo: el tamaño de grano disminuye considerablemente hasta llegar a limos medios, el escogimiento, la kurtosis y la desviación estándar de los estudios por partículas indican que los granos pasan de buen a mal escogimiento y la elongación alcanza su valor máximo, es decir fuertemente tabloide (*Figuras 6.19 y 6.20*).

La *estadística multivariante* (análisis de agrupamiento), donde se incluyeron las variables de los estudios tanto por área como por partícula, así como la elongación y la irregularidad relativa, no se corresponden con algún tipo de clasificación concluyente que pudiera ser calibrado con variables del tipo litológico o litoestratigráfico, lo cual se debe posiblemente a que el muestreo para este estudio no se realizó de manera sistemática (*Figura 6.21*).



*Figura 6.21. Dendrograma de todas las variables del análisis digital de imágenes de las formaciones Capaya y Carapita. Nótese la división de cinco grupos o asociaciones, las mismas se trataron de calibrar con las características litológicas específicas y la litoestratigrafía, sin embargo no se observa correspondencia entre ellas.*



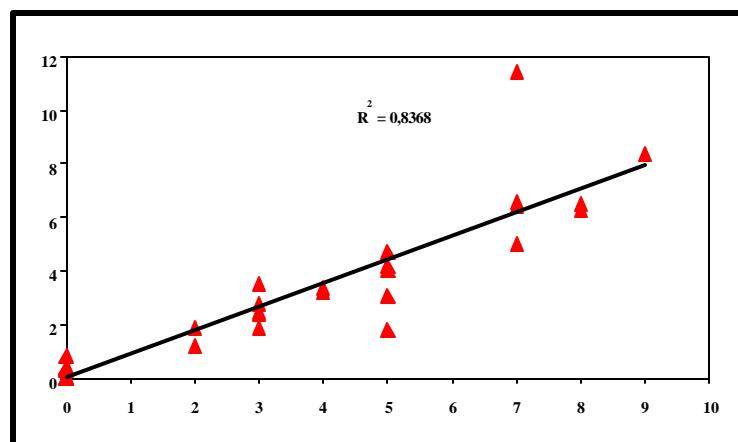


### 6.1.3.1. Porosidad: Relación entre la estimación visual y la aplicación del análisis digital de imágenes:

Tal como se planteó en el *Capítulo 2*, la porosidad de las muestras de areniscas fueron evaluadas de dos formas: a través de la estimación visual, como usualmente se realiza; y a través de la aplicación ADIE® (*Anexo 3*). En la *Tabla 6.7* se muestran los valores de la porosidad obtenidos para la estimación visual y para la aplicación ADIE®, además en la *Figura 6.22.* se muestra la relación existente entre ambas variables.

**Tabla 6.7. Valores de la porosidad obtenidos a través de la estimación visual y de la evaluación a partir del análisis digital de imágenes.**

Profundidad	Visual	ADIE
11915'-11920'	4	3.4
11965'-11970'	3	3.5
12130'-12135'	7	11.4
12165'-12170'	2	1.2
12305'-12310'	8	6.5
12350'-12355'	7	5
12510'-12515'	0	0
12610'-12615'	5	3.1
12990'-12995'	7	6.6
13050'-13055'	5	4.2
13225'-13230'	0	0
13280'-13285'	2	1.9
13295'-13300'	5	4.7
13350'-13355'	4	3.2
13360'-13365'	9	8.4
13385'-13390'	0	0
13550'-13555'	7	6.4
13695'-13700'	0	0
13760'-13765'	0	0
13785'-13790'	3	1.9
13925'-13930'	0	0.4
14000'-14005'	3	2.8
14075'-14080'	3	2.5
14125'-14130'	0	0.4
14270'-14275'	0	0.4
14360'-14365'	3	2.4
14525'-14530'	0	0.3
14725'-14730'	0	0.4
14860'-14865'	5	1.8
14910'-14915'	5	4
15062'-15067'	0	0
15215'-15220'	0	0.8
15400'-15405'	8	6.3



**Figura 6.22. Diagrama de correlación entre los valores de la porosidad (de la estimación visual y aplicación de ADIE).**  
Nótese que el coeficiente de correlación de 0.8368, es > 0.449, lo cual de acuerdo a Snedecor (1946) indica un 99% de probabilidad de relación lineal entre las dos variables.

Snedecor (1946) elabora una tabla acerca del valor absoluto crítico del coeficiente de correlación que para el número de muestras analizadas (33 muestras) se tiene un valor crítico absoluto de 0.449, se concluye que para cualquier valor

superior a éste, existe un 99% de probabilidad de relación lineal entre las dos variables.

#### **6.1.4. Secuencia paragenética y evolución de la porosidad:**

La secuencia paragenética y la evolución de la porosidad para la sección estudiada fue establecida por Kummerow (2001). En la *Tabla 6.8* que se muestra a continuación se presentan los procesos diagenéticos y las condiciones bajo las cuales se formaron:

**Tabla 6.8. Tabla paragenética y evolución de la porosidad para las formaciones Capaya y Carapita.**  
Tomada y modificada de Kummerow (2001).

Ambiente Diagenético Procesos	Soterramiento Somero (interfase sedimento/agua - 80° C)	Soterramiento Intermedio (80° C – 130° C)	Soterramiento Profundo (130° C- 200° C)	Porosidad
Gluconitización	██████████			█
Fosfatización	██████████			█
Oxido de Hierro	██████████			█
Pirita amorfa y framboidal	██████████			█
Siderita	██████████			█
Compactación	██████████	██████████	██████████	█
Disolución de Feldespatos	██████████			█
Alteración de Feldespatos	██████████			█
Hidrocarburos	██████████			█
Sobrecrecimiento de cuarzo	██████████			█
Disolución	██████████	██████████	██████████	█
Caolinita		██████████		█
Esmectita-Illita		██████████		█
Illita		██████████		█
Clorita		██████████	██████████	█
Fracturamiento	██████████	██████████	██████████	█
Calcita		██████████		█
Disolución		██████████	██████████	█
Dolomita Barroca		██████████		█
Hidrocarburos		██████████		█
Pirita cúbica		██████████		█

**Leyenda:**

█ Creación de porosidad

█ Destrucción de porosidad

#### 6.1.4.1. Soterramiento somero (*interfase agua/sedimento-80°C*):

En éste espacio se incluyen aquellos procesos cerca de la superficie donde los cambios han sido fuertemente influenciados por aguas meteóricas y aguas marinas. Estos cambios son influenciados por el carbonato biogénico, la sílice del piso marino y la interacción de ambos con el agua de mar por difusión cercana al límite de redox (Bjorlykke, 1998).

La **glaucónita** se encuentra asociada a **fosfatos** y **pirita con morfología frambooidal**. El desarrollo de éstos minerales estuvo favorecido por condiciones ambientales marinas medianamente reductoras y una sedimentación relativamente retardada, reflejando una interacción compleja entre las condiciones químicas locales en el lugar de la depositación y los efectos de la materia orgánica durante la diagénesis (Van Houten y Purucker, 1985). La pirita con morfología frambooidal, se forma en este ambiente diagenético como consecuencia de la reducción bacteriana del sulfato (Machel *et al.*, 1995).

La presencia de **óxidos de hierro** refleja condiciones de exposición subaerea de la secuencia.

La influencia de aguas meteóricas en los sedimentos es un factor muy importante, ya que los sedimentos fluviales o marinos someros son fácilmente afectados por éstas, mientras aquellas facies de arenas distales ó turbidíticas lo están menos. Esto radica en el porcentaje de disolución que afecta a determinados granos en las areniscas, como es el caso de la **disolución de feldespatos y micas**. Este proceso ocurre a profundidades menores de 100 metros (Bjorlykke, 1998).

La **compactación** empieza a generar cambios en ésta etapa. A miles de pies de soterramiento, las areniscas pierden aproximadamente el 50% de su porosidad original producto de la compactación (Surdam *et al.*, 1989). Excluyendo los efectos

de cementaciones tempranas, el cambio en el porcentaje de la porosidad de las areniscas siempre es maximizado por los efectos del soterramiento temprano. La compactación mecánica se manifiesta a diferentes profundidades por la deformación de micas (muscovita) entre los granos de cuarzo sobre todo en sublitenitas y en algunas cuarciarenitas y wackas líticas.

La **cementación de calcita**, dispuesta entre los granos de cuarzo, de textura granular o inclusive con crecimientos cristalinos hacia el centro de los poros es posible que ocurra en etapas tempranas de la diagénesis. Esta precipitación de carbonato de calcio es producto de la exposición a aguas meteóricas originando la posible oclusión de la porosidad primaria.

Es posible que en un sistema rico en CO<sub>2</sub> (Surdam *et al.*, 1989), pobre en sulfatos puede existir la disponibilidad de Fe<sup>+2</sup> dando paso a la precipitación de **siderita**. Este mineral se forma bajo condiciones en las cuales hay productividad orgánica alta, tales como cuencas estancadas o ambientes de marea o estuarinos, ya que el agente responsable de la reducción del hierro es la materia orgánica (Pettijohn *et al.*, 1972). En ausencia de Fe<sup>+2</sup> disuelto, la presencia de Mg<sup>+2</sup> y Ca<sup>+2</sup> puede favorecer la precipitación de dolomita ó calcita, dependiendo de la presencia de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y de la relación Mg<sup>+2</sup>/Ca<sup>+2</sup> en los fluidos porales (Surdam, *et al.*, 1989).

Un efecto determinante que genera el soterramiento temprano en las areniscas y que está asociado a la evolución de la porosidad es la introducción de **minerales de arcilla** al sistema, cerca o en la interfase agua-sedimento. Esto puede estar acompañado por una variedad de procesos como: bioturbación de sedimentos, reacciones tempranas de hidratación, compactación de lodo clástico suave, y diferentes regímenes depositacionales como flujos turbidíticos, cambios en los regímenes de sedimentación, etc.

Después de los carbonatos, la **caolinita** es, posiblemente, el cemento mayormente difundido como producto de alteración formado durante el soterramiento somero. Este mineral termodinámicamente estable a bajas temperaturas, es típico de condiciones de exposición a aguas meteóricas de baja salinidad. Ha sido reconocido como producto de diagénesis temprana en las rocas reservorio (Surdam *et al.*, 1989). En algunos casos se ha considerado la caolinita como una forma telogenética asociado a discordancias, o secciones donde ha permanecido en la zona de soterramiento somero por largos períodos de tiempo (Surdam *et al.*, 1989).

Hay que tomar en cuenta la asociación del tipo de facies sedimentarias y la cantidad de caolinita primaria que se observe en las rocas, ya que, en facies plataformales distales y turbiditas (Bjorlykke, 1998), es menor el influjo meteórico y en consecuencia la precipitación de este tipo de arcilla. Por debajo de los 4 Km. de profundidad mucha de la caolinita es disuelta y además reemplazada por ilita, considerándose un proceso de soterramiento tardío.

En las muestras analizadas es posible observar diferencia en el tamaño de los cristales de la caolinita, notándose uno más pequeño que corresponde a caolinita autigénica temprana, y uno mayor de caolinita autigénica tardía. Ésta última es posible que sea dickita.

La **cementación de cuarzo** durante el soterramiento somero puede tener influencia tanto negativa como positiva en la calidad de roca reservorio. En las muestras analizadas del Pozo Tácata I, el sobrecrecimiento de cuarzos es poco difundido generando occlusiones poco significativas de la porosidad. Es importante considerar que además de su efecto negativo de ocluir porosidades, existe la posibilidad del incremento de la fuerza matriz rocosa como un todo el cual inhibe la pérdida de porosidad por la compactación mecánica. El proceso de precipitación local de cuarzo está ligado fundamentalmente a la cantidad de presión-solución generada entre los granos. (Houseknecht, 1984).

Independientemente del tamaño de los granos, el volumen de cemento de cuarzo se ha considerado que es menor en areniscas de alta madurez termal (Houseknecht, 1984). En otros pozos estudiados del área de Tácata, el porcentaje visual de sobrecrecimientos en granos de cuarzo es mínimo, relacionado a que la secuencia del Mioceno Temprano se ha considerado entre una madurez termal de media a alta. En el estudio geoquímico realizado por Vivas (com. pers., 2000) para el Pozo B los valores de Ro% se sitúan entre 0.7 y 1.3. Es preciso resaltar que en muestras del pozo Tácata I se observaron inclusiones fluidas de **hidrocarburos** en los cuarzos con sobrecrecimientos, proponiendo quizás un período de migración previo al sobrecrecimiento.

#### 6.1.4.2. Soterramiento intermedio ( $80^{\circ}\text{C}$ - $130^{\circ}\text{C}$ ):

Con un progresivo soterramiento en las areniscas empieza a tomar importancia la apertura de los espacios porosos así como la generación de nuevas porosidades.

En este período ocurre la disolución de calcita, la transformación de esmectita a ilita y precipitación de arcillas autógenas como ilita y la clorita. La precipitación de **ilita** está ligada a varios factores fundamentales, uno de ello es la temperatura, lo cual indica que su formación ocurrió entre  $80^{\circ}\text{ C}$  como promedio hasta la posibilidad de  $140^{\circ}\text{C}$  (Bjorlykke, 1998). Un factor que determina la precipitación de éste mineral es la fuente de potasio en el sistema. Es posible el enriquecimiento de este elemento a partir de la disolución de feldespatos potásicos, quizás de caolinita o proveniente de la compactación de las lutitas intercaladas en la secuencia.

La formación y la cantidad de caolinita formada durante el soterramiento somero implica un factor limitante para la generación de ilita en las rocas, porque en aquellas facies más distales donde el influjo de aguas meteóricas es pobre no es

efectiva la precipitación de caolinita autigénica y por lo tanto, disminuye el potencial de ilitización en las rocas. La **clorita autigenica** es posible observarla en las muestras de este pozos como material cementante.

Es de hacer notar que en este pozo no se observaron relaciones espaciales con hidrocarburo en las fracturas.

#### 6.1.4.3. Soterramiento profundo (130°C-200°C):

En este período las evidencias notorias observadas en las rocas se asocian más que toda la precipitación de caolinita tardía en las muestras, la cual es posible que esté presente como **dickita**. Esta transición de caolinita a dickita puede deber su origen a la influencia del aumento de la temperatura (Bjorlykke, 1998). Se ha dado la posibilidad de la transformación de caolinita a ilita como proceso tardío relacionado al aumento de la temperatura y profundidad de soterramiento.

La porosidad secundaria formada durante las etapas de soterramiento profundo, ha sido atribuida a la disolución de los constituyentes por parte del CO<sub>2</sub> proveniente de la maduración del kerógeno. La cantidad de CO<sub>2</sub> obtenido durante la maduración depende del tipo de kerógeno; el kerógeno húmico producirá más CO<sub>2</sub> que el sapropélico (Bjorlykke, 1998).

En las muestras de éste pozo se observa una segunda generación de **hidrocarburos** posterior a la precipitación de clorita, dolomita barroca, ilita y caolinita (dickita), que rellena poros secundarios originados por la disolución de minerales silíceos y carbonáticos.

La disolución de componentes en las areniscas mediante los procesos diagenéticos junto con los eventos tectónicos que ocasionaron las fracturas, contribuyó de manera significativa al mejoramiento de la calidad de estas rocas como

yacimiento. Las fracturas contribuyen con el incremento de la porosidad y generan vías que favorecen la permeabilidad.

#### **6.1.5. Bioestratigrafía:**

A través de los datos de bioestratigrafía, los cuales comprenden estudios de palinología: dinoflagelados por Fasola (2001), resultados de nannoplancton por Farias (2001) y de foraminíferos por Moreno y Giffuni (2001); se describe el intervalo seleccionado a fin de definir por una parte, la edad de las formaciones y por la otra, los paleoambientes depositacionales (*Figura 6.23 y Anexo 4*).

A partir del estudio de foraminíferos se determina la edad de la secuencia debido a que es la disciplina que presenta mejor precisión y definición para las zonas bioestratigráficas comprendidas entre el Mioceno Temprano para la Formación Capaya y el Mioceno Temprano a Medio, para la Formación Carapita (De Daal *et al.*, 2000). Estos autores indican además, que los paleoambientes depositacionales corresponden a nerítico interno a externo, para la Formación Capaya y nerítico externo a batial superior para la Formación Carapita.

Furrer (2001) señala que los foraminíferos en el intervalo de la Formación Capaya se encuentran mal preservados de modo que resulta difícil identificar las especies y géneros. Sin embargo, los bénicos presentes indican un ambiente de nerítico interno a externo. Por otra parte, considerando el estado de preservación de ciertos microfósiles, es posible que los mismos hayan sufrido transporte o retrabajo. La microfauna en su totalidad indica que la edad se corresponde con el Mioceno Temprano.

PROF.	EDADES INTEGRADAS 8000'	FORAMINIFEROS	NANNOPLANKTON CALCÁREO	PALINOLOGIA	FALLAS Y OTROS
7000'	7028'	7028'	7028'	7028'	
8000'		MIOCENO TEMPR. A MEDIO 7950'	NN2(?) a Nn4		
9000'	9170' MIO TE -MD 9440' MIOCENO TEMPRANO 9910'	N7-N9 Basal 8345' INDETERMINADO 9035' N7-N9 Basal INDIE N8-N10 9670' N6	9080' INDETERMINADO 9440' INDETERMINADO 9910'		
10000'	MIO TE -MD 10135'	MIO TE -MD N7 - N9 Basal 10270' N7 - N9 Basal 11260' INDETERMINADO 11530' MIO TE -MD (N6-N10)	NN3-NN5 10135' INDETER. 10270' NN1-NN6 NN2-NN4 10540' INDETERMINADO 11710'	11260'	→ FALLA BIOEST. ?
11000'					→ FALLA SISM 11915'
12000'					→ FALLA SISM 12135'
13000'			NN2(?) a Nn4		→ FALLA SISM 12275'
14000'			14050'		→ FALLA SISM 12511'
15000'	15160'	15630'	INDETERMINADO	15160'	
	TD = 16600'		15360'	15420'	

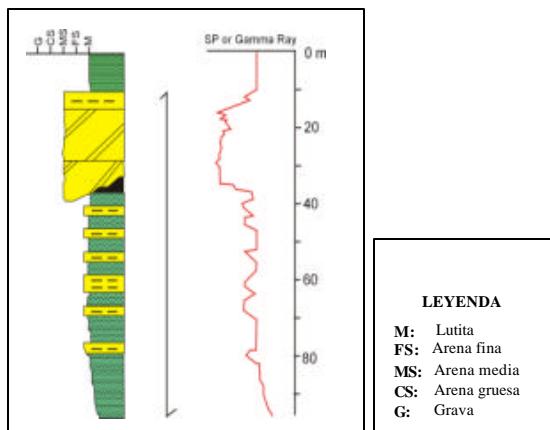
Figura 6.23. Cuadro de edades integradas determinadas a partir de estudios de foraminíferos nannoplancton calcáreo y palinología (dinoflagelados).

### **6.1.6. Paleoambientes:**

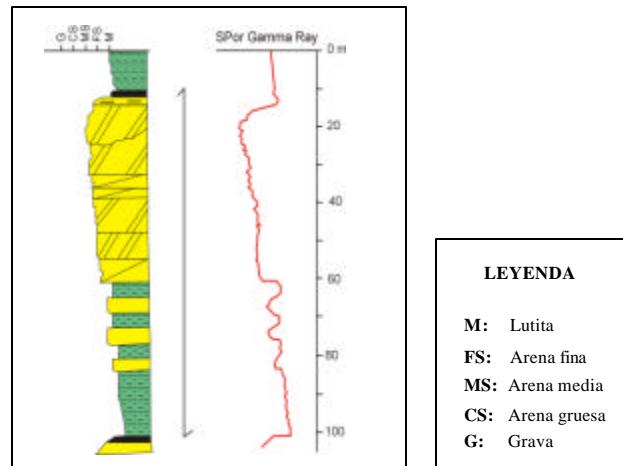
Kummerow (2001) indica que los procesos que determinan la geometría de los deltas y la distribución de las facies arenosas son: el aporte fluvial de sedimentos, la influencia de la energía del oleaje y la acción de las mareas. La respuesta de los registros eléctricos y las características morfológicas y granulométricas de las arenas depositadas bajo las diferentes condiciones se ilustran en las *Figuras 6.24, 6.25* y *6.26*.

La sección correspondiente a la Formación Capaya en el pozo Tácata I, evidencia una secuencia deltática depositada con una marcada influencia fluvial debido a que la mayor parte del intervalo consiste de intervalos arenosos progradantes con granulometrías que alcanzan en promedio, hasta arenas de grano medio (*Anexo 2*). La acción de la energía del oleaje se manifiesta por el retrabajo de los depósitos de arenas, lo cual se traduce en sedimentos con selección buena a moderada tal como puede observarse en el *Anexo 2*. A nivel petrográfico los elementos constituyentes de las arenas presentan una baja angularidad (Kummerow, 2001).

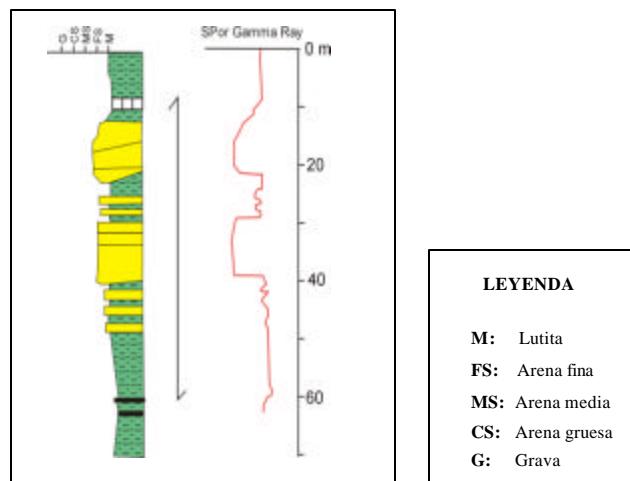
La presencia de varios niveles carbonáticos en este pozo muestra además, el efecto de las mareas en la construcción del sistema deltáico (Kummerow, 2001).



**Figura. 6.24. Secuencia vertical idealizada y registro de un delta dominado por ríos.** (Tomada y Modificada de Klein, 1984)



*Figura. 6.25. Secuencia vertical idealizada y registro de un delta dominado por la acción del oleaje. (Tomada y Modificada de Klein, 1984).*



*Figura 6.26. Secuencia vertical idealizada y registro de un delta dominado por mareas. (Tomada y Modificada de Klein, 1984)*

## CAPÍTULO 7: CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

Como se ha planteado en el *Capítulo 2*, se analizaron un total de 99 muestras de palinomacerales en el intervalo de estudio a través del ADIE® para determinar los parámetros texturales de la materia orgánica. Por otra parte, a partir de los análisis microscópicos se determinó la variación composicional y la intensidad de la fluorescencia, mientras que durante la ejecución de la preparación de las muestras se calculó la concentración de la materia orgánica palinológica por cada diez gramos de muestra.

### 7.1. FORMACIÓN CAPAYA:

En la Formación Capaya se analizaron un total de 76 muestras, cuyos resultados de cada análisis se señalan a continuación:

#### 7.1.1. *Resultados del análisis digital de imágenes estratigráficas:*

Los resultados obtenidos a partir del Análisis Digital de Imágenes Estratigráficas ADIE® se presentan en la *Tabla 7.1*.

#### 7.1.2. *Resultados de la composición de la materia orgánica palinológica:*

Los resultados obtenidos a partir de la evaluación microscópica bajo luz blanca transmitida y luz fluorescente incidente azul se muestran en la *Tabla 7.2*. Se identificaron 14 tipos diferentes de materia orgánica palinológica; de las cuales siete corresponden a material terrestre no estructurado, seis corresponden a material terrestre estructurado y dos corresponden a material acuático no estructurado de origen desconocido.

Tabla 7.1. Resultados del Análisis Digital de Imágenes Estratigráficas de la Formación Capaya.

Formación	Número de muestra	Profundidad	Nº de fases	Nº de partículas	Area Total (mm <sup>2</sup> )	Irregularidad Relativa	Elongación	Estudio por Partícula				Estudio por Área			
								Tamaño	Escogimiento	Kurtosis	Desviación*	Tamaño	Escogimiento	Kurtosis	Desviación*
CAPAYA	24	12800'-12850'	7	780	0,016	1,08	1,68	9,044	0,536	0,980	0,779	7,543	0,960	0,921	1,370
	25	12850'-12900'	16	265	0,254	1,16	1,68	7,505	1,049	0,924	1,461	3,909	1,037	0,855	1,388
	26	12900'-12950'	9	593	0,165	1,13	1,73	8,204	0,691	1,153	1,136	4,698	0,958	0,986	1,428
	27	13030'-13050'	15	531	0,213	1,15	1,66	7,802	0,815	1,056	1,247	4,322	1,397	0,775	1,712
	28	13090'-13110'	8	708	0,189	1,18	1,80	7,265	0,762	0,927	1,073	5,953	0,714	0,979	1,009
	29	13110'-13130'	6	740	0,096	1,14	1,84	8,129	0,896	0,862	1,217	6,233	0,743	1,021	1,113
	30	13130'-13150'	8	743	0,126	1,11	1,70	8,074	0,829	0,987	1,230	5,610	0,846	1,128	1,406
	31	13150'-13170'	3	739	0,029	1,06	1,63	8,537	0,687	0,859	0,948	7,381	0,650	0,935	0,957
	32	13170'-13190'	6	732	0,034	1,17	1,85	8,429	0,781	0,809	1,008	7,288	0,598	0,965	0,869
	33	13290'-13310'	3	709	0,038	1,13	1,95	8,682	0,676	0,873	0,938	6,436	1,334	0,729	1,579
	34	13310'-13330'	3	879	0,016	1,09	1,72	9,080	0,503	1,028	0,759	7,704	0,854	0,872	1,164
	35	13330'-13350'	1	761	0,025	1,11	1,72	8,864	0,572	0,959	0,794	7,109	1,228	0,719	1,445
	36	13350'-13370'	3	860	0,083	1,07	1,56	8,521	0,828	0,914	1,150	6,064	0,855	1,016	1,284
	37	13430'-13450'	1	1285	0,044	1,11	1,81	8,638	0,527	1,075	0,832	7,462	0,869	0,832	1,125
	38	13450'-13470'	1	1609	0,035	1,12	1,86	8,738	0,505	1,016	0,743	8,092	0,589	0,907	0,798
	39	13490'-13510'	1	853	0,050	1,06	1,55	8,537	0,708	0,855	0,966	6,513	1,190	0,794	1,503
	40	13590'-13610'	2	1137	0,055	1,07	1,63	8,567	0,672	0,938	0,979	6,913	0,908	0,852	1,220
	41	13610'-13630'	2	1160	0,032	1,10	1,80	8,635	0,518	1,037	0,803	7,857	0,641	1,032	0,928
	42	13630'-13650'	2	1178	0,022	1,14	2,10	8,930	0,582	0,894	0,781	8,089	0,646	0,961	0,898
	43	13670'-13690'	1	999	0,018	1,08	1,74	8,935	0,536	0,825	0,691	7,905	0,766	1,175	1,372
	44	13690'-13710'	3	1136	0,043	1,05	1,48	8,851	0,640	0,937	0,901	7,004	0,906	0,922	1,293
	45	13730'-13750'	2	800	0,104	1,06	1,55	8,698	0,694	0,909	0,981	4,046	1,901	0,676	2,143
	46	13770'-13790'	2	954	0,053	1,05	1,56	8,782	0,674	0,917	0,953	5,872	1,839	0,651	1,992
	47	13830'-13850'	2	921	0,044	1,08	1,67	8,535	0,822	0,807	1,052	7,120	0,658	1,036	0,955
	48	13870'-13890'	1	737	0,042	1,21	2,03	8,329	0,699	0,959	1,020	7,103	0,655	0,976	0,919
	49	13890'-13910'	2	841	0,049	1,11	1,64	8,496	0,859	0,814	1,101	6,957	0,633	1,078	0,941
	50	13950'-13970'	2	807	0,051	1,09	1,70	8,316	0,789	0,871	1,061	7,037	0,658	1,031	0,950
	51	13970'-13990'	3	973	0,056	1,07	1,61	8,481	0,811	0,835	1,062	6,862	0,753	1,050	1,133
	52	14020'-14040'	2	814	0,010	1,05	1,47	9,297	0,312	1,417	0,598	7,882	0,918	0,903	1,298
	53	14050'-14060'	6	532	0,006	1,02	1,38	9,298	0,317	1,159	0,538	7,844	1,316	0,710	1,590
	54	14060'-14080'	1	998	0,032	1,05	1,57	8,715	0,640	0,883	0,886	7,496	0,719	1,056	1,125
	55	14080'-14100'	2	727	0,053	1,01	1,32	7,609	0,341	1,266	0,578	7,314	0,361	1,197	0,618
	56	14100'-14120'	21	61	0,006	1,12	1,61	8,134	1,126	0,687	1,306	6,473	0,472	1,214	0,847
	57	14120'-14140'	10	729	0,082	1,06	1,46	8,462	0,652	1,274	1,231	5,947	0,623	1,297	1,039
	58	14140'-14160'	17	475	0,106	1,04	1,52	7,122	0,631	0,909	0,853	6,197	0,561	1,215	0,941
	59	14160'-14180'	5	768	0,028	1,04	1,56	8,434	0,597	0,949	0,895	7,558	0,557	1,050	0,905
	60	14180'-14200'	1	729	0,033	1,12	1,76	8,720	0,609	0,956	0,876	6,764	1,153	0,843	1,519
	61	14240'-14260'	4	758	0,149	1,10	1,73	8,387	0,814	0,892	1,115	4,023	1,821	0,658	2,001

Leyenda:

Desviación\*: Desviación Típica

Tabla 7.1. Continuación de Resultados del Análisis Digital de Imágenes Estratigráficas de la Formación Capaya.

Formación	Número de muestra	Profundidad	Nº de Fases	Nº de Partículas	Area Total (mm <sup>2</sup> )	Irregularidad Relativa	Elongación	Estudio por Partícula				Estudio por Área			
								Tamaño	Escogimiento	Kurtosis	Desviación*	Tamaño	Escogimiento	Kurtosis	Desviación*
CAPAYA	62	14300'-14320'	3	892	0,037	1,06	1,65	8,506	0,707	0,814	0,936	7,373	0,625	1,079	1,006
	63	14320'-14340'	2	1112	0,077	1,25	1,95	8,342	0,647	1,083	1,040	6,665	0,829	1,036	1,267
	64	14420'-14440'	2	744	0,033	1,06	1,53	8,675	0,694	0,915	0,988	6,914	0,845	1,102	1,365
	65	14460'-14480'	2	1274	0,035	1,14	1,79	8,693	0,518	1,037	0,779	7,690	0,713	1,078	1,124
	66	14480'-14500'	2	964	0,064	1,05	1,59	8,486	0,719	1,487	1,424	6,626	0,858	1,053	1,365
	67	14500'-14520'	3	948	0,079	1,11	1,72	8,317	0,884	0,820	1,130	6,559	0,778	1,068	1,210
	68	14520'-14540'	2	1007	0,028	1,24	2,17	8,895	0,626	0,900	0,850	7,404	0,880	1,177	1,426
	69	14540'-14560'	5	728	0,044	1,12	1,87	8,643	0,696	0,991	1,044	6,451	1,022	0,918	1,418
	70	14580'-14600'	3	798	0,120	1,12	1,86	8,028	0,721	0,998	1,022	5,151	2,062	0,597	2,135
	71	14600'-14620'	4	728	0,169	1,15	1,77	8,024	0,713	0,994	1,009	4,025	1,935	0,613	2,035
	72	14640'-14660'	4	824	0,036	1,14	1,96	8,425	0,634	0,967	0,949	7,353	0,683	0,861	0,943
	73	14660'-14680'	2	830	0,031	1,11	1,81	8,641	0,659	0,919	0,947	7,337	0,734	0,924	1,050
	74	14760'-14780'	2	1017	0,031	1,07	1,63	9,037	0,542	1,000	0,793	6,270	2,104	0,609	2,207
	75	14780'-14800'	3	825	0,033	1,19	1,89	8,558	0,753	0,834	1,000	7,327	0,629	0,973	0,938
	76	14800'-14820'	2	920	0,032	1,13	1,76	8,651	0,626	0,908	0,891	7,427	0,758	0,980	1,116
	77	14820'-14840'	2	763	0,062	1,12	1,88	8,006	0,677	1,004	0,964	6,854	0,692	0,986	0,992
	78	14880'-14900'	10	743	0,043	1,06	1,53	8,307	0,759	0,899	1,047	7,089	0,662	1,030	0,957
	79	14940'-14960'	1	757	0,034	1,08	1,89	8,114	0,477	0,860	0,652	7,519	0,601	0,900	0,862
	80	14960'-14980'	1	730	0,016	1,08	1,87	8,891	0,581	0,907	0,784	7,766	0,746	1,110	1,191
	81	14980'-15000'	3	779	0,016	1,12	1,80	9,004	0,565	0,945	0,791	7,601	0,925	0,939	1,320
	82	15000'-15020'	4	833	0,036	1,14	1,91	8,486	0,741	0,798	0,962	7,326	0,652	1,014	0,993
	83	15020'-15040'	2	1472	0,034	1,07	1,60	8,870	0,601	0,903	0,809	7,837	0,711	0,992	1,037
	84	15040'-15060'	2	1043	0,032	1,06	1,59	8,730	0,647	0,884	0,895	7,559	0,727	0,943	1,054
	85	15100'-15120'	3	718	0,022	1,04	1,50	8,829	0,628	0,883	0,848	7,455	0,787	1,047	1,229
	86	15140'-15160'	4	702	0,024	1,05	1,47	8,917	0,556	0,922	0,756	6,603	1,526	0,699	1,763
	87	15160'-15180'	2	1063	0,048	1,06	1,58	8,618	0,683	0,867	0,950	6,893	0,869	1,088	1,444
	88	15180'-15200'	16	431	0,235	1,07	1,62	6,835	0,638	0,986	0,907	5,124	1,207	0,666	1,360
	89	15200'-15220'	2	829	0,094	1,12	1,74	8,299	0,785	0,908	1,082	5,736	1,480	0,723	1,758
	90	15220'-15240'	11	754	0,434	1,11	1,79	6,540	0,773	0,883	1,063	5,544	0,473	1,448	0,953
	91	15240'-15260'	3	862	0,041	1,11	1,92	8,305	0,625	0,988	0,931	7,316	0,641	0,912	0,914
	92	15280'-15300'	1	812	0,023	1,05	1,52	8,801	0,640	0,880	0,872	7,608	0,690	1,009	1,056
	93	15320'-15340'	3	810	0,052	1,07	1,73	8,331	0,749	0,933	1,064	6,838	0,747	0,965	1,069
	94	15340'-15360'	2	914	0,035	1,05	1,65	8,545	0,664	0,872	0,928	7,379	0,665	1,010	1,023
	95	15360'-15380'	3	757	0,060	1,12	1,78	8,226	0,780	0,908	1,078	6,566	0,721	1,218	1,313
	96	15380'-15400'	2	708	0,023	1,05	1,60	8,781	0,638	0,889	0,876	7,153	0,971	1,034	1,517
	97	15420'-15440'	3	813	0,027	1,08	1,69	8,766	0,687	0,860	0,939	7,372	0,686	0,958	1,016
	98	15460'-15480'	3	958	0,014	1,07	1,68	9,102	0,481	1,027	0,733	8,103	0,728	0,927	1,010
	99	15480'-15500'	1	1002	0,026	1,04	1,53	8,822	0,624	0,891	0,845	7,688	0,701	1,034	1,080

Leyenda:

Desviación\*: Desviación Típica

Tabla 7.2. Resultados Composicionales de la Materia Orgánica Palinológica de la Formación Capaya.

Formación	Número de muestra	Profundidad	Material Terrestre Estructurado					Material Terrestre no Estructurado					Material Acuático no Estructurado			
			Restos Leñosos	Polen	Cutícula	Material Epidermal	Hongos	Gel Puro	Gel con Inclusiones	Gel sin Diferenciar	MOAFD de origen terrestre	MVD	Resina	Carbón	MANE	MOAFD proveniente de MANE
CAPAYA	24	12800'-12850'	0	0	0	0	0,1	1	0	0	0	0	0	0	0	98,9
	25	12850'-12900'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	26	12900'-12950'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	27	13030'-13050'	0	0	2,39	0	0	0	0	3	0	0	0	0	94,61	0
	28	13090'-13110'	0	0	4,49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95,51	0
	29	13110'-13130'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
	30	13130'-13150'	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	1	0	94
	31	13150'-13170'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	32	13170'-13190'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	33	13290'-13310'	0	0	2	5	0	10	0	0	83	0	0	0	0	0
	34	13310'-13330'	0	1	7,25	8,69	0	0	0	20,3	0	0	0	0	0	62,76
	35	13330'-13350'	0	0	4,8	6,4	0	0	0	24	0	0	0	0,8	0	64
	36	13350'-13370'	0	0	4,84	6,45	0	0	0	24	0	0	0	0	0	64,71
	37	13430'-13450'	0	2	6,67	8	0	0	0	26,67	0	0	0	0	0	56,66
	38	13450'-13470'	0	0	3	1	0	17	0	0	0	0	0	0,5	0	78,5
	39	13490'-13510'	0,52	2,07	0	4,15	0	46,63	0	0	0	46,63	0	0	0	0
	40	13590'-13610'	0	1,04	6,25	0	0	9,38	0	0	0	83,33	0	0	0	0
	41	13610'-13630'	0	0,86	5,17	0	0	7,76	0	0	0	86,21	0	0	0	0
	42	13630'-13650'	0	2,63	0	0	0	18,42	0	0	0	78,95	0	0	0	0
	43	13670'-13690'	0	2,5	0	7,5	0	15	0	0	0	75	0	0	0	0
	44	13690'-13710'	0	1,67	0	5	0	10	0	0	0	83,33	0	0	0	0
	45	13730'-13750'	0	1,43	0	4,29	0	8,57	0	0	0	85,71	0	0	0	0
	46	13770'-13790'	0	1,19	0	3,77	0	23,81	0	0	0	71,23	0	0	0	0
	47	13830'-13850'	2,33	1,16	0	3,49	0	23,35	0	0	0	69,67	0	0	0	0
	48	13870'-13890'	0,71	0,71	0	2,14	0	10	0	0	85,71	0	0	0,73	0	0
	49	13890'-13910'	0	0,19	1,49	0	0	29,16	0	0	0	69,16	0	0	0	0
	50	13950'-13970'	0,71	0,71	0	2,14	0	10	0	0	85,71	0	0	0,73	0	0
	51	13970'-13990'	0,65	0,65	0	1,93	0	19,35	0	0	77,42	0	0	0	0	0
	52	14020'-14040'	0,71	0,71	0	2,14	0	10	0	0	85,71	0	0	0,73	0	0
	53	14050'-14060'	0	0	0	2	0	0	0	3	95	0	0	0	0	0
	54	14060'-14080'	0	0	0	2	0	0	0	3	93	0	0	2	0	0
	55	14080'-14100'	0	0	0	1	0	0	0	1	98	0	0	0	0	0
	56	14100'-14120'	0	0	0	10	0	40	0	0	0	50	0	0	0	0
	57	14120'-14140'	0	0	0	1	0	0	0	1	0	98	0	0	0	0
	58	14140'-14160'	0	0	0	1	0	0	0	1	0	98	0	0	0	0
	59	14160'-14180'	0	0	0	3	0	0	0	5	0	92	0	0	0	0
	60	14180'-14200'	0	0	0	3	0	6,5	1	0	0	89,5	0	0	0	0
	61	14240'-14260'	7,81	0,78	1,56	4,69	0	0	0	7,03	78,13	0	0	0	0	0

Leyenda:

**MOAFD:** Materia Orgánica Amorfa Finamente Dispersa

**MVD:** Material Vegetal Degradado

**MANE:** Material Algal no Estructurado

Tabla 7.2. Continuación de los Resultados Composicionales de la Materia Orgánica Palinológica de la Formación Capaya.

Formación	Número de muestra	Profundidad	Material Terrestre Estructurado					Material Terrestre no Estructurado					Material Acuático no Estructurado			
			Restos Leñosos	Polen	Cutícula	Material Epidermal	Hongos	Gel Puro	Gel con Inclusiones	Gel sin Diferenciar	MOAFD de origen terrestre	MVD	Resina	Carbón	MANE	MOAFD Proveniente de MANE
CAPAYA	62	14300'-14320'	0	0	0	0	0	3,23	0	0	96,77	0	0	0	0	0
	63	14320'-14340'	0	0	0	3,85	0	0	26,92	0	0	69,23	0	0	0	0
	64	14420'-14440'	0	0	3,33	1,67	0	0	0	11,67	0	83,33	0	0	0	0
	65	14460'-14480'	0	0	1,15	0	0,23	6,88	0	0	0	91,74	0	0	0	0
	66	14480'-14500'	0	0	0	0	0	20,62	0	0	0	68,14	0	0	11,24	0
	67	14500'-14520'	1,75	0	3,25	0	0	43,75	0	0	0	43,75	0	0	7,5	0
	68	14520'-14540'	0	0	0	0,1	0	2	0	0	0	97,9	0	0	0	0
	69	14540'-14560'	1,61	0	3,23	0	0	0	0	4,84	0	88,71	0	1,61	0	0
	70	14580'-14600'	0	0	2,08	6,25	0	31,26	8,33	0	0	52,08	0	0	0	0
	71	14600'-14620'	0	0,21	2,08	6,24	0	31,19	8,3	0	0	51,98	0	0	0	0
	72	14640'-14660'	0	0,23	2,32	4,64	0	0	0	23,2	0	69,61	0	0	0	0
	73	14660'-14680'	0	0	0	11,76	0	19,61	0	0	0	68,63	0	0	0	0
	74	14760'-14780'	0	0	0	15,15	0	9,09	0	0	0	75,76	0	0	0	0
	75	14780'-14800'	0	0,31	3,12	9,34	0	9,35	0	0	0	77,88	0	0	0	0
	76	14800'-14820'	0	0,28	2,81	0	0	26,69	0	0	0	70,22	0	0	0	0
	77	14820'-14840'	0	0	4,26	0	0	42,55	0	0	0	53,19	0	0	0	0
	78	14880'-14900'	0	0	0	0,19	0	39,93	0	0	0	59,88	0	0	0	0
	79	14940'-14960'	0	0	0	0,27	0	18,87	0	0	0	80,86	0	0	0	0
	80	14960'-14980'	0	0	0	0	0	3	0	0	0	97	0	0	0	0
	81	14980'-15000'	0,13	0	1,64	2,53	0	20,23	0	0	0	75,47	0	0	0	0
	82	15000'-15020'	1,65	1,65	0	9,92	0	19,83	0	0	0	66,12	0	0,83	0	0
	83	15020'-15040'	0	0	0	0	0	28,57	0	0	0	71,43	0	0	0	0
	84	15040'-15060'	0	0	0	0	0	28,57	0	0	0	71,43	0	0	0	0
	85	15100'-15120'	0	0,89	0,89	8,9	0	26,78	0	0	0	62,54	0	0	0	0
	86	15140'-15160'	5,03	0	0	2,52	0	8,39	0	0	0	83,89	0	0,17	0	0
	87	15160'-15180'	0	0	0	5,69	0	8,55	0	0	0	85,47	0,29	0	0	0
	88	15180'-15200'	0	0	0	1,52	0	2,03	0	0	0	96,45	0	0	0	0
	89	15200'-15220'	0	0,3	0	1,51	0	55,89	0	0	0	33,23	9,07	0	0	0
	90	15220'-15240'	0	0,1	0	1,55	0	5,17	0	0	0	93,18	0	0	0	0
	91	15240'-15260'	0	0,11	0	1,57	0	9,41	0	0	0	88,91	0	0	0	0
	92	15280'-15300'	0	0,1	0	1,54	0	11,27	0	0	0	87,09	0	0	0	0
	93	15320'-15340'	0	0	0	4,76	0	38,1	0	0	0	57,14	0	0	0	0
	94	15340'-15360'	0	0	0	1,52	0	2,03	0	0	0	96,45	0	0	0	0
	95	15360'-15380'	0	0	0	1,52	0	2,03	0	0	0	96,45	0	0	0	0
	96	15380'-15400'	0	0	0	6,25	0	10,42	0	0	0	83,33	0	0	0	0
	97	15420'-15440'	0	0	0	1,52	0	2,03	0	0	0	96,45	0	0	0	0
	98	15460'-15480'	4,17	0	8,33	4,17	0	0	0	0	0	83,33	0	0	0	0
	99	15480'-15500'	0	0	0	6,15	0	9,23	0	0	0	84,62	0	0	0	0

Leyenda:

MOAFD: Materia Orgánica Amorfa Finamente Dispersa

MVD: Material Vegetal Degradado

MANE: Material Algal no Estructurado

### 7.1.3. Resultados de la concentración de la materia orgánica:

Tal como se explicó en el *Capítulo 2*, durante la preparación de las muestras se calcularon los valores de la concentración de la materia orgánica palinológica. La *Tabla 7.3* presenta los valores obtenidos para cada muestra preparada.

*Tabla 7.3. Concentración de la materia orgánica palinológica de la Formación Capaya.*

Formación	Número de muestra	Profundidad	D	Peso de Muestra (gr)	V. R.	V. M. O. (ml)	C. M. O = VMO/VR
CAPAYA	24	12800'-12850'	2.60	10	3.846	0.25	0.065
	25	12850'-12900'	2.52	10	3.968	0.01	0.003
	26	12900'-12950'	2.59	10	3.861	0.02	0.005
	27	13030'-13050'	2.59	10	3.861	0.02	0.005
	28	13090'-13110'	2.63	10	3.802	0.08	0.021
	29	13110'-13130'	2.58	10	3.876	0.04	0.010
	30	13130'-13150'	2.59	10	3.861	0.03	0.006
	31	13150'-13170'	2.62	10	3.817	0.06	0.016
	32	13170'-13190'	2.62	10	3.817	0.04	0.010
	33	13290'-13310'	2.45	10	4.082	0.50	0.123
	34	13310'-13330'	2.60	10	3.846	1.00	0.260
	35	13330'-13350'	2.66	10	3.759	0.60	0.160
	36	13350'-13370'	2.66	10	3.759	1.40	0.372
	37	13430'-13450'	2.68	10	3.738	0.50	0.134
	38	13450'-13470'	2.68	10	3.738	0.50	0.134
	39	13490'-13510'	2.62	10	3.817	0.50	0.131
	40	13590'-13610'	2.56	10	3.906	0.30	0.077
	41	13610'-13630'	2.67	10	3.745	0.60	0.160
	42	13630'-13650'	2.67	10	3.745	0.50	0.134
	43	13670'-13690'	2.67	10	3.745	0.40	0.107
	44	13690'-13710'	2.67	10	3.745	0.50	0.134
	45	13730'-13750'	2.50	10	4.000	0.50	0.125
	46	13770'-13790'	2.50	10	4.000	0.30	0.075
	47	13830'-13850'	2.68	10	3.738	0.50	0.134
	48	13870'-13890'	2.53	10	3.953	0.30	0.076
	49	13890'-13910'	2.67	10	3.745	0.40	0.107
	50	13950'-13970'	2.67	10	3.745	0.25	0.067
	51	13970'-13990'	2.59	10	3.861	0.50	0.130
	52	14020'-14040'	2.60	10	3.846	0.50	0.130
	53	14050'-14060'	2.60	10	3.846	0.50	0.130
	54	14060'-14080'	2.60	10	3.846	0.50	0.130
	55	14080'-14100'	2.50	10	4.000	0.50	0.125

**Tabla 7.3. Continuación concentración de la materia orgánica palinológica de la Formación Capaya.**

<b>Formación</b>	<b>Número de muestra</b>	<b>Profundidad</b>	<b>D</b>	<b>Peso de Muestra (gr)</b>	<b>V. R.</b>	<b>V. M. O. (ml)</b>	<b>C. M. O = VMO/VR</b>
CAPAYA	56	14100'-14120'	2.50	10	4.000	0.01	0.003
	57	14120'-14140'	2.62	10	3.817	1.50	0.393
	58	14140'-14160'	2.52	10	3.968	0.70	0.176
	59	14160'-14180'	2.62	10	3.817	0.50	0.131
	60	14180'-14200'	2.62	10	3.817	0.80	0.210
	61	14240'-14260'	2.52	10	3.968	1.00	0.252
	62	14300'-14320'	2.61	10	3.831	0.70	0.183
	63	14320'-14340'	2.61	10	3.831	0.90	0.235
	64	14420'-14440'	2.67	10	3.745	0.70	0.187
	65	14460'-14480'	2.50	10	4.000	0.50	0.125
	66	14480'-14500'	2.57	10	3.891	0.55	0.141
	67	14500'-14520'	2.59	10	3.861	0.60	0.155
	68	14520'-14540'	2.50	10	4.000	0.50	0.125
	69	14540'-14560'	2.70	5.6	2.074	1.00	0.482
	70	14580'-14600'	2.71	10	3.690	6.00	1.626
	71	14600'-14620'	2.52	10	3.968	1.50	0.378
	72	14640'-14660'	2.68	10	3.731	1.00	0.268
	73	14660'-14680'	2.60	10	3.846	0.40	0.104
	74	14760'-14780'	2.62	10	3.817	1.00	0.262
	75	14780'-14800'	2.62	10	3.817	0.30	0.079
	76	14800'-14820'	2.60	10	3.846	0.40	0.104
	77	14820'-14840'	2.60	10	3.846	0.50	0.130
	78	14880'-14900'	2.53	10	3.953	0.50	0.127
	79	14940'-14960'	2.63	10	3.802	0.50	0.132
	80	14960'-14980'	2.63	10	3.802	0.60	0.158
	81	14980'-15000'	2.63	10	3.802	0.30	0.079
	82	15000'-15020'	2.63	10	3.802	0.08	0.021
	83	15020'-15040'	2.63	10	3.802	0.10	0.026
	84	15040'-15060'	2.63	10	3.802	0.35	0.092
	85	15100'-15120'	2.63	10	3.802	0.10	0.026
	86	15140'-15160'	2.63	10	3.802	0.20	0.053
	87	15160'-15180'	2.63	10	3.802	0.23	0.060
	88	15180'-15200'	2.63	10	3.802	0.20	0.053
	89	15200'-15220'	2.63	10	3.802	0.50	0.132
	90	15220'-15240'	2.40	10	4.167	0.80	0.192
	91	15240'-15260'	2.59	10	3.861	0.30	0.078
	92	15280'-15300'	2.45	10	4.082	0.50	0.123
	93	15320'-15340'	2.57	10	3.891	0.01	0.003
	94	15340'-15360'	2.57	10	3.891	0.50	0.129
	95	15360'-15380'	2.57	10	3.891	0.50	0.129
	96	15380'-15400'	2.57	10	3.891	0.50	0.129
	97	15420'-15440'	2.32	10	4.310	0.30	0.070
	98	15460'-15480'	2.53	10	3.953	0.21	0.053
	99	15480'-15500'	2.70	10	3.704	0.55	0.149

Donde:

- D** Densidad de la Roca  
**V. R.** Volumen de la Roca  
**V. M. O.** Volumen de la Materia Orgánica  
**C. M. O** Concentración de la Materia Orgánica en mililitros.

#### 7.1.4. Resultados de la fluorescencia de la materia orgánica:

**Tabla 7.4. Porcentajes de Fluorescencia de la materia orgánica palinológica de la Formación Capaya.**

<b>Formación</b>	<b>Número de muestra</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Material Fluorescente</b>	<b>Material No Fluorescente</b>
<b>CAPAYA</b>	24	12800'-12850'	98.90	1.10
	25	12850'-12900'	100	0
	26	12900'-12950'	100	0
	27	13030'-13050'	98	2
	28	13090'-13110'	100	0
	29	13110'-13130'	100	0
	30	13130'-13150'	96	4
	31	13150'-13170'	100	0
	32	13170'-13190'	100	0
	33	13290'-13310'	2	98
	34	13310'-13330'	73.01	26.99
	35	13330'-13350'	70.80	29.20
	36	13350'-13370'	71.55	28.45
	37	13430'-13450'	67.33	32.67
	38	13450'-13470'	81.50	18.50
	39	13490'-13510'	2.07	97.93
	40	13590'-13610'	7.29	92.71
	41	13610'-13630'	6.03	93.97
	42	13630'-13650'	2.63	97.37
	43	13670'-13690'	2.50	97.50
	44	13690'-13710'	1.67	98.33
	45	13730'-13750'	1.43	98.57
	46	13770'-13790'	1.19	98.81
	47	13830'-13850'	1.16	98.84
	48	13870'-13890'	0.71	99.29
	49	13890'-13910'	1.68	98.32
	50	13950'-13970'	0.71	99.29
	51	13970'-13990'	0.65	99.35
	52	14020'-14040'	0.71	99.29
	53	14050'-14060'	0.30	99.70
	54	14060'-14080'	0.30	99.70
	55	14080'-14100'	0.10	99.90

**Tabla 7.4. Continuación de los porcentajes de fluorescencia de la materia orgánica palinológica de la Formación Capaya.**

<b>Formación</b>	<b>Número de muestra</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Material Fluorescente</b>	<b>Material No Fluorescente</b>
CAPAYA	56	14100'-14120'	0	100
	57	14120'-14140'	0.10	99.90
	58	14140'-14160'	0.10	99.90
	59	14160'-14180'	0.30	99.70
	60	14180'-14200'	0.01	99.99
	61	14240'-14260'	3.34	96.66
	62	14300'-14320'	0	100
	63	14320'-14340'	2	98
	64	14420'-14440'	4.33	95.67
	65	14460'-14480'	1.15	98.85
	66	14480'-14500'	11.64	88.36
	67	14500'-14520'	10.75	89.25
	68	14520'-14540'	0	100
	69	14540'-14560'	4.23	95.77
	70	14580'-14600'	3.08	96.92
	71	14600'-14620'	3.29	96.71
	72	14640'-14660'	4.55	95.45
	73	14660'-14680'	0	100
	74	14760'-14780'	0	100
	75	14780'-14800'	3.43	96.57
	76	14800'-14820'	3.09	96.91
	77	14820'-14840'	4.26	95.74
	78	14880'-14900'	0	100
	79	14940'-14960'	0	100
	80	14960'-14980'	0	100
	81	14980'-15000'	1.64	98.36
	82	15000'-15020'	1.65	98.35
	83	15020'-15040'	0	100
	84	15040'-15060'	0	100
	85	15100'-15120'	1.78	98.22
	86	15140'-15160'	0	100
	87	15160'-15180'	0.29	99.71
	88	15180'-15200'	0	100
	89	15200'-15220'	9.37	90.63
	90	15220'-15240'	0.10	99.90
	91	15240'-15260'	0.11	99.89
	92	15280'-15300'	0.10	99.90
	93	15320'-15340'	0	100
	94	15340'-15360'	0	100
	95	15360'-15380'	0	100
	96	15380'-15400'	0	100
	97	15420'-15440'	0	100
	98	15460'-15480'	8.33	91.67
	99	15480'-15500'	0	100

### 7.1.5. Resultados sintetizados y análisis estadísticos:

Los datos obtenidos a partir de este estudio son muy numerosos, tal como se muestra en los puntos 7.1 y 7.2, por ello es necesario condensarlos a través de uno o varios valores que determinen los principales caracteres de cada uno de los análisis (Rivas, 1995). La **estadística general o simple** es la que permite dicho resumen, presentándose a continuación los resultados observados para cada uno de los análisis realizados, de manera sintetizada. De este modo se muestra el promedio de cada variable, el rango (el valor mínimo y el máximo) y la desviación estándar.

En apoyo a la estadística general, se analizan los datos a partir de la generación de algunos **gráficos estadísticos** como perfiles de distribución, histogramas de frecuencia y diagramas de cajas, que permiten visualizar de manera global, el comportamiento de cada variable.

Por último, se muestran los resultados evaluados a través de la **estadística de relaciones o multivariante**, tal como se explicó en el *Capítulo 2*, donde se agrupan dos o más variables para determinar la relación existente entre ellas.

#### 7.1.5.1. Estadística general:

##### - Análisis Digital de Imágenes:

En la *Tabla 7.5* se muestran los resultados sintetizados de los estudios por partícula derivados del análisis digital de imágenes, generados a partir de la *Tabla 7.1*.

Se observa que el comportamiento general de los datos es bastante variable en el caso del tamaño de las partículas. El escogimiento por su parte, también presenta

variaciones notorias. La kurtosis y la desviación estándar, los cuales indican también cómo ha sido el escogimiento de las partículas, presentan valores promedios similares, ocurriendo de igual forma para los valores máximos, sin embargo en el caso de los valores mínimos existen mayores variaciones entre ellos.

**Tabla 7.5. Valores sintetizados de los estudios por partícula del análisis digital de imágenes de la Formación Capaya.**

	<i>Estudio por Partícula</i>			
	Tamaño	Escogimiento	Kurtosis	Desviación
<b>Promedio</b>	8,471	0,669	0,947	0,949
<b>Máximo</b>	9,298	1,126	1,487	1,461
<b>Mínimo</b>	6,540	0,312	0,687	0,538
<b>Desviación Est.</b>	0,504	0,138	0,129	0,176

Los datos correspondientes a los estudios por área, tal como se expuso en el *Capítulo 2*, indican los valores del espacio ocupado por las partículas, es decir, mientras menor sea el tamaño de las partículas, menor es el área ocupada por las mismas y en consecuencia el criterio es igual para el resto de las variables consideradas. En la *Tabla 7.6* se observa que la variabilidad de los datos aumenta en contraste con la *Tabla 7.5* para todos los casos, observándose las mayores variaciones en los parámetros correspondientes al tamaño y el escogimiento. En el caso de la kurtosis y la desviación estándar los valores promedios y máximos difieren notoriamente, mientras que los valores mínimos son similares.

**Tabla 7.6. Valores sintetizados de los estudios por área del análisis digital de imágenes de la Formación Capaya.**

	<i>Estudio por Área</i>			
	Tamaño	Escogimiento	Kurtosis	Desviación
<b>Promedio</b>	6,791	0,899	0,957	1,241
<b>Máximo</b>	8,103	2,104	1,448	2,207
<b>Mínimo</b>	3,909	0,361	0,597	0,618
<b>Desviación Est.</b>	1,030	0,384	0,168	0,345

El número de fases es el número de campos visuales microscópicos o número de barridos que se han realizado por muestra, por ende éste es un parámetro que controla el analista y depende de cuán elevados son o no, los niveles de concentración de materia de orgánica. Cuando la concentración de la materia orgánica es alta a moderada, con tan sólo un campo o fase se cubre la cantidad de partículas a contar (en este caso 750); sin embargo, cuando la concentración de la materia orgánica es baja, se realiza el número de campos que sean necesarios hasta completar la cantidad de partículas planteadas al inicio de los análisis. De acuerdo a lo anteriormente expuesto, es factible observar que la variabilidad que existe en el número de fases es alta, ya que regularmente se presentaron casos con escasa materia orgánica donde aumentó el número de campos evaluados (*Tabla 7.7*).

Por otra parte, en el *Capítulo 2*, se planteó un conteo total de 750 partículas por muestra, de acuerdo a Lorente (1986) y Lorente (Com. pers., 2001). Se aprecia una gran variabilidad en este parámetro, ya que al igual que el número de fases, depende directamente de la concentración de la materia orgánica. Por su parte, el área total presenta una variabilidad alta (*Tabla 7.7*).

La irregularidad relativa y la elongación, de acuerdo a lo observado en la *Tabla 7.7* presentan poca variación en los datos, siendo en el caso de la elongación más notoria.

**Tabla 7.7. Valores sintetizados de los resultados generales del análisis digital de imágenes de la Formación Capaya.**

	<i>Nº de Fases</i>	<i>Nº de Partículas</i>	<i>Área Total (mm<sup>2</sup>)</i>	<i>Irregularidad Relativa</i>	<i>Elongación</i>
<b>Promedio</b>	4	841	0,063	1,097	1,703
<b>Máximo</b>	21	1609	0,434	1,250	2,170
<b>Mínimo</b>	1	61	0,006	1,010	1,320
<b>Desviación Est.</b>	4,152	229	0,068	0,048	0,163

Una vez realizados estos análisis, se ha considerado preciso basar las interpretaciones principalmente en los estudios texturales por partícula, la irregularidad relativa y la elongación, ya que ellos definen de mejor manera las interpretaciones, aunque los estudios por área no dejan de ser importantes y de aportar información en beneficio de las interpretaciones.

- *Composición de la materia orgánica palinológica:*

La composición porcentual de la materia orgánica posee una variabilidad moderada para casi todos los componentes, a excepción del material vegetal degradado, la materia orgánica amorfá finamente dispersa de origen terrestre y con MANE, material algal no estructurado y gel húmico puro; cuyas variaciones son muy altas, siendo éstos últimos los que poseen mayor abundancia dentro de la Formación Capaya. Las *Tablas 7.8, 7.9 y 7.10*, presentan los datos sintetizados correspondientes a la *Tabla 7.2*.

**Tabla 7.8. Valores sintetizados en porcentajes del material terrestre estructurado de la Formación Capaya**

	<i>Material Terrestre Estructurado</i>				
	<i>Restos Leñosos</i>	<i>Polén</i>	<i>Cutícula</i>	<i>Material Epidermal</i>	<i>Hongos</i>
<b>Promedio</b>	0.37	0.34	1.16	2.93	0.004
<b>Máximo</b>	7.81	2.63	8.33	15.15	0.23
<b>Mínimo</b>	0.13	0.10	0.89	0.10	0.10
<b>Desviación Est.</b>	1.21	0.63	2.02	3.35	0.03

**Tabla 7.9. Valores sintetizados en porcentajes del material terrestre no estructurado de la Formación Capaya**

	<i>Material Terrestre no Estructurado</i>						
	<i>Gel Puro</i>	<i>Gel con Inclusiones</i>	<i>Gel sin Diferenciar</i>	<i>MOAFD de origen terrestre</i>	<i>MVD</i>	<i>Resina</i>	<i>Carbón</i>
<b>Promedio</b>	12.01	0.59	2.15	11.56	52.49	0.14	0.11
<b>Máximo</b>	55.89	26.92	26.67	98	98	9.07	2
<b>Mínimo</b>	1	1	1	77.42	33.23	0.29	0.17
<b>Desviación Est.</b>	13.90	3.34	6.06	30.00	38.25	1.05	0.35

**Leyenda:**

- MOAFD:** Materia Orgánica Amorfa Finamente Dispersa.  
**MVD:** Material Vegetal Degradado.

**Tabla 7.10. Valores sintetizados en porcentajes del material acuático no estructurado de la Formación Capaya.**

	<b>Material Acuático no Estructurado</b>	
	<b>MANE</b>	<b>MOAFD proveniente de MANE</b>
<b>Promedio</b>	4.06	12.10
<b>Máximo</b>	100	100
<b>Mínimo</b>	7.50	56.66
<b>Desviación Est.</b>	18.97	30.35

**Leyenda:**

- MANE:** Material Algal no estructurado  
**MOAFD:** Materia Orgánica Amorfa Finamente Dispersa

- Concentración y fluorescencia de la materia orgánica palinológica:

La concentración de la materia orgánica en la Formación Capaya es relativamente alta encontrándose grandes diferencias entre el valor máximo y el valor mínimo. No obstante, es en ésta formación se observa el nivel de concentración más elevado en todo el intervalo estudiado en el Pozo Tácata I.

La presencia de materia orgánica fluorescente es relativamente baja y la variabilidad de los datos es muy alta, lo cual es de esperarse ante la gran abundancia de material terrestre observado en esta formación de carácter no fluorescente (material vegetal degradado, gel húmico puro). El material fluorescente se encuentra conformado por geles húmicos con inclusiones, siendo estas últimas el material fluorescente: cutículas, granos de polen y materia orgánica amorfa finamente dispersa

con material algal, el cual aparece hacia el tope de la Formación Capaya y continúa hacia la base de la Formación Carapita.

Los valores promediados, máximos, mínimos y la desviación estándar tanto para la concentración como para la fluorescencia se muestran en la *Tabla 7.11*.

**Tabla 7.11.** Valores sintetizados de la concentración y fluorescencia de la Formación Capaya.

	Concentración (ml)	Material Fluorescente (%)	Material no Fluorescente (%)
<b>Promedio</b>	0.15	18.07	81.93
<b>Máximo</b>	1.63	100	100
<b>Mínimo</b>	0.003	0	0
<b>Desv. Est.</b>	0.20	34.85	34.85

Estos valores indican cambios ambientales importantes en la zona y sugiere una variación transicional de ambientes someros (costeros) a ambientes más profundos (marinos), lo cual coincide con la interpretación realizada por Giffunni y Moreno (2001), quienes proponen ambientes neríticos internos hasta neríticos externos para la Formación Capaya en el intervalo estudiado (*Anexo 4*).

#### 7.1.5.2. Gráficos estadísticos:

- *Histogramas y diagramas de caja:*

El comportamiento general de los histogramas de frecuencia indica una distribución unimodal y los polígonos de frecuencia señalan que las curvas son asimétricas, a excepción de la elongación y del escogimiento y la desviación estándar por partícula, evidenciándose estas características también en los diagramas de caja, los cuales son simétricos con valores extremos equidistantes de la mediana.

Los histogramas y curvas de frecuencia del tamaño de los estudios por área y por partícula (*Figuras 7.1 y 7.2*), reflejan una asimetría negativa con una cola que se extiende hacia los tamaños gruesos, lo cual revela cambios de la energía cinética media hacia valores más altos de los predominantes (Navarro, 1998). Por otra parte, los diagramas de caja revelan el contraste significativo entre éstas variables, no obstante la mediana para ambas cajas presentan un rango entre limos muy finos y medios (*Figura 7.12*).

En general, ambos gráficos estadísticos muestran que los tamaños de las partículas se concentran hacia los tamaños finos. Esta tendencia también se puede observar en el histograma que refleja el comportamiento del área total (*Figura 7.9*), ya que las frecuencias más elevadas se aprecian en las áreas menores y las frecuencias más bajas se observan en los valores que registran las áreas mayores. De hecho, este gráfico tiene un comportamiento opuesto al histograma de tamaño, puesto que presenta forma de “J” mostrándose asintótica hacia las áreas mayores de las partículas. El diagrama de caja también indica dicha concentración de datos hacia los valores menores (*Figura 7.16*).

Los diagramas de caja del escogimiento, la kurtosis y la desviación estándar por área y por partícula son asimétricos, a excepción del escogimiento y desviación estándar por partícula, tal como se mencionó anteriormente. Es importante destacar que al comparar cada variable para los dos estudios, los valores promedios se mantienen en el mismo rango, aunque la mediana indica mayor dispersión de datos en el extremo inferior que en el superior, para el caso de la kurtosis por área y viceversa para el resto de las variables (*Figuras 7.13, 7.14 y 7.15*).

Los histogramas, por su parte, indican una clase modal ubicada en las partículas moderadamente escogidas con leves tendencias a mal escogidas. Nótese, en las *Figuras 7.4 y 7.8*, que las curvas se hacen asintóticas hacia los valores de mal escogimiento, mientras que las *Figuras 7.5 y 7.6* indican una tendencia hacia las

partículas bien escogidas. Finalmente las *Figuras 7.3 y 7.7*, son simétricas, con una clase modal en la parte central del histograma y disminución paulatina del resto de las clases hacia los extremos o colas. Estas discrepancias pueden atribuirse a que los tamaños para el material algal, concentrado hacia el tope de la secuencia, el material vegetal degradado y los geles húmicos; suelen ser tamaños mayores en oposición al material cuticular y epidermal, restos leñosos y granos de polen.

La elongación presenta una distribución casi simétrica con una clase modal cuasidimensional, mostrándose ligeramente asintótico hacia los valores que señalan partículas con elongación tabloide y una inclinación hacia las partículas equidimensionales (*Figura 7.10*). El diagrama de caja (*Figura 7.17*) refleja de igual manera un comportamiento simétrico.

El histograma de la irregularidad relativa presenta un comportamiento casi invariable, sin embargo se hace ligeramente asintótico hacia los valores mayores (*Figura 11*). El diagrama de caja, por su parte; indica que los valores por encima de la mediana presentan mayor dispersión que los inferiores (*Figura 7.17*). De esta forma, ambos aspectos permiten observar la leve heterogeneidad en esta variable.

#### - *Perfiles de distribución:*

Los perfiles de distribución permiten visualizar el comportamiento de cada variable en vertical, establecer las tendencias generales y determinar las posibles relaciones existentes con la litología; registro de pozo gamma ray y de resistividad (*Figuras 7.18 y 7.19*).

Los perfiles correspondientes a las variables texturales del análisis digital de imágenes, en cuanto a los *estudios por partícula* se refiere, muestran un comportamiento bastante variable, lo cual confirma lo establecido por los análisis estadísticos generales, en el punto 7.1.5.1.

El tamaño de las partículas orgánicas muestra una variación entre  $6.5\phi$  y  $9.3\phi$ , es decir, tamaños limos finos y tamaños arcillas, respectivamente. La base, parte media y tope de la secuencia de la Formación Capaya, presentan secuencias granocrecientes (tamaños arcillas, limos muy finos a limos finos) e inmediatamente secuencias granodecrescentes (limos finos, limos muy finos a arcillas), el resto de la secuencia muestra ligeras perturbaciones, pero siempre permaneciendo en el rango de partículas tamaño arcilla (*Figura 7.19*).

El escogimiento, la desviación estándar y la kurtosis, tal como se planteó en el *Capítulo 3*, son variables que indican cómo es la selección de las partículas dentro de cada muestra evaluada, presentando los perfiles de distribución de éstas variables las mismas tendencias (*Figuras 7.18 y 7.19*).

En cuanto a los valores del escogimiento estos revelan que todas las partículas se encuentran bien escogidas en el intervalo estudiado de la Formación Capaya siendo 0.3 a 1.1. No obstante, los valores de la kurtosis van desde 0.67 hasta 1.49 (platicúrtica, mal escogidas hasta muy leptocúrtica, muy excelentemente escogidas). Por otra parte, los valores correspondientes a la desviación estándar van de 0.5 a 1.4 (moderadamente bien escogido a mal escogido). En general, los tres perfiles indican que en la Formación Capaya las partículas se encuentran mayormente entre moderadamente escogidas y bien escogidas, con excepciones donde se aprecia mal escogimiento (*Figura 7.19 y Tabla 7.5*).

Los perfiles de distribución correspondientes a las variables texturales del análisis digital de imágenes, en cuanto a los *estudios por área* se refiere, también presentan amplia variabilidad y apoyan la información suministrada por los estudios por partícula, ya que hacia la base, parte media y tope del intervalo, las secuencias presentan el mismo patrón de comportamiento. En el caso de las secuencias granocrecientes los valores máximos indican que los tamaños por área se

corresponden con limos gruesos, mientras que las secuencias granodecrescentes muestran valores mínimos correspondientes a tamaños de limos muy finos (*Figura 7.19*).

Por otra parte, el escogimiento, la kurtosis y la desviación estándar, al igual que en los estudios por partícula, presentan una tendencia similar mostrando que las partículas para la Formación Capaya se encuentran entre moderadamente escogidas a bien escogidas, aunque se observan algunos picos que indican mal escogimiento, los cuales se hacen menos notorios a medida que se acerca hacia el tope del intervalo (*Figura 7.19*).

La *elongación* y la *irregularidad relativa* se encuentran estrechamente relacionados notándose que cuando las partículas tienden a ser irregulares la elongación es cuasidimensional a tabloide. Esto se puede observar en la *Figura 7.19* en el intervalo 15180' – 15260', 14260' – 14520' y 13790' – 13910'. La elongación, por su parte, se encuentra comprendida entre los valores 1,3 y 2,1 indicando partículas equidimensionales y tabloides, estando la mayoría de ellas en el rango cuasidimensional. Los valores de la irregularidad relativa (1 - 1,25) sugieren que todas las partículas son regulares.

Por otra parte, las tendencias generales de cada uno de los *componentes de materia orgánica palinológica* se observan en la *Figura 7.20*. Es evidente que la Formación Capaya se encuentra constituida principalmente por material vegetal degradado, gel húmico puro y materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen terrestre. Los dos primeros componentes se encuentran distribuidos homogéneamente en la mayor parte del intervalo y se hacen prácticamente ausentes hacia el tope del mismo. Sin embargo, el tercer componente se encuentra presente de manera localizada hacia la parte media y tope de la secuencia. De igual forma, se observan cantidades importantes de materia orgánica amorfa finamente dispersa con material algal hacia el tope del intervalo.

La distribución de la **concentración de la materia orgánica palinológica** se puede observar en la *Figura 7.21*. Es de hacer notar que la concentración de materia orgánica es alta en la Formación Capaya y tiende a disminuir considerablemente hacia el tope de la secuencia.

La **materia orgánica fluorescente** se aprecia en muy baja proporción a 13630' de profundidad, incrementándose en un 100% al llegar al tope de la Formación Capaya. El resto de la secuencia presenta material no fluorescente en su totalidad, con excepción de ciertos intervalos (*Anexo 5*). Esto se debe a que los tres componentes principales, los cuales suman en promedio más del 75%, son no fluorescentes (material vegetal degradado, materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen terrestre y gel húmico puro).

#### 7.1.5.3. Estadística multivariante:

Para establecer los análisis estadísticos multivariantes (análisis de agrupamiento) se empleó el programa *MVSP*, con el cual se trataron 29 variables para 99 muestras.

Se construyeron dendrogramas de carácter general elaborados a partir de los datos tanto de la Formación Capaya como de la Formación Carapita y cada uno de ellos se explica a continuación:

En la *Figura 7.22* se muestra el dendrograma construido a partir de los datos del tamaño, escogimiento, kurtosis y la desviación estándar, tanto de los estudios por partícula, como por área, además de la irregularidad relativa y la elongación. A partir de éste, se definieron ocho grupos, de los cuales seis corresponden a la Formación Capaya y dos a la Formación Carapita.

Asimismo, utilizando los valores porcentuales de los catorce componentes de la materia orgánica, se construyó el dendrograma presentado en la *Figura 7.23*, donde también se definieron ocho grupos, nuevamente seis para la Formación Capaya y dos para la Formación Carapita.

Posteriormente se construyó otro dendrograma unificando las variables tanto de la composición, como de los parámetros texturales (*Figura 7.24*). De este modo, se obtuvieron nuevamente ocho grupos, con una distribución de subgrupos igual a la citada en los dos dendrogramas anteriores.

El dendrograma presentado en la *Figura 7.25*, se construyó a partir de las variables de la composición, la concentración y la fluorescencia. También se observan ocho grupos, con igual distribución a la mostrada en los dendrogramas anteriores.

Por último, se elaboró un dendrograma que incluye todas las variables obtenidas a partir de cada uno de los análisis realizados, para la composición, concentración, fluorescencia y variables texturales de la materia orgánica. Se identificaron ocho grupos, seis pertenecientes a la Formación Capaya y dos a la Formación Carapita (*Figura 7.26*).

Es importante destacar que los valores para las distancias euclidianas no son similares, no obstante la tendencia mostrada por cada dendrograma es la misma, donde se aprecian dos grupos principales, relacionados directamente con las formaciones Capaya y Carapita, coincidiendo con el límite establecido entre ambas formaciones.

De acuerdo al comportamiento observado en los perfiles de distribución, donde algunas curvas se comportan de modo similar, se realizaron análisis de agrupamiento más detallados dentro de cada una de las formaciones, así para la

Formación Capaya se elaboró un dendrograma con base en los datos del área total, la irregularidad relativa y la elongación. De este modo, la matriz construida consta de 3 variables para 76 muestras, presentando cuatro grupos principales, los cuales de base a tope reúnen 31, 6, 14 y 25 muestras, para el cuarto, tercer, segundo y primer grupo, respectivamente (*Figura 7.27 y Tabla 7.12*).

**Tabla 7.12. Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables área total, irregularidad relativa y elongación de la Formación Capaya.**

<b>Grupos</b>	<b>Nº de Muestras</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Muestras totales</b>
1	24 al 48	12800'-13890'	25
2	49 al 62	13890'-14320'	14
3	63 al 68	14320'-14540'	6
4	69 al 99	14540'-15500'	31

Los dendrogramas construidos a partir del escogimiento, la kurtosis y la desviación estándar por partícula (*Figura 7.28 y 7.29*) y el escogimiento, la kurtosis y la desviación estándar por área (*Figura 7.30 y 7.31*) consisten de una matriz compuesta por 2 variables, para 76 muestras. Los grupos obtenidos para el escogimiento y la kurtosis por partícula son cuatro, los cuales de base a tope contienen 33, 11, 4 y 25 muestras, para el cuarto, tercer, segundo y primer grupo, respectivamente; mientras que los grupos obtenidos para el escogimiento y la desviación estándar determinados fueron tres, sin embargo la distribución de muestras es similar al grupo descrito anteriormente (*Tabla 7.13 y 7.14*). Es importante destacar que los cuatro dendrogramas poseen igual distancia euclíadiana, lo cual indica que el nivel de correlación para las muestras de acuerdo a estas variables, es la misma.

**Tabla 7.13. Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables escogimiento y kurtosis por partícula de la Formación Capaya.**

Grupos	Nº de Muestra	Profundidad	Muestras Totales
1	24 al 51	12800'-13990'	28
2	52 al 55	14020'-14100'	4
3	56 al 66	14100'-14500'	11
4	67 al 99	14500'-15500'	33

**Tabla 7.14. Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables escogimiento y desviación estándar por partícula de la Formación Capaya.**

Grupos	Nº de Muestra	Profundidad	Muestras Totales
1	24 al 55	12800'-14100'	32
2	56 al 67	14100'-14520'	12
3	68 al 99	14520'-15500'	32

Los dendrogramas del escogimiento y la kurtosis (*Figura 7.30*) y el escogimiento y la desviación estándar (*Figura 7.31*) por área, reflejan cuatro grupos cada uno, en los cuales se establecen la misma distribución de muestras y similar distancia euclíadiana, es decir, similar nivel de correlación. Cada dendrograma consiste de una matriz compuesta por 2 variables, para 76 muestras. Para ambos casos, el cuarto grupo contiene 25 muestras, el tercero 15, el segundo 13 y el primero 23 (*Tabla 7.15*).

**Tabla 7.15. Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables escogimiento, kurtosis y desviación estándar por área de la Formación Capaya.**

Grupos	Nº de Muestra	Profundidad	Muestras Totales
1	24 al 46	12800'-13790'	23
2	47 al 59	13830'-14180'	13
3	60 al 74	14180'-14780'	15
4	75 al 99	14780'-15500'	25

Los parámetros principales del análisis digital de imágenes para el análisis de agrupamiento, de acuerdo a Lorente (1986) están constituidos por el área total, el tamaño promedio, el escogimiento, la irregularidad relativa, la elongación y el número de partículas, por lo cual se realizó el análisis de agrupamiento para estas variables según los estudios por partícula (*Figura 7.32*) y los estudios por área (*Figura 7.33*), de esta manera la matriz contiene 6 variables para 76 muestras. En ambos casos se establecen cuatro grupos y la distribución de muestras por grupo es la misma, por consiguiente el cuarto grupo reúne 41 muestras, el tercero 3, el segundo 19 y el primero 12 (*Tabla 7.16*).

**Tabla 7.16. Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables principales por área y por partícula de la Formación Capaya.**

<b>Grupos</b>	<b>Nº de Muestra</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Muestras Totales</b>
1	24 al 36	12800'-13370'	13
2	37 al 55	13430'-14100'	19
3	56 al 58	14100'-14160'	3
3	59 al 99	14160'-15500'	41

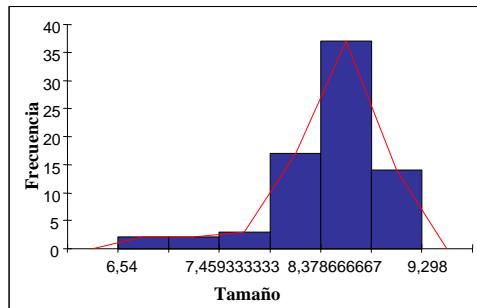
Por otra parte se realizaron dos dendrogramas constituidos por los estudios por partícula y por área, adicionalmente se les introdujeron los datos de la elongación y la irregularidad relativa. De esta manera la matriz consta de 6 variables en 76 muestras. En el primer caso se establecen cuatro grupos, los cuales de base a tope contienen 12, 33, 26 y 5 muestras, en el cuarto, tercer, segundo y primer grupo, respectivamente (*Figura 7.34* y *Tabla 7.17*). En el segundo caso, también se establecen cuatro grupos. El cuarto grupo asocia 28 muestras, el tercero 27, el segundo 17 y el primero 4 (*Figura 7.35* y *Tabla 7.18*).

**Tabla 7.17. Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables por partícula, irregularidad relativa y elongación de la Formación Capaya.**

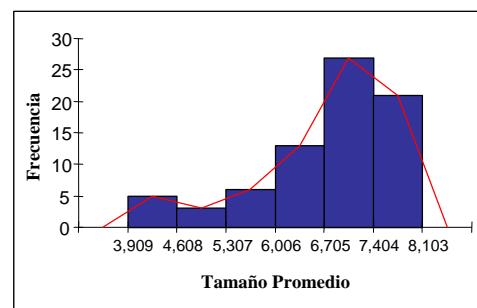
<b>Grupos</b>	<b>Nº de Muestras</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Muestras totales</b>
1	24 al 28	12800'-13110'	5
2	29 al 54	13110'-14080'	26
3	55 al 87	14080'-15180'	33
4	88 al 99	15180'-15500'	12

**Tabla 7.18. Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables por área, irregularidad relativa y elongación de la Formación Capaya.**

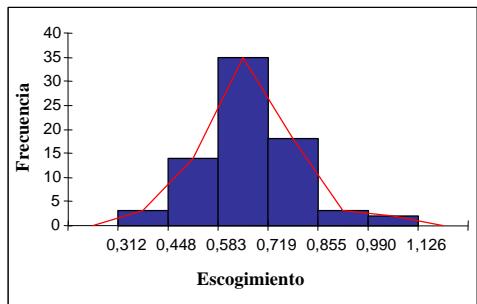
<b>Grupos</b>	<b>Nº de Muestras</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Muestras totales</b>
1	24 al 27	12800'-13050'	4
2	28 al 44	13090'-13710'	17
3	45 al 71	13730'-14620'	27
4	72 al 99	14640'-15500'	28



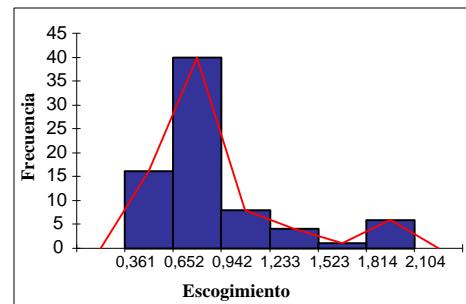
*Figura 7.1. Histograma del tamaño de los estudios por partícula de la Formación Capaya.*



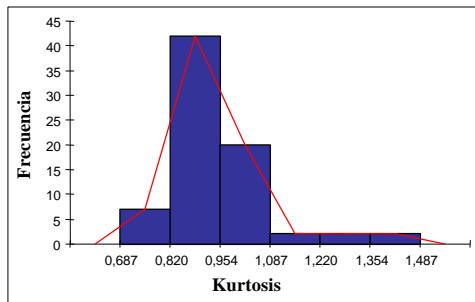
*Figura 7.2. Histograma del tamaño de los estudios por área de la Formación Capaya.*



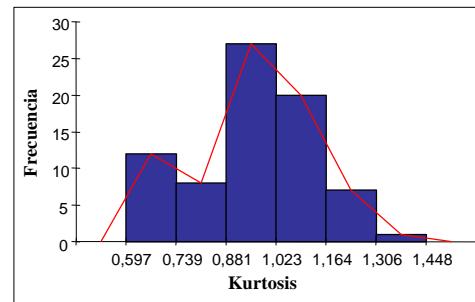
*Figura 7.3. Histograma del escogimiento de los estudios por partícula de la Formación Capaya.*



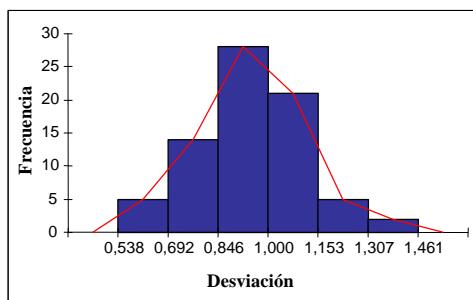
*Figura 7.4. Histograma del escogimiento de los estudios por área de la Formación Capaya.*



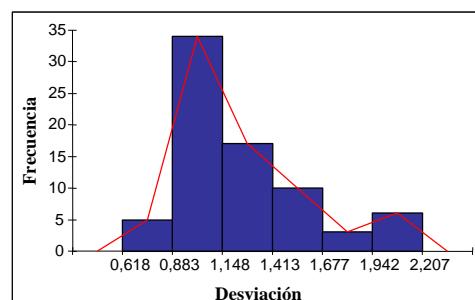
*Figura 7.5. Histograma de la kurtosis de los estudios por partícula de la Formación Capaya.*



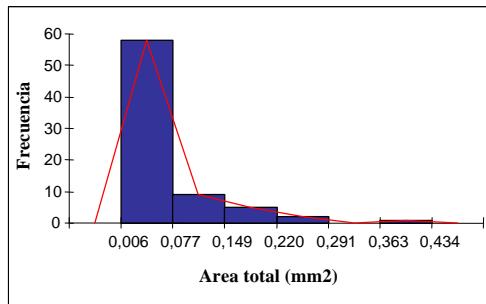
*Figura 7.6. Histograma de la kurtosis de los estudios por área de la Formación Capaya.*



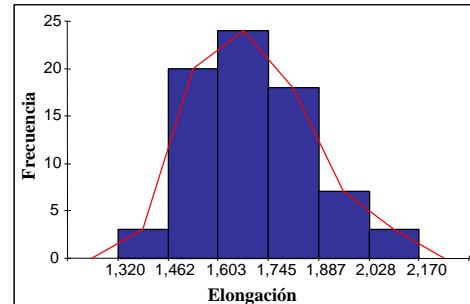
*Figura 7.7. Histograma de la desviación estándar de los estudios por partícula de la Formación Capaya.*



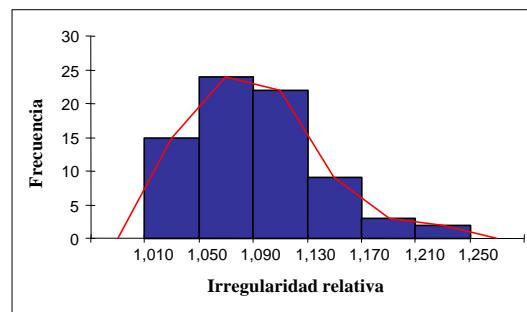
*Figura 7.8. Histograma de la desviación estándar de los estudios por área de la Formación Capaya.*



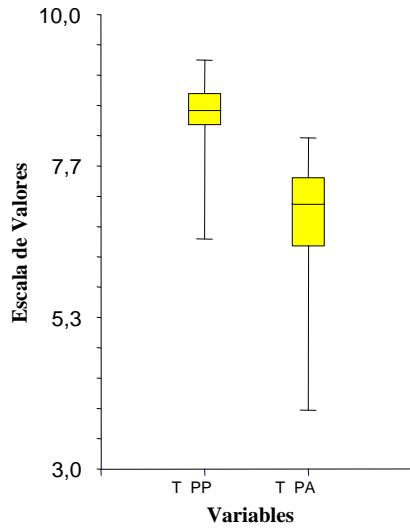
*Figura 7.9. Histograma del área total de la Formación Capaya.*



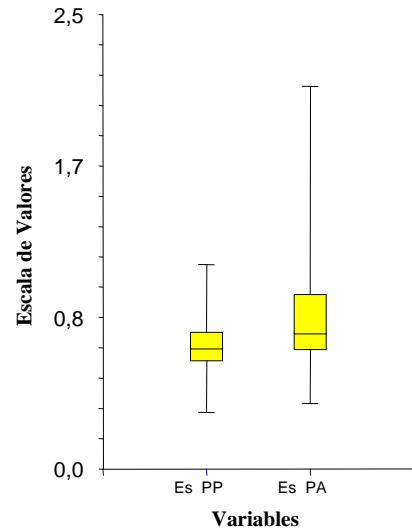
*Figura 7.10. Histograma de la elongación de la Formación Capaya.*



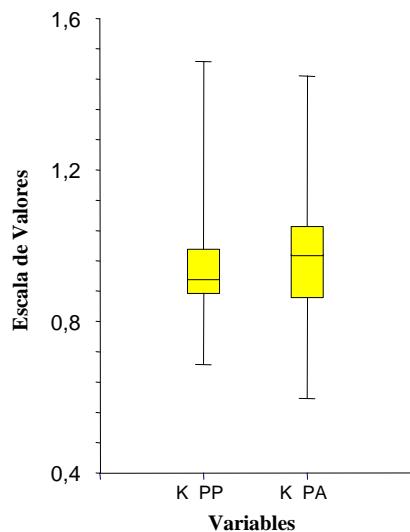
*Figura 7.11. Histograma de la irregularidad relativa de la Formación Capaya.*



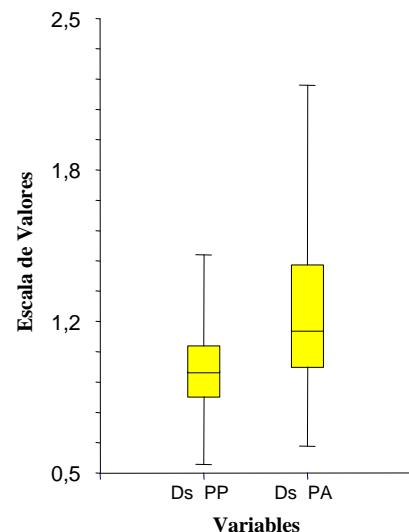
*Figura 7.12. Diagramas de caja del tamaño de los estudios por área y por partícula de la Formación Capaya.*



*Figura 7.13. Diagramas de caja del escogimiento de los estudios por área y por partícula de la Formación Capaya.*



*Figura 7.14. Diagramas de caja de la kurtosis de los estudios por área y por partícula de la Formación Capaya.*

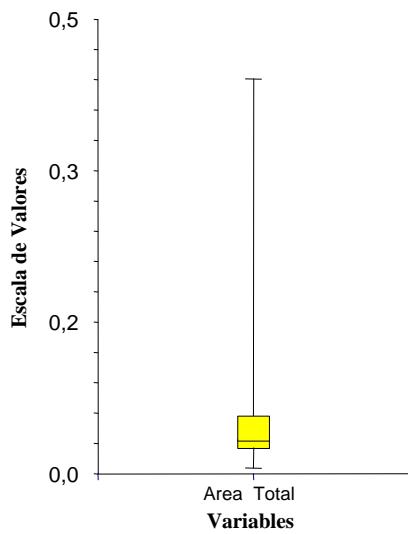


*Figura 7.15. Diagramas de caja de la desviación estándar de los estudios por área y por partícula de la Formación Capaya.*

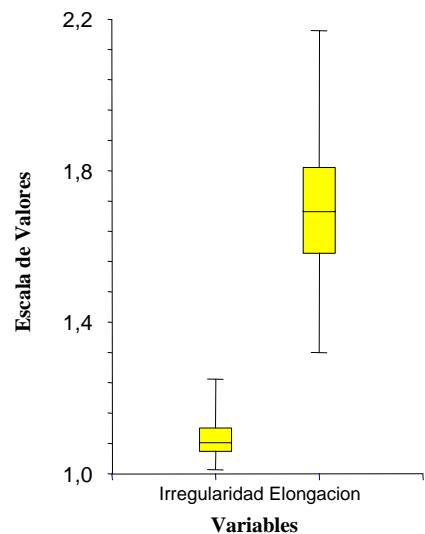
*Leyenda:*

PP Estudios Por Partícula

PA Estudios Por Área



*Figura 7.16. Diagrama de caja del área total de la Formación Capaya.*

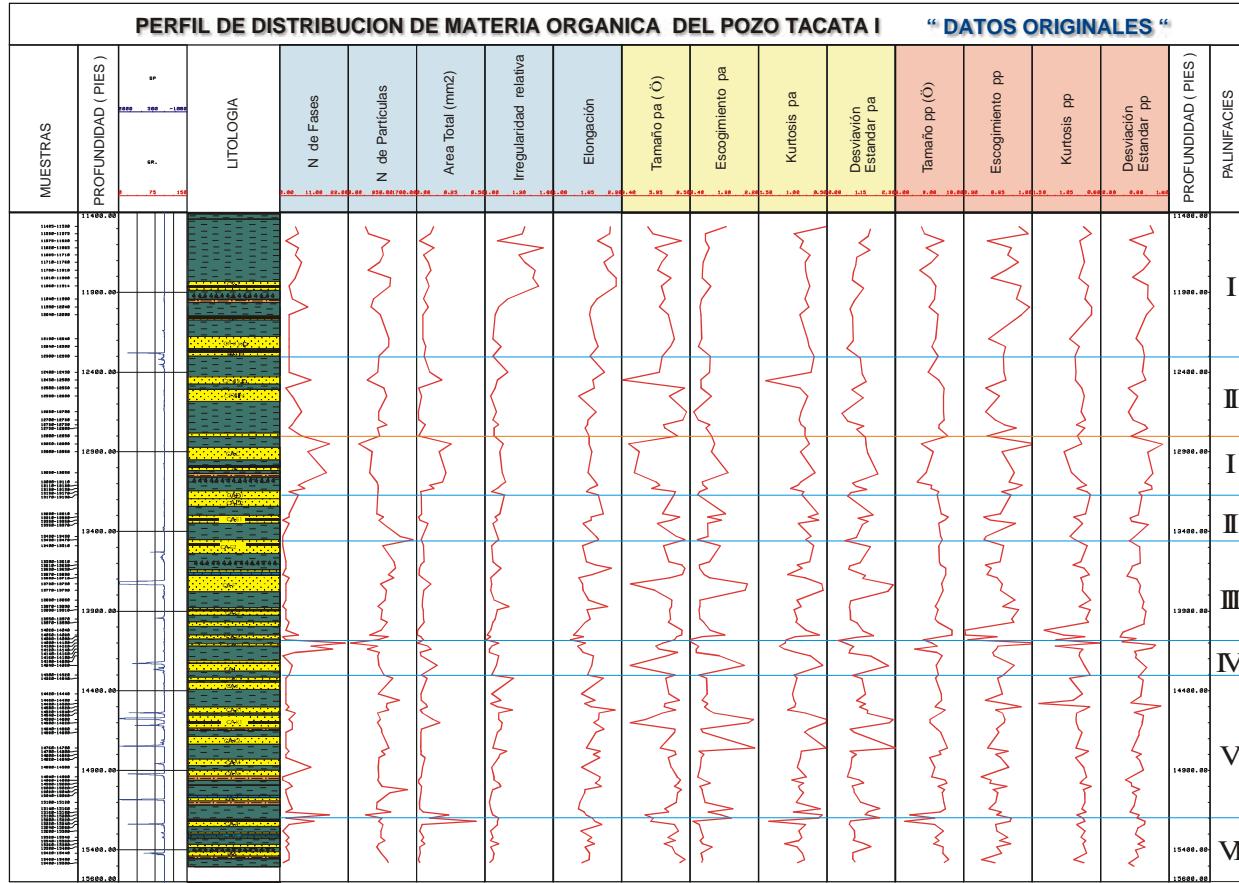


*Figura 7.17. Diagrama de caja de la irregularidad relativa y la elongación de la Formación Capaya.*

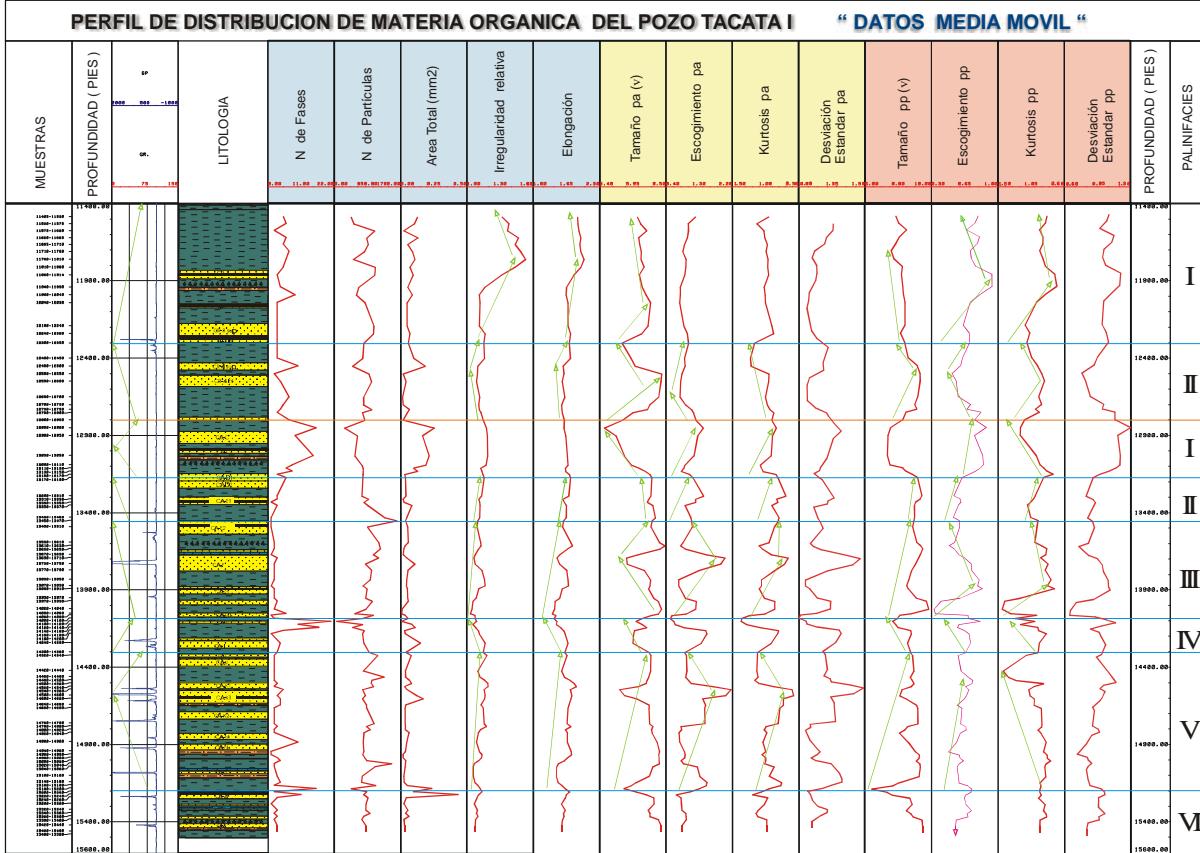
**Leyenda:**

PP Estudios Por Partícula

PA Estudios Por Área



<b>TITULO:</b>	PERFIL DE DISTRIBUCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA POZO TACATA / DATOS CRUDOS
<b>TESISTA:</b>	NORIA DEL CUELO MENDOZA
<b>TUTORA INDUSTRIAL:</b>	MARÍA ANTONITA LORENTE
<b>ÁREA DE TRABAJO:</b>	CAMPÓ TACATA
<b>FECHA:</b>	7-8
<b>FIGURA:</b>	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO 2000



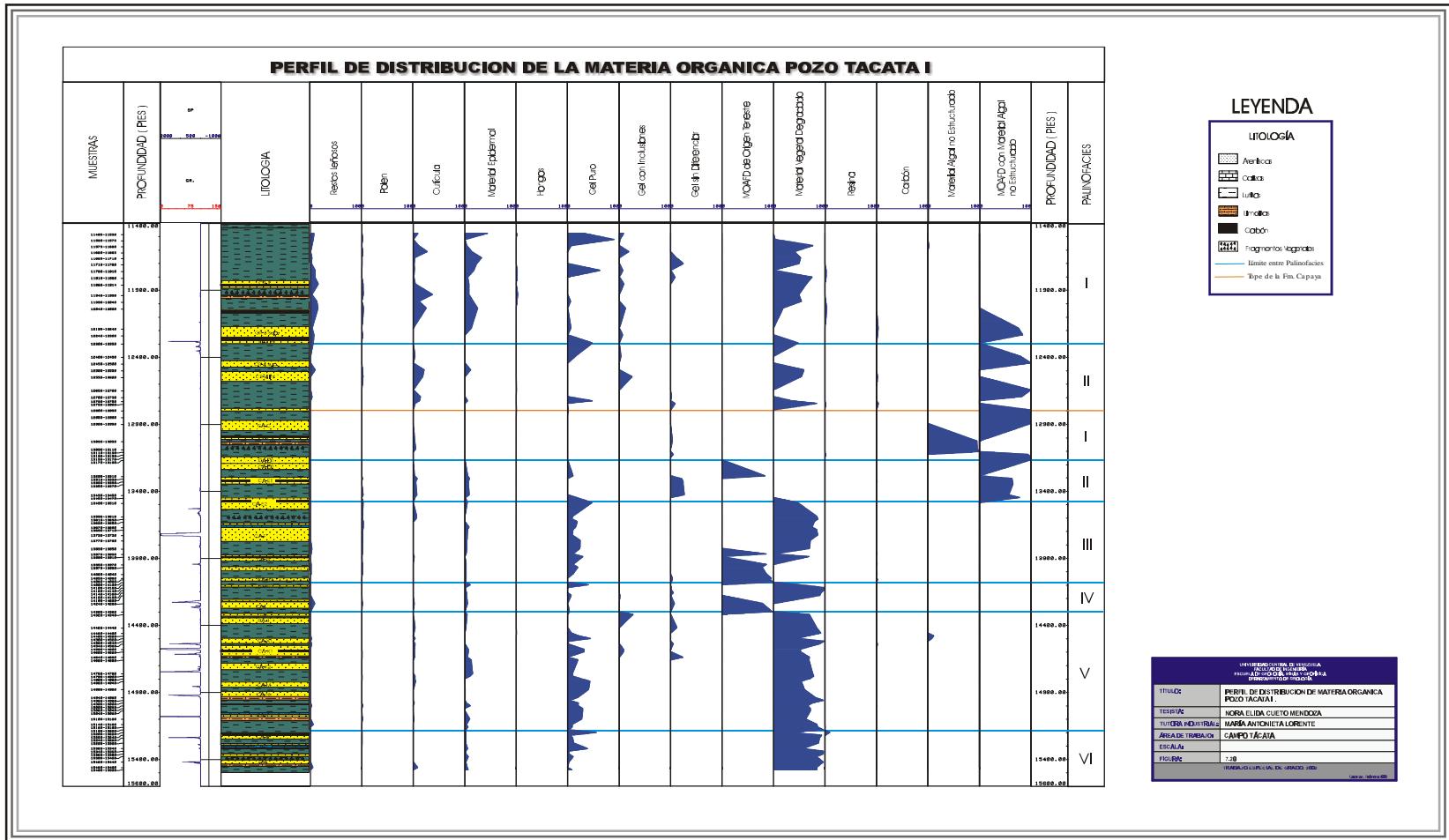
### LEYENDA

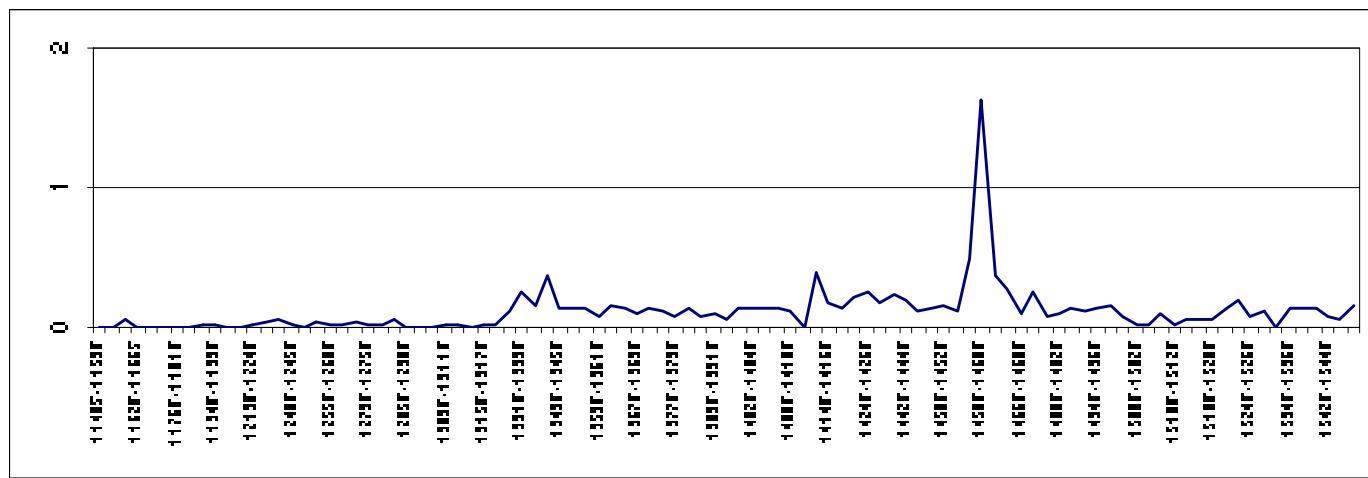
LITOLOGIA
Arenaceous
Calcareous
Lutaceous
Ultrafine
Carbonaceous

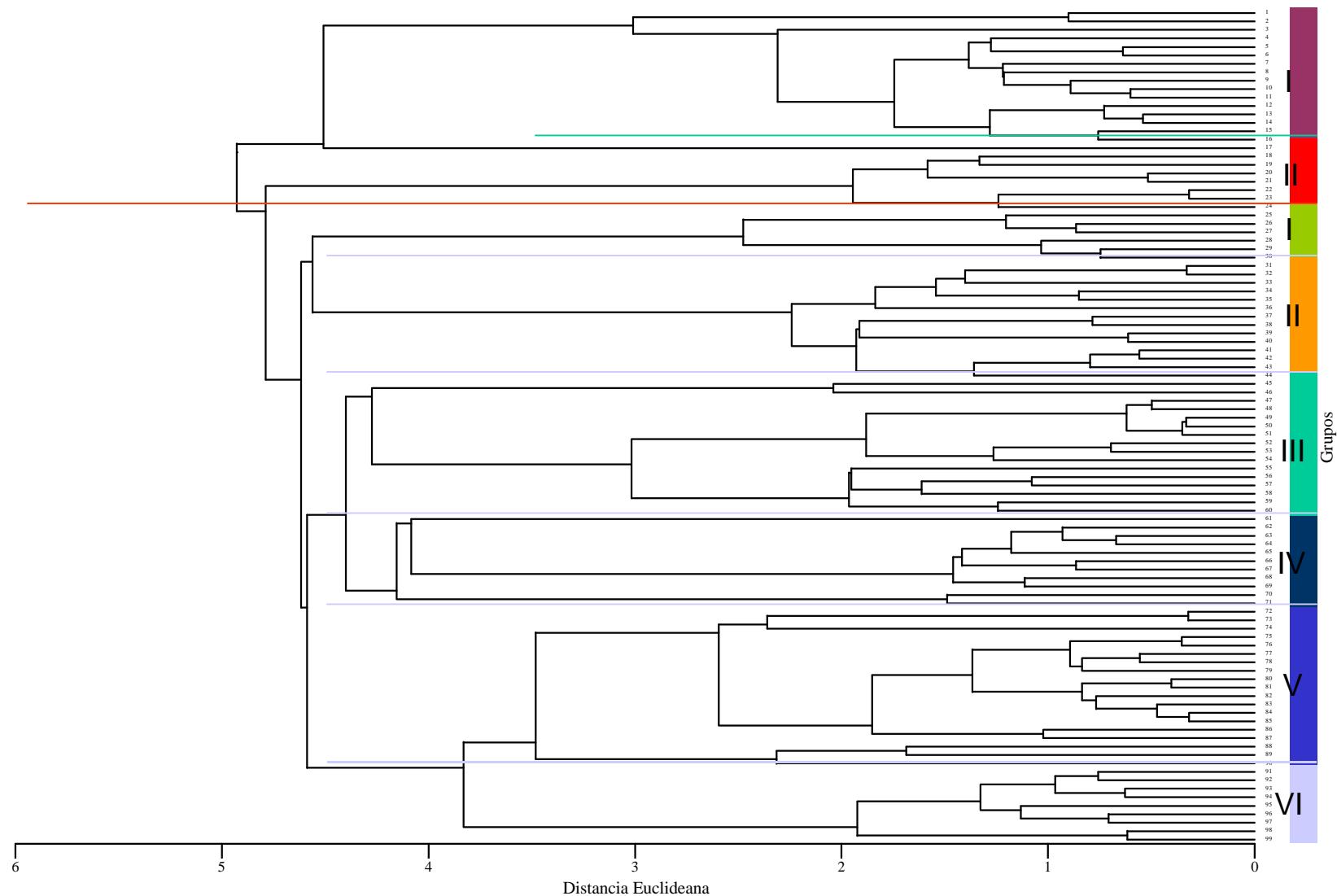
Fragm. vegetales
Estudios Generales del Análisis Digital de Imágenes
Estudios por área del Análisis Digital de Imágenes
Estudios por partícula del Análisis Digital de Imágenes
Límite entre Palinfaies
Tipo de la Fm. Capaya

INSTITUTO CUYANO DE VENDELLA ESTACION METEOROLÓGICA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	
TÍTULO:	PERFIL DE DISTRIBUCION DE MATERIA ORGANICA POZO TACATA I - DATOS MEDIA MOVIL
TESIS EN:	NOVA FLIDA CUETO MENDOZA
TUTOR INDUSTRIAL:	MARÍA ANTONETTA LORENTE
ÁREA DE TRABAJO:	CAMPO TACATA
ESCALA:	1:10
FIGURA:	TRABAJO INFORMATIVO OF 11400-15600

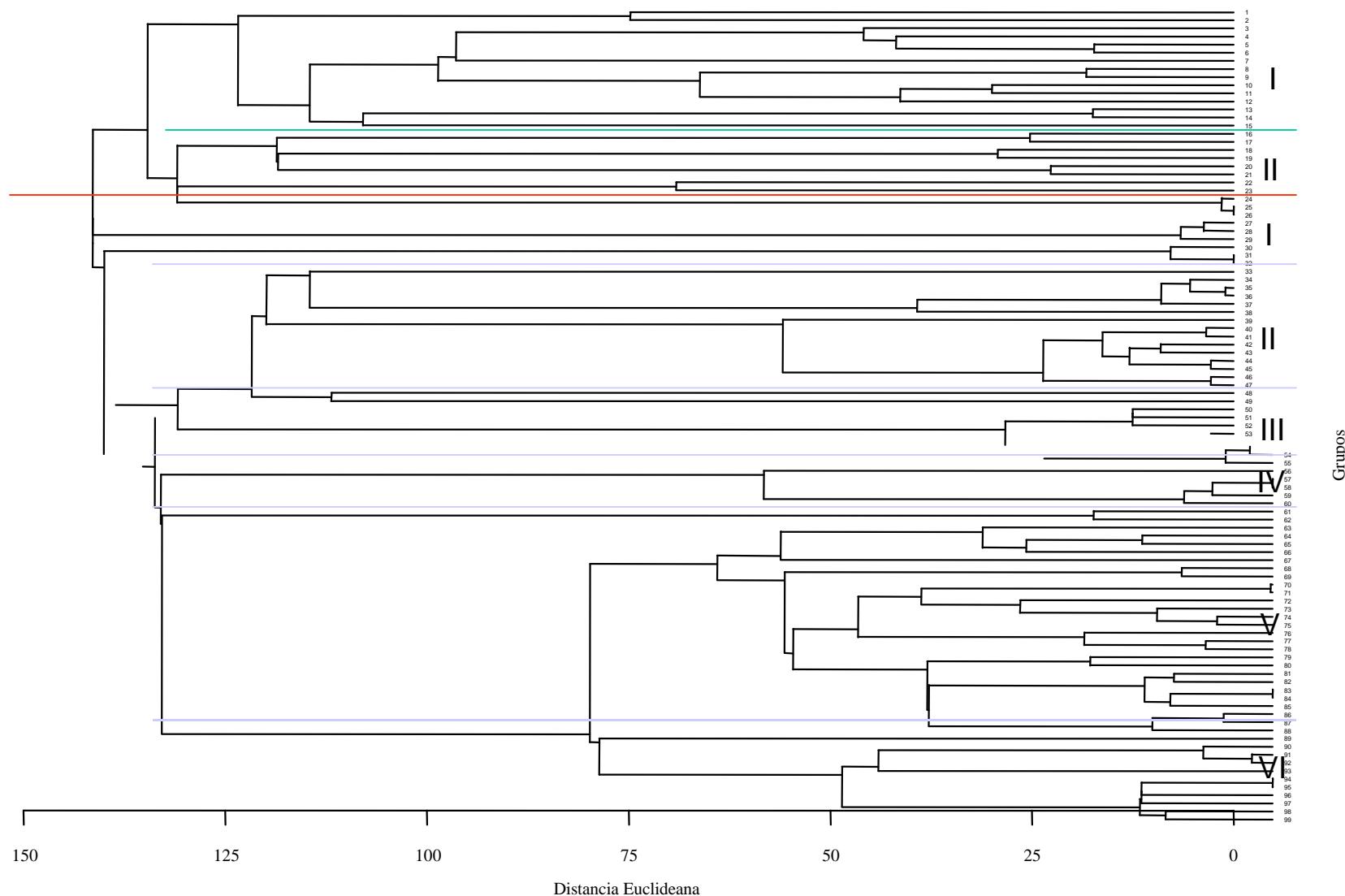




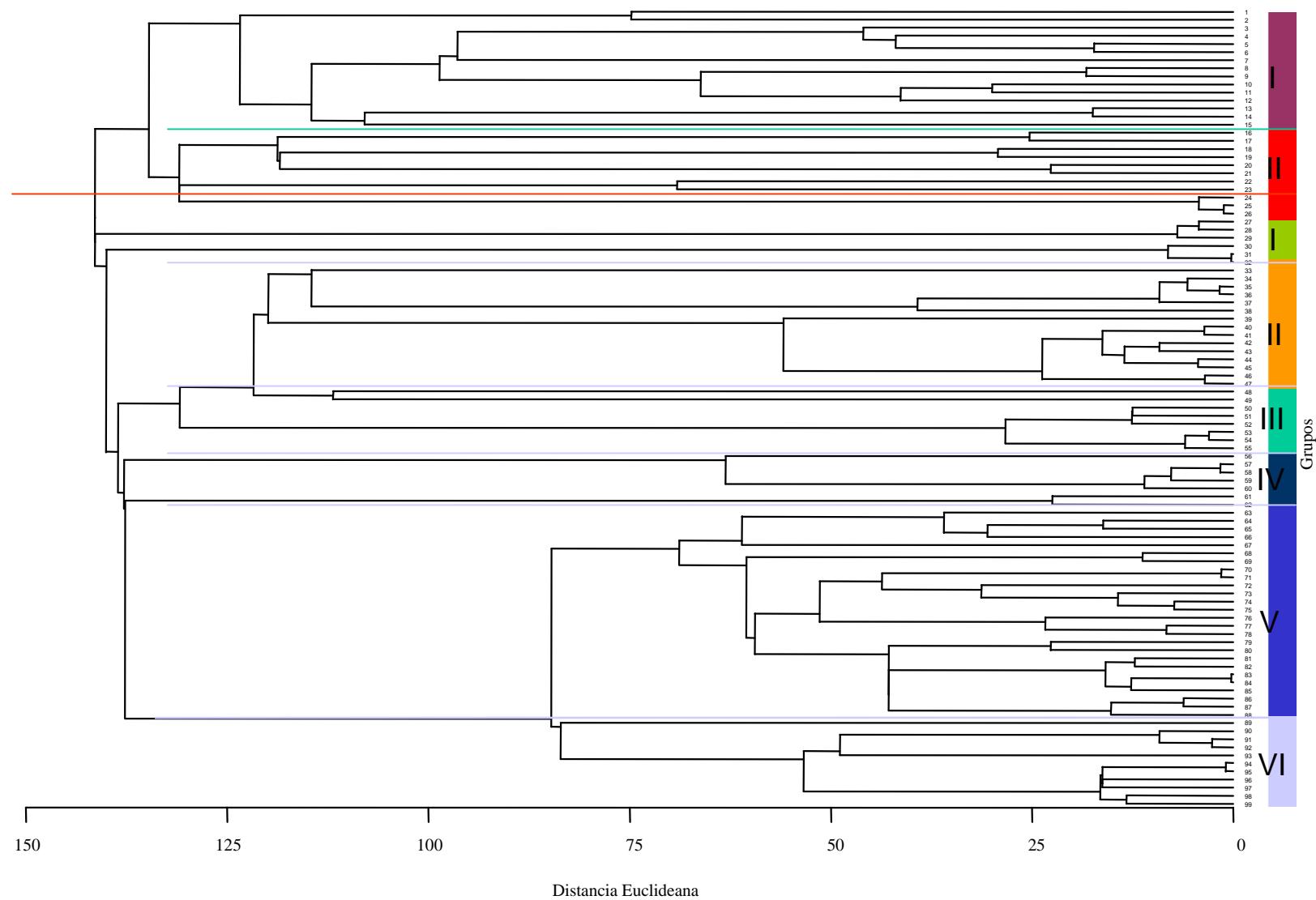
*Figura 7.21. Concentración de la materia orgánica de las formaciones Capaya y Carapita (CMO = VMO/VR)*



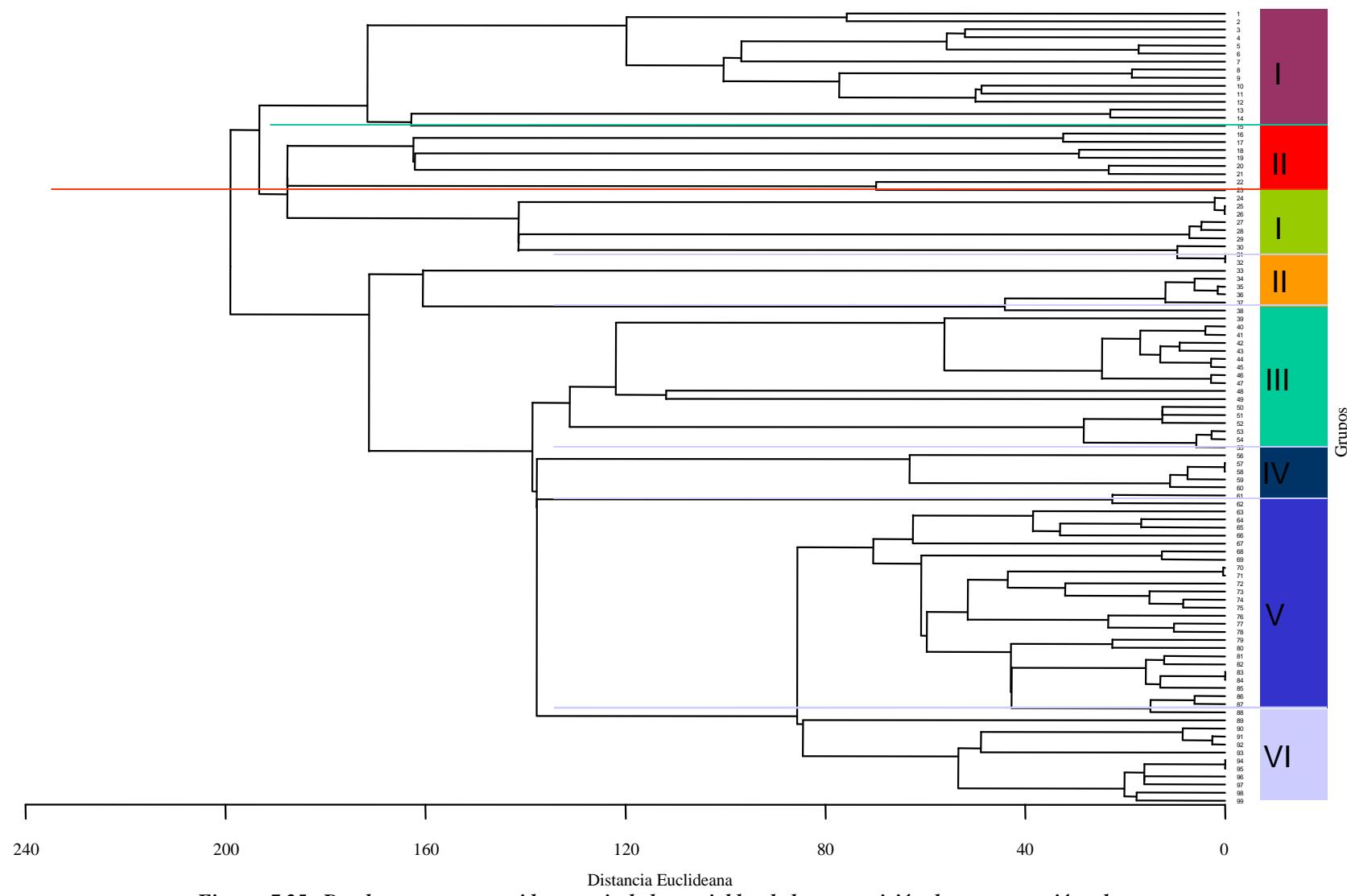
*Figura 7.22. Dendrograma construido a partir de los datos del tamaño, escogimiento, kurtosis y la desviación estándar, tanto de los estudios por partícula, como por área, además de la irregularidad relativa y la elongación.*



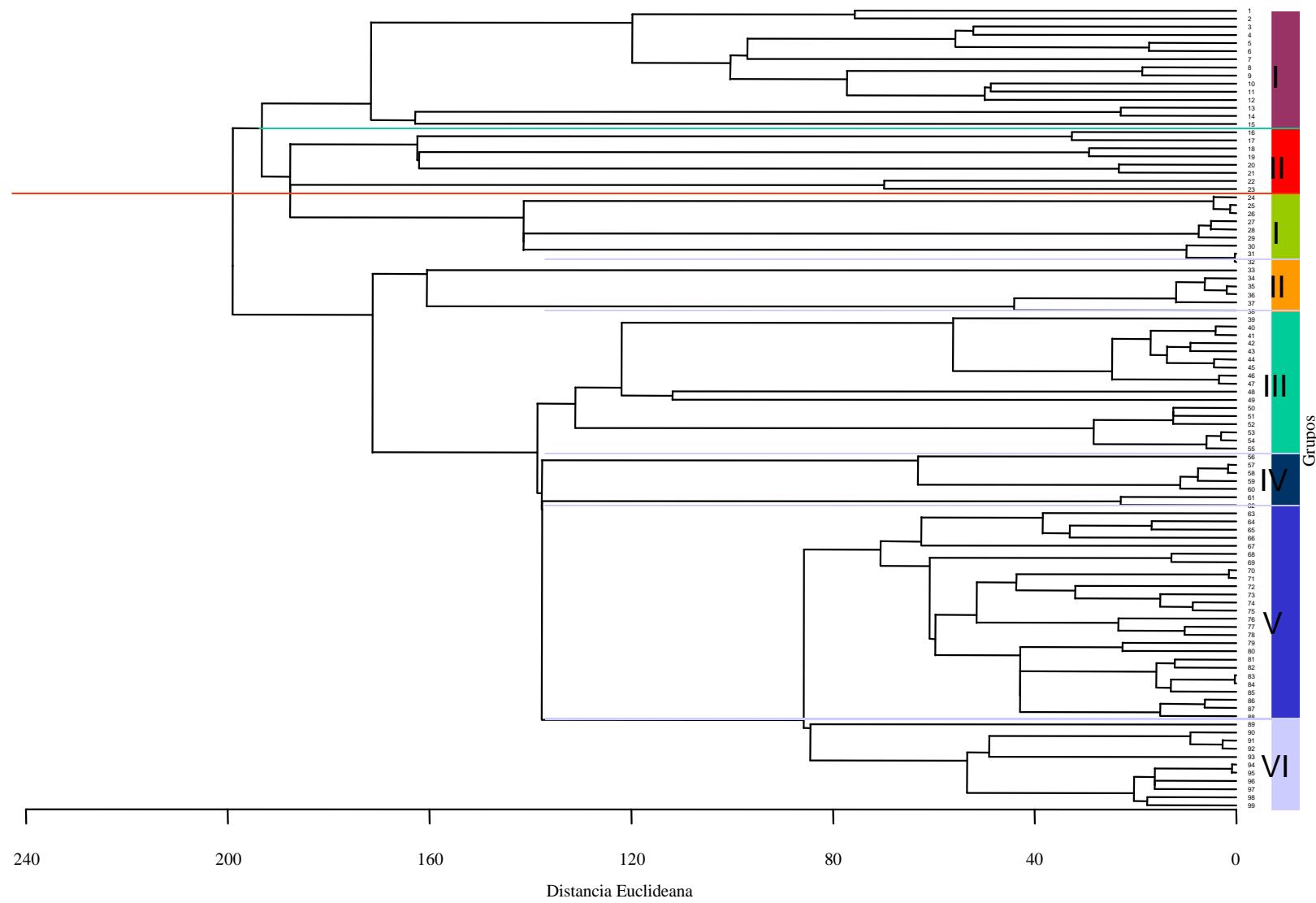
**Figura 7.23.** Dendrograma construido a partir de los valores porcentuales correspondientes con los catorce componentes identificados de la materia orgánica palinológica.



**Figura 7.24.** Dendrograma construido a partir de las variables texturales (valores utilizados en la Figura 7.22) y de la composición (Figura 7.23).



**Figura 7.25. Dendrograma construido a partir de las variables de la composición, la concentración y la fluorescencia de la materia orgánica palinológica.**



**Figura 7.26. Dendrograma construido a partir de los parámetros texturales, composición, concentración y fluorescencia de la materia orgánica palinológica.**

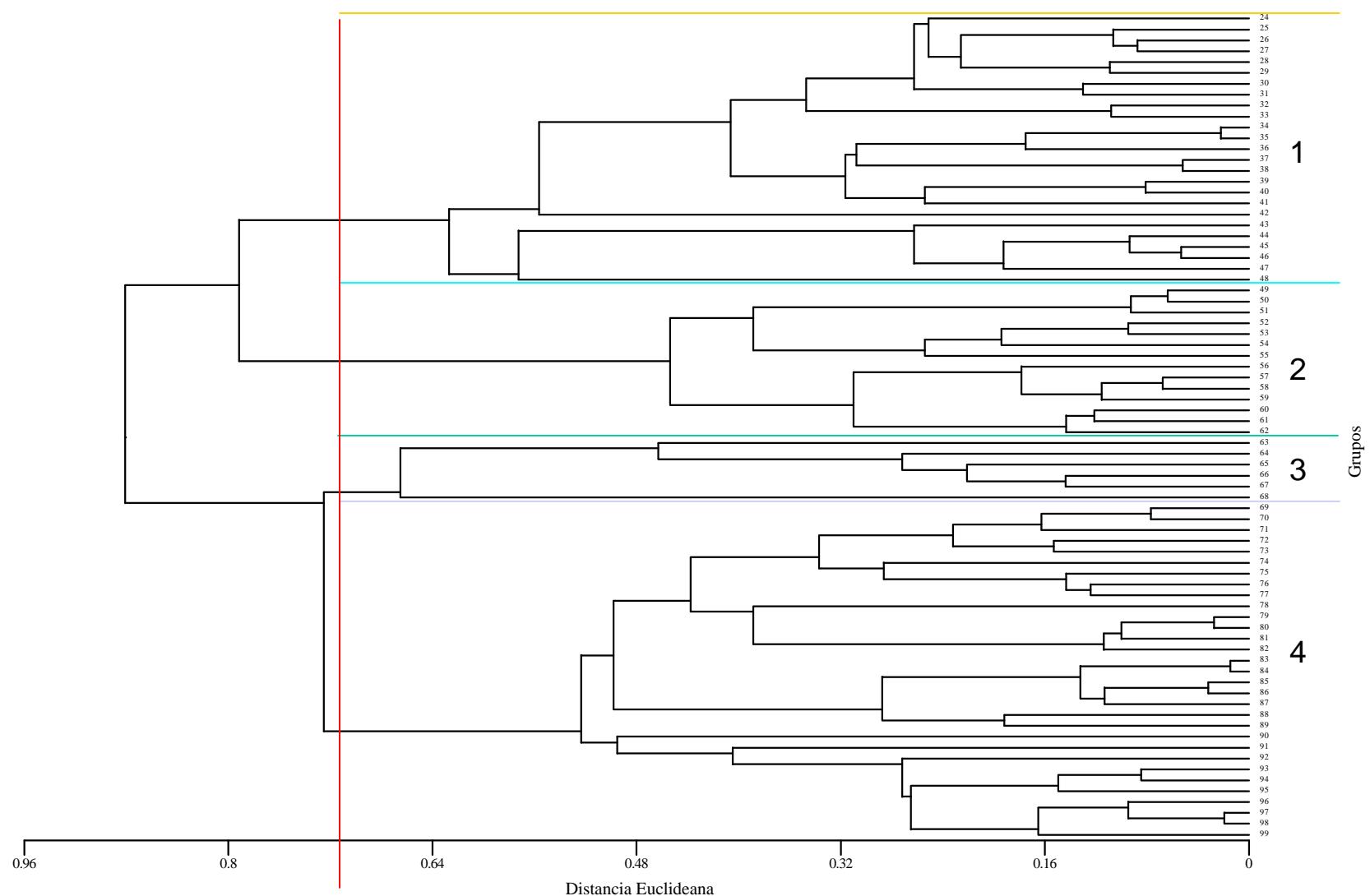


Figura 7.27. Dendrograma construido a partir del área total, la irregularidad y la elongación.

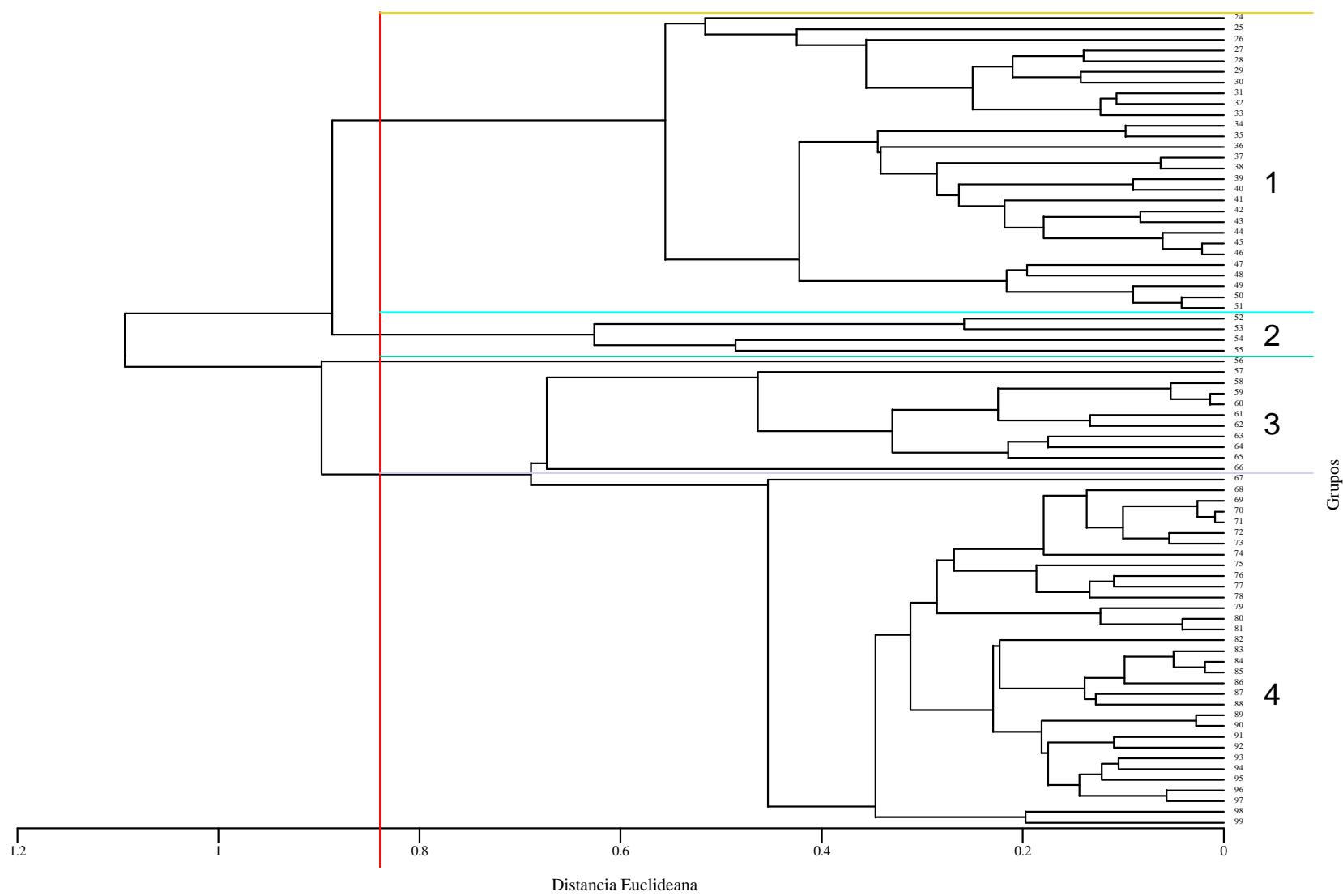


Figura 7.28. Dendrograma construido a partir del escogimiento y la kurtosis de los estudios por partícula.

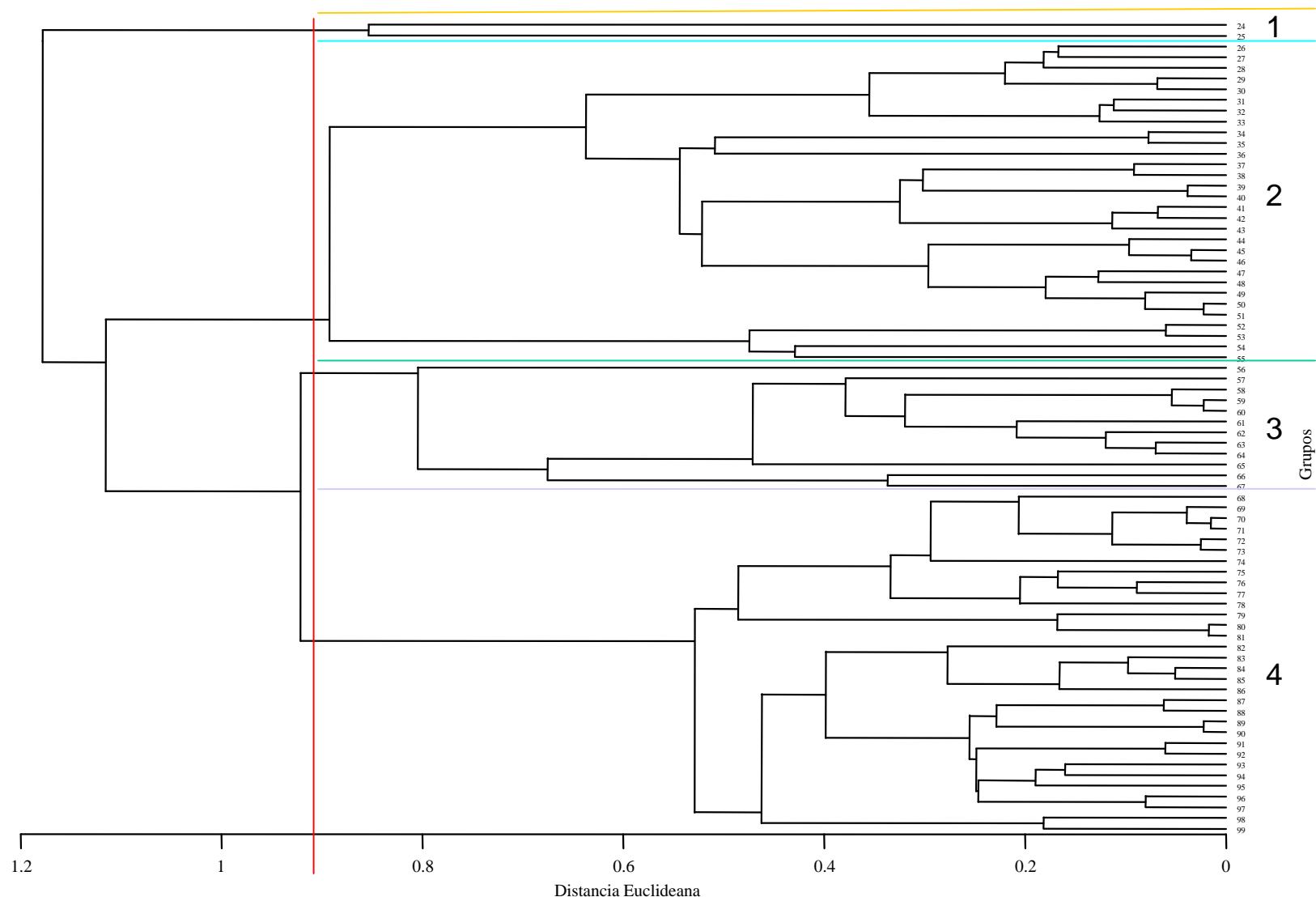


Figura 7.29. Dendrograma construido a partir del escogimiento y la desviación estándar de los estudios por partícula.

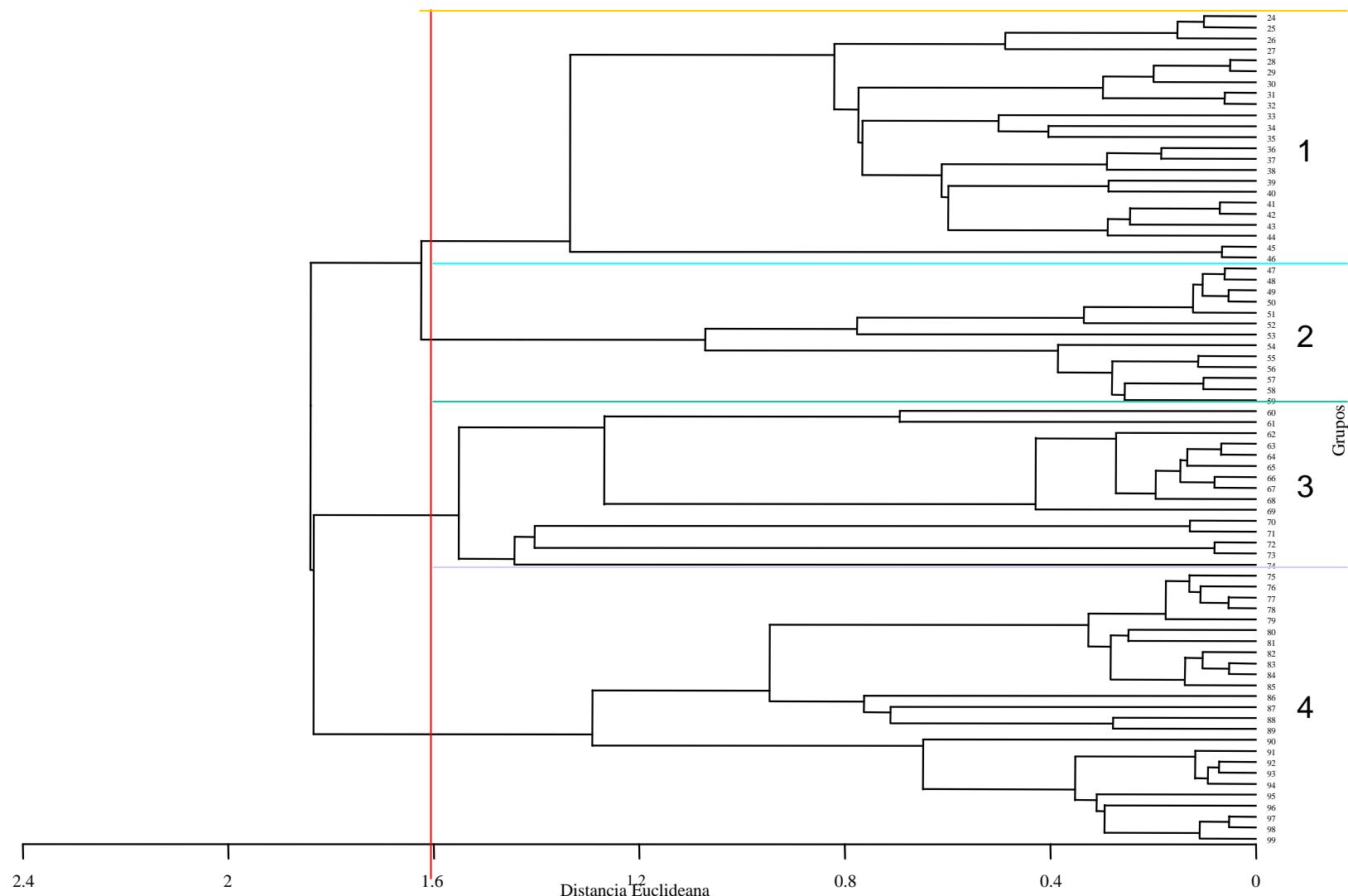


Figura 7.30. Dendogramas construidos a partir del escogimiento y la kurtosis de los estudios por área.

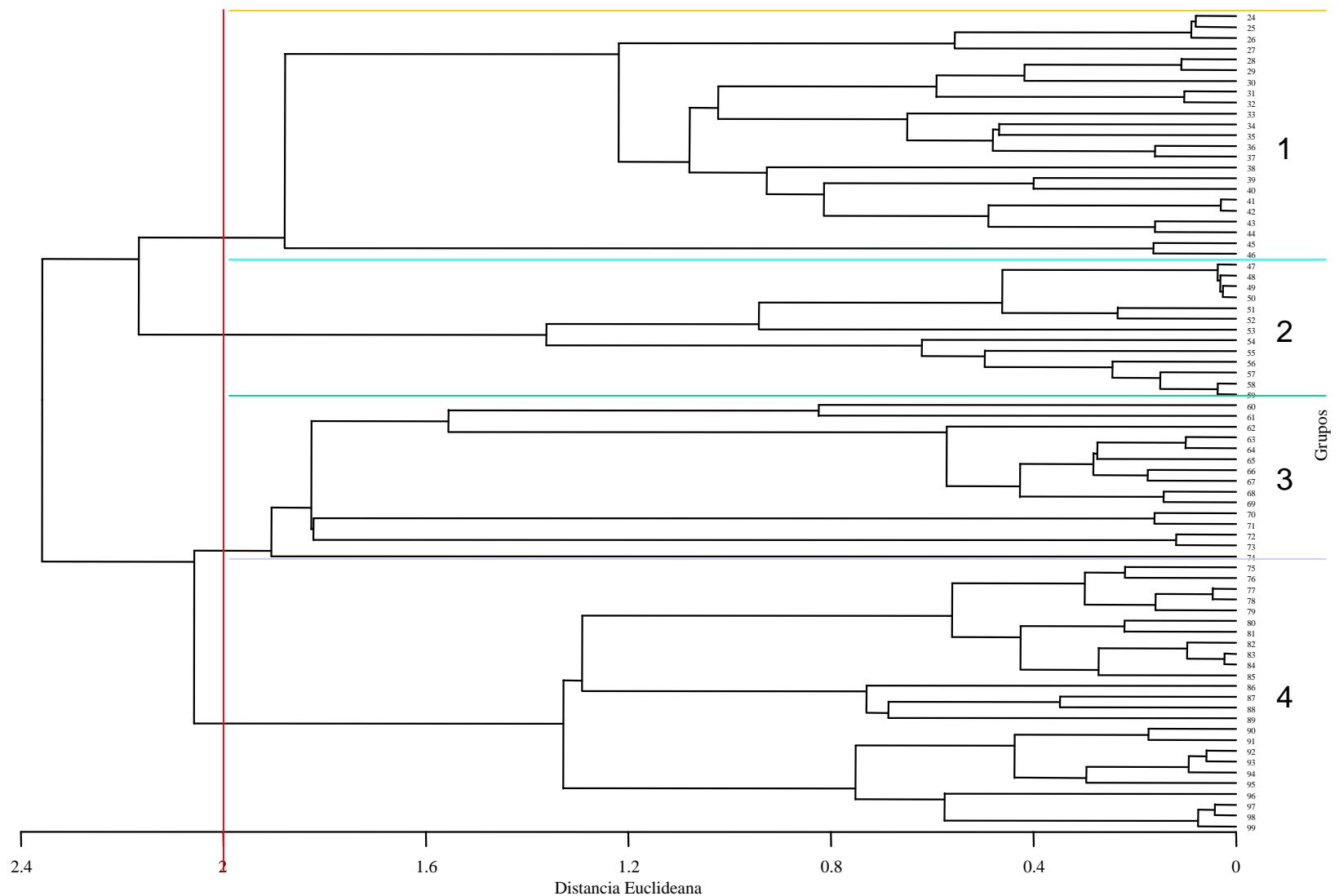


Figura 7.31. Dendrograma construido a partir del escogimiento y la desviación estándar de los estudios por área

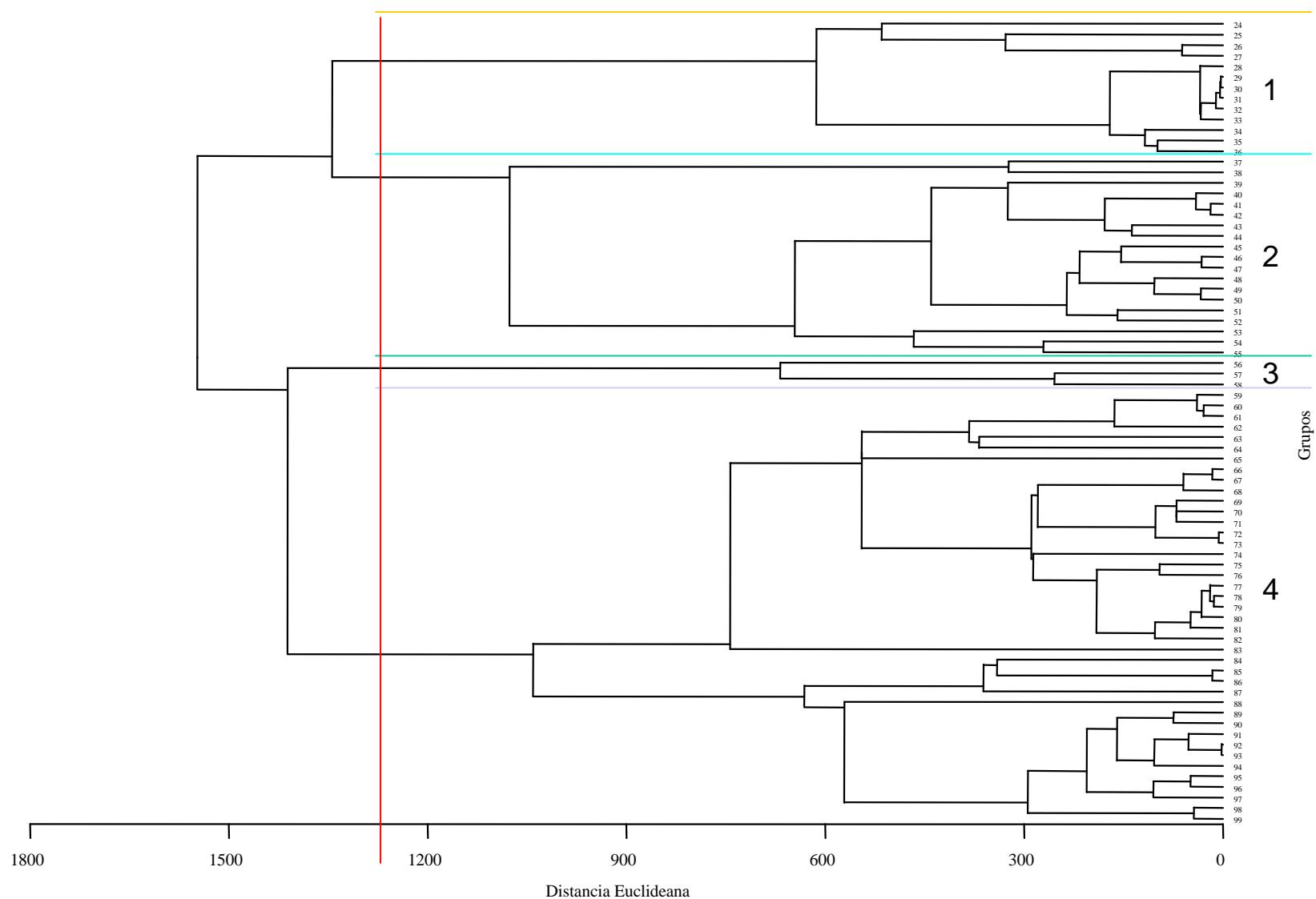


Figura 7.32. Dendrograma construido a partir de los parámetros principales de los estudios por partícula

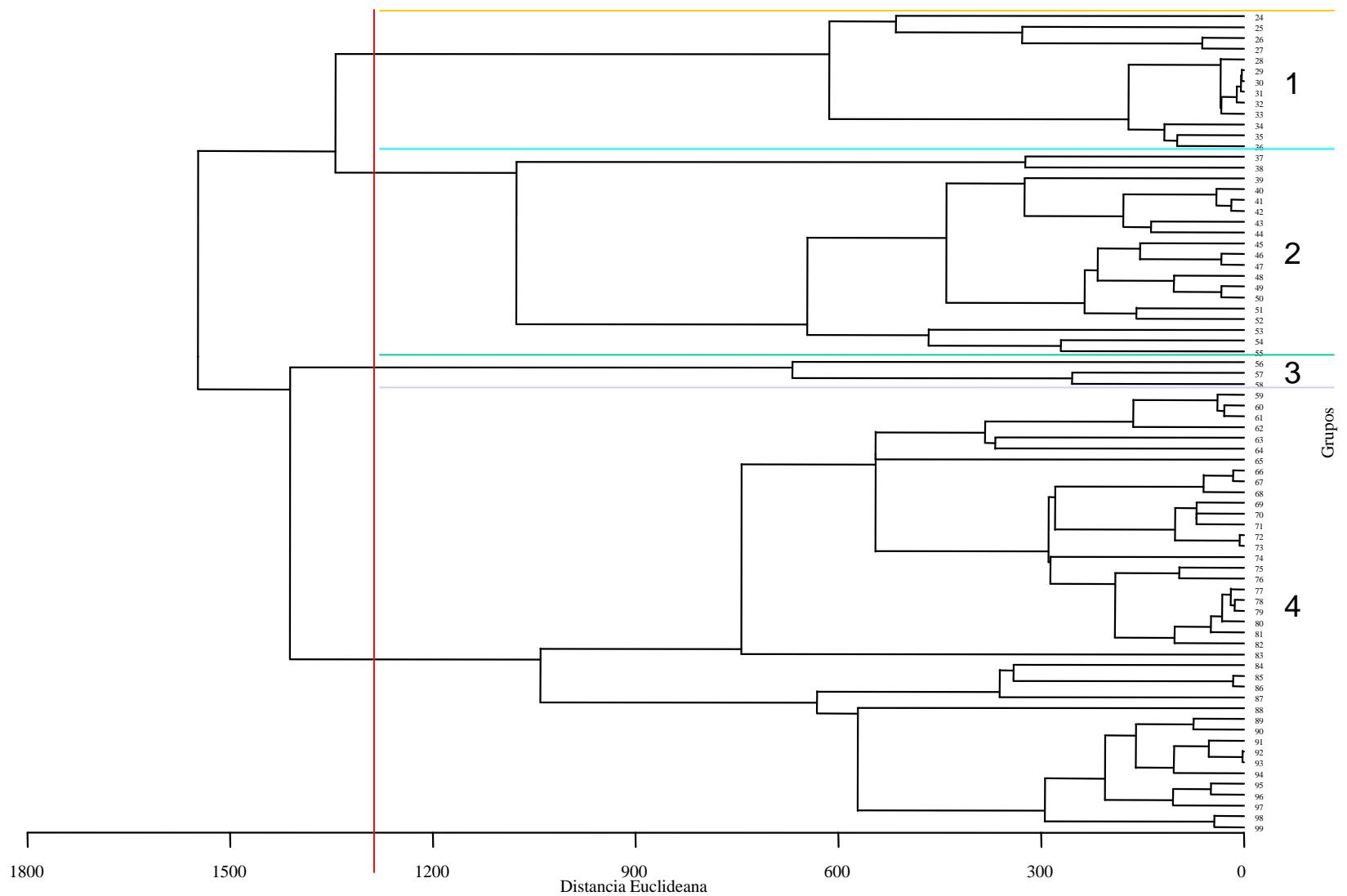
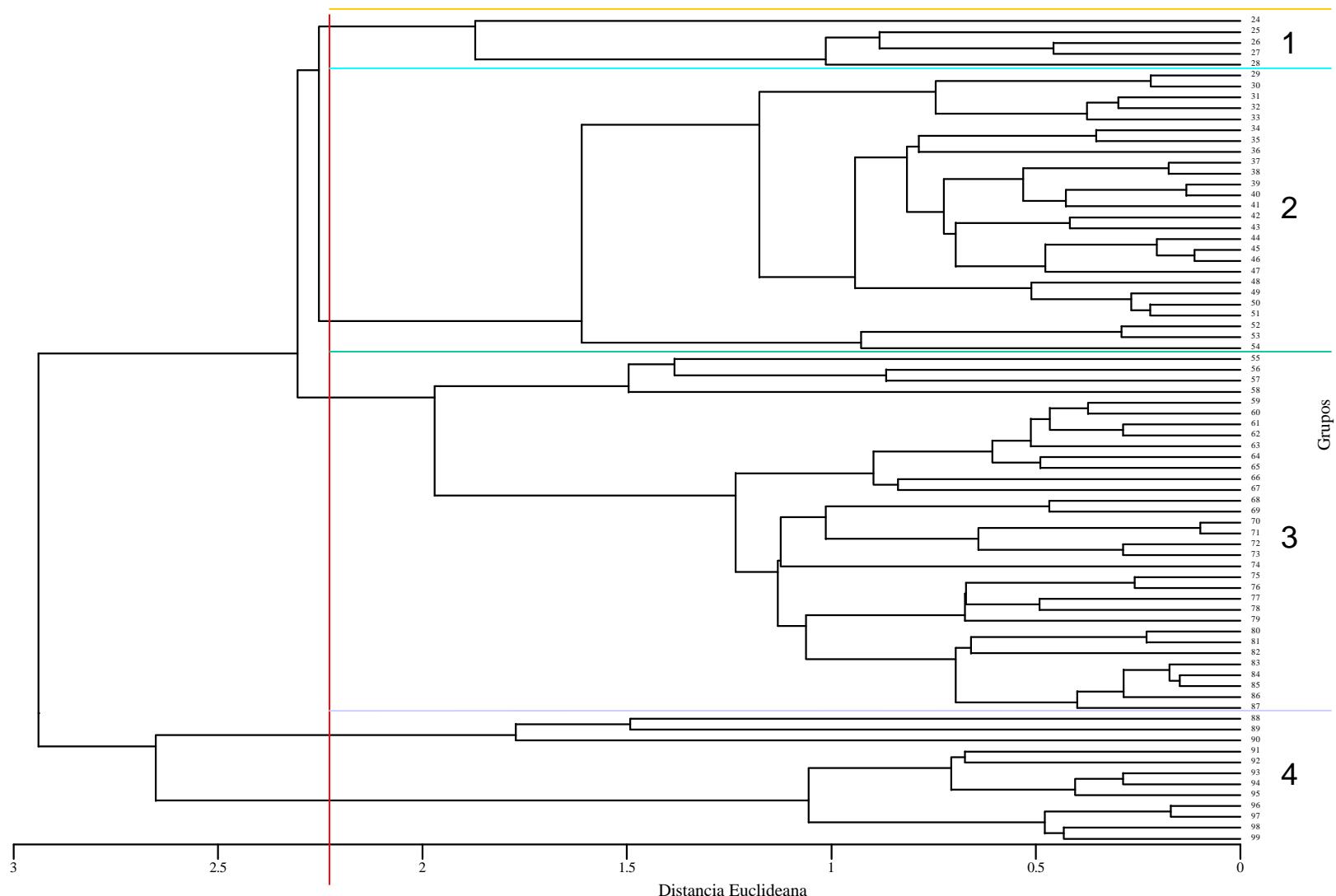
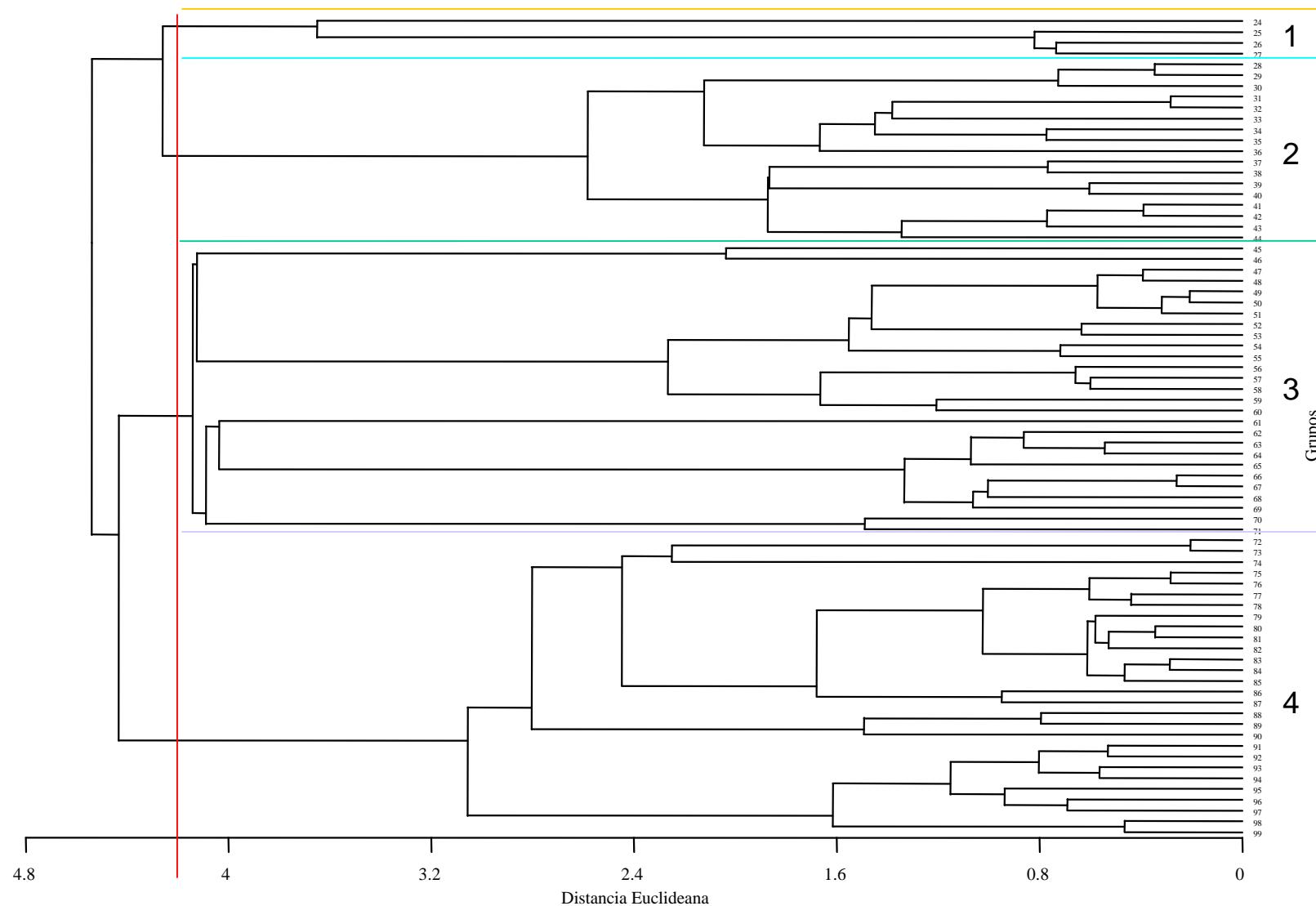


Figura 7.33. Dendrograma construido a partir de los parámetros principales de los estudios por área.



*Figura 7.34. Dendrograma construido a partir de las variables correspondientes a los estudios por partícula, la elongación e Irregularidad Relativa.*



*Figura 7.35. Dendrograma construido a partir de las variables correspondientes a los estudios por área, la elongación e Irregularidad relativa.*

## 7.2. FORMACIÓN CARAPITA:

En la Formación Carapita se analizaron 23 muestras y los resultados de cada uno de los análisis se presentan a continuación.

### 7.2.1. *Resultados del análisis digital de imágenes estratigráficas:*

Los resultados obtenidos a partir del Análisis Digital de Imágenes Estratigráficas ADIE® se presentan en la *Tabla 7.19*.

### 7.2.2. *Resultados de la composición de la materia orgánica palinológica:*

Al igual que en el punto 7.2.1. a partir de este análisis se identificaron 14 tipos diferentes de materia orgánica palinológica; de las cuales siete corresponden a material terrestre no estructurado, seis corresponden a material terrestre estructurado y dos corresponden a material acuático no estructurado de origen desconocido. La *Tabla 7.20* muestra los resultados obtenidos a partir de la evaluación microscópica bajo luz blanca transmitida y luz fluorescente incidente azul.

### 7.2.3. *Resultados de la concentración de la materia orgánica palinológica:*

Los valores de la concentración de la materia orgánica palinológica medidos durante la preparación de las muestras, se presentan en la *Tabla 7.21*.

**Tabla 7.19. Resultados del Análisis Digital de Imágenes Estratigráficas de la Formación Carapita.**

Formación	Número de muestra	Profundidad	Nº de Fases	Nº de Partículas	Area Total (mm <sup>2</sup> )	Irregularidad Relativa	Elongación	Estudio por Partícula				Estudio por Área			
								Tamaño	Escogimiento	Kurtosis	Desviación*	Tamaño	Escogimiento	Kurtosis	Desviación*
<b>CARAPITA</b>	1	11485'-11530'	5,000	426,000	0,125	1,350	2,080	7,500	0,860	0,904	1,186	5,308	1,363	0,672	1,504
	2	11530'-11575'	6,000	503,000	0,101	1,330	2,070	7,700	0,958	0,800	1,260	5,703	0,800	1,151	1,450
	3	11575'-11620'	2,000	1033,000	0,023	1,110	1,840	8,825	0,539	0,948	0,750	7,822	0,798	1,019	1,195
	4	11620'-11665'	6,000	832,000	0,128	1,510	2,090	7,804	0,786	0,929	1,109	5,890	0,901	1,063	1,490
	5	11665'-11710'	5,000	869,000	0,052	1,300	2,140	8,499	0,749	0,908	1,048	6,800	0,813	0,922	1,133
	6	11710'-11760'	7,000	776,000	0,086	1,350	1,960	8,119	0,856	0,889	1,185	6,375	0,740	0,990	1,099
	7	11760'-11810'	6,000	493,000	0,105	1,440	2,040	7,411	0,727	0,930	1,043	6,091	0,720	0,985	1,029
	8	11810'-11860'	5,000	1055,000	0,069	1,420	2,190	8,056	0,580	0,961	0,814	7,056	0,715	0,964	1,001
	9	11860'-11914'	3,000	1037,000	0,091	1,470	2,190	8,360	0,884	0,835	1,142	6,354	0,939	0,927	1,316
	10	11940'-11990'	4,000	627,000	0,052	1,200	1,830	8,291	0,836	0,883	1,135	6,621	0,702	0,994	1,050
	11	11990'-12040'	9,000	569,000	0,085	1,120	1,720	7,968	0,975	0,796	1,267	6,208	0,659	0,938	0,934
	12	12040'-12090'	3,000	793,000	0,047	1,090	1,690	8,494	0,889	0,797	1,117	6,874	0,679	1,068	1,010
	13	12190'-12240'	3,000	1015,000	0,046	1,070	1,790	8,353	0,551	1,082	0,888	7,313	0,703	0,957	1,024
	14	12240'-12300'	3,000	1004,000	0,068	1,140	1,850	8,129	0,725	0,956	1,027	7,025	0,617	0,934	0,848
	15	12300'-12350'	3,000	760,000	0,057	1,070	1,700	8,487	0,705	1,010	1,064	6,425	0,923	0,863	1,227
	16	12400'-12450'	3,000	731,000	0,096	1,200	1,970	7,916	0,709	0,999	1,023	6,196	0,907	0,907	1,278
	17	12450'-12500'	10,000	473,000	0,184	1,110	1,750	8,532	0,731	1,007	1,095	3,441	0,679	1,541	1,388
	18	12500'-12550'	2,000	888,000	0,017	1,090	1,780	8,840	0,523	0,924	0,720	8,067	0,686	0,993	0,988
	19	12550'-12600'	4,000	957,000	0,038	1,050	1,480	8,805	0,664	0,891	0,921	6,954	0,951	0,879	1,304
	20	12650'-12700'	7,000	754,000	0,013	1,100	1,810	8,810	0,522	0,932	0,724	8,222	0,495	0,976	0,712
	21	12700'-12730'	5,000	755,000	0,017	1,070	1,660	8,847	0,620	0,873	0,827	7,937	0,612	1,004	0,878
	22	12730'-12750'	4,000	959,000	0,063	1,120	1,650	8,560	0,713	0,992	1,071	6,519	0,914	0,976	1,319
	23	12750'-12800'	3,000	724,000	0,048	1,080	1,600	8,522	0,836	0,884	1,134	6,604	0,816	0,918	1,130

**Leyenda:**

**Desviación\*:** Desviación Típica

*Tabla 7.20. Resultados Composicionales de la Materia Orgánica Palinológica de la Formación Carapita.*

Formación	Número de muestra	Profundidad	Material Terrestre Estructurado					Material Terrestre no Estructurado						Material Acuático no Estructurado			
			Restos Leñosos	Polen	Cutícula	Material Epidermal	Hongos	Gel Puro	Gel con Inclusiones	Gel sin Diferenciar	MOAFD de origen terrestre	MVD	Resina	Carbón	MANE	MOAFD proveniente de MANE	
CARAPITA	1	11485'-11530'	6,58	0,44	8,78	43,85	0,87	30,7	8,78	0	0	0	0	0	0	0	
	2	11530'-11575'	5	1	0	0	0	90	1	0	0	3	0	0	0	0	
	3	11575'-11620'	2,46	0	9,81	3,27	0	6,54	0	0	0	76,29	0	0	1,63	0	
	4	11620'-11665'	0	1,3	26,67	13,33	0	0	18,7	0	0	40	0	0	0	0	
	5	11665'-11710'	2,33	0,35	2,33	32,43	0	0	0	10,43	0	52,13	0	0	0	0	
	6	11710'-11760'	1,64	0,25	1,64	22,88	0	0	0	24,53	0	49,06	0	0	0	0	
	7	11760'-11810'	8,66	0	1,73	17,32	1,3	62,33	6,93	0	0	0	1,73	0	0	0	
	8	11810'-11860'	8,3	0	0,83	4,98	1,24	0	0	8,3	0	74,69	1,66	0	0	0	
	9	11860'-11914'	14,55	1,82	3,64	7,27	0	0	9,08	0	0	63,64	0	0	0	0	
	10	11940'-11990'	2,44	2,44	36,59	7,32	2,44	0	0	0	0	48,77	0	0	0	0	
	11	11990'-12040'	11,83	0	10,75	16,13	1,08	5,37	0	0	0	53,76	1,08	0	0	0	
	12	12040'-12090'	14,11	3,07	24,54	24,54	0	0	12,27	0	0	18,4	3,07	0	0	0	
	13	12190'-12240'	3,03	0	0	12,12	0	6,06	0	0	0	0	0	3,03	0	75,76	
	14	12240'-12300'	6,32	1,05	0	0	0	0	6,32	0	0	0	0	0	0	84,2	
	15	12300'-12350'	4,99	0	0	0	0	47,5	0	0	0	47,51	0	0	0	0	
	16	12400'-12450'	0	0	2,89	0	0	14,49	2,89	0	0	0	0	0	0	79,73	
	17	12450'-12500'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
	18	12500'-12550'	8,82	1	20,6	10,76	0	0	0	0	0	58,82	0	0	0	0	
	19	12550'-12600'	0	1,79	17,85	0	0	0	25	0	0	53,57	0	1,79	0	0	
	20	12650'-12700'	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	99,81	
	21	12700'-12730'	2,73	0	13,66	0	0	0	0	0	1,36	0	0	0	0,27	0	81,98
	22	12730'-12750'	0,24	0	11,88	4,75	0	47,51	0	0	0	35,62	0	0	0	0	
	23	12750'-12800'	0	0	3	0	0	0	0	8,41	0	84	1	3,59	0	0	

**Leyenda:**

**MOAFD:** Materia Orgánica Amorfa Finamente Dispersa

**MVD:** Material Vegetal Degradado

**MANE:** Material Algal no Estructurado

*Tabla 7.21. Concentración de la materia orgánica palinológica de la Formación Carapita.*

<b>Formación</b>	<b>Número de muestra</b>	<b>Profundidad</b>	<b>D</b>	<b>Peso de Muestra (gr)</b>	<b>V. R.</b>	<b>V. M. O. (ml)</b>	<b>C. M. O = VMO/VR</b>
<b>CARAPITA</b>	1	11485'-11530'	2.01	10	4.985	0.04	0.008
	2	11530'-11575'	2.01	10	4.985	0.03	0.005
	3	11575'-11620'	2.01	10	4.985	0.25	0.050
	4	11620'-11665'	2.01	10	4.985	0.04	0.008
	5	11665'-11710'	2.01	10	4.985	0.02	0.004
	6	11710'-11760'	2.01	10	4.985	0.02	0.004
	7	11760'-11810'	2.01	10	4.985	0.03	0.005
	8	11810'-11860'	2.01	10	4.985	0.03	0.005
	9	11860'-11914'	2.23	10	4.488	0.05	0.011
	10	11940'-11990'	2.40	10	4.167	0.06	0.014
	11	11990'-12040'	2.60	10	3.848	0.02	0.005
	12	12040'-12090'	2.60	10	3.846	0.03	0.007
	13	12190'-12240'	2.65	10	3.774	0.05	0.013
	14	12240'-12300'	2.45	6.45	2.633	0.10	0.038
	15	12300'-12350'	2.37	10	4.219	0.25	0.059
	16	12400'-12450'	2.62	10	3.817	0.05	0.013
	17	12450'-12500'	2.62	10	3.817	0.01	0.003
	18	12500'-12550'	2.52	10	3.968	0.12	0.030
	19	12550'-12600'	2.75	10	3.636	0.05	0.014
	20	12650'-12700'	2.60	10	3.846	0.11	0.029
	21	12700'-12730'	2.60	10	3.846	0.15	0.039
	22	12730'-12750'	2.60	10	3.846	0.05	0.013
	23	12750'-12800'	2.60	10	3.846	0.05	0.013

Donde:

**D** Densidad de la Roca**V. R.** Volumen de la Roca**V. M. O.** Volumen de la Materia Orgánica**C. M. O** Concentración de la Materia Orgánica en mililitros.

#### **7.2.4. Resultados de la fluorescencia de la materia orgánica palinológica:**

La intensidad de la fluorescencia de manera porcentual para cada muestra analizada se presenta en la *Tabla 7.22*.

**Tabla 7.22. Porcentajes de fluorescencia de la materia orgánica palinológica de la Formación Carapita.**

<i>Formación</i>	<i>Número de muestra</i>	<i>Profundidad</i>	<i>Material Fluorescente(%)</i>	<i>Material No Fluorescente(%)</i>
<b>CARAPITA</b>	1	11485'-11530'	10	90
	2	11530'-11575'	2	98
	3	11575'-11620'	11.44	88.56
	4	11620'-11665'	28.97	71.03
	5	11665'-11710'	3.68	96.32
	6	11710'-11760'	2.89	97.11
	7	11760'-11810'	4.39	95.61
	8	11810'-11860'	3.49	96.51
	9	11860'-11914'	6.46	93.54
	10	11940'-11990'	39.03	60.97
	11	11990'-12040'	11.83	88.17
	12	12040'-12090'	31.68	68.32
	13	12190'-12240'	75.76	24.24
	14	12240'-12300'	86.25	13.75
	15	12300'-12350'	0	100
	16	12400'-12450'	85.51	14.49
	17	12450'-12500'	100	0
	18	12500'-12550'	21.60	78.40
	19	12550'-12600'	21.64	78.36
	20	12650'-12700'	99.81	0.19
	21	12700'-12730'	96	4
	22	12730'-12750'	11.88	88.12
	23	12750'-12800'	5	95

### **7.2.5. Resultados sintetizados y análisis estadísticos:**

Al igual que para la Formación Capaya aquí se presentan los resultados sintetizados observados anteriormente para cada uno de los análisis realizados de manera sintetizada. De este modo se muestra el promedio, el valor mínimo y el valor máximo y por último la desviación estándar de cada variable.

#### *7.2.5.1. Estadística general:*

##### *- Análisis Digital de Imágenes:*

En la *Tabla 7.23* se presenta una síntesis de los resultados obtenidos del análisis digital de imágenes en cuanto a los estudios por partícula se refiere, mostrados en la *Tabla 7.19*.

El comportamiento general de los datos es moderadamente variable y disminuye en comparación con los datos observados para la Formación Capaya. Las mayores variaciones se observan en el tamaño promedio y el escogimiento. El tamaño de las partículas tiene un rango definido hacia los tamaños finos según la escala “phi”. La kurtosis y la desviación presentan valores similares en cuanto al promedio y a los valores mínimos se refiere, sin embargo difieren en los valores máximos. Dicho patrón de comportamiento descrito indica la lejanía de la fuente de aporte de materia orgánica.

**Tabla 7.23. Valores sintetizados de los estudios por partícula del análisis digital de imágenes de la Formación Carapita.**

<i>Estudio por Partícula</i>				
	<i>Tamaño</i>	<i>Escogimiento</i>	<i>Kurtosis</i>	<i>Desviación</i>
<i>Promedio</i>	8,297	0,736	0,919	1,024
<i>Máximo</i>	8,847	0,975	1,082	1,267
<i>Mínimo</i>	7,411	0,522	0,796	0,720
<i>Desviación Est.</i>	0,431	0,137	0,073	0,165

Tal como se observó en la Formación Capaya, en este caso también los valores de los estudios por área aumentan sus variaciones con respecto a los estudios por partícula, siendo menor en contraste con la Formación Capaya. Los parámetros con mayor variabilidad corresponden al tamaño y el escogimiento. La kurtosis y la desviación, presentan datos similares en cuanto a valores máximos se refiere, mientras que los promedios y los valores mínimos difieren notablemente. En la *Tabla 7.24*, se muestran los valores sintetizados de los estudios por área para la Formación Carapita.

**Tabla 7.24. Valores sintetizados de los estudios por área del análisis digital de imágenes de la Formación Carapita.**

	<i>Estudio por Área</i>			
	<i>Tamaño</i>	<i>Escogimiento</i>	<i>Kurtosis</i>	<i>Desviación</i>
<b>Promedio</b>	6,600	0,788	0,984	1,144
<b>Máximo</b>	8,222	1,363	1,541	1,504
<b>Mínimo</b>	3,441	0,495	0,672	0,712
<b>Desviación Est.</b>	1,020	0,174	0,151	0,214

Por otra parte, al observarse una disminución en el tamaño de las partículas, es de esperarse que el área total de las mismas disminuya, tal como se registra en la *Tabla 7.25*, donde se muestra una fluctuación de los datos relativamente baja para el caso del área total. En cuanto a la irregularidad relativa y elongación se refiere, la variación de los datos aumenta con respecto a la Formación Capaya de manera considerable.

**Tabla 7.25. Valores sintetizados de los resultados generales del análisis digital de imágenes de la Formación Carapita.**

	<i>Nº de Fases</i>	<i>Nº de Partículas</i>	<i>Area Total (mm<sup>2</sup>)</i>	<i>Irregularidad Relativa</i>	<i>Elongación</i>
<b>Promedio</b>	4,696	784	0,070	1,208	1,864
<b>Máximo</b>	10	1055	0,184	1,510	2,190
<b>Mínimo</b>	2	426	0,013	1,050	1,480
<b>Desviación Est.</b>	2,120	197	0,041	0,151	0,201

- *Composición de la materia orgánica palinológica:*

La variabilidad de los datos para la Formación Carapita es alta y en contraste con la Formación Capaya, se registra un aumento en la variación de casi todos los componentes a excepción de la materia orgánica amorfa finamente dispersa, material vegetal degradado, el gel húmico sin diferenciar y los hongos.

Los componentes que presentan mayor fluctuación de los datos son la materia orgánica amorfa finamente dispersa, el material vegetal degradado y el gel húmico puro, de modo similar como sucede en la Formación Capaya. Adicionalmente, el material epidermal y cuticular, también presentan variaciones notables. Las *Tablas 7.26, 7.27 y 7.28*, muestran el comportamiento de la composición porcentual de la Formación Carapita.

**Tabla 7.26. Valores sintetizados en porcentajes del material terrestre estructurado de la Formación Carapita.**

<i>Material Terrestre Estructurado</i>					
	<i>Restos Leñosos</i>	<i>Polen</i>	<i>Cutícula</i>	<i>Material Epidermal</i>	<i>Hongos</i>
<b>Promedio</b>	4.52	0.63	8.57	9.61	0.31
<b>Máximo</b>	14.55	3.07	36.59	43.85	2.44
<b>Mínimo</b>	0.24	0.25	0.83	3.27	0.19
<b>Desv. Est.</b>	4.63	0.90	10.37	11.95	0.64

**Tabla 7.27. Valores sintetizados en porcentajes del material terrestre no estructurado de la Formación Carapita.**

<i>Material Terrestre no Estructurado</i>						
	<i>Gel Puro</i>	<i>Gel con Inclusiones</i>	<i>Gel sin Diferenciar</i>	<i>MOAFD de origen terrestre</i>	<i>MVD</i>	<i>Resina</i>
<b>Promedio</b>	13,50	3,96	2,31	0	33,01	0,37
<b>Máximo</b>	90	25	24,53	0	84	3,07
<b>Mínimo</b>	5,37	1	1,36	0	3	1
<b>Desviación Est.</b>	24,83	6,82	5,76	0	29,88	0,80
						1,06

**Tabla 7.28. Valores sintetizados en porcentajes del material acuático no estructurado de la Formación Carapita.**

<i>Material Acuático no Estruturado</i>		
	<i>MANE</i>	<i>MOAFD proveniente de MANE</i>
<b>Promedio</b>	0.07	22.67
<b>Máximo</b>	2	100
<b>Mínimo</b>	1.63	75.76
<b>Desviación Est.</b>	0.34	39.34

**Leyenda:**

**MANE:** Material Algal no estructurado

**MOAFD:** Materia Orgánica Amorfa Finamente Dispersa

- *Concentración y fluorescencia de la materia orgánica palinológica:*

La concentración de materia orgánica en la Formación Carapita es baja y presenta grandes contrastes, lo cual probablemente responda a que ésta formación fue depositada en ambientes de carácter marino, principalmente marino profundo (*Tabla 7.29*).

Al comparar los datos registrados por la Formación Capaya con ésta formación, se observa que aquí la concentración es mucho más baja, debido a que la primera, precisamente se depositó en ambientes más cercanos a la costa y por ende, más cercanos a la fuente.

Por otra parte, el nivel de fluorescencia aumenta en contraste con lo planteado en la Formación Capaya debido principalmente a la presencia de material algal no estructurado y al aumento en la presencia de material cuticular (*Tabla 7.29*).

**Tabla 7.29. Valores sintetizados de la concentración y fluorescencia de la materia orgánica de la Formación Carapita.**

	Concentración (ml)	Material Fluorescente (%)	Material no Fluorescente (%)
<b>Promedio</b>	0.017	33.01	66.99
<b>Máximo</b>	0.059	100	100
<b>Mínimo</b>	0.003	0	0
<b>Desv. Est.</b>	0.016	36.64	36.64

7.2.5.2. *Estadística gráfica:*

- *Histogramas y diagramas de caja:*

En general, los histogramas de la Formación Carapita se muestran bastante asimétricos, lo cual se puede confirmar en los diagramas de caja; a excepción de la kurtosis y el escogimiento por partícula.

El histograma del tamaño referente a los estudios por partículas es asimétrico y presenta una distribución bimodal, no obstante dicha distribución no resulta importante debido a que ambas clases modales se encuentran en el rango de partículas tamaño arcillas (*Figura 7.36*). Por otra parte, el histograma del tamaño referente a los estudios por área es unimodal y asimétrico negativo con una cola que se extiende hacia los tamaños gruesos, revelando cambios de la energía cinética media hacia valores más altos de los predominantes (Navarro, 1998), aunque no se observan excesos de mezclas de sedimentos gruesos respecto a la clase modal, que para este caso se encuentra en el rango de limos finos a muy finos (*Figura 7.37*).

El diagrama de caja del tamaño concerniente a los estudios por partícula, señala que los valores por encima de la mediana o valor de tendencia central, están mejor definidos por cuanto la dispersión es menor comparándola con los valores ubicados por debajo de la misma (*Figura 7.47*). En el caso de los estudios por área, en el diagrama de caja se aprecia igual dispersión de datos a partir del valor central o mediana (*Figura 7.47*), esto incluso se observa en la *Figura 7.37*.

El histograma del escogimiento del estudio por partícula es casi simétrico con una distribución polimodal, sin embargo el rango de escala y las tres clases modales observadas, se focalizan en las partículas bien escogidas (*Figura 7.38*). El diagrama de caja para este estudio corrobora la simetría apreciada en el histograma, ya que los valores poseen igual dispersión por debajo y por encima de la mediana (*Figura 7.48*).

El escogimiento por área muestra una tendencia casi simétrica con una distribución unimodal, cuya clase modal y las demás clases de frecuencia se encuentran en el rango de partículas bien escogidas (*Figura 7.39*). El diagrama de

caja revela que los datos que se encuentran por encima de la mediana presentan mayor dispersión que los ubicados por debajo (*Figura 7.48*). No obstante, la mayor población de datos se concentra en los valores cercanos a 1, lo cual se traduce en un mejor escogimiento (*Capítulo 3*). Es importante destacar que tanto el diagrama de caja del escogimiento por partícula como por área, presentan medianas similares y una población de datos distribuidas casi homogéneamente entre sí.

Las *Figuras 7.40 y 7.41* de la kurtosis por partícula y por área son asimétricas unimodales con una clase modal más o menos similar reflejando un escogimiento moderado, además con extensión de las colas hacia los valores más altos (bien escogidos). Cabe destacar, que en el caso de la kurtosis por partícula se observa una mezcla de partículas mal escogidas. Los diagramas de caja presentan para el primer caso una distribución simétrica, mientras que para el segundo, mayor dispersión de datos para los valores ubicados por debajo de la mediana (*Figura 7.49*). Ambos valores centrales se encuentran en niveles similares, al igual que la población de datos.

El histograma de la desviación estándar por partícula es bimodal, cuyas clases modales indican que las partículas se encuentran moderadamente a mal escogidas (*Figura 7.42*). En el caso del estudio por área, el histograma es asimétrico y presenta una distribución unimodal, con una clase modal situada en el rango de las partículas mal escogidas, además la extensión de las colas es de carácter más incipiente hacia los valores que indican buen escogimiento, que hacia los que indican mal escogimiento (*Figura 7.43*).

Los diagramas de caja de ambos aspectos, sugieren el mismo comportamiento, no obstante la mediana se encuentra en el mismo nivel indicando un escogimiento moderado (*Figura 7.50*).

El área total, al igual que la Formación Capaya, en esta formación las partículas que más predominan son las que poseen menores áreas, el histograma es asimétrico y unimodal, mostrando una cola incipiente hacia las partículas que tienen mayores áreas (*Figura 7.44*). El diagrama de caja para esta variable muestra la población de datos en las áreas cercanas a  $0.1 \text{ mm}^2$  (*Figura 7.51*).

Los histogramas de frecuencia de la elongación y la irregularidad relativa (*Figuras 7.45 y 7.28*) son asimétricos, el primero presenta una distribución bimodal y el segundo es unimodal con un comportamiento bastante peculiar que indica la presencia de dos grupos distintos. Los diagramas de caja para ambos casos muestran una mayor dispersión de los datos por encima del valor central y por ende una mayor definición de los mismos, por debajo de la mediana (*Figura 7.52*). Esta distribución puede deberse a cambios ambientales y cambios en el nivel de energía.

- *Perfiles de distribución:*

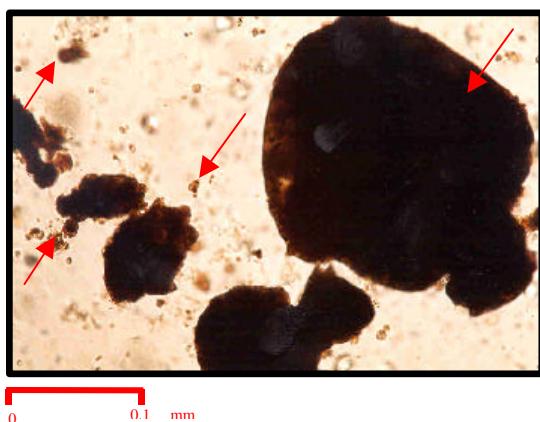
A continuación se describen las tendencias generales de las variables en los perfiles de distribución para la Formación Carapita.

Los *estudios por partícula* del análisis digital de imágenes en los perfiles de distribución indican una oscilación de tamaños entre  $7.4\phi$  y  $8.8\phi$  (limos muy finos y arcillas) predominando en toda la secuencia, las partículas tamaño arcilla. De acuerdo a la escala de escogimiento, las partículas se encuentran bien escogidas, mientras que la kurtosis indica valores entre 0.8 y 1.08 (plasticúrtica, mal escogidas y muy leptocúrticas, excelentemente escogidas), donde las mayores frecuencias son moderadamente a excelentemente escogidas. La desviación estándar, por su parte, también refleja un escogimiento principalmente de carácter moderado, con valores que oscilan entre 0.72 y 1.26 (moderadamente escogido a mal escogido).

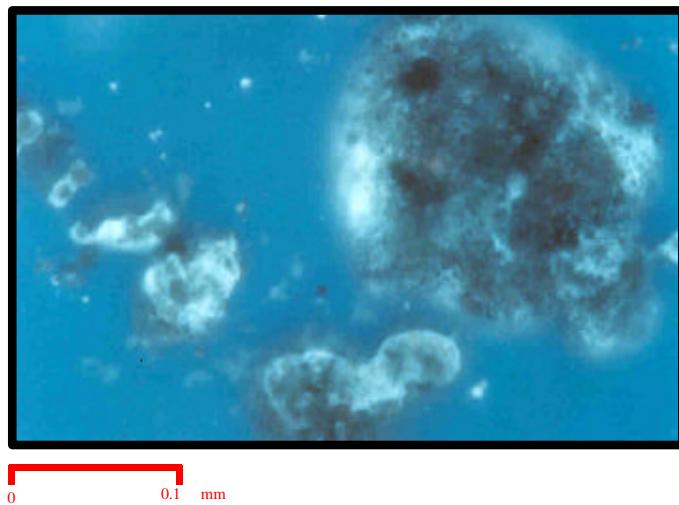
Es importante destacar que las curvas del escogimiento, la desviación estándar y la kurtosis, son muy similares, sugiriendo un mismo comportamiento, es decir, un escogimiento moderado (*Figura 7.19*).

Los *estudios por área* del análisis digital de imágenes presentan una variación más acentuada en contraste con los estudios por partícula. El tamaño oscila entre  $3.4\phi$  y  $8.2\phi$ , entre arenas muy finas y arcillas, siendo las partículas de tamaño limo fino, las más comunes. Por otra parte, las curvas del escogimiento y la kurtosis coinciden en que las partículas se encuentran entre moderada y excelentemente escogidas, mientras que la desviación estándar indica un mal escogimiento (*Figura 7.19*).

El valor anómalo que señala la presencia de partículas tamaño arenas finas y el patrón de mal escogimiento que muestra el perfil, en la base de la secuencia puede deberse al contenido de material algal no estructurado, cuyos tamaños son sumamente variados dentro de una misma muestra (*Figura 7.53 y 7.54*). El mal escogimiento observado hacia el tope, posiblemente se deba al contraste de tamaños entre partículas como los palinomorfos y los geles húmicos puros y con inclusiones y el material vegetal degradado.



*Figura 7.53. Material algal fuertemente hidrogenado de origen desconocido. Profundidad 13030'-13050'. Objetivo 25X. Luz blanca transmitida. Nótese la diferencia de tamaños que existe entre las partículas.*



*Figura 7.54. Material algal fuertemente hidrogenado de origen desconocido. Profundidad 13030'-13050'. Objetivo 25X. Luz fluorescente incidente azul. Nótese la diferencia de tamaños que existe entre las partículas.*

La **irregularidad relativa** y la **elongación** reflejan una fluctuación muy pronunciada, en comparación con la observada en la Formación Capaya. Ambas poseen un quiebre muy bien marcado aproximadamente a 12100' de profundidad, la base de la secuencia se encuentra caracterizada por partículas de carácter regular y cuasidimensionales, mientras que el tope posee partículas todavía en el orden regular, pero con una tendencia muy clara hacia las partículas irregulares y con elongación tabloide (*Figura 7.19*).

Los **componentes de la materia orgánica palinológica** para la Formación Carapita son bastante heterogéneos (*Figura 7.20*). No obstante, se pueden destacar dos componentes principales: el material vegetal degradado, el cual se encuentra distribuido homogéneamente a lo largo de la secuencia y la materia orgánica amorfa finamente dispersa, que se localiza en la parte basal y media de la misma. También

se aprecian cantidades subordinadas de material epidermal, cutícula, restos leñosos y gel húmico con inclusiones. Los tres primeros son casi ausentes hacia la base, mientras que el último se distribuye homogéneamente a lo largo de la secuencia.

Con respecto a la **concentración** de materia orgánica en la Formación Carapita ésta es muy baja (*Figura 7.21*) disminuyendo hacia el tope, lo cual se debe a que la litología, principalmente lutítica, fue depositada en ambientes marinos, de acuerdo a Giffunni y Moreno (2001), los ambientes para esta formación varían entre nerítico externo y batial superior.

La **fluorescencia** tiende a disminuir hacia el tope de la secuencia (*Anexo 5*) coincidiendo con la aparición de las areniscas y limolitas basales de la Formación Carapita.

- *Análisis de agrupamiento:*

El criterio empleado para la estadística multivariante de la Formación Carapita es el mismo empleado para la Formación Capaya.

Las variables área total, elongación e irregularidad relativa para las 23 muestras de la Formación Carapita indican la separación de dos grupos principales (*Figura 7.55*), los cuales de base a tope contienen 9 y 14 muestras, para el segundo y primer grupo, respectivamente (*Tabla 7.30*). Esta separación puede atribuirse a las diferencias litológicas que presenta la formación, donde el segundo grupo corresponde a lutitas, limolitas y areniscas muy finas, mientras que el primero corresponde a lutitas únicamente (*Figuras 7.18 y 7.19*).

**Tabla 7.30. Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables área total, irregularidad relativa y elongación de la Formación Carapita.**

Grupos	Nº de Muestra	Profundidad	Muestras Totales
1	1 al 9	11485'-11914'	9
2	10 al 23	11940'-12800'	14
		246	

El resto de los dendrogramas presenta la misma distribución de grupos: (1 y 2) las variables principales por partícula y por área (*Figuras 7.56 y 7.57*), (3) todas las variables de los estudios por área, (4) la irregularidad relativa y la elongación (*Figura 7.58*) y (5) el escogimiento y la kurtosis por área (*Figura 7.59*). El primer, segundo y tercer dendrograma poseen una matriz de datos que contienen 6 variables y el cuarto y quinto; 2, en 23 muestras. Se establecen dos grupos principales, donde el segundo reúne 7 muestras y el primero 16, de base a tope, respectivamente (*Tabla 7.31*).

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, la distancia euclíadiana de los dos primeros dendrogramas es la misma entre sí indicando el nivel de correlación existente entre ellos. No obstante, es importante destacar, que aún cuando los cinco dendrogramas no posean el mismo nivel de correlación, la respuesta suministrada por ellos sugiere el mismo patrón de asociación y esto puede atribuirse a la influencia directa del comportamiento litológico, ya que para el segundo grupo (base) establecido por los dendrogramas, la secuencia tiene un comportamiento granocreciente y para el primer grupo, la secuencia es granodecreciente, según el registro eléctrico (*Figuras 7.18 y 7.19*).

**Tabla 7.31. Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables (1) principales por partícula, (2) principales por área, (3) de los estudios por área, (4) irregularidad relativa y elongación y (5) escogimiento y kurtosis por área; de los de la Formación Carapita.**

<b>Grupos</b>	<b>Nº de Muestra</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Muestras Totales</b>
1	1 al 16	11485'-12450'	16
2	17 al 23	12450'-12800'	7

Los dendrogramas que incluyen el escogimiento, la kurtosis y la desviación estándar por partícula (*Figuras 7.60 y 7.61*), poseen una matriz de 2 variables para 23 muestras, cada uno. En cada uno se discriminan dos grupos principales, los cuales de base a tope poseen 11 y 12 muestras, para el segundo y primer grupo, respectivamente (*Tabla 7.32*). Estos dendrogramas confirman nuevamente la estrecha relación que existe entre ambas variables y tal como se definió en los perfiles de distribución, la separación de estos dos grupos se debe a que las partículas reflejan un escogimiento entre moderado y bueno en el segundo grupo y tendencias de mal escogimiento en el primer grupo. Nótese que en la *Figura 7.18* y *7.19* se aprecia un quiebre en las curvas de estas variables aproximadamente a 12080' y 12100' de profundidad, nivel en el cual dichos dendrogramas muestran la separación de los dos grupos principales.

**Tabla 7.32. Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables escogimiento, kurtosis y desviación estándar por partícula de la Formación Carapita.**

Grupos	Nº de Muestra	Profundidad	Muestras Totales
1	1 al 12	11485'-12090'	12
2	13 al 23	12190'-12800'	11

El dendrograma de las variables de los estudios por partícula, irregularidad relativa y elongación (*Figura 7.62*), consta de una matriz que posee 6 variables para 23 muestras y discrimina tres grupos principales, además la distribución de las muestras por grupos es similar, debido a que de base a tope el tercer grupo contiene 7 muestras, el segundo 9 y el primero 7 (*Tabla 7.33*).

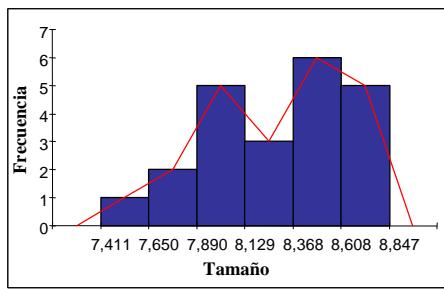
**Tabla 7.33. Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables de los estudios por partícula, irregularidad relativa y elongación de la Formación Carapita.**

Grupos	Nº de Muestra	Profundidad	Muestras Totales
1	1 al 7	11485'-11810'	7
2	8 al 16	11810'-12450'	9
3	17 al 23	12450'-12800'	7

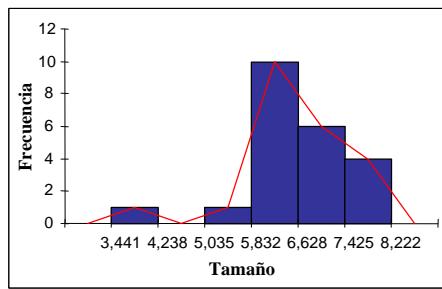
El dendrograma del escogimiento y la desviación estándar por área (*Figura 7.63*) tiene una matriz de dos variables en 23 muestras. Se establecen tres grupos diferentes, los cuales de base a tope reúnen 4, 10 y 9 muestras, para el tercer, segundo y primer grupo, respectivamente (*Tabla 7.34*).

**Tabla 7.34. Grupos y distribución de muestras a partir del análisis de agrupamiento de las variables escogimiento y desviación estándar por área de la Formación Carapita.**

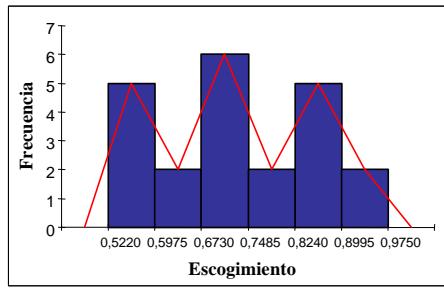
Grupos	Nº de Muestra	Profundidad	Muestras Totales
1	1 al 9	11485'-11914'	9
2	10 al 19	11940'-12600'	10
3	20 al 23	12650'-12800'	4



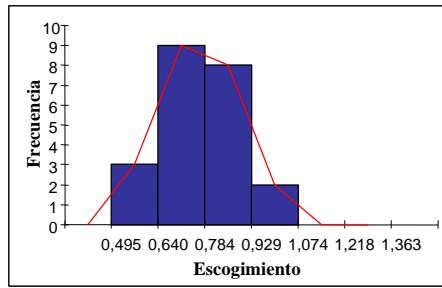
*Figura 7.36. Histograma del tamaño de los estudios por partícula de la Formación Carapita.*



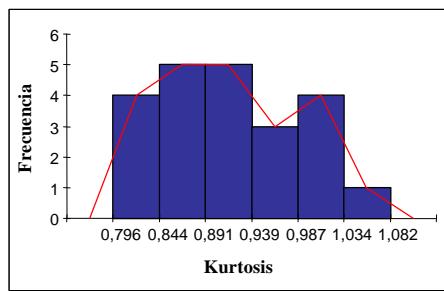
*Figura 7.37. Histograma del tamaño de los estudios por área de la Formación Carapita.*



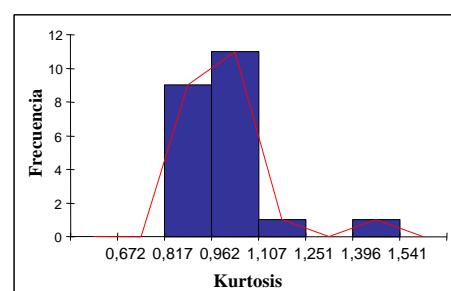
*Figura 7.38. Histograma del escogimiento de los estudios por partícula de la Formación Carapita.*



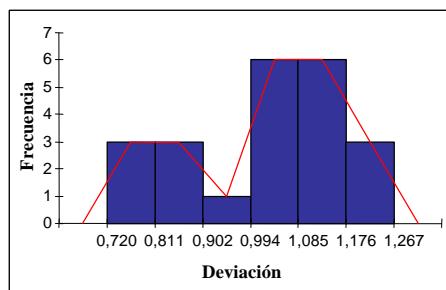
*Figura 7.39. Histograma del escogimiento de los estudios por área de la Formación Carapita.*



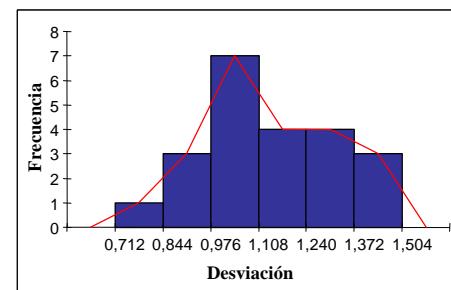
*Figura 7.40. Histograma de la kurtosis de los estudios por partícula de la Formación Carapita.*



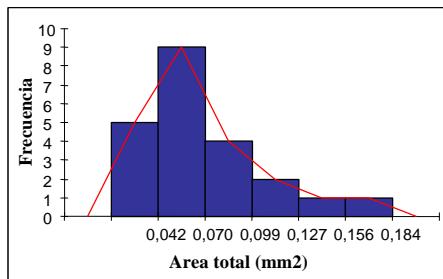
*Figura 7.41. Histograma de la kurtosis de los estudios por área de la Formación Carapita.*



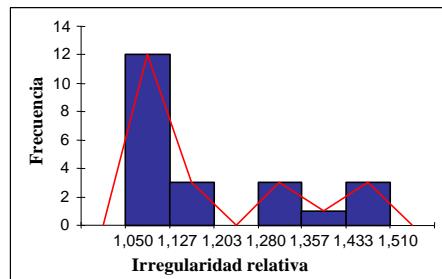
*Figura 7.42. Histograma de la desviación estándar de los estudios por partícula de la Formación Carapita.*



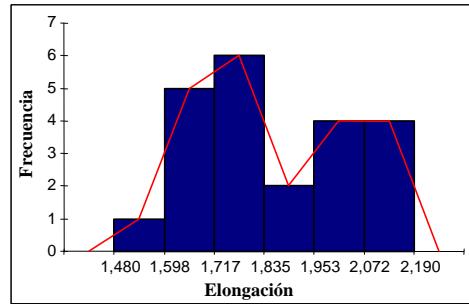
*Figura 7.43. Histograma de la desviación estándar de los estudios por área de la Formación Carapita.*



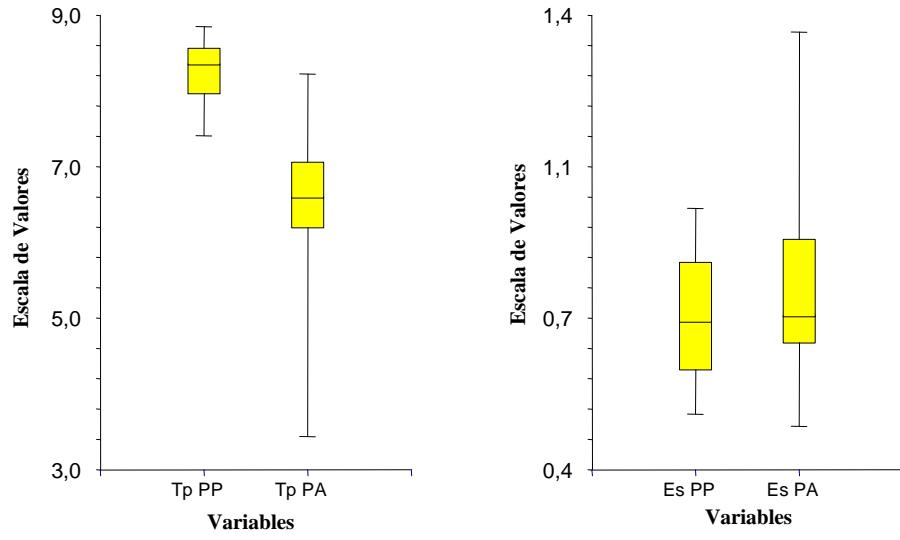
*Figura 7.44. Histograma del área total de la Formación Carapita.*



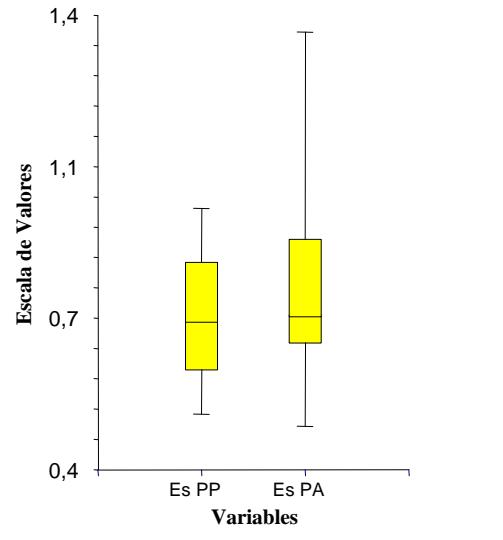
*Figura 7.45. Histograma de la irregularidad relativa de la Formación Carapita.*



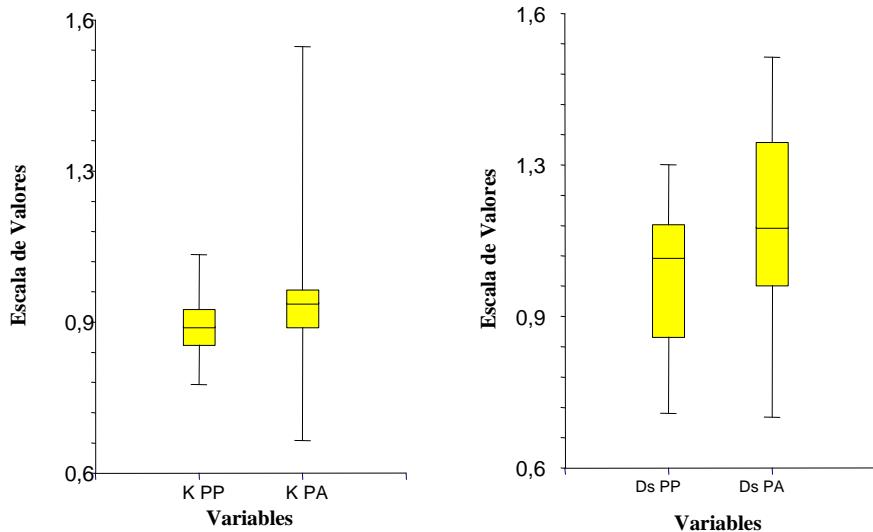
*Figura 7.46. Histograma de la elongación de la Formación Carapita.*



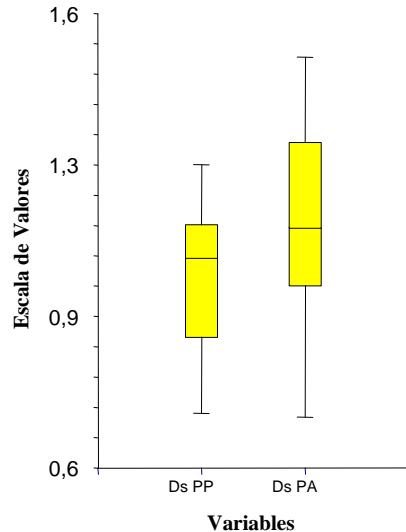
*Figura 7.47. Diagramas de caja del tamaño de los estudios por partícula y por área de la Formación Carapita.*



*Figura 7.48. Diagramas de caja del escogimiento de los estudios por partícula y por área de la Formación Carapita.*



*Figura 7.49. Diagramas de caja de la kurtosis de los estudios por partícula y por área de la Formación Carapita.*

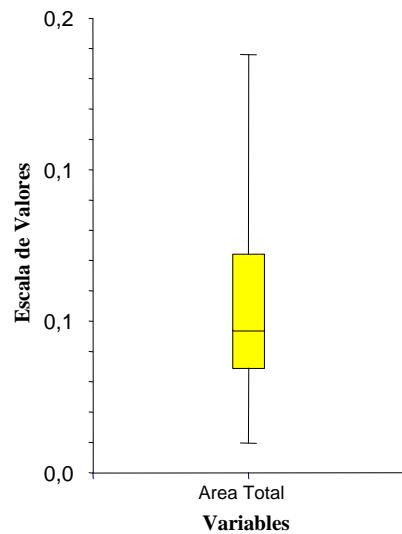


*Figura 7.50. Diagramas de caja de la desviación estándar de los estudios por partícula y por área de la Formación Carapita.*

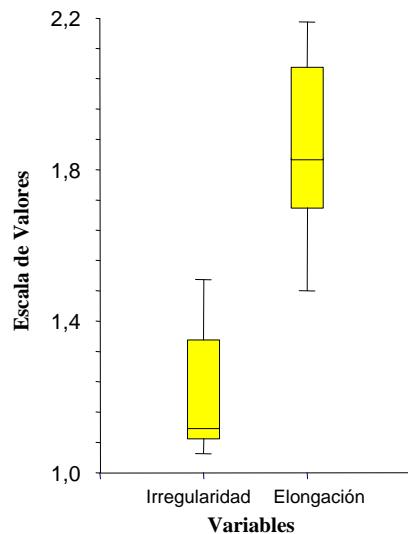
*Leyenda:*

PP Estudios Por Partícula

PA Estudios Por Área



*Figura 7.51. Diagramas de caja del área total de la Formación Carapita.*



*Figura 7.52. Diagramas de caja de la elongación e irregularidad relativa de la Formación Carapita.*

**Leyenda:**

PP Estudios Por Partícula

PA Estudios Por Área

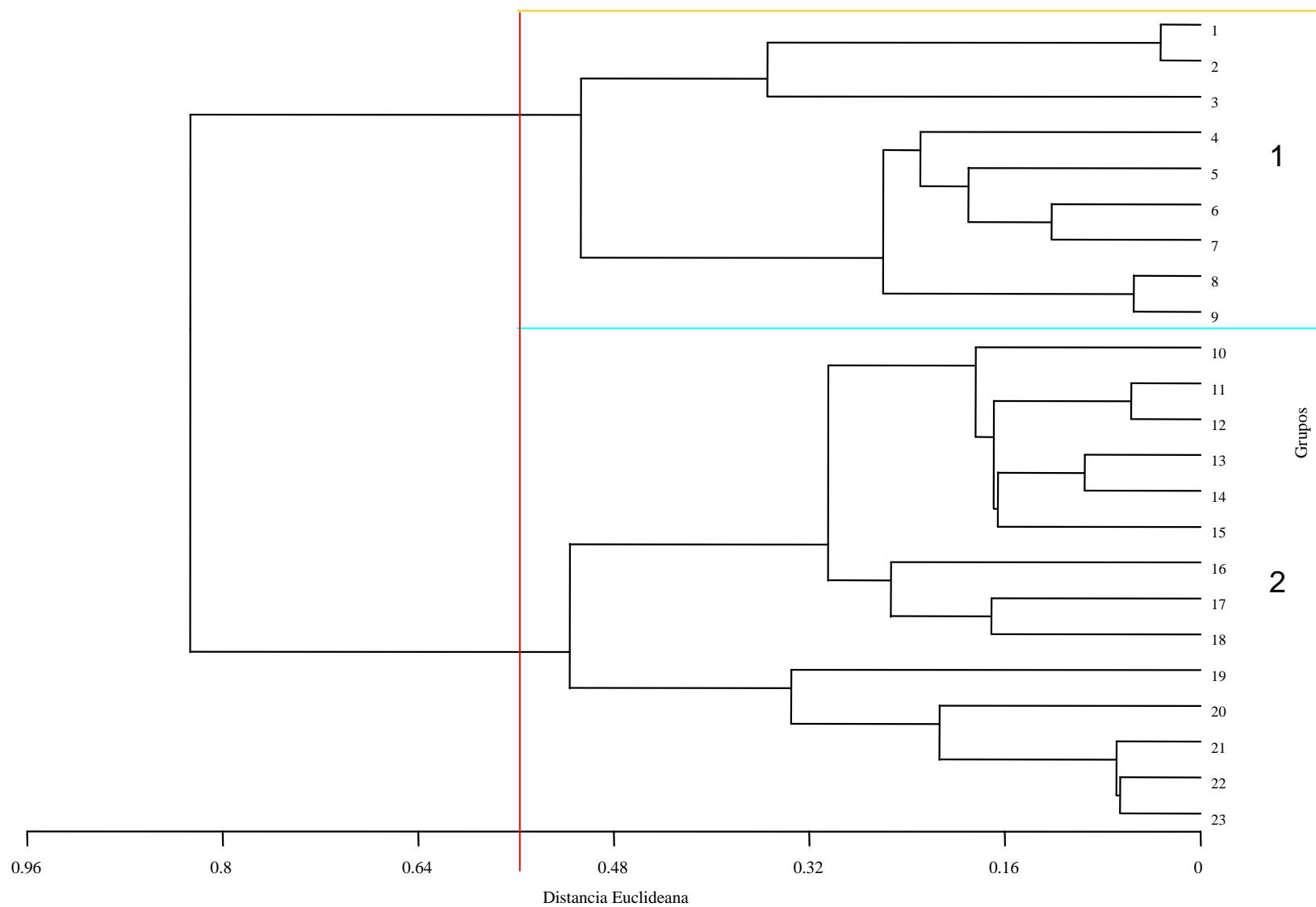


Figura 7.55. Dendrograma construido a partir del área total, la elongación e irregularidad relativa.

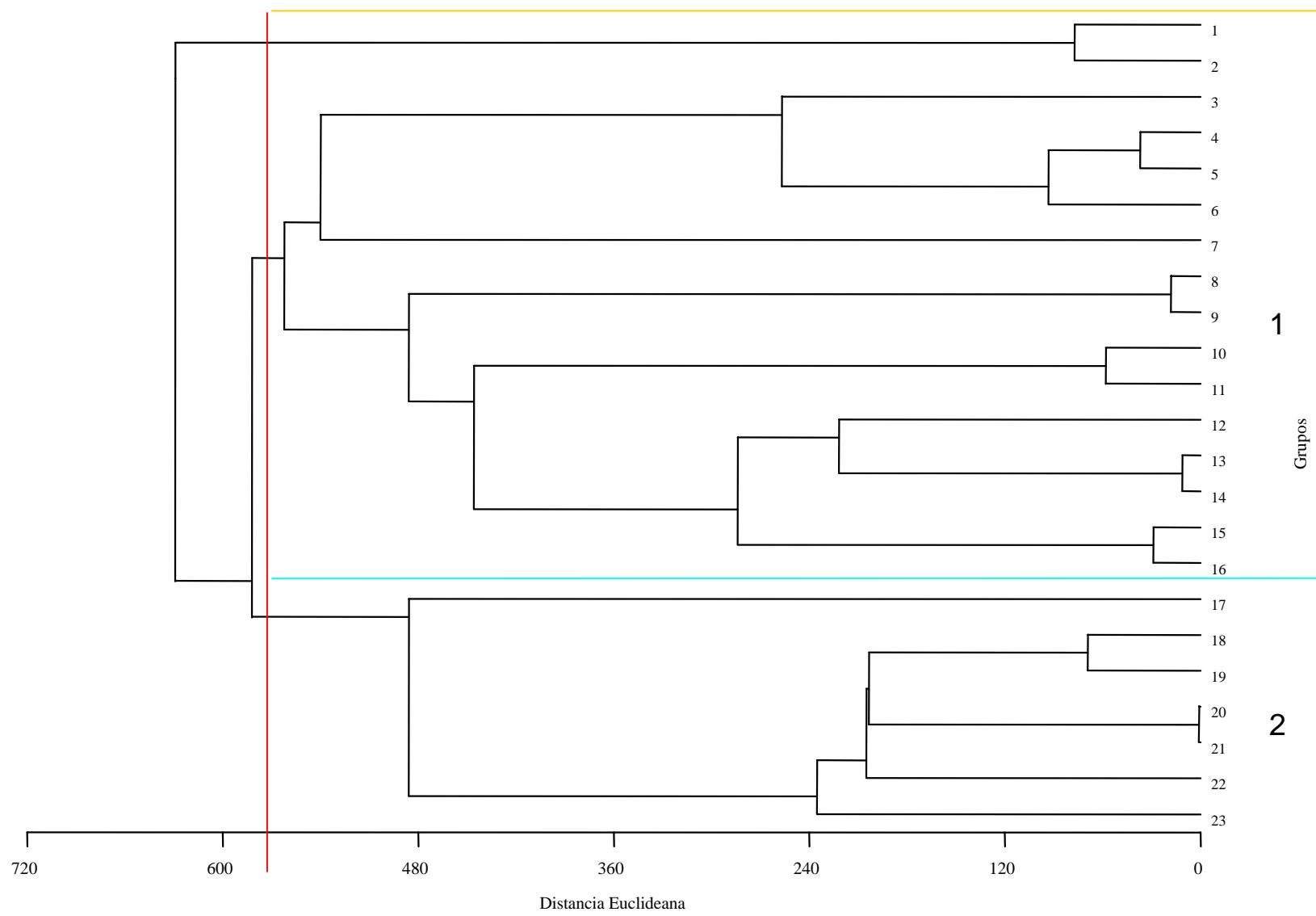


Figura 7.56. Dendrogramas construidos a partir de los parámetros principales de los estudios por partícula.

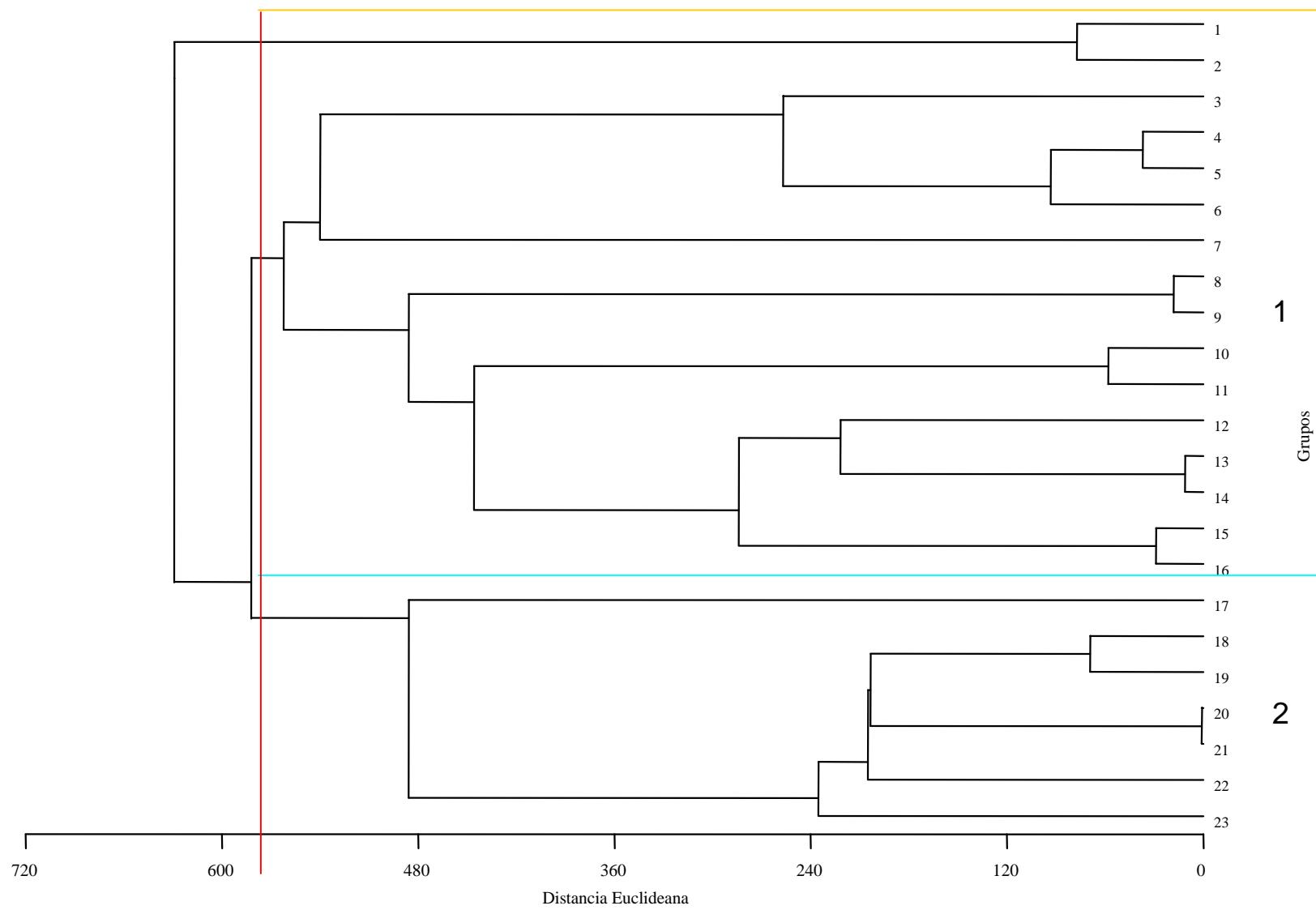


Figura 7.57. Dendrograma construido a partir de los parámetros principales de los estudios por área.

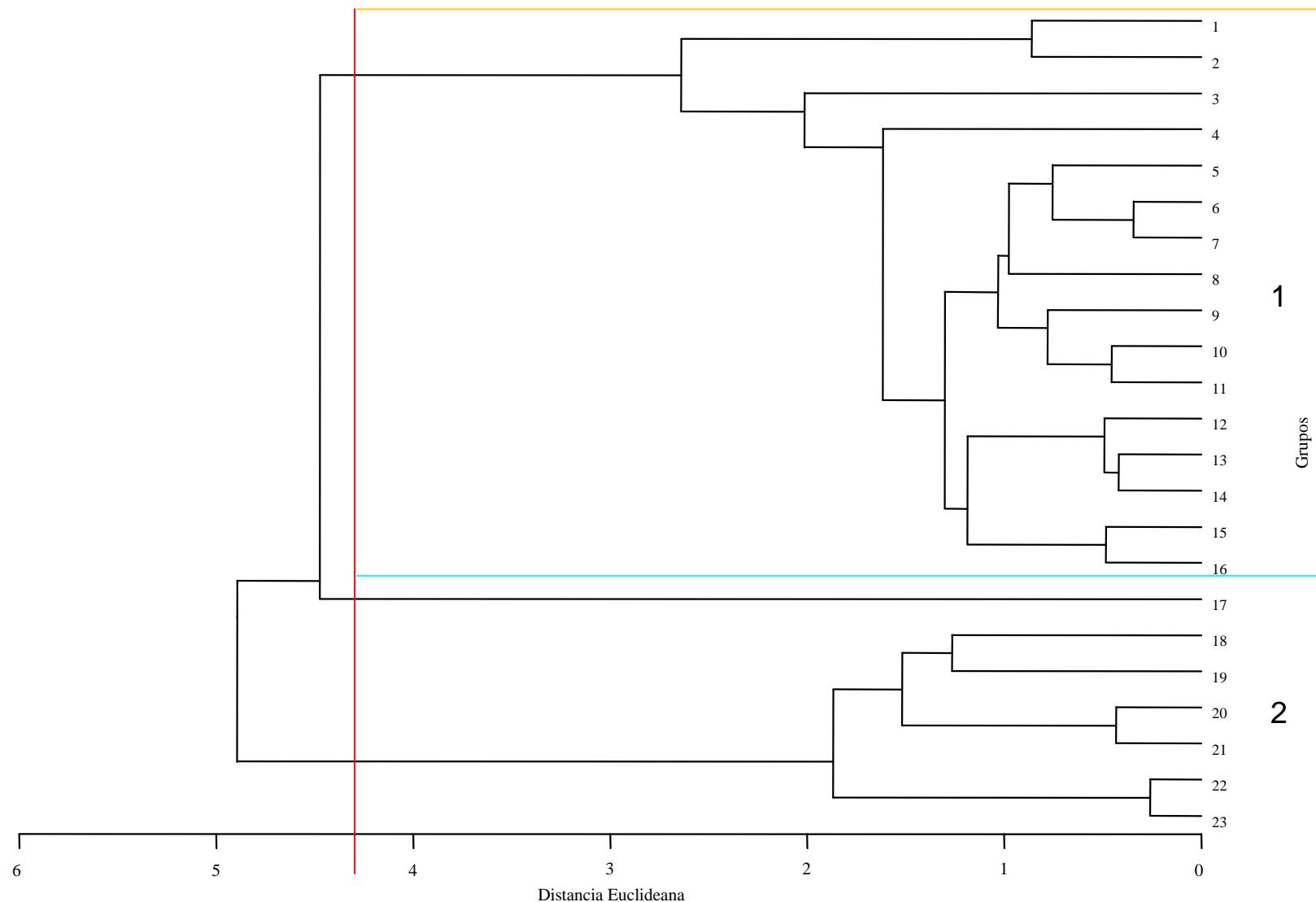


Figura 7.58. Dendrograma construido a partir de las variables correspondientes a los estudios por área, la elongación e irregularidad relativa.

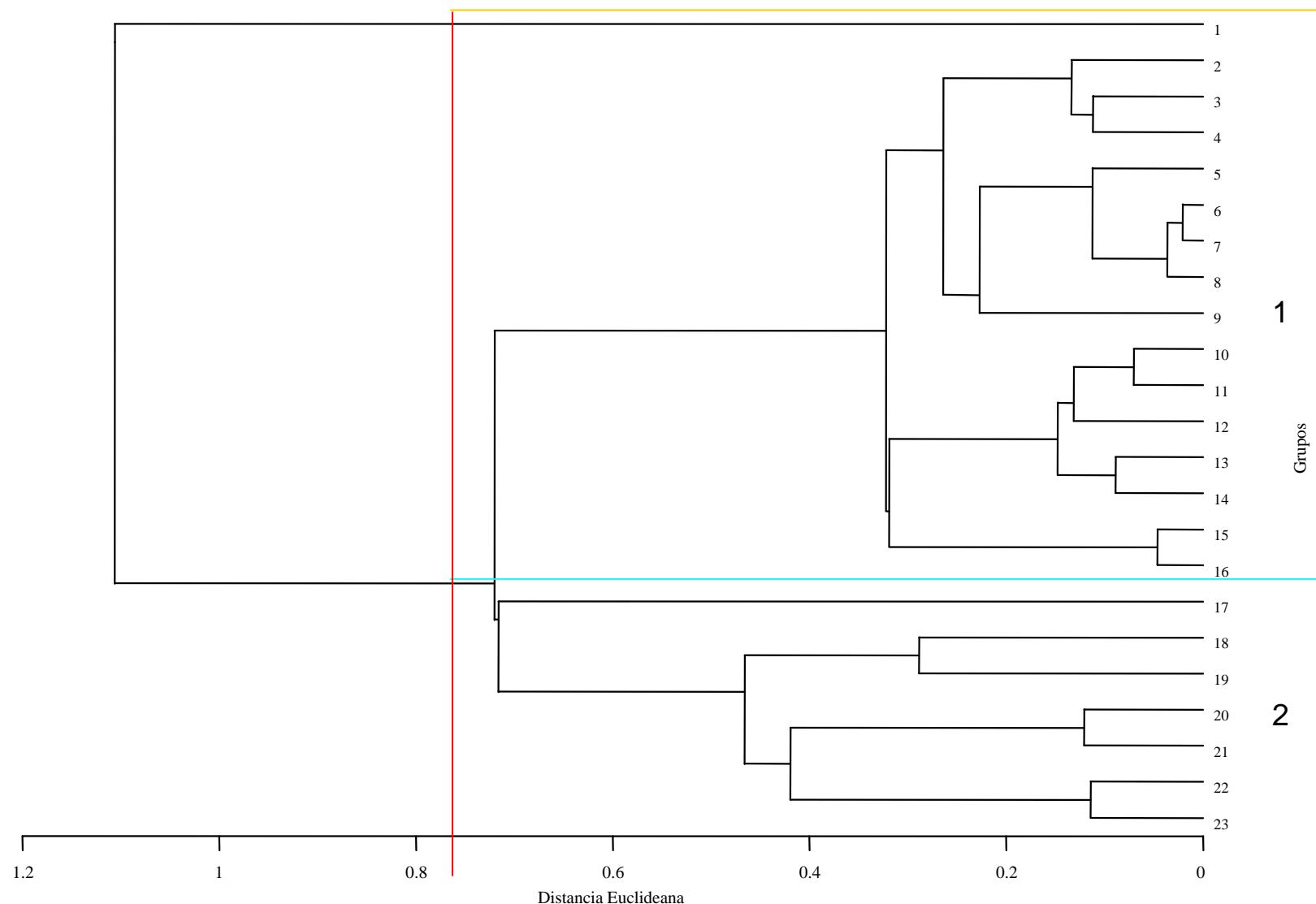
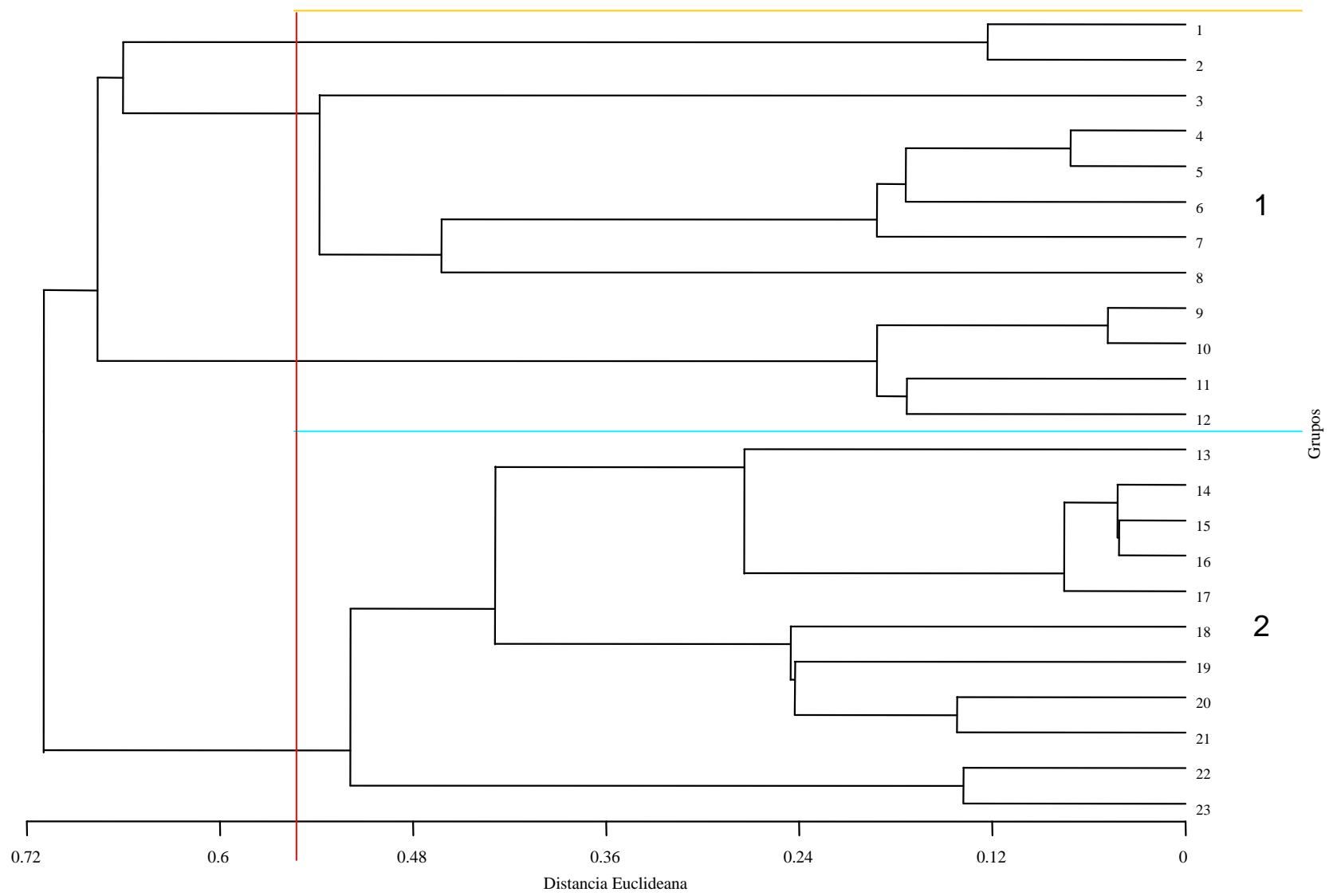
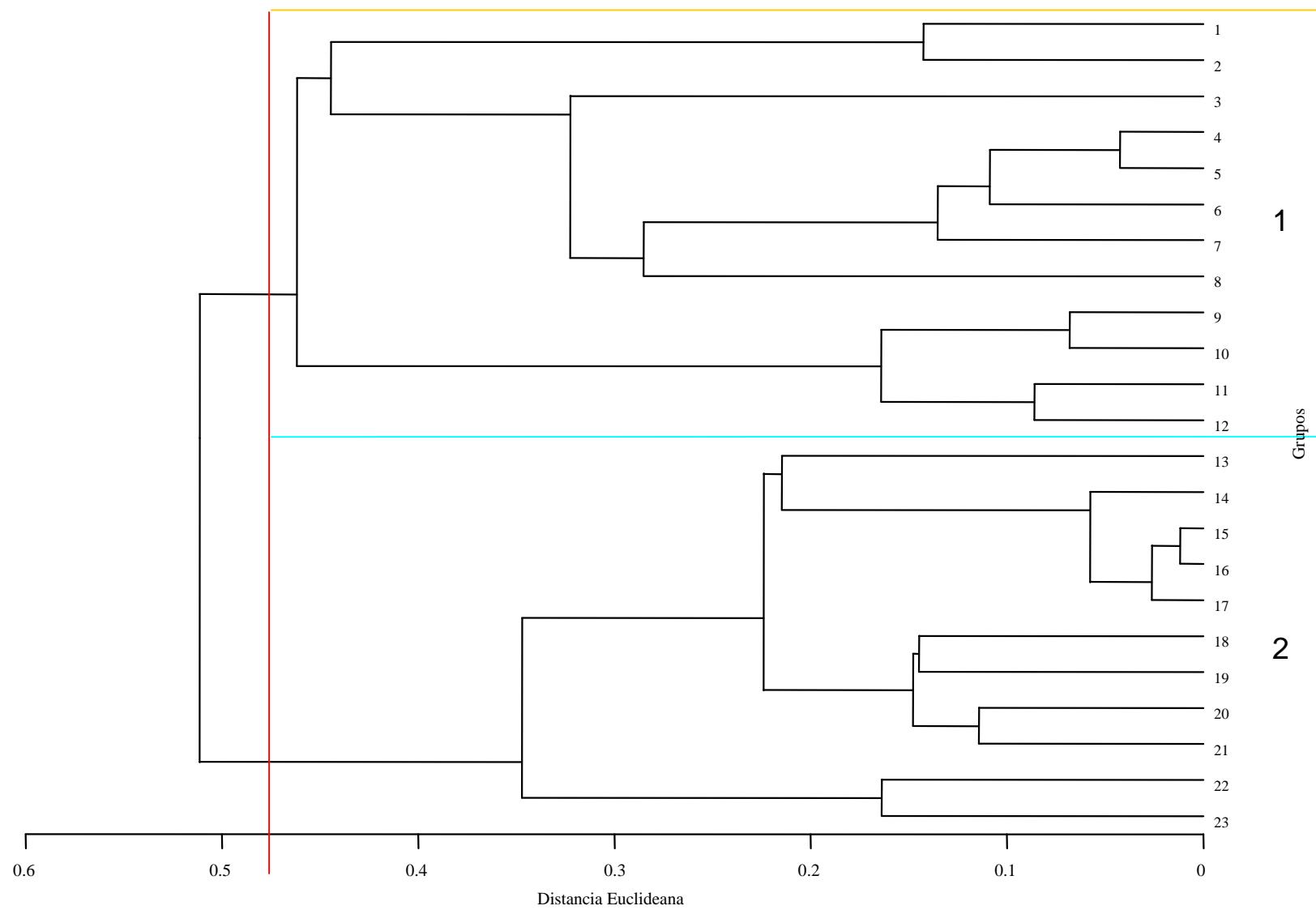


Figura 7.59. Dendrograma construido a partir del escogimiento y la kurtosis de los estudios por área.



*Figura 7.60. Dendrograma construido a partir del escogimiento y la desviación estándar de los estudios por partícula.*



**Figura 7.61.** Dendrograma construido a partir del escogimiento y la kurtosis de los estudios por partícula.

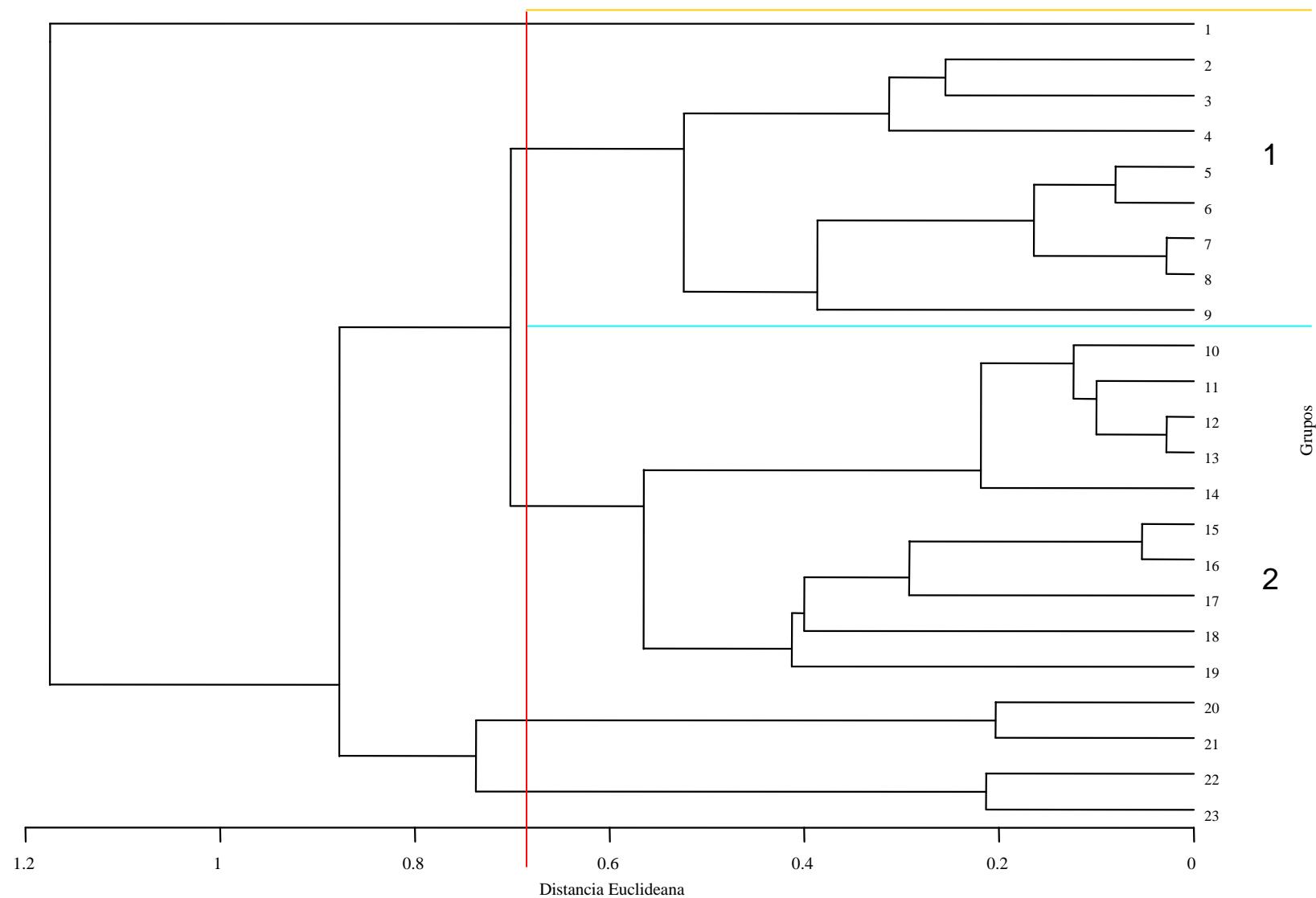


Figura 7.63. Dendrograma construido a partir del escogimiento y la desviación estándar de los estudios por área.

### 7.3. INTERPRETACIONES GENERALES:

#### 7.3.1. Formación Capaya:

##### 7.3.1.1. Relaciones estadísticas y paleoambientes:

La elongación y la irregularidad relativa de la materia orgánica palinológica son dos variables definitivas que permiten identificar los límites que indican cambios ambientales dentro de la sección estudiada. Estos ambientes coinciden con los determinados a partir de los estudios sedimentológicos y de foraminíferos. También estos parámetros concernientes con la materia orgánica, permiten identificar la coexistencia de dos ambientes para una misma profundidad.

Lo anteriormente expuesto se explica al correlacionar la información suministrada por los perfiles de distribución (*Figuras 7.18 y 7.19*) y la carta bioestratigráfica (*Anexo 4*), ya que de base a tope los intervalos 15180'-15340', 14260'-14520' y 13790'-13910', contienen partículas cuasidimensionales y regulares, pero con fuertes fluctuaciones o picos bien diferenciados hacia elongaciones tabloides y partículas irregulares; justo en estos intervalos el ambiente constante correspondiente a la secuencia estratigráfica es nerítico interno. No obstante, se observan influencias de ambientes de carácter nerítico medio entre 15200'-15340', 14480'-14680' y 13320'-13820', coincidiendo entonces con los cambios bruscos mencionados anteriormente para la elongación y la irregularidad relativa.

Por otra parte, el tamaño también muestra aumentos importantes, encontrándose en el límite de limos muy finos a limos finos, a 15160'-15260', 14060'-14200' y 12800'-13130'. Justo en estas profundidades coexisten dos ambientes y también la elongación y la irregularidad relativa presenta fluctuaciones en estos niveles.

### 7.3.1.2. Relación registros de pozo Gamma Ray/SP y perfiles de distribución textural de la materia orgánica palinológica:

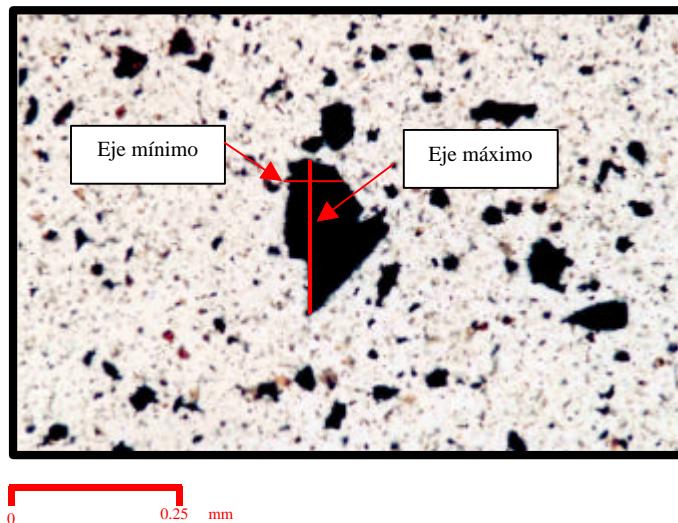
Existe una relación muy bien marcada entre el comportamiento del perfil eléctrico y los perfiles textural de la materia orgánica, debido a que en todas las secuencias granocrecientes de ésta formación, las partículas se comportan de modo particular, pues tienden a ser irregulares y a presentar elongación tabloide y mal escogimiento (*Figura 7.64*); a excepción del intervalo más cercano al tope donde sucede todo lo contrario (*Figura 7.65*), lo cual puede deberse a la transición de una formación a otra y por ende al cambio de rasgos litológicos, es decir limo-arenosas (Formación Capaya) a limo-arcillosas (Formación Carapita).

El tamaño de las partículas orgánicas también presenta un patrón de comportamiento específico, puesto que muestran un incremento bastante diferenciado en los estudios por área, mientras que en los estudios por partícula se observan ligeras fluctuaciones hacia los tamaños mayores, aunque en la tendencia general se aprecia un decrecimiento (*Figura 7.64*).

Cuando las secuencias son granodecrescentes en el perfil eléctrico, se observa un comportamiento contrario al planteado anteriormente, ya que las partículas orgánicas tienden a ser regulares, equidimensionales y de tamaño arcilla. En este caso, el contraste no se observa bien diferenciado como en las secuencias granocrecientes, sin embargo es posible apreciar las leves tendencias (*Figura 7.66*).

Es importante destacar que los perfiles de distribución de las partículas orgánicas ubicadas en la parte inmediatamente inferior de los cuellos lutíticos más pronunciados de esta formación, evidencian los picos mayores de toda la secuencia en el tamaño, el escogimiento, la kurtosis y la desviación estándar; señalando el predominio de partículas tamaños limos finos a arenas muy finas y mal escogimiento.

Justo por encima de este patrón de comportamiento y coexistiendo en parte con los cuellos lutíticos, se distinguen los picos opuestos a los descritos anteriormente, pero menos acentuados. De esta manera es posible aseverar que la materia orgánica es capaz de predecir los cambios litológicos dentro de la Formación Capaya.



*Figura 7.64. Material vegetal degradado y gel húmico puro. Profundidad 14600'-14620'. Objetivo 10X. Luz blanca transmitida. Nótese en primer lugar, el mal escogimiento de las partículas y además la relación que existe entre el eje máximo y mínimo de la mayoría de ellas, lo cual da a lugar la elongación tabloide.*

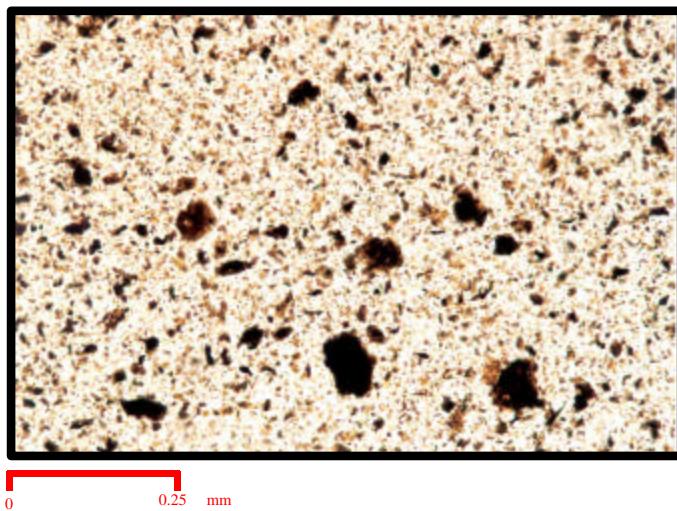


Figura 7.65. Material vegetal degradado. Profundidad 14540'-14560'. Objetivo 10X. Luz blanca transmitida. Nótese que el escogimiento tiende a mejorar en comparación con la figura anterior y además que las partículas son menos elongadas.

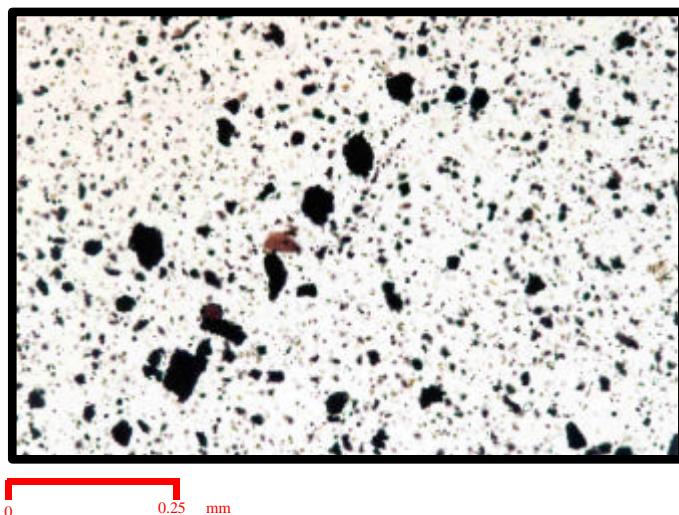


Figura 7.66. Material vegetal degradado y gel puro. Profundidad 14480'-14500'. Objetivo 10X. Luz blanca transmitida. Nótese que las partículas se observan más redondeadas y que el escogimiento es mejor en comparación con las dos figuras anteriores

### **7.3.2. Formación Carapita:**

#### *7.3.2.1. Relaciones estadísticas y paleoambientes:*

La correlación entre los histogramas de frecuencia correspondientes a la elongación y a la irregularidad relativa son bimodales, como ya se planteó en el punto 7.2 y los perfiles de distribución de las mismas variables, donde se muestra un quiebre muy bien diferenciado a 12200'; y otro quiebre de mayor índole a 12000', indican que existen dos patrones de comportamiento, influenciados directamente por los cambios de niveles de energía y ambientales, ya que justo a 12100' de profundidad ocurre el cambio transicional de un ambiente nerítico externo a batial superior, de acuerdo a Furrer (2001).

El tamaño de las partículas en los estudios por área, también muestra un comportamiento similar al planteado para la elongación y la irregularidad relativa, sólo que la fluctuación inferior al límite del cambio ambiental sucede después de que lo percibiera la elongación y la irregularidad, y la fluctuación superior (la más marcada) ocurre antes y coincide con dicho límite ambiental (a 12100' de profundidad).

Lo anteriormente expuesto, también es posible corroborarlo a partir de los análisis de agrupamiento (dendrogramas) elaborados para esta formación. De esta manera se ratifica que existe una asociación directa entre las variables citadas anteriormente (*Tabla 7.33*), ya que la separación de los grupos se hallan solapadas con las profundidades señaladas donde se observan variaciones importantes en los perfiles. No obstante, es importante destacar que pese a la ausencia de fluctuaciones mayores en el resto de las variables texturales, a excepción de la kurtosis y el escogimiento de los estudios por partícula (*Tabla 7.32*); también muestran una

relación directa que permite la definición de la Formación Carapita en dos grupos distintos (*Tabla 7.31*).

### 7.3.2.2. Relación registros de pozo Gamma Ray/SP y perfiles de distribución textural de la materia orgánica palinológica:

Al observar el registro eléctrico en el *Figura 7.19*, es posible apreciar que la litología cambia drásticamente a 11900' de profundidad, pasando de las areniscas basales de Carapita, a las lutitas de la misma formación. El comportamiento de las partículas orgánicas inmediatamente inferiores al límite de cambio litológico, en cuanto a escogimiento y kurtosis por partícula se refiere; presentan una perturbación fuerte hacia las partículas mal escogidas, lo cual es evidente debido a que las litologías inferiores a dicho límite predominantes son areniscas y limos, y viceversa para las superiores.

Contrario a lo observado en la Formación Capaya, cuando la secuencia es granodecreciente, las partículas orgánicas muestran una tendencia a ser irregulares y de elongación tabloide (*Figura 7.19*) y viceversa cuando la secuencia es granocreciente. Esto se debe a que las partículas más resistentes son las que alcanzan a depositarse en los ambientes más alejados de la línea de costa, en este caso nerítico externo a batial superior. Dichas partículas resistentes, son por ejemplo los granos de polen, los cuales durante las evaluaciones se mostraron bastante retrabajados y ubicados en mayor porcentaje en esta formación (*Figura 7.67, 7.68 y 7.69*).

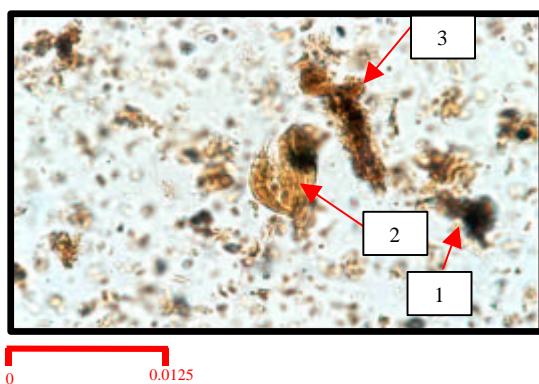
Los restos leñosos (*Figura 7.70*) por su parte, también se muestran en mayor proporción en esta formación, pese a que su lugar de origen se encuentra bastante alejado, su presencia en estos ambientes se debe a la resistencia ante el impacto del transporte y los cambios de energía y ambientales, además la estructura de los tejidos, generalmente alargados, permiten que el estado de elongación final de las partículas, sea tabloide. Sin embargo, aún cuando el material cuticular y epidermal, posean

tejidos cortos y con formas diversas, también se hacen presentes en mayor porcentaje en esta formación, que en la Formación Capaya; y sus elongaciones tienden a ser tabloides (*Figura 7.71, 7.72*).

Por otra parte, los geles húmicos, en general los puros, que también se aprecian en cantidades representativas, suelen ser elongados, apoyando de este modo, la existencia de partículas con tendencias a ser tabloides (*Figura 7.73*).

Cuando las secuencias son granocrecientes o granodecrecientes en el perfil eléctrico, el escogimiento y la kurtosis no presentan un patrón único definido de comportamiento, pero se observa claramente que las perturbaciones de ambas variables oscilan entre el rango moderado a malo, tal como se planteó anteriormente, y esto se puede observar en detalle en las *Figuras 7.74* y *7.75*.

Al igual que en la Formación Capaya, las partículas orgánicas ubicadas en la parte inmediatamente inferior de los cuellos lutíticos más pronunciados de esta formación, evidencian los picos mayores de toda la secuencia en el tamaño, el escogimiento, la kurtosis y la desviación estándar. El tamaño por su parte consiste de arcillas finas y el resto de las variables indica escogimiento entre moderado y malo. Afirmando de este modo que la materia orgánica es capaz de predecir los cambios litológicos dentro de la Formación Carapita.



*Figura 7.67. (1) Material vegetal degradado, (2) grano de polen y (3) epidermis. Profundidad 12500'-12550'. Objetivo 100X. Luz blanca transmitida.*



Figura 7.68. Palinomorfo retrabajado. Profundidad 11990'-12040'. Objetivo 100X. Luz blanca transmitida.

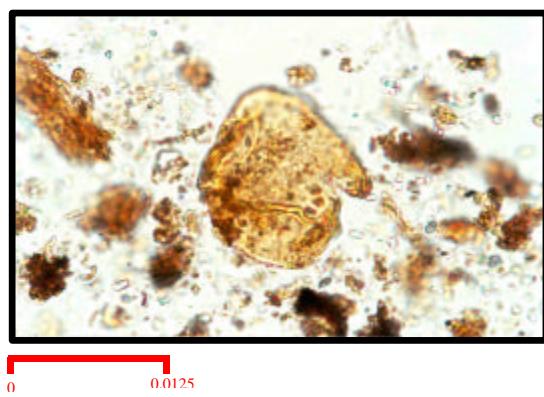


Figura 7.69. Palinomorfo retrabajado. Profundidad 12750'-12800'. Objetivo 100X. Luz blanca transmitida.

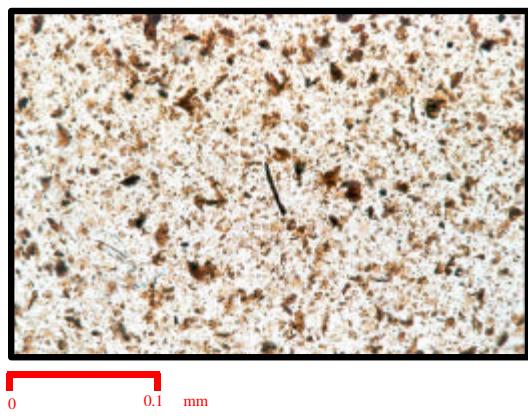
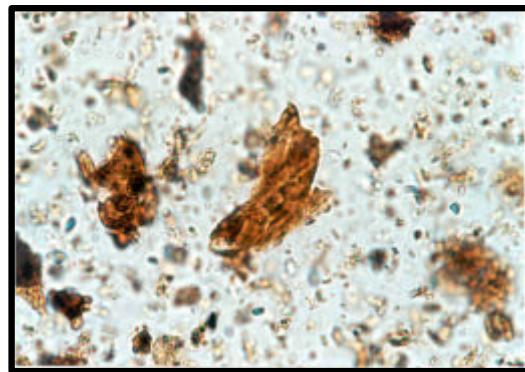
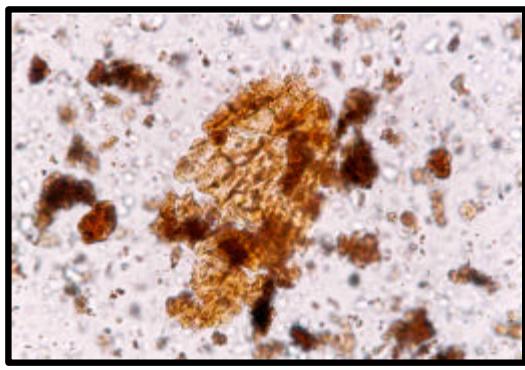


Figura 7.70. Material vegetal degradado y escasos restos leñosos. Profundidad 12500'-12550'. Objetivo 25X. Luz blanca transmitida.



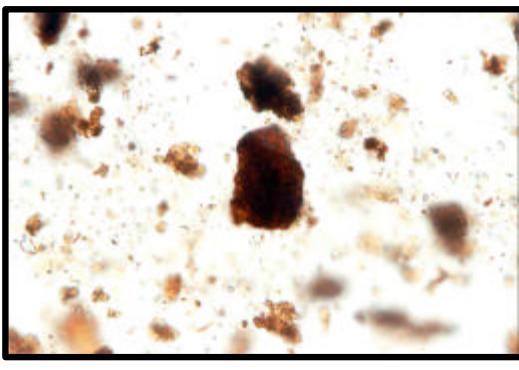
0 0.0125

Figura 7.71. Epidermis. Profundidad 12500'-12550'. Objetivo 100X. Luz blanca transmitida.



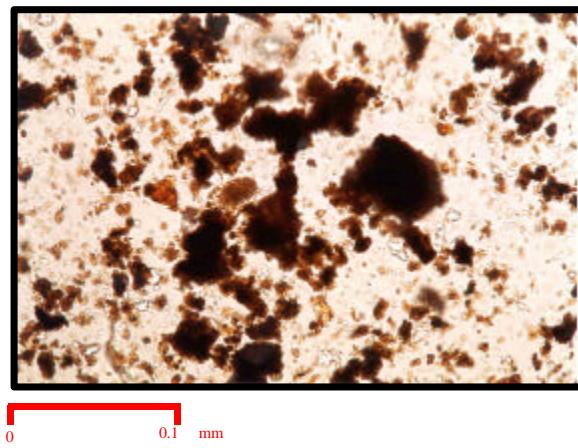
0 0.05 mm

Figura 7.72. Cutícula. Profundidad 11710'-11760'. Objetivo 50X. Luz blanca transmitida.

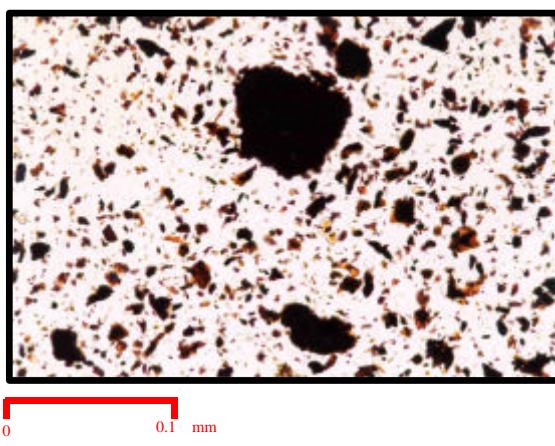


0 0.1 mm

Figura 7.73. Gel húmico puro. Profundidad 12500'-12550'. Objetivo 25X. Luz blanca transmitida.



*Figura 7.74. Material vegetal degradado. Profundidad 12500'-12550'. Objetivo 25X. Luz blanca transmitida.*



*Figura 7.75. Geles húmicos puros. Profundidad 11485'-11530'. Objetivo 10X. Luz blanca transmitida.*

## CAPITULO 8: PALINOFACIES Y PALEOAMBIENTES

### 8.1. Definición de Palinofacies:

Aún cuando no existe un criterio único establecido para la definición de palinofacies, muchos de los autores citados en el *Capítulo I* coinciden en que la estadística multivariante (análisis de agrupamiento), es la principal herramienta que permite establecer los grupos de acuerdo a las características de similitud que guardan las muestras evaluadas entre sí.

Los análisis de agrupamiento permitieron diferenciar ocho patrones de distribución de la materia orgánica palinológica considerando cada una de las variables obtenidas a partir de los distintos análisis realizados, siendo la composición el parámetro principal que rige la definición de los grupos, aunque los parámetros texturales y la concentración respetan el mismo sentido de relación que tienen las asociaciones establecidas únicamente a partir de la composición. Es importante destacar, que al agregar más variables a los dendrogramas, la definición de los grupos era cada vez mayor.

Por otra parte, los perfiles de distribución tanto de la composición como de las variables texturales de la materia orgánica, reflejan un comportamiento congruente con los límites establecidos para las asociaciones dadas por los dendrogramas. En el caso de la composición (*Figura 7.20*) los límites contienen asociaciones específicas de componentes para cada palinofacies establecida, y cada límite se ubica en los valores porcentuales máximos y mínimos para al menos dos componentes en una misma profundidad. En el caso de los parámetros texturales, dichos límites coinciden también con dos o más picos que representan los valores máximos o mínimos en un mismo nivel de profundidad.

A continuación se muestran las palinofacies establecidas para cada una de las formaciones estudiadas, descritas de base a tope:

### **8.1.1. *Palinofacies de la Formación Capaya:***

Se definieron seis palinofacies para la Formación Capaya, las cuales se describen a continuación de base a tope, considerando la composición palinomaceral, la concentración, las características texturales y los niveles de fluorescencia de la materia orgánica. Es importante destacar que la litología de la cual procede la materia orgánica es un parámetro fundamental en la definición de palinofacies, sin embargo, la descripción litológica detallada se realizó en el *Capítulo 6* y ésta información a su vez se encuentra ampliada en los *Apéndices A y B*.

#### **8.1.1.1. *Palinofacies VI: Palinofacies de material vegetal degradado***

Esta palinofacies se encuentra desde la base de la Formación Capaya, en el intervalo comprendido entre 15200' y 15500', es decir posee un total de 300 pies de espesor.

##### **- *Composición palinomaceral y concentración:***

La concentración de la materia orgánica en este intervalo es relativamente alta y de carácter variable, ya que hacia la base se observa un decrecimiento, sin embargo luego aumenta hasta mantenerse constante con un valor de 0.1285 ml (pdgr) en la parte media de la secuencia, posteriormente alcanza un valor mínimo de 0.002 ml (\*pdgr) y finalmente hacia el tope se incrementa paulatinamente (*Figura 7.21*).

Esta secuencia se encuentra dominada por la presencia de material vegetal degradado cuyo promedio oscila entre 81.83%. La secuencia también contiene

---

\* por diez gramos de roca

cantidades relativamente importantes de gel húmico puro (13.23%). No obstante, se observan algunas trazas de otros componentes tales como material epidermal (2.9%), resina (0.82%), cutícula (0.76%), restos leñosos (0.38%) y granos de polen (0.06%) (*Figura 8.1*).

El material vegetal degradado se distribuye uniformemente a lo largo de toda la secuencia. Se observan geles húmicos puros que se incrementan ligeramente hacia el tope de la secuencia y se observan otros componentes en traza, los cuales bajo luz incidente fluorescente son de color naranja que posiblemente sean restos de cutícula. También se observan en la base restos leñosos y material epidermal en proporciones menores, distribuidos homogéneamente a lo largo de la secuencia.

El tope de la secuencia contiene trazas de masa algal oxidada, posiblemente pueden ser fragmentos caídos.

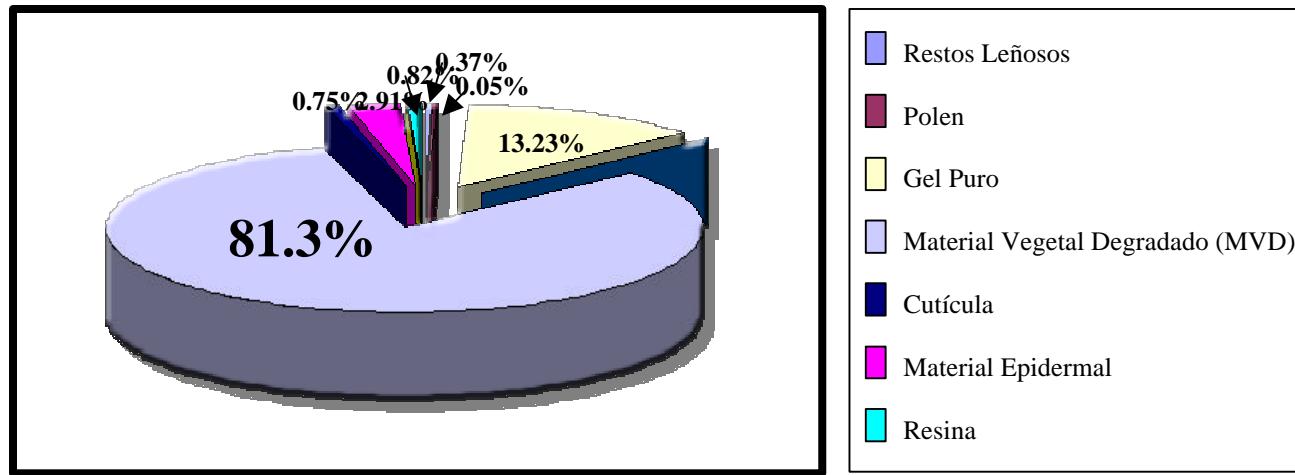
- *Características texturales:*

El tamaño de las partículas para esta palinofacies varía de 6.5 $\phi$  a 9.1 $\phi$  (limos finos a arcillas). Las partículas tamaño arcilla se concentran en la base y las partículas tamaño limos finos se observan hacia el tope.

El escogimiento es moderado a bueno (0.48 – 0.78). Por otra parte, la forma predominante en las partículas es cuasidimensional (1.5 – 1.9), además son regulares (1.04 – 1.12).

- *Fluorescencia de las partículas:*

La fluorescencia en esta palinofacies es casi nula, aunque se observan cantidades subordinadas de la misma hacia la base y tope de la secuencia (8.33% - 9.37%) debido a la presencia de cutícula.



*Figura 8.1. Porcentajes promedios de la Palinofacies I de la Formación Capaya*

### 8.1.1.2. *Palinofacies V: Palinofacies de material vegetal degradado y gel húmico puro*

Esta palinofacies es la más amplia de todas las establecidas en el intervalo estudiado, con 880' de espesor y se encuentra localizado en las profundidades 14320' y 15200'.

#### - *Composición palinomaceral y concentración:*

La concentración de materia orgánica para esta palinofacies es muy alta (0.209 ml, pdgr). Hacia la base y la parte media de la secuencia se observan concentraciones relativamente altas, pero en el intervalo 14580' a 14600' alcanza un valor máximo de 1.62 ml (pdgr). Finalmente hacia el tope la concentración continúa siendo alta con un comportamiento similar al observado en la base (*Figura 7.21*).

Esta palinofacies se caracteriza en un 73.57% por la presencia de material vegetal degradado, también se observan cantidades importantes de gel húmico puro en un 17.22% y trazas de material epidermal (3.48%), gel con inclusiones (1.67%), gel sin diferenciar (1.52%), cutícula (1.16%), materia orgánica amorfa de origen marino (0.72%), restos leñosos (0.39%), granos de polen (0.13%), carbón (0.1%), resina (0.01%) y hongos (0.008%) (*Figura 8.2*).

Se identifican tres palinofacies menores, debido a la diferenciación existente entre las características composicionales y texturales dentro de este intervalo, las mismas se denominan de base a tope *Palinofacies Vc*, *Palinofacies Vb* y *Palinofacies Va*:

➤ *Palinofacies Vc:*

Esta palinofacies se encuentra comprendida entre 14940' y 15200', posee un total de 260 pies de espesor.

- *Composición palinomacral:*

El componente predominante en esta facies es el material vegetal degradado, tal como se expuso anteriormente. Esta palinofacies es la que posee los valores más altos de material vegetal degradado, entre 83.89% y 96.45%, distribuidos de manera homogénea en toda la secuencia.

El gel húmico puro es escaso hacia la base de la secuencia (2.03%), no obstante incrementa paulatinamente hacia el tope, hasta alcanzar valores máximos de 28.57%. También se aprecian cantidades subordinadas de restos leñosos (0.13% - 5.03%) y trazas de carbón (0.17% - 0.83%), resina (0.29%).

El material epidermal, por su parte, presenta sus máximos valores hacia la base de la secuencia y al tope de la misma, puesto que en la parte central se observa ausencia de este material. El material cuticular es muy escaso en esta palinofacies. Los granos de polen se aprecian en la parte central de la secuencia en muy baja proporción.

Hacia el tope se observan trazas de pirita cúbica. En la parte media de la secuencia el material vegetal degradado es de color amarillo claro y transparente.

➤ *Palinofacies Vb:*

Esta palinofacies se encuentra comprendida en el intervalo 14640' y 14900', es decir, posee un espesor de 260 pies.

- *Composición palinomaceral:*

En esta palinofacies disminuye el contenido de material vegetal degradado en la base de la secuencia (53.19% – 59.88%), aumenta hacia la parte media (70.22% - 75.76%) y nuevamente disminuye hacia el tope (68.63% - 69.61). El material epidermal es escaso en la base de la secuencia (0.19%), mientras que hacia el tope se incrementa considerablemente (11.76% - 15.15%), sucede lo contrario con el material cuticular, ya que hacia la base se observan los mayores valores de este material, mientras que hacia el tope es muy escaso.

A diferencia de las palinofacies *Va* y *Vc*, en esta secuencia no se observan restos leñosos, como tampoco fragmentos de carbón y resina.

Los geles húmicos puros son de color marrón oscuro a negro y se distribuyen de manera casi uniforme a lo largo de esta secuencia.

➤ *Palinofacies Va:*

Esta palinofacies se encuentra comprendida en el intervalo 14320' y 14620', es decir, posee un espesor de 300 pies.

- *Composición Palinomaceral:*

En esta secuencia el material vegetal degradado continúa siendo el componente principal (43.75% - 97.9%), sin embargo el gel húmico puro también forma parte importante en la base y la parte media. La base de la secuencia también se caracteriza por presentar cantidades subordinadas de gel húmico con inclusiones, material epidermal y cutícula. Asimismo, se observan trazas de polen, restos leñosos y fragmentos de carbón.

La parte media de la secuencia también presenta restos leños, materia orgánica amorfía con material algal oxidado muy redondeados, de color marrón oscuro a negro bajo luz blanca transmitida y de color naranja oscuro bajo luz incidente fluorescente azul (posiblemente producto de retrabajo), material cuticular y trazas de hongos.

Hacia el tope de la secuencia, luego del material vegetal degradado el componente dominante es el gel húmico con inclusiones y trazas de material epidermal (*Figura 8.2*).

- *Características texturales:*

El tamaño de las partículas oscila entre  $6.8\phi$  y  $9\phi$  (limos finos a arcillas) y en oposición a la palinofacies anterior, las partículas tamaño limo fino se localizan en la base de la secuencia, mientras que las partículas tamaño arcilla se distribuyen de manera homogénea en el resto de la secuencia.

El escogimiento varía entre moderado y bueno (0.47 – 0.88). En cuanto a la elongación se refiere, se observan partículas equidimensionales a tabloide (1.4 – 2.1), aunque la forma predominante es la cuasidimensional. Además, son regulares.

- *Fluorescencia de las partículas:*

La fluorescencia es muy baja en casi toda la secuencia (0.29% - 4.5%), aunque hacia el tope aumenta relativamente (2% - 11.64%).

Los porcentajes de fluorescencia se deben a la presencia de cutícula, de material esporomórfico inclusionado en los geles húmicos y al residuo de material algal no estructurado posiblemente caído durante la perforación del pozo.

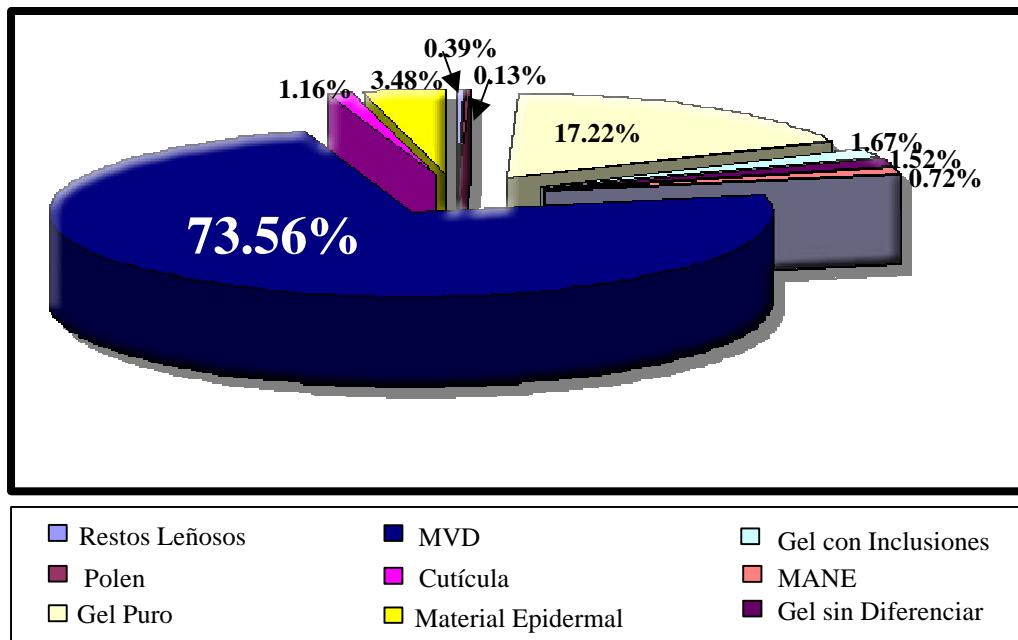


Figura 8.2. Porcentajes promedios de la Palinofacies V de la Formación Capaya

### 8.1.1.3. *Palinofacies IV: Palinofacies de material vegetal degradado y materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen terrestre*

Esta unidad comprende un intervalo de 220 pies de espesor y se encuentra comprendido desde 14100' hasta 14320' de profundidad.

#### - *Composición palinomaceral y concentración:*

La concentración de la materia orgánica para esta secuencia es alta en general, sin embargo hacia la base las concentraciones son menores, mientras que hacia el tope se observa un incremento, hasta alcanzar su valor máximo de 0.393 ml (pdgr) en las profundidades comprendidas entre 14120' – 14140' (*Figura 7.21*).

El componente dominante en esta secuencia es el material vegetal degradado alcanzando un 61.07% en promedio, sin embargo se observan cantidades no menos importantes de materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen terrestre, la cual es de 25%. El resto de los componentes incluye gel húmico puro en un 7.1% y trazas de material epidermal (3.24%), gel húmico sin diferenciar (2%), restos leñosos (1.11%), material cuticular (0.22%), gel húmico con inclusiones (0.14%) y granos de polen (0.1%) (*Figura 8.3*).

La base de la secuencia se encuentra dominada por materia orgánica amorfa finamente dispersa. Se aprecian cantidades subordinadas de fragmentos leñosos de color negro, opacos y geles húmicos sin diferenciar; es posible observar de igual modo granos de polen, material epidermal y cuticular, en trazas.

El tope de la secuencia está dominado por material vegetal degradado con ciertas trazas de material epidermal y geles húmicos sin diferenciar. Es importante destacar que justo en el tope de la secuencia, la proporción de material vegetal

degradado disminuye casi a la mitad, siendo otro componente mayoritario el gel húmico puro con cantidades menos importantes de material epidermal.

- *Características texturales:*

El tamaño de las partículas se encuentra entre  $7.1\phi$  y  $8.2\phi$ , es decir limos muy finos los cuales se ubican hacia el tope y arcillas hacia la base de la secuencia. El escogimiento, por su parte es moderado a bueno ( $0.5 - 1.1$ ), aunque hacia el tope se observan partículas cuyo escogimiento es malo.

Por otra parte, las partículas son equidimensionales a cuasidimensionales ( $1.4 - 1.7$ ), concentrándose las primeras hacia el tope y las últimas hacia la base, además en general todas las partículas se caracterizan por ser regulares.

- *Fluorescencia de las partículas:*

El porcentaje de fluorescencia en esta palinofacies es sumamente bajo ( $0.1\% - 3.3\%$ ) y se debe a la presencia incipiente de granos de polen y material cuticular.

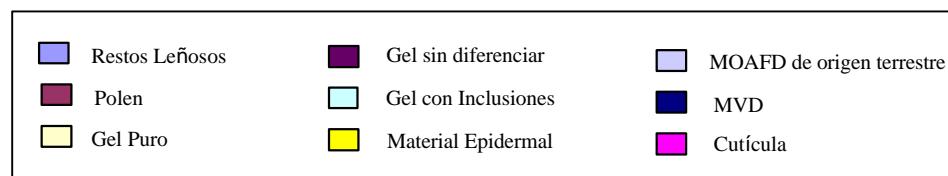
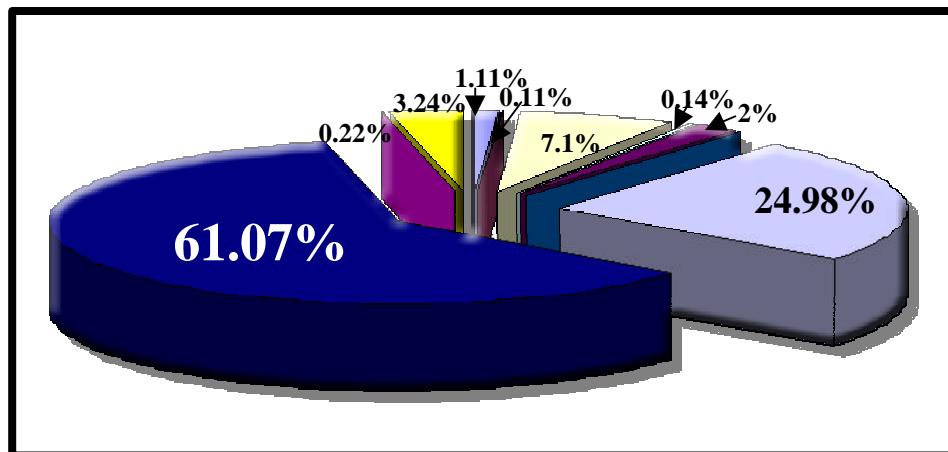


Figura 8.3. Porcentajes promedios de la Palinofacies IV de la Formación Capaya.

#### *8.1.1.4. Palinofacies III: Palinofacies de materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen terrestre*

Esta palinofacies cubre un intervalo de 230 pies de espesor y va desde 13870' hasta 14100' de profundidad.

##### *- Composición palinomacral y concentración:*

La concentración en esta palinofacies es relativamente alta y posee un comportamiento variable, ya que es constante desde la base de la secuencia hasta la parte media, alcanzando su valor máximo de 0.12 ml (pdgr) entre las profundidades 13970' y 13990', luego disminuye hacia el tope (*Figura 7.21*).

Esta palinofacies está dominada por materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen terrestre, ya que el porcentaje promedio es de 77.6%. Por otra parte, también se encuentran constituidas por gel húmico puro en un 9.8%, material vegetal degradado en un 8.6% y trazas de material epidermal (1.66%), gel húmico sin diferenciar (0.87%), carbón (0.5%), granos de polen (0.37%), restos leñosos (0.34%) y material cuticular (0.18%) (*Figura 8.4*).

La base de esta palinofacies se encuentra caracterizada principalmente por materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen terrestre, pero se distinguen trazas de material epidermal, carbón y gel húmico sin diferenciar.

El tope de la secuencia se diferencia de la base porque disminuye levemente la proporción de materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen terrestre y se aprecian proporciones considerables de gel húmico puro. Por otra parte, se observan trazas de material epidermal, fragmentos de carbón, material cuticular y adicionalmente, restos leñosos y de granos de polen. Justo en el tope de la secuencia,

es decir en el intervalo 13870' y 13890', el componente dominante es el material vegetal degradado de color marrón medio.

- *Características texturales:*

En esta palinofacies el tamaño de las partículas varía entre  $7.6\phi$  y  $9.2\phi$  (limos muy finos a arcillas). Los limos muy finos se observan de manera muy incipiente al inicio de la base de la secuencia y el resto de la misma se encuentra dominada por partículas tamaño arcilla.

El escogimiento oscila entre moderado a bien escogido (0.3 y 0.8), aunque se distinguen ligeras fluctuaciones de valores de partículas mal escogidas hacia la parte central de la secuencia.

La elongación, por su parte varía entre equidimensional y tabloide (1.3 – 2). La base de la secuencia se caracteriza por presentar partículas equidimensionales y las dominantes son cuasidimensionales, mientras que las tabloides se encuentran de manera sectorizada hacia la parte central y tope.

En general, las partículas son regulares (1), no obstante hacia la parte central se observa una fluctuación hacia los valores irregulares (1.2).

- *Fluorescencia de las partículas:*

Esta es la palinofacies que posee menos partículas fluorescentes (0.1% - 1.7%) y esta leve fluorescencia se debe a la presencia de material cuticular y a los bajos porcentajes de granos de polen.

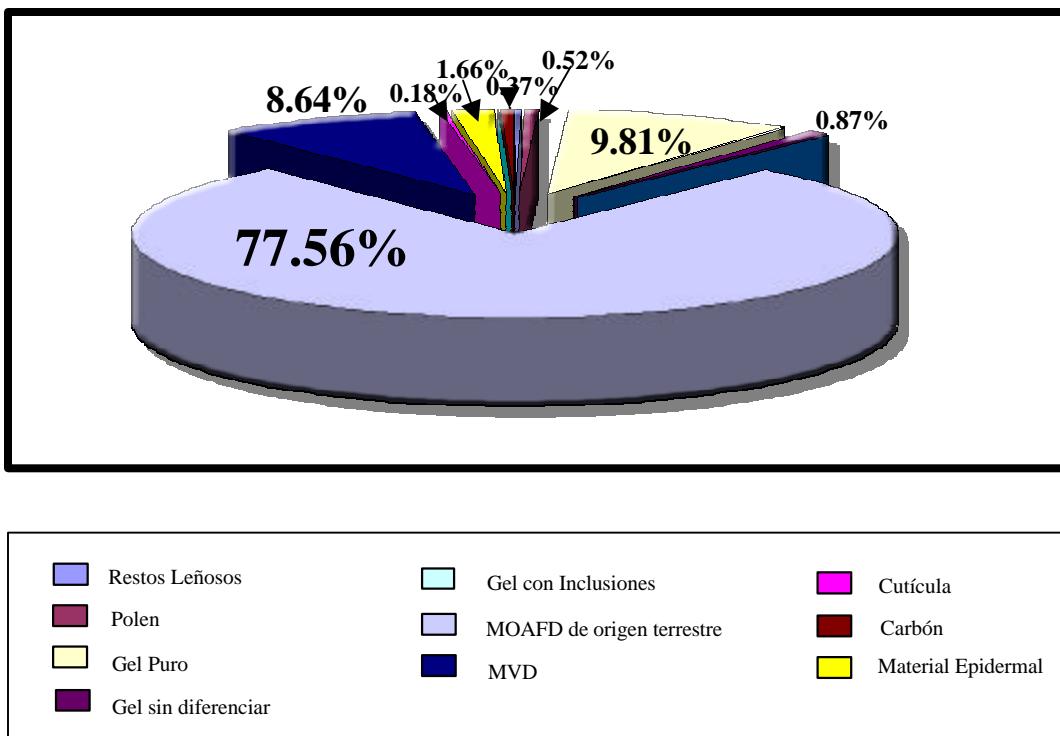


Figura 8.4. Porcentajes promedios de la Palinofacies III de la Formación Capaya.

### 8.1.1.5. *Palinofacies II: Palinofacies de material vegetal degradado y material algal no estructurado*

Esta secuencia posee un espesor de 560 pies, comprendida entre 13290' y 13850' de profundidad.

#### - *Composición palinomaceral y concentración:*

La concentración en esta secuencia es relativamente alta y presenta gran variabilidad, pues se incrementa hacia el tope, alcanzando su valor máximo entre 13350' y 13370' de profundidad (*Figura 7.21*).

En promedio, esta secuencia se encuentra dominada por material vegetal degradado en un 45.33%, aunque se aprecian 21.77% de material algal no estructurado. Asimismo, se observan cantidades inferiores de gel húmico puro (12.66%), gel húmico sin diferenciar (6.33%), materia orgánica amorfa de origen terrestre (5.53%), material epidermal (4.24%), cutícula (2.66%), restos leñosos (0.19%) y fragmentos de carbón (0.08%) (*Figura 8.5*).

La base de esta secuencia está constituida principalmente por material vegetal degradado de color marrón oscuro a negro y opacos, en ocasiones son de color marrón claro a miel y posee cráteres que se traducen en la presencia de minerales inclusionados antes del tratamiento con los ácidos; con cantidades no menos importantes de gel húmico puro y trazas de material epidermal, material cuticular, restos leñosos entre los cuales se observan fragmentos de angiosperma en trazas y de granos de polen. Estos últimos, se pueden observar en la base de la secuencia.

El tope de esta secuencia tiene un comportamiento muy distinto al observado en la base debido a que el componente dominante es el material algal no estructurado,

de color marrón medio a oscuro bajo luz blanca transmitida, mientras que bajo luz fluorescente incidente es de color naranja oscuro; con cantidades subordinadas de gel húmico sin diferenciar (posiblemente puro) material cuticular y epidermal, gel húmico puro y escasas ocurrencias de granos de polen y fragmentos de carbón.

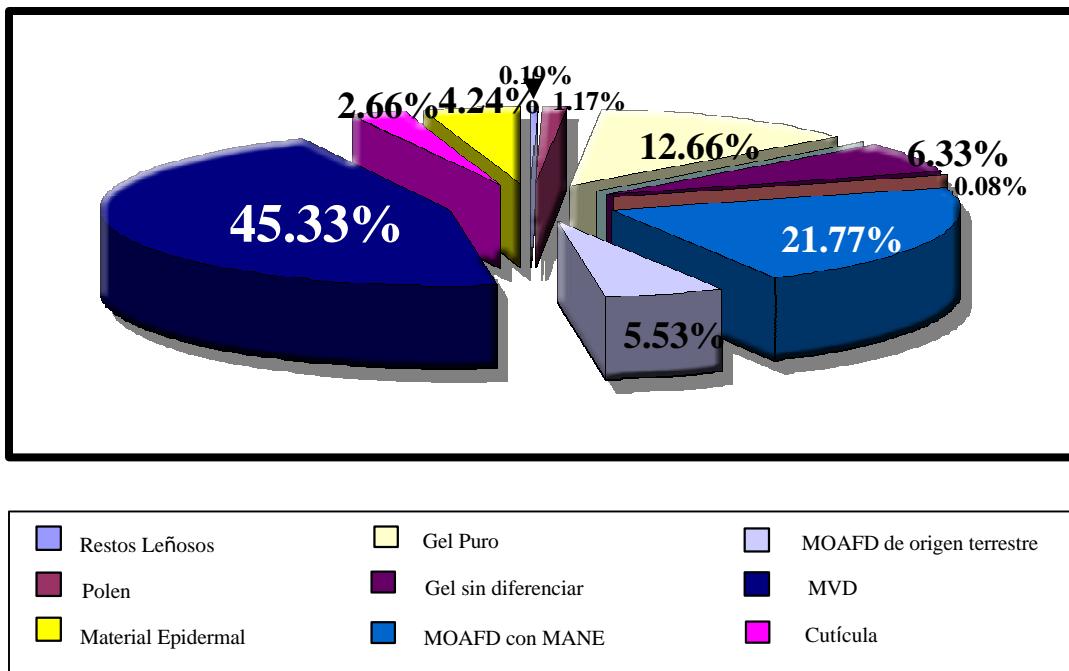
- *Características texturales:*

El tamaño de las partículas oscila entre  $8.5\phi$  y  $9\phi$  (arcilla). Esta palinofacies es la única en la que todas las partículas poseen el mismo tamaño. El escogimiento es moderado a bueno (0.5 – 0.8), la forma de las partículas en general son cuasidimensionales (1.4 – 2.1), con excepción de algunas equidimensionales y todas son regulares (1 – 1.1).

- *Fluorescencia:*

La base de la secuencia se caracteriza por presentar muy bajo porcentaje de partículas fluorescentes (1.16% - 7.2%) y ésta se debe a la presencia de material cuticular y de granos de polen.

El tope del intervalo posee altos porcentajes de material fluorescente (70.8% - 81.5%) debido a la presencia de materia orgánica amorfa finamente dispersa proveniente de material algal no estructurado, cuyas tonalidades bajo luz fluorescente incidente azul son variedades de naranjas medios a oscuros, lo cual sugiere que dichas partículas se encuentren en estado de oxidación (Lorente, 2001; com. pers.).



*Figura 8.5. Porcentajes promedios de la Palinofacies II de la Formación Capaya*

#### *8.1.1.6. Palinofacies I: Palinofacies de material algal no estructurado y materia orgánica amorfa finamente dispersa con material algal no estructurado*

Esta palinofacies es la que más difiere en cuanto a concentración y composición se refiere con relación al resto de las palinofacies descritas. Posee un espesor de 390 pies, comprendidos entre 12800' y 13190' de profundidad.

##### *- Composición palinomaceral y concentración:*

La concentración de materia orgánica en esta secuencia es baja y presenta variaciones, ya que en la base los valores son muy cercanos a cero, sin embargo hacia el tope se aprecia un ligero aumento (*Figura 7.21*).

La composición de esta palinofacies se restringe en dos componentes en particular, como lo son la materia orgánica amorfa finamente dispersa proveniente del material algal no estructurado, cuyo promedio porcentual es de 65.87% y material algal no estructurado, con un promedio porcentual de 32.23%. El resto de los componentes que se observan en este intervalo, tales como gel húmico sin diferenciar (0.8%), cutícula (0.7%), resina (0.1%), gel húmico puro (0.1%) y hongos (0.01%); se presentan en trazas (*Figura 8.6*).

La base y tope se caracterizan por estar compuestas en su totalidad por materia orgánica amorfa finamente dispersa con material algal no estructurado, mientras que la parte media de la secuencia está dominada por el material algal no estructurado con algunas trazas de cutícula.

La materia orgánica amorfa finamente dispersa es de color marrón medio a oscuro bajo luz blanca transmitida, mientras que bajo luz fluorescente incidente es de color naranja oscuro, por lo que se presume esté oxidada.

El material algal no estructurado es de color marrón oscuro bajo luz blanca transmitida y bajo luz incidente fluorescente azul son de color blanco a amarillo muy claro. Las partículas en la mayoría de los casos son redondeadas.

- *Características texturales:*

El tamaño promedio de las partículas se encuentra comprendido entre  $7.2\phi$  y  $9\phi$  (limos muy finos a arcillas). La base de esta secuencia presenta partículas tamaño arcilla y el tope de la misma se caracteriza por la presencia de tamaños limo muy fino.

Los valores del escogimiento oscilan entre 0.5 y 1, lo cual indica un escogimiento moderado a bueno. La elongación y la irregularidad relativa se mantienen en los valores que indican partículas cuasidimensionales y regulares, respectivamente.

- *Fluorescencia de las partículas:*

Esta es la palinofacies que posee mayor porcentaje de partículas fluorescentes (96% - 100%) para la Formación Capaya, puesto que la mayor parte de las muestras evaluadas aquí se encuentran constituidas principalmente por material algal no estructurado fuertemente hidrogenados, cuyos colores bajo luz incidente fluorescente azul son amarillos muy claros a blanco.

Es importante destacar que dicho material algal observado en las dos formaciones estudiadas, bien sea oxidado o no; no ha sido reportado en la literatura, por ende su origen es desconocido, no obstante en el punto 8.3, se explica cuál es la posible procedencia.

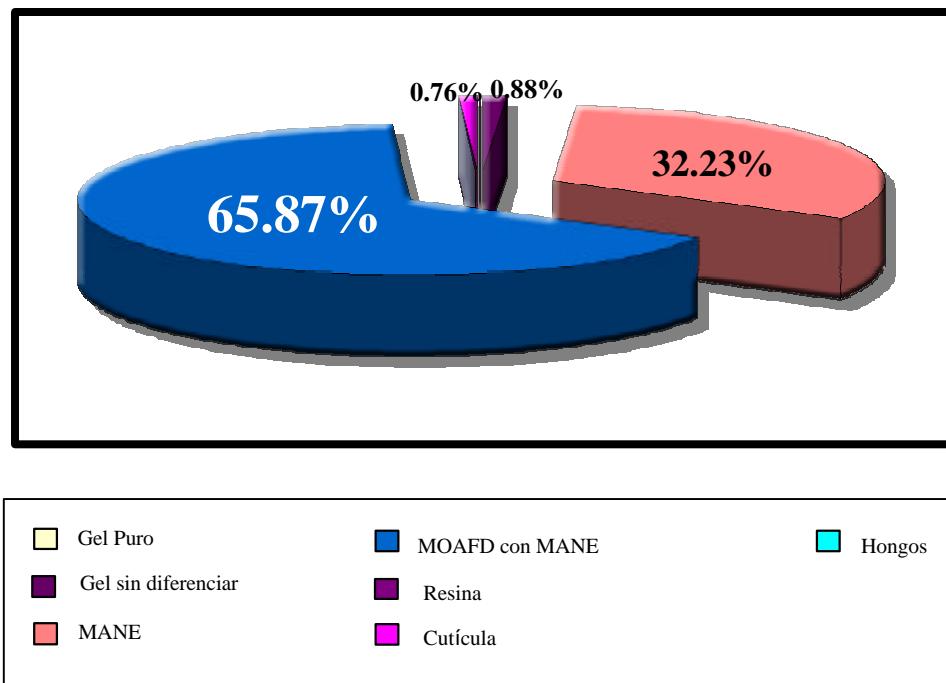


Figura 8.6. Porcentajes promedios de la Palinofacies I de la Formación Capaya

### **8.1.2. *Palinofacies de la Formación Carapita:***

Se definieron dos palinofacies para la Formación Carapita, las cuales se describen a continuación de base a tope, al igual que en la Formación Capaya, considerando la composición palinomaceral, la concentración, las características texturales y los niveles de fluorescencia de la materia orgánica.

#### **8.1.2.1. *Palinofacies II: Palinofacies de material algal no estructurado y material vegetal degradado***

Esta palinofacies se encuentra en el intervalo comprendido entre 12400' y 12800', es decir posee un total de 400 pies de espesor.

##### **- *Composición palinomaceral y concentración***

La concentración promedio del contenido de materia orgánica para este intervalo es de 0.019 ml (pdgr). Esta concentración es baja, lo cual se puede observar en el perfil de distribución (*Figura 7.21*). Hacia la base del intervalo se observa un decrecimiento de la concentración, mientras que en la parte media se aprecian pulsaciones de aumento y disminución de la misma, hasta llegar al tope, donde la concentración es casi nula.

Esta secuencia se encuentra caracterizada por la presencia de materia orgánica amorfa finamente dispersa con material algal no estructurado, siendo este el componente mayoritario (45.19%), seguidamente se observa material vegetal degradado en un 29.001%, material cuticular en un 8.735% y gel húmico puro en un 7.75%. También se aprecian cantidades subordinadas de gel húmico con inclusiones (3.49%), material epidermal (1.93%), restos leñosos (1.47%), gel húmico sin diferenciar (1.22%), carbón (0.71%), polen (0.34%), resina (0.125%) y hongos (0.024%) (*Figura 8.7*).

La base de la secuencia está constituida por la presencia mayoritaria de material vegetal degradado cuyo color varía de marrón claro a marrón oscuro. En ocasiones se aprecia material vegetal degradado de color ocre dispuesto de manera aglomerada. Por otra parte, se observan fragmentos de carbón y trazas de pirita framboidal.

Seguidamente se observa el material algal no estructurado de color marrón medio a oscuro, con bordes color miel translúcida; bajo luz blanca transmitida, mientras que bajo luz fluorescente incidente azul es de color naranja oscuro. Este tipo de materia orgánica posiblemente se presenta en estado de oxidación. También se aprecian trazas de hongos. Por otra parte, se aprecian fragmentos epidermales con restos de cutícula y pirita cúbica embebida.

El tope de la secuencia corresponde en su totalidad a materia orgánica amorfa finamente dispersa con gránulos de color marrón oscuro con bordes de color miel translúcidos, en ocasiones degrada hacia tonalidades amarillas. También se observan proporciones relativamente abundantes de gel húmico puro y proporciones similares de gel húmico con inclusiones y de material cuticular.

A lo largo de toda la secuencia se distingue material cuticular cuyo color varía entre amarillo claro a amarillo oscuro y color miel. En la parte media de este intervalo se concentran las mayores cantidades de este elemento, sin embargo disminuye en cantidades similares tanto en la base como en el tope del intervalo.

- *Características texturales*

Los valores del tamaño varían entre  $7.9\phi$  y  $8.8\phi$  (limos muy finos y arcillas). Las partículas limos muy finos se encuentran se observan de manera localizada en el

tope de la secuencia, el resto de la misma está dominada por las partículas tamaño arcilla.

El escogimiento se encuentra entre los valores 0.5 y 0.8, lo que señala partículas moderadamente a bien escogidas. La elongación oscila entre partículas equidimensionales a cuasidimensionales (1.4 – 1.9), siendo ésta última la más predominante. Por su parte, los valores de la irregularidad relativa indican que todas las partículas son regulares.

- *Fluorescencia de las partículas*

En esta palinofacies el nivel de fluorescencia es elevado (5% - 99.81%), debido a que el material algal no estructurado presenta un alto índice de hidrogenación, lo cual es distinguible por los tonos naranjas que se observan bajo luz incidente fluorescente azul (*Anexo 5*).

**8.1.2.2. Palinofacies I: Palinofacie de material vegetal degradado y gel húmico puro**

Esta palinofacies se encuentra en el intervalo comprendido entre 11485' y 12350', es decir posee un total de 865 pies de espesor.

- *Composición palinomaceral y concentración:*

La concentración de materia orgánica palinológica para este nivel es de 0.016 ml (pdgr) en promedio, es decir, mucho más bajo que en la palinofacies anterior. El perfil de distribución (*Figura 7.21*) muestra un decrecimiento paulatino de la concentración hacia el tope de la secuencia, alcanzando un valor máximo de 0.059 ml (pdgr) en la base del intervalo y un valor mínimo de 0.004 ml (pdgr) hacia el tope.

El componente principal en promedio que domina esta secuencia corresponde a material vegetal degradado, el cual se observa en un 35.15%, luego se aprecia gel húmico puro en un 16.6% y cantidades similares de material epidermal (13.7%) y materia orgánica amorfa finamente dispersa proveniente de material algal (10.7%). También se observan cantidades menores de cutícula (8.49%), restos leñosos (6.15%) y gel húmico con inclusiones (4.2%). Por otra parte, se aprecian trazas de gel húmico sin diferenciar (2.9%), granos de polen (0.78%), resina (0.5%), hongos (0.47%), carbón (0.34%) y material algal no estructurado (0.11%) (*Figura 8.8*).

La base de la secuencia se encuentra dominada por proporciones similares de material vegetal degradado y gel húmico puro de color miel a ámbar, cuyo tamaño aumenta en este nivel, además posee baja concentración de restos leñosos. Entre los restos leñosos se observan de manera muy escasa fragmentos de gymnospermas, cuyos bordes se caracterizan por presentar arreglo uniseriado en los tejidos. También se observan trazas de estomas y pirita cúbica.

Entre los 12190' y 12300' de profundidad se observan cantidades importantes de materia orgánica amorfa finamente dispersa con material algal no estructurado y en ocasiones presenta inclusiones de esporomorfos. Al igual que en el caso de la palinofacies anterior posiblemente pueda presentarse en estado de oxidación. Bajo luz blanca transmitida es de color marrón medio a marrón oscuro, mientras que bajo luz incidente fluorescente azul es de color naranja oscuro.

En la parte media de la secuencia existe un predominio de material vegetal degradado, el cual posee pequeños gránulos marrones de material algal oxidado e inclusiones de pirita cúbica, también se aprecian trazas de granos de polen tricolpados. Se observan cantidades importantes de cutícula color ámbar y marrón oscuro, la cual en ocasiones presenta marcas de tejidos alargados y material epidermal de color miel a naranja oscuro, entre los 12040' y 12090' de profundidad.

Por otra parte, entre los 11760' y 11810' el componente dominante es el gel húmico puro. Seguidamente continúa apreciándose material vegetal degradado como elemento principal, sin embargo se observan cantidades no menores importantes de gel húmico sin diferenciar y material epidermal.

Aumentando hacia el tope de la secuencia se observan partículas de gel húmico puro que eventualmente presentan inclusiones de material cuticular color café, translúcido a transparente, con bordes de color miel y bien definidos que generalmente son rectos. El material epidermal que se observa se encuentra semidegradado, es decir, se aprecian sectores con reliquias del tejido de la partícula. Por su parte, el material vegetal degradado tiende a ser amorfo y se dispone de manera aglomerada, el color varía entre amarillo, miel y marrón oscuro, se observan trazas de granos de polen tricolporados retrabajados.

El tope de la secuencia carece de material vegetal degradado y el componente dominante es el material epidermal de color café en el núcleo con bordes corroídos y de tonalidades amarillas. También se aprecian proporciones relativamente altas de gel húmico puro color café y sus bordes degradan hacia colores ámbar, cantidades subordinadas de gel húmico con inclusiones de esporomorfos, cutícula, restos leñosos y trazas de hongos y polen. El material leñoso es de color marrón oscuro, opaco y presenta bordes degradados de color marrón. Entre los granos de polen se pueden distinguir algunos monocolpados y tricolporados retrabajados (Di Giacomo, 2001 en com. pers.) no indicadores. Se observan trazas de material algal no estructurado con pequeñas inclusiones de pirita.

- *Características texturales*

En esta palinofacies el tamaño que predomina es el arcilla, aunque se observan ligeras fluctuaciones hacia las partículas tamaño limos muy finos ( $7.4\phi - 8.8\phi$ ).

El escogimiento varía de 0.5 a 0.9 (moderado a bueno), no obstante la desviación estándar y la kurtosis muestran que el escogimiento fluctúa hacia los valores que señalan mal escogimiento.

Los valores de la elongación y de la irregularidad relativa presentan un comportamiento muy distinto al observado en todas las palinofacies del intervalo estudiado (incluyendo a la Formación Capaya), tal como se expuso en el *Capítulo 7*. La elongación por su parte, hacia la base es cuasidimensional y hacia el tope las partículas son tabloides (1.6 – 2.1); mientras que la irregularidad relativa hacia la base es regular y hacia el tope muestra tendencias muy claras hacia los valores que indican irregularidad de las partículas (1 – 1.5).

- *Fluorescencia de las partículas*

El material fluorescente de esta palinofacies se concentra en gran parte hacia la base de la secuencia y se debe al material algal no estructurado, cuyas características son iguales a las descritas en la palinofacies anterior (11.8% - 86.2%). No obstante, a lo largo de la secuencia se observan cutículas y granos de polen, los cuales también son fluorescentes. Estos dos últimos son los que dominan hacia el tope del intervalo, observándose de esta manera una disminución de la misma (6.4% – 28.9%).

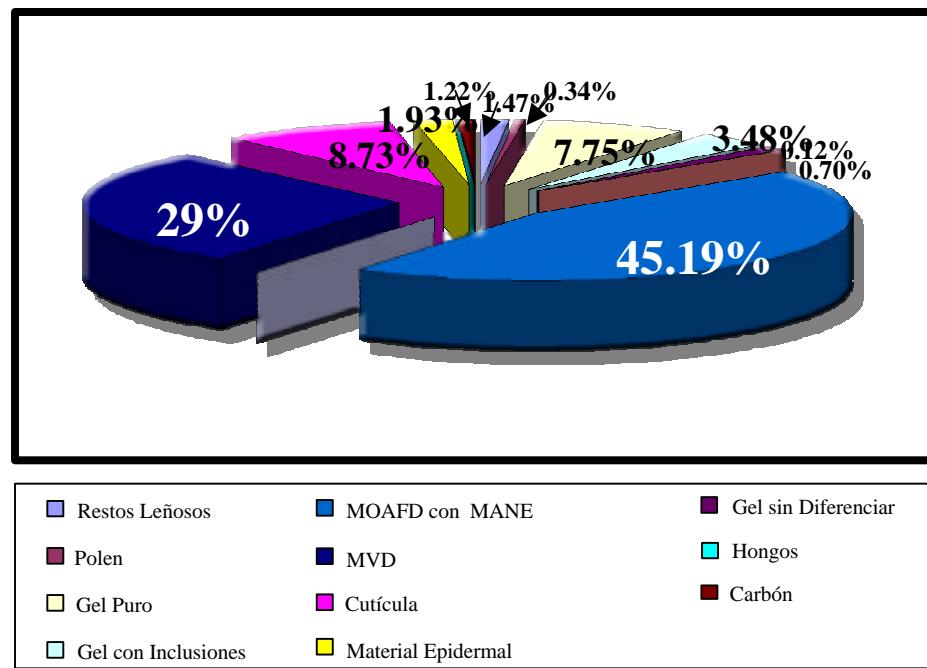


Figura 8.7. Porcentajes Promedios de la Palinofacies II de la Formación Carapita

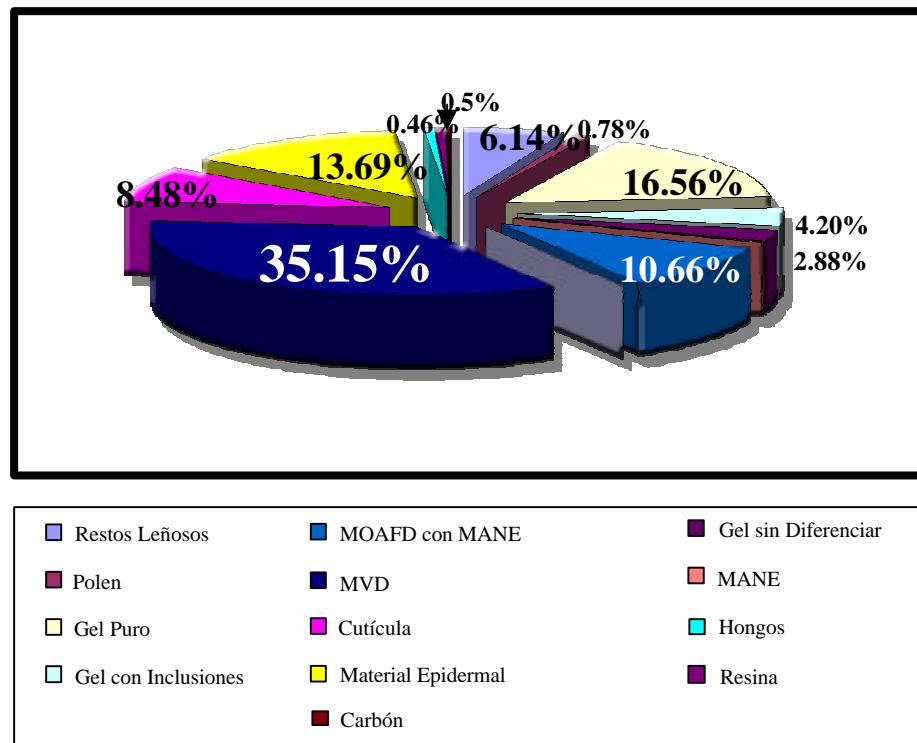


Figura 8.8. Porcentajes Promedios de la Palinofacies I de la Formación Carapita

## 8.2. PALEOAMBIENTES:

A partir del análisis y la descripción de las asociaciones de materia orgánica palinológica o *Palinofacies* establecidas por los análisis de agrupamiento (dendrogramas), los perfiles de distribución y el resto de los análisis estadísticos, se procede a definir los modelos paleoambientales apoyados en los ambientes establecidos previamente por Giffuni y Moreno (2001) y los subambientes por Kummerow (2001).

Es importante destacar, que tanto la interpretación de las palinofacies y de la materia orgánica fueron realizadas de modo independiente, no obstante al correlacionar ésta información con los estudios ambientales previos, en específico los realizados por Giffuni y Moreno (2001), se corrobora la interpretación.

En el caso de los subambientes establecidos por Kummerow (2001), resulta difícil establecer una correlación directa con la información suministrada por los palinomacerales, debido a que las muestras fueron tomadas en litologías y profundidades diferentes (*Anexo 1*), sin embargo cada *Palinofacies* se corresponde uno o dos subambientes descrito por dicho autor, los cuales eventualmente se repiten, pero en posiciones distintas dentro de la plataforma.

### 8.2.1. *Paleoambientes de la Formación Capaya:*

El aumento de la degradación de la materia orgánica terrestre encontrados en las lutitas de la Formación Capaya probablemente es debido a una lenta tasa de sedimentación. Como consecuencia, los materiales vegetales depositados en una plataforma transgresiva son expuestos a la biodegradación por un periodo de tiempo mayor. En otras palabras, la biodegradación sugiere que (1) la materia orgánica terrestre depositada durante la transgresión sea retrabajada, consumiendo más tiempo en la interfase agua/sedimento, (2) y que ocurra una mayor influencia de la

degradación durante el transporte (Pasley *et al.*, 1990). Asimismo, la presencia de pirita framoidal y cúbica mezclada con materiales terrestres es una señal de que la degradación de la materia orgánica terrestre se produjo por vías bacteriales (Lorente, 1986).

Lo anteriormente expuesto explica el alto porcentaje de material vegetal degradado en los sedimentos transgresivos de la Formación Capaya y esto coincide con los estudios realizados en la Cuenca de Nuevo México por Pasley *et al.*, (1990).

Basado en el alto porcentaje de materia orgánica de origen terrestre y en su condición de alta degradación, los ambientes de deposición para esta palinofacies se definen desde nerítico interno hasta nerítico externo, lo cual permite corroborar los ambientes establecidos previamente por Giffuni y Moreno (2001) para esta sección a partir de los estudios de foraminíferos. Además, cabe destacar que los componentes orgánicos son más específicos en orden de abundancia, es decir, en cada Palinofacies establecida generalmente dominan desde uno hasta tres componentes.

#### 8.2.1.1. *Paleoambientes asociados a la Palinofacies VI:*

La *Palinofacies VI* se encuentra asociada con ambientes que van de nerítico interno a medio, donde se desarrollan barras de desembocadura y barras distales.

Es importante destacar que el límite superior de ésta Palinofacies coincide con el límite superior del ambiente nerítico medio, establecido para esta profundidad (*Anexo 2, 4 y 5*).

Hacia el tope, entre las profundidades de 15200' y 15350', donde se encuentran ambos ambientes (nerítico interno y nerítico medio); disminuye el porcentaje de material vegetal degradado y epidermal, mientras que el material cuticular es nulo, y existe una ocurrencia de trazas de granos de polen. En contraste,

hacia la base, donde el ambiente es únicamente nerítico interno, se encuentra fuertemente dominado por material vegetal degradado y además se caracteriza por la presencia de restos leñosos, material cuticular, un ligero aumento de material epidermal y por la ausencia de granos de polen y la disminución de los geles húmicos puros.

Según Watherhouse (1995) y Boulter y Riddick (1986) el alto porcentaje de materia orgánica de origen terrestre y la presencia de cutícula, son indicadores de proximidad a las fuentes de las partículas y de altos niveles de energía en el medio.

En el *Capítulo 7* se describió que a nivel textural, las partículas también guardan un comportamiento específico en la elongación y la irregularidad relativa, entre el ambiente nerítico (base de la *Palinofacies*) y la coexistencia de los ambientes nerítico interno y nerítico medio.

#### 8.2.1.2. *Paleoambientes asociados a la Palinofacies V:*

La *Palinofacies V* se encuentra asociada con ambientes que van de nerítico interno a medio, de este modo la *Palinofacies Vc* se desarrolla en un ambiente nerítico interno dominado por barras de desembocadura, la *Palinofacies Vb* también se desarrolla en un ambiente nerítico interno, pero se encuentra dominado por barras de desembocadura y canales distributarios y por último, la *Palinofacies Va* al igual que en la primera palinofacies se desarrollan barras de desembocadura, pero el ambiente profundiza hasta nerítico medio, basado en los estudios de Giffuni y Moreno (2001) y Kummerow (2001) (*Anexo 2*).

La diferencia que existe entre la *Palinofacies Vc* y *Va*, radica en que la primera, según Giffuni y Moreno (2001) se desarrolla en un ambiente nerítico interno, mientras que la segunda tiene lugar en la mezcla del ambiente nerítico interno y nerítico medio (Giffuni y Moreno, 2001); y al igual que en la *Palinofacies*

VI, cuando ocurre la coexistencia de dos ambientes las características texturales en cuanto a elongación e irregularidad relativa se refiere, confirman este hecho (*Capítulo 7*).

Por su parte, la Palinofacies Vb posiblemente se diferencia de las otras dos, por la influencia de los canales distributarios, además de las barras de desembocadura. Las características detalladas de cada *Palinofacies* que se corresponden con estos ambientes se encuentran en el punto 8.1, sin embargo es importante señalar que en comparación con la *Palinofacies VI*, disminuye el contenido de material vegetal degradado y aumentan los porcentajes de gel húmico puro.

Los restos leñosos y la cutícula, así como también el predominio general de materia orgánica terrestre, continúa indicando para esta *Palinofacies* proximidad a la fuente de aporte de partículas orgánicas y altos niveles de energía de transporte, de acuerdo con los estudios de Watherhouse (1995).

El contenido de restos leñosos contenidos en las *Palinofacies Vc* y *Va*, sugieren que éstas partículas fueron depositadas en ambientes de frentes deltáicos proximales o marino-costeros de acuerdo a los estudios de Batten (1996).

#### 8.2.1.3. *Paleoambientes asociados a la Palinofacies IV:*

La *Palinofacies IV* está asociada a un ambiente nerítico interno donde se desarrollan barras de desembocadura. Tal como se expuso en el punto 8.1, las partículas que dominan esta secuencia son el material vegetal degradado hacia el tope y la materia orgánica amorfa finamente dispersa hacia la base.

La asociación de ambos componentes indican ambientes pobres en oxígeno, asociados quizás a condiciones fluvio-marinas (Batten, 1996; Gorin y Feist, 1988).

Por otra parte, el decrecimiento de material cuticular indica una lejanía de los canales distributarios del delta (Muller, 1959; Gastaldo y Huc, 1992).

#### 8.2.1.4. *Paleoambientes asociados a la Palinofacies III:*

Al igual que en la *Palinofacies IV*, se encuentra asociada a un ambiente nerítico interno donde se desarrollan barras de desembocadura. Tal como se expuso en el punto 8.1, las partículas que dominan esta secuencia son el material vegetal degradado y la materia orgánica amorfa finamente dispersa, pero en contraste con la *Palinofacies* anterior el primer componente domina hacia el tope de la secuencia y el segundo hacia la base. Por ende, las interpretaciones se asemejan a las realizadas en el caso anterior, no obstante en esta secuencia se observa la presencia de granos de polen, restos leñosos y fragmentos de carbón indicando proximidad a la fuente de aporte.

La poca cantidad de granos de polen en la *Palinofacies IV* y en la base de la *Palinofacies III*, así como el aumento paulatino de materia orgánica amorfa finamente dispersa, según Watherhouse (1995), sugieren una variación en la energía de alta a moderada, pero con tendencias a descender. Sin embargo, hacia el tope de esta *Palinofacies* disminuye ligeramente el contenido de materia orgánica amorfa finamente dispersa y aumenta el porcentaje de trazas de granos de polen, lo que sugiere un posible aumento en el nivel de energía.

#### 8.2.1.5. *Paleoambientes asociados a la Palinofacies II:*

Esta *Palinofacies* se asocia a un ambiente nerítico interno a nerítico externo, donde se desarrollan canales distributarios, barras de desembocadura y barras distales (*Anexo 2*).

En los ambientes nerítico interno a nerítico medio localizados hacia la base de la secuencia, los componentes orgánicos presentan un comportamiento específico con respecto a las partículas orgánicas depositadas hacia el tope, donde el ambiente profundiza hasta llegar a nerítico externo.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, en el primer caso, la secuencia se encuentra dominada por material vegetal degradado con cantidades importantes de gel húmico puro y cantidades subordinadas de material epidermal, el porcentaje de los granos de polen aumenta, aunque aún se observa en trazas y los restos leñosos y material cuticular son muy escasos. Es importante destacar que el comportamiento de las partículas en la base de esta secuencia es similar al observado en el tope de la *Palinofacies* anterior con la diferencia de que aquí no se aprecia como componente dominante a la materia orgánica amorfa finamente dispersa, sino al material vegetal degradado. A diferencia del resto de las *Palinofacies* analizadas, en toda esta secuencia disminuye su contenido de material vegetal degradado.

El aumento de palinomorfos terrestres sugiere el acercamiento a ambientes más distales, disminución de la actividad de las corrientes marinas (corrientes marinas más lentas) y baja oxigenación (Watherhouse, 1995).

En el segundo caso se observa una ausencia total del material vegetal degradado y disminución en el contenido de gel húmico puro (aunque se observan cantidades importantes de gel húmico sin diferenciar que muy bien podrían ser geles puros), disminuyen las trazas de granos de polen, aumenta el contenido de material cuticular y epidermal, sin embargo el contenido es bajo, mientras que los restos leñosos son muy escasos. El componente dominante es la materia orgánica amorfa finamente dispersa con material algal no estructurado.

En consecuencia, la asociación de materia orgánica acuática no estructurada con escasos esporomorfos, restos epidermales y cuticulares indican una mayor

profundización de los ambientes, específicamente nerítico medio hasta nerítico externo, aunque también podría observarse en un ambiente batial superior (Lorente, 1986).

En ambos casos los parámetros texturales indican un comportamiento particular, específicamente en la elongación y la irregularidad relativa, tal como se expuso en el *Capítulo 7*. Es posible que dicho comportamiento indique la influencia de varios ambientes a una misma profundidad (*Anexo 2 y 4*).

#### *8.2.1.6. Paleoambientes asociados a la Palinofacies I:*

Esta *Palinofacies* se encuentra asociada a ambientes profundos, más específicamente nerítico medio a externo con desarrollo de barras distales (*Anexo 2 y 4*).

En el punto *8.1* se expuso que esta *Palinofacies* está conformada en su totalidad por material algal no estructurado y materia orgánica amorfa finamente dispersa mezclada con dicho material algal, exceptuando unas trazas de material cuticular. Al igual que en el caso anterior, estos componentes sugieren el desarrollo de ambientes neríticos medios a externos, de acuerdo a Lorente (1986) y confirma los estudios realizados por Giffuni y Moreno (2001) y Kummerow (2001) para esta sección.

Por otra parte, la materia orgánica amorfa también indica la presencia de ambientes pobres en oxígeno (Gorin y Feist, 1988).

#### *8.2.2. Paleoambientes de la Formación Carapita:*

Al igual que en la Formación Capaya, en ésta Formación se observan cantidades importantes de material vegetal degradado, pero con una disminución

notoria de su concentración (*Figura 7.20*). También se aprecian trazas de pirita cúbica y framboidal asociadas a dicho material. Ambos aspectos indican que la Formación Carapita se depositó también en un ambiente nerítico, pero de carácter más profundo que en la Formación Capaya. Por otra parte, el alto contenido de materia orgánica amorfa finamente dispersa con material algal no estructurado, confirma que los ambientes son aún más distales. Lorente (1986) indica que la materia acuática no estructurada es propia (entre otros) del ambiente batial superior.

Lo anteriormente expuesto confirma los ambientes propuestos por Giffuni y Moreno (2001) y Kummerow (2001), quienes señalan que la Formación Carapita se depositó en ambientes nerítico externo a batial superior con el desarrollo de barras distales y cañones submarinos.

Es importante destacar, que en comparación con la Formación Capaya, en esta Formación la deposición de las partículas orgánicas no está dominada por la presencia de dos o tres componentes en una misma *Palinofacies*, pues se observa una mezcla de la mayor parte de los componentes identificados en este estudio, la cual se acentúa más hacia el tope de la secuencia, en la *Palinofacies I* (*Figura 7.20*).

#### 8.2.2.1. Paleoambientes asociados a la *Palinofacies II*:

Esta *Palinofacies* se encuentra asociada a un ambiente nerítico externo con desarrollo de barras distales (*Anexo 2, 4 y Figura 7.20*). Como se explicó al inicio, estos ambientes se caracterizan por la presencia de una mezcla de componentes, en este caso dicha mezcla es moderada, puesto que predomina la materia orgánica amorfa finamente dispersa con material algal no estructurado, el material vegetal degradado, las cutículas y los geles húmicos puros.

### 8.2.2.2. Paleoambientes asociados a la Palinofacies I:

La *Palinofacies I* se encuentra asociada a ambientes nerítico externo a batial superior, siendo éste último el dominante en la secuencia. En esta *Palinofacies* la materia orgánica palinológica se encuentra mezclada y de los 14 componentes que se observaron durante el análisis de los 4000' evaluados, lo único que no se observa en esta secuencia es la materia orgánica amorfa finamente dispersa (*Figura 7.20*).

En el punto 8.1 se indicó que los valores de la elongación y la irregularidad relativa son cuasidimensionales hacia la base y tabloides hacia el tope, además son regulares hacia la base con tendencias fuertes hacia los valores irregulares en el tope, respectivamente. Watherhouse (1995) señala que la existencia de restos leñosos tabloides y de los palinomorfos terrestres, indican ambientes distales con decrecimiento en la energía marina y baja oxigenación. Por otra parte, Lorente (1986) indica que los restos leñosos elongados, son característicos de ambientes de delta inferior o prodelta.

### **8.3.- CONSIDERACIONES ESTRATIGRÁFICAS A PARTIR DE LA MATERIA ORGÁNICA PALINOLÓGICA:**

En el *Capítulo 5* se planteó de manera resumida la estratigrafía del área de Tácata, la cual se caracteriza por la evolución de dos ciclos sedimentarios de edad cretácica y terciaria separados por la discordancia pre-oligocena (De Daal *et al.*, 2000).

La secuencia terciaria, la cual es objeto de este estudio, se depositó en un ciclo mayor transgresivo – regresivo, que va desde el Oligoceno Tardío hasta el Mioceno Tardío. Esto conformó un complejo de depósitos que para el ciclo transgresivo varían desde fluvio deltaicos en las formaciones Naricual, Merecure y Capaya; hasta marino profundo en la Formación Carapita. El ciclo regresivo, depositado posteriormente se encuentra representado por subambientes litorales, deltaicos y continentales de las formaciones Uchirito y Quiamare (De Daal *et al.*, 2000).

Aún cuando la realización de ciertas consideraciones estratigráficas no es objetivo del presente Trabajo Especial de Grado, se realiza este punto “Consideraciones Estratigráficas a partir de la materia orgánica palinológica”, ya que los resultados obtenidos coinciden con información publicada, además de esta manera se destaca el alcance y/o aporte que posee el estudio de la materia orgánica palinológica en el ámbito estratigráfico.

En la *Tabla 8.1* se destacan las características que posee la materia orgánica palinológica tanto de las lutitas transgresivas, como de las lutitas regresivas de acuerdo al estudio de Pasley *et al.* (1990), destacando la interpretación del contenido de la materia orgánica en las lutitas transgresivas definida por Jones (1987), debido a que el intervalo de estudio, tal como se expuso anteriormente, pertenece a un ciclo transgresivo.

**Tabla 8.1. Características de la materia orgánica en las lutitas regresivas y transgresivas e interpretación de las facies orgánicas establecidas por Jones, 1987.**

*Tomado y modificado de Pasley et al. (1990).*

<b>Lutitas Regresivas</b>	<b>Lutitas Transgresivas (Caso aplicable a este estudio)</b>	<b>Interpretaciones de las Lutitas Transgresivas (Facies orgánicas según Jones, 1987)</b>
Dominada por materia orgánica terrestre (MOT).	Menos presencia de MOT, dominada por protistoclastos amorfos no estructurados.	
Material amorfno no fluorescente.	Material amorfno no estructurado fuertemente fluorescente.	Volumétricamente, las características señaladas para la materia orgánica observada en las lutitas transgresivas son las más importantes para las rocas madres y son la fuente de la mayoría de los campos petroleros a nivel mundial.
Bajo índice de hidrógeno	Alto índice de hidrógeno.	
Bajo carbón orgánico total.	Alto carbón orgánico total.	
Fitoclastos bien preservados.	Materia orgánica terrestre degradada.	

El avanzado estado de degradación de la materia orgánica terrestre y la alta fluorescencia del material amorfno observado en las *Palinofacies I y II* de las formaciones Capaya y Carapita, son las características más importantes y distintivas que permiten afirmar la depositación de estas partículas en un ciclo transgresivo (*Figura 7.20 y Anexo 5*). El alto índice de hidrógeno se traduce en la propiedad de la fuerte fluorescencia calculada de manera semicuantitativa (por estimación visual), aún cuando se carezca de los análisis de pirólisis para establecer con exactitud la intensidad de la misma (*Anexo 5*).

De acuerdo a las evidencias expuestas anteriormente, se confirma lo establecido por Pasley *et al.* (1990), Jaramillo (1990) y por Gautier y Rice (1983).

Es importante destacar que las partículas amorfas fluorescentes presentan mayor proporción en la zona coincidente con la superficie de máxima inundación observada a 12800' de profundidad, propuesta por Giffuni y Moreno (2001), lo cual se puede apreciar en los *Anexos 4, 5 y la Figura 7.20*. Jaramillo (1990) confirma a través de sus estudios que la superficie de máxima inundación resulta coincidente con muestras cuya concentración de materia orgánica amorfica de origen marino es muy alta.

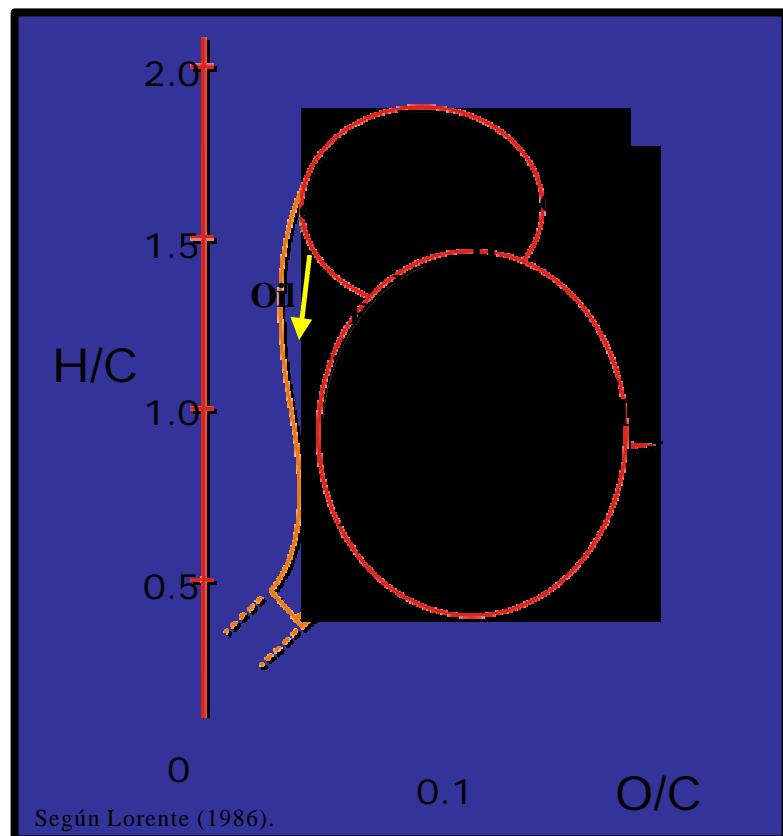
#### **8.4.- Predicción de la Generación de Hidrocarburo a partir de la Materia Orgánica Palinológica:**

La fluorescencia de la materia orgánica palinológica es de especial importancia, ya que de acuerdo a Tyson (1995) la autofluorescencia de las partículas refleja la combinación del origen bacterial, el estado de preservación y el nivel de maduración termal; por tanto es directamente correlacionable con los tipos de hidrocarburos, a través de los componentes específicos del kerógeno.

Otros autores (Mukhopadhyay *et al.*, 1985; Senftle *et al.*, 1987; Gregory *et al.*, 1991 y Pasley *et al.*, 1990) afirman que el uso de la microscopía fluorescente incrementa grandemente el poder predictivo de generación de hidrocarburo de la materia orgánica, porque se puede distinguir la fluorescencia del material amorfó, además de determinar su origen y clasificación en contraste con los estilos depositacionales.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, es importante destacar que Lorente (1986) realiza una clasificación de la materia orgánica palinológica estableciendo una equivalencia entre los macerales (petrología orgánica) y una equivalencia aproximada con las categorías de los tipos de kerógeno según el diagrama de Van Krevelen (1961) (*Tabla 3.1, Figura 8.9*).

Lorente (1986) propone el tipo de hidrocarburo generado a partir de los componentes palinomacerales principales (*Tabla 8.2*), basada en la información de Van Gijzel (1982), Bailey (1981) y Gutjahr (1983).



*Figura 8.9. Diagrama de tipos de Kerógeno y palinomacerales.  
Tomado y modificado de Lorente (1986).*

**Tabla 8.2. Tipos de hidrocarburos generados por principales componentes palinmacerales.**  
*Tomado y modificado Lorente (1986).*

Hidrocarburo generado	Tipo de material	Acuático	Terrestre
Hidrocarburos líquidos principalmente		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colonias algales</li> <li>• Células algales no estructuradas y simples</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cutícula</li> <li>• Resina (petróleo parafinado)</li> </ul>
Hidrocarburos líquidos y gaseosos			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gel húmico con inclusiones</li> <li>• Material vegetal degradado</li> </ul>
Hidrocarburos gaseosos principalmente		Gel húmico puro, restos leñosos y material vegetal degradado	
Solo gas			Carbón?

Partiendo de lo expuesto anteriormente y con base en dichas clasificaciones y en los componentes de la materia orgánica palinológica observada en ambas formaciones, principalmente en la Formación Carapita (por ser la roca madre), se establecieron algunos parámetros a nivel composicional que tuvieron influencia directa en la generación y tipo de hidrocarburos:

El material algal no estructurado que se concentra principalmente hacia el tope de la Formación Capaya y base de la Formación Carapita (*Figura 7.20*), no ha sido reportado en la literatura; no obstante se presume que sean algas de aguas dulces a salobres (Lorente, 2001; com. pers.) por sus propiedades muy específicas de alta fluorescencia, de color blanco a amarillo claro; lo cual se infiere un alto contenido de hidrógeno en su composición.

Dicho nivel algal posee un rango de distribución restringida entre las profundidades 13030' a 13130' (100 pies de espesor) y por sus características propias se sugiere este intervalo como un nivel de referencia para establecer correlaciones con los pozos vecinos.

No obstante, varios geoquímicos de PDVSA Exploración, Producción y Mejoramiento, (Rugiero, Vivas y Olivares, 2001; com. pers.) coinciden en que dicho material es una especie de materia orgánica amorfa de origen marino con restos de algas que posiblemente fueron destruidos en ambientes próximos costeros, por lo cual resulta difícil dilucidar algún tipo de estructura interna reliquia que permita su identificación.

Por otra parte, la materia orgánica amorfa (MOA) finamente dispersa con material algal, podría ser MOA de origen marino, puesto que se encuentra asociada generalmente, en orden de abundancia al material vegetal degradado y esto coincide con las interpretaciones realizadas por Pasley *et al.* (1990), los cuales señalan que

dichas asociaciones se presentan en ambientes neríticos internos a externos, lo que nuevamente confirma los resultados obtenidos para el presente estudio.

En todo caso, este material algal sería equivalente al kerógeno tipo I, indicativo de la generación de hidrocarburo principalmente líquido. Aunado a esto, en la *Tabla 8.2* los autores indican que el material cuticular y la resina, ambos equivalentes a kerógeno tipo II y el material esporomórfico, equivalente a kerógeno tipo I; también contribuyen con la generación de hidrocarburo líquido.

Es de hacer notar que tanto el material esporomórfico y la resina son muy escasos dentro del intervalo de estudio, por otra parte la cutícula es relativamente baja; sin embargo lo propuesto en este Trabajo Especial de Grado como materia orgánica amorfa de origen marino, es porcentualmente alta, y quizá el primer contribuyente, en términos orgánicos palinológicos, en la generación de hidrocarburo líquido.

Es importante destacar, que las formaciones Capaya y Carapita se encuentran conformadas principalmente por la presencia de material vegetal degradado, el cual es equivalente al kerógeno tipo III, además se observan cantidades subordinadas en la Formación Carapita de gel húmico con inclusiones (kerógeno III/II); ambos componentes contribuyen también a la generación de hidrocarburo líquido, además de hidrocarburo gaseoso.

Pasley *et al.* (1990) y Rice y Gutier (1983), señalan que las características principales que poseen las lutitas cuya fuente potencial petrolera es excelente, son el contenido suficiente de materia orgánica rica en hidrógeno, y que microscópicamente sea fuertemente fluorescente, además de estar constituida principalmente por material algal de origen marino, es decir protistoclastos amorfos no estructurados. Efectivamente, éstas características son similares a las observadas hacia el tope de la *Palinofacies II*, y en toda la secuencia de la *Palinofacies I* de la Formación Capaya,

así como también en todo el intervalo de la *Palinofacies II* y base de la *Palinofacies I* de la Formación Carapita.

En general, basados en el alto índice de hidrógeno y en el abundante contenido de material amorfo fluorescente de las lutitas transgresivas, la Formación Carapita, quien representa la roca madre en este estudio; posee una excelente fuente potencial de hidrocarburos.

## **CONCLUSIONES**

- Para la definición de palinofacies, de los métodos estadísticos utilizados, el análisis de agrupamiento o dendrograma es el que proporciona la mejor resolución para la interpretación y definición de asociaciones o grupos de palinofacies.
- De los análisis de agrupamiento, en específico los dendrogramas generales permitieron diferenciar en todos los casos, dos grupos principales correspondientes con las formaciones Capaya y Carapita, donde el límite entre ambos grupos es coincidente con el límite formacional, así como también permitieron definir seis palinofacies para la Formación Capaya y dos para la Formación Carapita.
- Los perfiles de distribución tanto composicional como textural, permiten confirmar los límites definidos para cada palinofacies, ya que en ambos se presentan dos o más valores máximos y/o mínimos aproximadamente a la misma profundidad.
- Los valores obtenidos del análisis digital de imágenes correspondientes a escogimiento, kurtosis y desviación estándar, coinciden dentro de un mismo rango de valores, diferentes para cada formación. Este comportamiento no se observa en la variable tamaño de grano. Esto permite aseverar que los estudios por partícula y adicionalmente la irregularidad relativa y la elongación, son las variables más indicativas en el análisis textural.
- El uso de la microscopía fluorescente es importante porque a través de ella se determina el origen de la materia orgánica y su clasificación, lo que permite interpretar los diferentes estilos de deposición.
- La concentración de la materia orgánica palinológica disminuye considerablemente, cuando aumenta la influencia de ambientes marinos profundos, lo cual es evidente

debido a que estos ambientes se encuentran alejados de la fuente de materia orgánica de origen terrestre.

- La Formación Carapita, en general se caracteriza por presentar elongaciones con tendencias fuertes hacia los valores tabloides, partículas irregulares y escogimiento de moderado a malo. De esta manera se afirma que los ambiente distales (marinos profundos) en los que se depositó la Formación Carapita se caracterizan por la presencia de materia orgánica palinológica más resistente, preservándose pese a las grandes distancias de transporte. Estas partículas son los restos leñosos, el material epidermal, las cutículas y los geles húmicos, que al ser transportados tienden a quebrarse por sus tejidos; en el primer caso la forma de los tejidos suelen ser alargados, y por ende su forma final es elongada. Asociado a estas partículas se observan granos de polen fracturados y retrabajados que confirman el desgaste sufrido por las partículas. En general, a mayor distancia de transporte, mayores son los valores de la irregularidad relativa y la elongación.
- La composición de la materia orgánica palinológica en los ambientes de nerítico externo a batial superior, establecidos para la Formación Carapita, muestran una mezcla cuantitativamente considerable de diversos componentes como: restos leñosos, material cuticular y epidermal, geles húmicos puros y con inclusiones, material vegetal degradado, material algal no estructurado y materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen acuático (proveniente del material algal). En general, los componentes orgánicos son más heterogéneos en ambientes neríticos externos a batial superior.
- La Formación Capaya, en general se caracteriza texturalmente por presentar valores constantes de partículas cuasidimensionales – equidimensionales, regulares y de escogimiento moderado a bueno. La composición de la materia orgánica palinológica en los ambientes nerítico internos a nerítico externos de la Formación Capaya son más variables, ya que existen para todos los casos, dos componentes principales que

son el material vegetal degradado y la materia orgánica amorfa de origen terrestre, los cuales summarizados abarcan alrededor del 75% de la sección, a excepción del tope, donde desaparecen (tope de la *Palinofacies II* y toda la *Palinofacies I*). Seguidamente, en orden de importancia se encuentra el gel húmico puro, el cual se presenta en cantidades subordinadas. El resto de los componentes se presentan en trazas. En general, la composición de la materia orgánica palinológica es menos variable en ambientes neríticos internos a externos.

- La composición de la materia orgánica palinológica es el parámetro determinante que permitió establecer las palinofacies, ya que cada una de ellas contiene una asociación característica de componentes:

<i>Formación</i>	<i>Palinofacies</i>	<i>Composición</i>
<b>CAPAYA</b>	VI	Material vegetal degradado principalmente.
	V	Material vegetal degradado y gel húmico puro.
	IV	Material vegetal degradado y materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen terrestre.
	III	Materia orgánica amorfa finamente dispersa de origen terrestre.
	II	Material vegetal degradado y material algal no estructurado.
	I	Material algal no estructurado y materia orgánica amorfa finamente dispersa con material algal no estructurado.
<b>CARAPITA</b>	II	Principalmente material algal no estructurado y material vegetal degradado.
	I	Material vegetal degradado y gel húmico puro.

- Los parámetros texturales (estudios por área, por partícula, elongación e irregularidad relativa) están directamente relacionados con las asociaciones establecidas a partir de la composición de la materia orgánica, ya que en los

dendrogramas generales ambos resultados se acoplan y dan como respuesta la misma distribución de palinofacies.

- La mayor concentración de partículas fluorescentes se ubican hacia el tope de la Formación Capaya y base de la Formación Carapita, y es precisamente en estos grupos donde se muestran las mayores variaciones de éste parámetro.
- Los datos de la composición de la materia orgánica palinológica constituye el parámetro fundamental para la determinación o definición de palinofacies.
- La definición de las palinofacies aumentan su resolución al agregar otras variables adicional a los valores de la composición, así como los parámetros texturales de las partículas, la concentración y la fluorescencia de la materia orgánica palinológica.
- El material algal no estructurado observado en la secuencia, pese a que su origen sea desconocido, se considera como un nivel de referencia para correlacionar con los pozos vecinos, ya que sus características son muy específicas ante la luz fluorescente incidente azul (colores blancos a amarillos muy claros). Además, podría ser considerado como material algal equivalente a kerógeno tipo I, lo cual indica que en este nivel o cercano al mismo, las capas son potencialmente excelentes generadoras de hidrocarburo líquido.
- Se observa muy buena correlación entre los principales ambientes y subambientes definidos a partir de la información sedimentológica, estudios de foraminíferos y la materia orgánica palinológica. De tal forma que en la Formación Capaya las *Palinofacies VI* y *V* se encuentran relacionadas con ambientes nerítico interno a medio con desarrollo de barras de desembocadura y barras distales; las *Palinofacies IV* y *III* están asociadas a un ambiente nerítico interno con desarrollo de barras de desembocadura; la *Palinofacies II* está asociada a un ambiente nerítico interno a externo donde se desarrollan canales distributarios, barras de desembocadura y barras

distales y la *Palinofacies I* se asocia a ambientes nerítico medio a externo con desarrollo de barras distales. En la Formación Carapita la *Palinofacies II* se encuentra asociada a un ambiente nerítico externo con desarrollo de barras distales y la *Palinofacies I* posee ambientes nerítico externo a batial superior con desarrollo de cañones submarinos.

- Con base en el color de los esporomorfos (amarillo oscuro a marrón claro/fluorescencia naranja leve) se propone que la materia orgánica se encuentra marginalmente madura a inmadura, en o cerca de la ventana de petróleo, para la sección estudiada.
- La materia orgánica palinológica puede ser utilizada como una herramienta predictiva en la identificación de la roca madre de hidrocarburos.
- El estado avanzado de degradación de la materia orgánica de origen terrestre (especialmente el material vegetal degradado) y el desgaste de la misma presente en las lutitas transgresivas, son características que indican la deposición de estas partículas en diversos puntos de la plataforma.
- El alto porcentaje de material algal no estructurado y la materia orgánica amorfía con material algal no estructurado que se encuentran en las lutitas transgresivas del intervalo estudiado, especialmente en las *Palinofacies I* y *II* de ambas formaciones y cuya intensidad de fluorescencia es muy elevada, coinciden con la superficie de máxima inundación propuesta por Giffuni y Moreno (2001).
- Los tipos generales de palinofacies aparentemente pueden estar presentes en distintos ambientes principales, no obstante con el apoyo de los valores de concentración, los niveles de fluorescencia y las características texturales de la misma, es posible diferenciar los ambientes representados en estas asociaciones.

- La elongación y la irregularidad relativa de la materia orgánica palinológica son dos variables definitivas que permiten identificar de manera coincidente los límites que indican cambios ambientales. Se corrobora así los ambientes que han sido determinados a partir de los estudios de foraminíferos. También es posible detectar la coexistencia de dos ambientes para una misma profundidad.

## ***RECOMENDACIONES***

- Almacenar de forma independiente, en la aplicación ADIE®, los datos referentes a la translucencia de la materia orgánica palinológica, a fin de evaluar estos datos a través de métodos estadísticos, tales como: perfiles de dispersión, correlación entre pares de variables, diagramas de cajas y análisis de agrupamiento.
- Realizar caracterización de materia orgánica palinológica a pozos vecinos con el fin de establecer posibles correlaciones bioestratigráficas.
- Realizar análisis de geoquímica orgánica para reforzar la interpretación paleoambiental del área.
- Realizar análisis previos de catodoluminiscencia a las secciones finas de areniscas y limolitas, a fin de eliminar los procesos diagenéticos que modifican la forma original de las partículas, para una mejor evaluación en los análisis texturales de la aplicación ADIE®.

## ***REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS***

- AGGARWAL, Y. P. (1983) Neotectonics of The Southern Caribbean: Recent data, new ideas. Acta científica Venezolana, 17 p.
- AGUASUELOS INGENIERÍA (1991) Geología de la Serranía Interior Oriental, Cuenca oriental de Venezuela. Informe técnico. Inédito.
- ALLEN, P. (1976) Wealden of the Weald – a new model. **Proceding of tehe Geologist's Association**, V. 86, p. 389 – 437.
- AUDEMARD, Fr. (1993) Néotectonique, sismotectonique et aléa sismique du nord-ouest du Vénézuela (Système de failles d'Oca-Ancón). Tesis de Doctorado, Inédito, Universidad de Montpellier II.
- AYMARD, R.; PIMENTEL, L.; EITZ, P.; CHAOUCH, A.; NAVARRO, J.; MIJARES & PEREIRA, J. G. (1990) Geological Integration and Evaluation of Northern Monagas, Eastern Venezuelan Basin. Classic Petroleum Provinces; **Geological Society of London**, Blackwell, Sp., Pub, N.50, p. 37 – 53.
- BAILEY, N. J. L. (1981) En Organic Maturation Studies and Fossil Fuel Exploration., Brooks, J Editors.
- BALLY, A. W. & SNELSON, S. (1980) Realms of subsidence. En Miall, A.D (Ed.) Facts and Principles of World petroleum Ocurrence. **Can. Soc. Pet. Geol. Mem.6**
- BALLY, A. W. (1989) Phanerozoic basins of North America. En Balli, A.W. and Palmer, A.R. (Eds.) The geology of North America, An Overview. **Geol Soc. Am.**, Boulder, CO, Vol A.
- BARNOLA, A. (1960) Histora del campo Pedernales. III Cong. Geol. Venez., Caracas Mem.2.
- BATTEN, D. J. (1977) Wealden of the Weald – a new model. **Proceding of tehe Geologist's Association**, V.87, p. 431 – 433.
- BATTEN, D. J. (1983) Identification the of amorphous sedimentary organic matter by transmitted light microscopy. En Brooks, J. (Ed.) Petroleum geochemistry and exploration in Europe. Blackwell Sc. Publ., Oxford; p. 275-287.

- BATTEN, D. J. (1985) Coccolith moulds in Sedimentary Organic Matter and their Use in Palynofacies Analysis. **Journal Micropaleontology**, V.4, p. 111 – 116.
- BATTEN, D. J. (1996a) Palynofacies and Palaeoenvironmental Interpretation. En Jansonius, J. & McGregor, D. C. (Eds.) Palynology: Principles and applications. **Ammerican Association of Stratigraphic Palynologists Foundation**. V.3, p. 1011 – 1064.
- BATTEN, D. J. (1996b) Palynofacies and Petroleum Potential. En Jansonius, J & McGregor, D. C. (Eds.) Palynology: Principles and applications **Ammerican Association of Stratigraphic Palynologists Foundation**, V.3, p. 1065 – 1084.
- BATTEN, D. J. (1996b) Palynofacies and paleoenvironmental interpretation. En Jansonius, J. & McGregor, D. C. (Eds) Palynology: Principles and Applications. **AASP Forundation**, Salt Lake City; p. 1001 – 1064.
- BECK, C. M. (1978) El substrato Cretáceo de la Faja Piemontina en la parte Central de la Serranía del Interior en Venezuela Septentrional. Relaciones con la tectogénesis del Cretáceo superior. The 8th Caribbean geological conference, p. 8-9.
- BECK, C. M (1985) La Chaine Caraibe au meridien de Cracas: geologie, tectogenese, place dans l'evolution geodynamique mesozoique-cenozoique des Caraibes meridionales. Tesis, Inédito, Francia.
- BELL, J. S. (1968b) The Garrapata Formation of the Venezuelan Coast Ranges. Bol. Inform. Asoc. Venez. Geol., Miner., Petrol., 11(7): 187-206.
- BELTRAN, C & GIRALDO, C. (1989) Aspectos neotectónicos de la region nororiental de Venezuela. VII Congreso Geológico Venezolano., **Sociedad Venezolana de Geólogos**, p. 1000-1019.
- BENALI, S.; SCHREIBER, B.; HELMAN, M. & PHILP, R. (1995) Characterization of Organic Matter from a Restrictec/Evaporite Sedimentary Environment: Late Miocene of Lorca Basin, Southeastern Spain. **AAPG Bull**, 79 (6): 816 – 830.
- BENDER, M. L. & HEGGIE, D. T. (1984) Fate of Organic Carbon Reaching the Deep Sea Floor: a status report **Geochimica et Cosmochimica Acta**, V.48, p. 977 – 986.
- BERNER, R. A. (1978) Sulphate reduction and Rate of Deposition of Marine Sediments. **Earth and Planetary Science Letters**. V.37, p. 492 – 498.
- BERNER, R. A. (1981) Authigenic Mineral Formation Resulting from Organic Matter Descomposition in modern sediments. **Fortschritte der Mineralogie**. V.59, p. 117 – 135.

- BERNER, R. A. (1984) Sedimentary Pyrite Formation: an update **Geochimica et Cosmochimica Acta**, V.48, p. 605 – 615.
- BJORLYKKE, K. (1998) Formation of Secondary Porosity: How Important Is It?. Aspects of Porosity Modification. Part 2, p. 277-295.
- BJORØY, M.; HALL, P. B.; LØ BERG, R.; MCDERMOTT, J. A. & MILLS, N. (1988) Hydrocarbons from non - marine Source Rocks. **Organic Geochemistry**. V.13, p. 221 – 244.
- BOULTER, M. C. & RIDDICK, A. (1986) Classification and analysis of palynodebris from the Paleocene sediments of the Forties Field. **Sedimentology** V. 33, p. 871-886
- BROSSE, E.; RIVA, A.; SANTUCCI, S.; BERNON, M.; LOREAU, J. P., FRIXA, A. & LAGGOUN, - DÉFARGE, F. (1990) Some Sedimentological and Gechimical Characters of the Late Triassic Noto Formation, Source Rock in the Ragusa Basin (Silicy). **Organic Geochemistry**, V.16, p. 715 – 734.
- BROWN, K. E. & COHEN, A. D. (1994) Stratigraphic and Micropetrographic Occurrences of Pyrite in Sediments at the Confluence of Carbonate and Peatforming Depositional Systems, South Florida, U.S.A. **Organic Geochemistry**, V.22, p. 150 – 126.
- BRYAN, F. & J. MANLY (1994) Multivariate Statistical Methods. A Primer. Second Edition. Chapman & Hall.
- BURKE K.; COOPER, C.,(1984) Caribbean tectonics and relative plate motions. **Geological Society of America, Mem.162**.
- CAMPOS, V.; OSUNA, S. & VIVAS, V. (1980) Geología del borde oriental del frente de montaña de la serranía del interior, estados Miranda, Guárico y Anzoátegui, Venezuela. **Boletín de Geología** (Caracas), 14(26):137-196.
- CAMPOS, V; LANDER, R. & DE CABRERA, S. (1985) Evolución estructural en el noreste de Anzoátegui y su relación con el norte de Monagas. VI Congreso Geológico Venezolano, **Sociedad Venezolana de Geólogos**, Caracas Venezuela.
- CARNEVALLI, J. (1988) Venezuela Nor-Oriental: Exploración en Frente de Montaña. III Simposio Bolivariano, Exploracion Petrolera de las Cuencas Subandinas. p. 69-89
- CHIOCK, M. (1985) Cretaceo y Paleogeno en el Subsuelo del Norte de Monagas. VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas Venezuela.

- CHRISTIANSEN, F. G.; KOCH, C. J. W.; NØHRHANSEN, H.; STOUGE, S.; THOMSEM, E. Y.; & ØSTFELDT, P. (1989) Bitumen Occurrences. En Christiansen, F. G. (Ed.). Petroleum Geology of North Greenlands, Grønlands Geologiske Undersøgelse. Bull. V.158. p. 40 – 60.
- COHEN, A. D.; SPACKMAN, W. & DOLSEN, P. (1984) Ocurrence and Distribution of Sulphur in Peatforming environments of Southerm Florida. International Journal of Coal Geology, V. 4, p. 73 – 96.
- COMBAZ, A. (1980) Les Kerogenes aux microscope. En Durand, B. (Ed.) Kerogen. p. 55-122
- COOK, A. C. (1986) The Nature and Significance of the Organic Facies in the Eromanga Basin. En Gravestock, D. I., Moore, P. S. y Pitt, G. M. (Eds.) Contributions to the Geology and hydrocarbon Potential of the Eromanga Basin. Geological Society of Australia, Special Publication, V.12, p. 203 – 219.
- CRESPO DE CABRERA, S. (1993) Síntesis Bioestratigráfica del Norte de Monagas, Cuenca Oriental de Venezuela. Corpoven. Informe interno. Inédito
- CURIALE, J.; MORELOS, J.; LAMBIASE, J. & MUELLER, W. (2000) Brunei Darussalam, Characteristics of selected petroleum and source rocks. Organic geochemistry, Elsevier LTD. p. 1475-1493.
- DE DAAL, J.; KUMMEROW, E.; GIFFUNNI, G.; MORENO, J.; CORDERO, M. & FRANCO, J. (2001) Resumen Técnico – Económico. Proyecto PDD-Tácata. Reporte Interno. PDVSA Exploración, Producción y Mejoramiento, Caracas.
- DE SISTO. (1960) Correlation of the Santa Inés Group in northeastern Anzoátegui. Bol. Inform., Asoc. Venezolana Geol. Min y Petr., Caracas, 3(5):138-143 y 144-146.
- DI CROCE, J. (1995) Eastern Venezuela Basin: Sequence Stratigraphy and Structural Evolution. Tesis de Doctorado, Inédito, Rice University, Houston, Texas.
- DI GIANNI, N. & LAMBERT, B. (1992) Asesoría Técnica en Nannoplancton Calcáreo. Corpoven. Informe Interno. Inédito.
- DI GIANNI, N.; LAMBERT, B. & THIERRY, M. (1994) Bioestratigrafía Cuantitativa (Nannofósiles) de la Parte Inferior de la Formación Carapita. Venezuela. V Simposio Bolivariano. Exploración Petrolera de Cuencas Subandinas, Memoria. Puerto La Cruz, Venezuela.
- DIMICHELE, W. A.; RISCHBIETER, M. O.; EGGERT, D. L. & GASTALDO, R. A. (1984) Stem and Leaf Cuticle of Karinopteris: Source of Cuticles from the

Indiana Papaer Coal. American Journal Botany, V.71, p. 626 – 637.

DUNCAN, A. D. & HAMILTON, R. F. (1988) Palaeolimnology of Organic Geochemistry of the Middle Devonian in the Orcadian Basin. En Fleet, A. J.; Kelts, K. & Talbot, M. R. (Eds.) Lacustrine Petroleum Source Rocks. Geological Society, London, Special Publication. V. 40, p. 173 – 201.

DUNHAM, R. J. (1962) Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. En Ham, W.E. (Ed.) Classification of Carbonate Rocks. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 1, p.108-121.

ERLICH, R. N. & BARRET, S. F. (1990) Cenozoic Plate Tectonic History of the Northern Venezuela – Trinidad area. Tectonics 9(1): 161 – 184.

ESTES, J. A. & STEINBERG, P. D. (1988) Predation, Hervibory, and Kelp Evolution. Paleobiology, V.14, p. 19 – 36.

FARIA, A. (2001) Carta de Bioestratigráfica (nannoplancton) del Pozo Tácata I, Campo Tácata, Estado Anzoátegui. Proyecto de Delineación y Desarrollo -Tácata. Reporte Interno, Inédito, PDVSA Exploración, Producción y Mejoramiento, Caracas.

FASOLA, A. (2001) Carta de Bioestratigráfica (dinoflagelados) del Pozo Tácata I, Campo Tácata, Estado Anzoátegui. Proyecto de Delineación y Desarrollo -Tácata. Reporte Interno, Inédito, PDVSA Exploración, Producción y Mejoramiento, Caracas.

FENG, W. (1994). Palynofacies Analysys of Channel Deposits of the Rajang River Delta, Sarawak, East Malaysia. B. S., Peking University.

FEO CODECIDO, G.; SMITH, F. D.; ABOUD, N. & DI GIACCOMO, E. (1984) Basement and paleosoil rocks of the Venezuelan llanos basin. En Bonini, W.E.; Hardgraves, R. B. & Shagan, R. (Eds.) The Caribbean-South America plate boundary and regional tectonics. Geological Society of America Memoir, p. 175-187.

FISHER, I. St. J. & HUDSON, J. D. (1987) Pyrite Formation in Jurassic Shales of Contrasting Biofacies. En Brooks, J. y Fleet, A. J. (Eds.) Marine Petroleum Source Rocks. Geological Society, London, Special Publication, V.26, p. 69 – 78.

FISHER, M. J. & HANCOCK, N. J. (1985). The Scalby Formation (Middle Jurassic, Ravenscar Group) of Yorshire: Reassessment of age and depositional environment. Proceedings of the Yorshire Geological Society, V.45, p. 293 – 298.

- FOLK, R. L. & WARD, W. C. (1954) The distinction between grain size and composition in sedimentary rock nomenclature. **Jour. Geol.** V.62, p. 344 – 359.
- FOX, P. J.; HEEZEN, B. C. & JOHNSON, G. L. (1970) Jurassic sandstone from the tropical atlantic. **Science**, V.170, p 1402-1404.
- FRANKLIN, E. S. (1944) Microfauna from the Carapita Formation of Venezuela. **Journal Paleontology**, 18(4): 301 – 319.
- FREEMAN & CALARUSSO (2001) Molecular and isotopic records of C<sub>4</sub> grassland expansion in the late Miocene. **Geochimica et Cosmochimica acta**, Elsevier Science L.T.D. 65(9):1439-1454.
- FURRER, M. (2001) Reporte de Estudios de Foraminíferos del Pozo Tácata I, Campo Tácata, Estado Anzoátegui. Proyecto de Delineación y Desarrollo -Tácata. Reporte Interno, Inédito, PDVSA Exploración, Producción y Mejoramiento, Caracas
- GALEA, F. & MORENO, J. (1994) Biofacies de Foraminíferos en la Formación Carapita y su Relación con los Eventos Tectónicos (Mioceno Temprano – Medio) en el Norte de Monagas, Venezuela.
- GARCIA, M. (2000) Estudio Sedimentológico de los Pozos A, B y C. Campo Tácata, Edo. Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Universidad de Oriente. Venezuela.
- GASTALDO, R. A. & HUC, A. Y. (1992) Sedimentfacies, Depositional Enviroments, and Distribution of Phytoclasts in teh Tacent Mahakam River Delta, Kalimantan, Indonesia. **Palaios**, V.7, p. 574 – 590.
- GIFFUNNI, G & MORENO, J. (2001) Carta Bioestratigráfica (foraminíferos) del Pozo Tácata I, Campo Tácata, Estado Anzoátegui. Proyecto de Delineación y Desarrollo -Tácata. Reporte Interno, Inédito, PDVSA Exploración, Producción y Mejoramiento, Caracas.
- GIVEN, P. H.; SPACKMAN, W.; IMBALZANO, J. R.; CASAGRANDE, D. J.; LUCAS, A. J.; COOPER, W. & EXARCHOS, C. (1983) Physicochemical characteristics and Levels of Microbial Activity in Some Florida Peat Swamps. **International journal of Coal Geology**, V.3, p. 77 – 99.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C. (1946) Estudios sobre aguas subterraneas en los llanos de Venezuela. Rev Fomento, Caracas, 8(64).
- GONZÁLEZ DE JUANA, C.; AROZENA, J. & PICARD - CADILLAT, X. (1980) Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas. Editorial Foninves, Caracas,

Venezuela.

GORIN, G. & FEIST, S. (1990) Organic Facies of Lower to Middle Jurassic Sediments in the Jura Mountains, Switzerland. **Rev. Palaeobot. Palynol.**, 65: 349 – 355.

GREGORY, W. A.; CHINN E. W.; SASSEN, R. & HART, G. F. (1991) Fluorescent microscopy of particulate organic matter: Sparta Formation and Wilcox Group, South Central Louisiana. **Organic Geochemistry**. p. 1 – 9.

GUTJAHR, C. C. M. (1983) Introduction to incident-light microscopy of oil and gas source rocks. **Geologie en Mijnbouw**, p. 417-428.

HABIB, D. (1982) Sedimentation of Black Clay Organic Facies in a Mesozoic Oxic North Atlantic. Third North American Paleontological Convention, **Proceedings of the Geologist's Association**, V.1, p. 217 – 220.

HAN, D. (1989) The features of Devonian Coal – Bearing Deposits in South China, The People's Republic of China. **International Journal of Coal Geology**, V.12, p. 209 – 223.

HANCOCK, N. J. & FISHER, M. J. (1981) Middle jurassic North Sea Deltas with Particular Reference to Yorkshire. En Illing, L. V. y Hobson, G. D. (Eds.) Petroleum Geology of the Continental Shelf of North – West Europe; **Institute of Petroleum**, London, p. 186 – 195.

HEDBERG, H. D. (1937 a) Stratigraphy of the Río Querecual section of northeastern Venezuela. **Geology Society American. Bull.**, 48(12): 1971 – 2024.

HEDBERG, H. D. (1937 b) Estratigrafía de la Sección del Río Querecual en el Noreste de Venezuela. **Bol., Geología y Minas**, 1( 2 – 4): 253 – 265.

HEDBERG, H. D. (1937 c) Foraminifera of the Middle Tertiary Carapita Formation of Northeastern Venezuela. **Journal Paleontology**, 11(8): 661 – 697.

HEDBERG, H. D. (1950) Geology of eastern Venezuela basin ( Anzoategui-Monagas-Sucre-eastern Guarico portion), **Geol. Soc. Am., Bull.**, 61(11).

HEDBERG, H. D. & PYRE, A. (1944) Stratigraphy of Northeastern Anzoátegui, Venezuela. **A. A. P. G, Bull.**, 28 (1): 1 – 28.

HOUSEKNECHT, D. W. (1984) Influence of Grain Size and Temperature on Intergranular Pressure Solution, Quartz Cementation, and Porosity in a Quartzose Sandstone. **Jour. of Sedim. Petrology**, 54(2): 348-361.

- HUNG, E. (1997) Foredeep and Thrust Belt Interpretation of The Maturin Sub-basin, Eastern Venezuela Basin. Tesis de Maestría, Inédito. Rice University. Houston, Texas. 125p.
- HUTTON, A. C. & COOK. (1980) Influence of alginite on the reflectance of vitrinite from Joadja, NSW and some other coals and oil shales containing alginite. **Fuel**, V.59, p. 711-714
- IKUENOBE, F & YEPES, O. 1997) Palynofacies analysis of sediments from the Côte d'Ivoire-Ghana transform margin: Preliminary correlation with some regional events in the Equatorial Atlantic. **Paleogeographic, Paleoclimatology, Paleoecology.** V.29, p. 291-314.
- IMBRIE, J. (1985) A Theoretical Framework for the Pleistocene ice ages. **Geological Society of London Journal**, V. 142, p. 417 – 432.
- INFORMÁTICA, NEGOCIOS Y TECNOLOGÍA, S.A., FUNDACIÓN INSTITUTO DE INGENIERÍA (2000) **ADIE Guía del Sistema.** publicacion interna
- INFORMÁTICA, NEGOCIOS Y TECNOLOGÍA, S.A., FUNDACIÓN INSTITUTO DE INGENIERÍA (2000) **ADIE Guía para el usuario** publicacion interna
- JAM, P & A. SANTOS (1987) Cambios de facies de la Formacion Freites en el sector Cerro Negro, Faja Petrolifera del Orinoco. **Bol. SVG.**, Caracas, 31 p.
- JARAMILLO, C. A & IKUENOBE, F. (1999) Sequence stratigraphic interpretations from palynofacies, dinocyst and lithological data of Upper Eocene-Lower Oligocene strata in souther Mississippi and Alabama, U.S. Gulf Coast. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.** V.145, p. 259-302
- JONES (1987). Organic facies. In Advances in Petroleum Geochemistry En Brooks J. & Welte D. **Academic Press**, London; V.2, p. 1 – 90.
- KEEN, M. J. & PIPER, D. J. W. (1976) Kelp, methane, and an Impenetrable reflector in a Temperate bay. **Canadian Journal of Earth Sciences**, V.13, p. 312 – 318.
- KOVACH, W. L. (1993). MVSP Plus, Versión 3.1. Kovach Computing Services, 85 Nant-y-Felin, Pentraeth, Anglesey LL75 8UY, Wales.
- KUMMEROW, E. (2001) Informe Sedimentológico del Pozo Tácata I, Campo Tácata, Estado Anzoátegui. Proyecto de Delineación y Desarrollo -Tácata. Reporte

Interno, Inédito, PDVSA Exploración, Producción y Mejoramiento, Caracas.

LAMB, J. L. & J. DE SISTO (1963) The Morichito formation of northern Monagas. Asoc. Venez. Geol., Min y Petrol., Bol. Inform., 6(9).

LAMB, J. L. & SULEK, J. A. (1965 a) Miocene Turbidites in the Carapita Formation of Eastern Venezuela. 4 th Carib. Geol. Conf. (Trinidad), Proc. (en Prensa)

LAMB, J. L. & SULEK, J. A. (1965 b) Miocene Turbidites in the Carapita Formation. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petrol., Bol. Inform., 8(4): 111 – 114.

LAMB, J. L. (1964 a) The Geology and Paleontology of the Rio Aragua Surface Section, Serranía del Interior, State of Monagas, Venezuela. Asoc. Venez. Geol., Min. Y Petrol., Bol. Inform., 7(4): 111 – 123.

LAMB, J. L. (1964 b) The Stratigraphic Ocurrences and Relationships of Some Mid - Tertiary Uvigerinas and Siphogenerinas. *Micropaleontology*, 10(4): 457 – 476.

LAPO, A. V. & DROZDOVA, I. N. (1989) Phyterals of Humic Coals in the U.S.S.R. *International Journal of Coal Geology*, V.12, p. 477 – 510.

LEXICO ESTRATIGRAFICO DE VENEZUELA (2001).  
<http://www.pdv.com/lexico>.

LEZAMA, A (2001). Evaluación Petrofísica del Pozo Tácata I, Campo Tácata, Estado Anzoátegui. Proyecto de Delineación y Desarrollo -Tácata. Reporte Interno PDVSA.

LILLIU, A. (1990) Geophysical Interpretation of Maturín Foreland, Northeastern Venezuela. (Msc. Thesis). Inédito, University of Houston. Houston, Estados Unidos de Norteamérica, 124 p.

LIN, S. y MORSE, J. W. (1991) Sulphate Reduction and Iron Sulphide Mineral Formation in Gulf of Mexico Anoxic Sediments. *American Journal of Science*, V.291, p. 55 – 89.

LORENTE, M. A. (1986) Palynology and Palynofacies of the Upper Tertiary in Venezuela. *Dissertationes Botanicae*, V.99.

LORENTE, M. A. (1990). Digital Image Analysis: An Approach for Quantitative Characterization of Organic Facies and Palynofacies. Hugo de Vries Laboratorium. Universiteit Van Amsterdam. pp. 103 – 114.

MACHAEL, H. G.; KROUSE H. R. & SASSETT, R. (1995) Products and Distinguishing Criteria of Bacterial and Thermochemical Sulfate Reduction.

**Applied Geochemistry**, Elsevier Science Ltd, V.10, p. 373-389.

MANLY, & BRYAN F.J. (1994) Multivariate statistical Methods. A primer. 2da ed. Editado por Thomsom Science. Londres Inglaterra.

MANUM, S. B. (1976) Palynomorphs and palynodebris in relation to environment in the Tertiary Norwegian sea (DSDP le. 38 material). **Cour. Forschunsinst. Senckenberg**, 17: 1 – 86.

MENCHER, E.; FICHTER, J.; RENZ, H. H.; WALLIS, W. E.; PATTERSON, J. M. & ROBIE, R. H. (1951) Resumen Geológico, Capítulo I, en texto de las monografías presentadas en la Convención Nacional del Petróleo. Ofic. Técn. Hidrocarb., Min. de Minas e Hidrocarburos. Venezuela.

MIJARES, J. F. (1995) Structural Interpretation of Tácata Area Northwestern Maturín Sub –Basin (Eastern Venezuela Basin). Estado Anzoátegui – Venezuela. Tesis de Grado. Inédito.

MINSTER, J. B & JORDAN, T. H. (1978) Present-day plate motions. **Journal Of Geophysical Research** . V. 83, p. 5331-5354.

MOLNAR, P & SYKES, L. (1969) Tectonics of the Caribbean and midle America region from focal mechanisms and seismicity. **Geological Society Bulletin**, V.80, p. 1639-1684.

MUKHOPADHYAY, P. K. (1989) Characterization of amorphous and other organic matter types by microscopy and pyrolysis chromatography. **Organic geochemistry**, p. 269-284.

MUKHOPADHYAY, P. K.; HAGEMANN, H. W.; & GORMLY J. R. (1985) Characterization of kerogens as seen under the aspect of maduration and hydrocarbon generation. **Erdöl Kohle 38**, p. 7-18

MULLER, J. (1959) Palynology of recent Orinoco delta and shelf sediments. **Micropaleontology**, V.5, p. 1-32.

NAGY, J.; DYPVIK, H. & BJAERKE, T. (1984) Sedimentological and Paleontological Analyses of Jurassic North Sea Deposits from Deltaic Environments. **Journal of Petroleum Geology**, V. 7, p. 169 – 187.

NAVARRO, L.L. (1998). Guia de textura de rocas clasticas (morfología). Universidad Central de Venezuela. Inédito.

NAVARRO, L. L. (1999). Caracterización de las Turbiditas de la Formación Carapita en el Norte de Monagas, Cuenca Oriental de Venezuela. Trabajo Especial

de Grado, Inédito, Universidad Central de Venezuela.

NAVARRO, L. L. (1999). Guia de textura de rocas clasticas. Universidad Central de Venezuela. Inédito.

NIP, M.; DE LEEUW, J. W.; SCHENCK, P. A., WINDING, W.; MEUZELAAR, H. L. C. y CRELLING, J. C. (1989) A Flash Pyrolysis and Petrographic Study of Cutinite from the Indiana Paper Coal. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, V.53, p. 671 – 683.

OSTOS, M. y YORIS, F (1997) Cuencas Petrolíferas de Venezuela En WEC Evaluación de Pozos (1997) Schlumberger, Caracas Venezuela. p. 1 – 40.

PARKES, R. J.; CRAGG, B. A.; FRY, J. C.; HERBERT, R. A. & WIMMPEY, J. W. T. (1990) Bacterial Biomass and Activity in Deep Sediment Layers from the Peru Margin. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, Series A. V. 331, p. 139 – 153.

PARKES, R. J.; CRAGG, B. A.; GETLIFF, J. M.; HARVEY, S. M.; FRY, J. C.; LEWIS, C. A. & ROWLAND, S. J. (1993) A Quantitative Study of Microbial Descomposition of Biopolymers in Recent Sediments from the Peru Margin. En Parkes, R. J.; Westbroek, P. & De Leeuw, J. P (Eds.) Marine Sediments, Burial, Pore Water chemistry, Microbiology and Diagenesis. **Marine Geology**, V.113, p. 55 – 66.

PARNAUD, F.; GOU, Y.; PASCUAL, J.C.; TRUSKOWSKI, I.; GALLANGO, O.; PASSALACQUA, H. & ROURE, F. (1995) Petroleum geology of the Central Part of the Eastern Venezuelan Basin. En Petroleum basins of South America: AAPG Mem.62, p. 741-756.

PARRY, C. C.; WHITLEY, P. K. J. & SIMPSON, R. D. H. (1981) Integration of Palynological and Sedimentological Methods in Facies Analysis of the Brent Formation. En Illing, L. V. & Hobson, G. D. (Eds.) Petroleum Geology of the Continental Shelf of Northwest Europe. Institute of Petroleum, London, p. 205 – 215.

PASLEY, M.; GREGORY, W. & HART, G. (1990) Organic matter variations in transgressive and regressive shales. **Org. Geochem.** 27(4): 483 – 509,

PASSALACQUA, H.; FERNANDEZ, F.; GOU, Y. & ROURE, F. (1995) Crustal architecture and strain partitioning in the eastern Venezuelan ranges. United States. Petroleum Basins of South America (AAPG Mem. 62), p. 667-679.

PEIRSON III, A. L. (1965) Geology of north-central Venezuela. Informe inédito, Creole Petr. Corp., Corpoven, 337 p.

- PEIRSON, A. L.; SALVADOR, A. & STAINFORTH, R. M. (1966) The Guarico Formation of North-Central Venezuela. Venezuela. Asociación Venezolana de Geología Minería y Petróleo, Boletín Informativo, 9(7):183-224
- PEREZ, O. J. & AGGARWAL, Y. P. (1981) Present-day tectonics of the Southeastern Caribbean and Northwestern South America. Journal of Geophysical research, V.86, p. 10791-10804.
- PETTIJOHN, F. J.; POTTER, P.E. & SIEVER, R. (1972) Sand and Sandstones. Springer-Verlag. USA. 553 p.
- PINDELL, J. L. & BARRETT, S. F. (1990) Geological Evolution of the Caribbean Region: A Plate – Tectonic Perspective. Geological Society of America. The Geology of North America, v. H, p. 405 – 432.
- POCOCK, S. A. J. (1982) Identification and recording of particulate sedimentary organic matter. En How to Assess maturation and Paleotemperatures. S.E.P.M. Short Course N.7. p. 13-132
- RADKE, B.M. & MATHIS, R.L. (1980) On the Formation and Occurrence of Saddle Dolomite. Jour. Sed. Petrology V.50, p.1149-1168.
- RANGEL, M. D. (2001). Caracterización y Predicción de Fracturas en Yacimientos Siliciclásticos Terciarios, Área de Tácata Anzoátegui Nororiental. Universidad de Los Andes. Trabajo Especial de Grado. Mérida, Venezuela.
- RAYNAUD, J. F.; LUGARDON, B & LACRAMPE, G. (1988) Observation de Membranes fossiles dans la matière Organique “amorphe” de roches mères de pétrole. Comptes Rendus, Académie des Sciences (Paris). Série II, V.307, p. 1003 – 1709.
- RENZ, H. H.; H. ALBERDING; K. F. DALLMUS; J. M. PATTERSON; R. H. ROBIE; N. E. WEISBORD & J. MASVALL (1963). La cuenca oriental de Venezuela, en: Aspectos de la industria petrolera en Venezuela. I Cong. Venez. Petrol., Caracas, 1962, 890 p., Cap. I (Resumen Geológico) p. 100-189.
- RHOR, G. (1991) Paleogeographic maps, Maturín Basin of Eastern Venezuela and Trinidad, Transactions of the 2<sup>nd</sup> Geological Conference of the GSTT, Port Spain, Trinidad, p. 88 – 105.
- RICE, D. D. & GAUTIER, D. L. (1983) Patterns of sedimentation, Diagenesis, and Hydrocarbon Accumulation in Cretaceous Rocks of the Rocky Mountains. Soc. Econ. Paleon. And Mineral. Short Course N° 11, Tulsa, Okla.
- RIVAS, E. (1995). Estadística General. Ediciones de la Biblioteca. Caracas,

Venezuela. 251 pp.

ROD, E. (1956) West end of the Serrania del Interior, Eastern Venezuela, Boletín AAPG, V.43, N.4.

ROSALES, J. & AYALA, M. (1998) Las Palinofacies del Mioceno Inferior – Medio de una Sección en La Cuenca Salina del Istmo, México. Instituto Mexicano del Petróleo, México, D. F.

RUIZ, M. (1995) Colección de Muestras de Canal. Colección Interna de Petróleos de Venezuela, Exploración y Producción. Inédito.

RULL, V. (1995) Organic matter assemblages from recent sediments of the Tacarigua coastal lagoon (northern Venezuela). Maraven S.A. Exploration dep., Kluwer Academic Publishers. Netherlands

RULL, V. (1999) La Palinología Aplicada a La Industria Petrolera. Informe Técnico, Inédito, PDVSA Chuao, Exploración y Producción, Caracas, Venezuela.

SALVADOR (1964) Proposed simplification of the stratigraphic nomenclature in the Eastern Venezuelan Basin. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform., V.7, p. 153-202.

SALVADOR, A. (1961) Nomenclature of the Las piedras and related formation in eastern Venezuela. Asoc Venez. Geol., Min. Y Petról. Bol. Infm., 4(10).

SCHUBERT, C. (1984) Basin formation along the Boconó-Moron-El Pilar fault system, Venezuela. Journal geophysical research. V.89, p. 5711-5718.

SENFTLE, J. T; BROWN, J. H. & LARTER S. R. (1987) Refinement of organic petrographic method for kerogen characterization. Int. J. Coal Geol., V.7, p. 105-117.

SLADEN, C. P. & BATTEN, D. J. (1984) Source – area Environments of Late Jurassic and Early Cretaceous Sediments in Southeast England. Proceedings of the Geologist's Association, London, V. 95, p. 149 – 163.

SNEDECOR, G. W. (1946) Statistical Methods, 4<sup>th</sup> ed., Ames, Iowa, Iowa State College Press, 341 p.

SOULAS, J. P. (1986) Neotectonica y tectonica activa en Venezuela y regiones vecinas. Memorias VI Congreso Venezolano de Geología. Sociedad Venezolana De Geólogos., p. 6639-6656.

STACH, E.; MACKOWKY, M. T.; TEICHMÜLLER M.; TAILOR G. H.;

- CHANDRA, D. & TEICHMÜLLER, R. (1982) Stach's textbook of coal petrology, III Edn. Gebruger Borontraeger, Berlin.
- STAINFORTH, R. M. (1971) La Formación Carapita de Venezuela Oriental. IV Congreso Geológico Venezolano, Memoria. Tomo I. Editorial Sucre. Caracas. **Boletín de Geología**, Publicación Especial, N.5, Ministerio de Minas e hidrocarburos. Caracas, Venezuela.
- STEMMERIK, L.; CHRISTIANSEN, F. G. & PIASECKI, S. (1990) Carboniferous Lacustrine Shale in East Greenland – Additional Source Rock in Northern North Atlantic?. En Kast, B. J. (Ed.) Lacustrine Basin Exploration – Case Studies and Modern Analogs. **American Association of Petroleum Geologist, Memoir**, V.50, p. 277 – 286.
- STEPHAN, J. F.; MERCIER DE LEPINAY, B.; CALAIS, E.; TARDY, M.; BECK, C.; CARFANTAN, J. C.; OLIVET, J. L.; VILLA, J. M.; BOUYESSE, P.; MAUFFRET, A.; BOURGOIS, J.; THERY, J. M.; TOURNOR, J.; BLANCHET, R. & DECOURT, J. (1990) Paleogeodynamic Maps of Caribbean: 14 Steps from Lias to Present. Bulletin Société Géologique de France, 8<sup>a</sup> serie, v. VI, n. 6, p. 915 – 919.
- SULEK, J. A. (1961). Miocene Correlations in the Maturin Sub – Basin. Idem, Vol. 4, N° 4, p. 131 – 139.
- SUMMERHAYES, C. P. (1987) Organic rich Cretaceous sediments from the north Atlantic. En: Marine petroleum source rocks. **Geol. Soc. Spec. Publ.** N° 26 blackwell scientific, Oxford., pp 301-316.
- SURDAM, R. C.; DUNN, T. L.; HEASLER, H. P. & MAC GOWAN, D. B. (1989) Porosity Evolution in Sandstone/Shale Systems. En Hutcheon, E. (Ed) Short Course on Burial Diagenesis, Montreal, p. 61-133.
- SUZUKI, N. (1984). Characteristics of amorphous kerogens fractionated from Terrigenous Sedimentary Rocks. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, V.48, p. 243 – 249.
- TEICHMÜLLER, M. (1982) Origen of the Petrographic Constituents of Coal. En Stach, E.; Mackowsky, M. TH.; Teichmüller, M.; Taylor, G. H. & Chandra, D. Stach's Textbook of Coal Petrology. 3<sup>rd</sup> Edition, Translation and English revision, Gebrüder Borntraeger, Berlin, p. 219 – 294.
- TISSOT, B. P. & Welte, D. H. (1978) Petroleum formation and occurrence, Springer Verlag Press, Berlin
- TISSOT, B. P. (1984) Recent advances in petroleum geochemistry applied to

hydrocarbon exploration. **Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.** V.68, p.545-563.

TRASK, P. D. (1932) Origin and environment of source sediments of Petroleum. **Gulf. Publ. Co.** Houston.

TREIBOVILLARD, N. P.; GORIN, G. E.; BELLIN, S.; HOPFGARTNER, G. & PICHON, R. (1992) Organic – rich Biolaminated Facies from a Kimmeridgian Lagoonal Environment in the French Southern Jura Mountains – A Way of Estimating Accumulation Rate Variations. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, V. 99, p. 163 – 177.

TSCHUDY, R. H. (1961) Palynomorphs as Indicators of Facies Environments in Upper Cretaceous and Lower Tertiary Strata, Colorado and Wyoming. **Wyoming Geological Association**, Guidebook, 16<sup>th</sup> Annual Field Conference, p. 53 – 59.

TYSON, R. & FOLLOWS, B. (2000) Palynofacies prediction of distance from sediment source. A case study from the Upper Cretaceous of the Pyrenees. **Geology.** 28(6): 569 – 571.

TYSON, R. V. & PEARSON, T. H. (1991) Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia: An Overview. En Tyson, R. V. & Pearson, T. H. (Eds.) Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia. **Geological Society**, Special Publication, London, V. 58, p. 1 – 24.

TYSON, R. V. (1987) The Genesis and Palynofacies characteristics of Marine Petroleum Source Rocks. En Brooks, J. & Fleet, A. J. (Eds.) Marine Petroleum Source Rocks. **Geological Society**, Special Publication, London; V. 26, p. 47 – 67.

TYSON, R. V. (1995) Sedimentary Organic Matter. Organic Facies and Palynofacies. Chapman & Hall, Londres.

VAN DER HILST, R. D. (1990) Tomography with P.PP y pP delay-time data and the three-dimensional mantle structure bellow the Caribbean region. Geological ultraiectina, Mededelingen Van de Facultei Aardwetenschappen der Rijksuniversiteit te Utrecht, N. 67.

VAN GIJZEL, P. (1982) Characterization and identification of Kerogen and bitumen and determination of thermal maduration by means of qualitative and quantitative microscopical techniques. En How to Asses Maturation and Paleotemperatures S.E.P.M. Short Course n. 7, p. 159-216

VAN KREVELEN, D. W. M. (1961) Coal. Elsevier, Amsterdam.

VIVAS, V. (1987) Bioestratigrafia del Cretáceo de la region Bergantín- Santa Inés, Estado Anzoátegui, Venezuela nororiental. **Bol.Geol.** p. 3-128.

- VIVAS, V.; MACSOTAY, O. & MOTICKA, P. (1989) Isla de Coche: sedimentación molásica continental sobre la plataforma Araya-Coche-Margarita, Venezuela nor-oriental. VII Congreso Geológico Venezolano, Barquisimeto, 2: 589-614.
- VIVAS, V.; MACSOTAY, O.; PIMENTEL DE B., N. & BELLIZIA A. (1987) Estratigrafía y tectónica del Cretáceo-Paleogeno de las islas al norte de Puerto La Cruz-Santa Fé y regiones adyacentes. VI Congreso Geológico Venezolano, Excursión N° 7, Mem. 10: 7125-7174.
- VON HOUTEN, F. B. & PURUCKER, M. E. (1985) On the Origin of Glauconite and Chamositic Granules. **Geomarine Letter**, V. 5, p. 47-49.
- WATHERHOUSE, H. (1995) High – Resolution Palynofacies Investigation of Kimmeridgian Sedimentary Cycles. En House, M. R. & Galea A. S. (Eds.) Orbital Forcing Timescales and Cyclostratigraphy. **Geological Society**, Special Publication, V. 85, p. 75 – 114.
- WINSTON, R. B. (1993) Reseamiento of the Evidence from Primary Fusinite and Degradofusinite. **Organic Geochemistry**, V. 20, p. 209 – 221.
- YORIS, F. (1989) Ánálisis de Ciclos de sedimentación en la Formación Carapita, Utilizando los Métodos de Promedio Móvil y Series de Fourier. VII Congreso Geológico Venezolano. Barquisimeto, Edo. Lara, Venezuela.
- YOUNG, G. A.; BELLIZZIA, A.; JOHNSON, F. W.; RENZ, H. H.; ROBIE, R. H. & VALL, J. M. (1956) Geología de las cuencas sedimentarias de Venezuela y de sus campos petrolíferos. Report of the Session - International Geological Congress. Editor: International Geological Congress, (location varies), International. V. 4, p. 161-322.

**APÉNDICE A: Descripción Litológica detallada de las lutitas de las formaciones**

**Carapita y Capaya.**

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
11485'-11530'	Lutitas calcáreas de color gris medio, masivas, de dureza moderada a alta, con presencia de micas (muscovita).
11530'-11575'	Lutitas gris oscuro a negras, muy duras, compactas, no calcáreas, con presencia de micas.
11575'-11620'	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Intercalación de lutitas calcáreas de color gris claro finamente laminadas con arcillas de color marrón claro. Presencia de micas, yeso dispuesto de manera aleatoria, dureza moderada.</li><li>➤ Lutitas calcáreas de color no uniforme (gris claro y gris medio), masivas, de dureza moderada a alta, presencia de micas.</li></ul>
11620'-11665'	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Lutitas de color gris oscuro a negras, de dureza alta, compactas, no calcáreas, con presencia de micas.</li><li>➤ Presencia de restos de madera de forma esporádica.</li></ul>
11665'-11710'	Lutitas calcáreas de color gris claro finamente laminadas intercaladas con arcillas de color marrón claro. Presencia de abundantes micas, yeso dispuesto de manera aleatoria, dureza moderada.
11710'-11760'	Lutitas de color gris oscuro, dureza moderada a alta, aspecto masivo y ligeramente calcáreas.

*Continuación de APÉNDICE A:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
11760'-11810'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro a negras, muy duras, compactas, no calcáreas aunque en regularmente se aprecian calcáreas, con presencia de muscovita.</li> <li>➤ Presencia de restos de madera de manera esporádica.</li> </ul>
11810'-11860'	<p>Lutitas calcáreas de color gris oscuro, compactas, de dureza moderada.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris oscuro, compactas, de dureza moderada.</li> <li>➤ Lutitas de color gris claro intercaladas con areniscas beige claro, presenta escogimiento regular (única característica textural posible de observar).</li> </ul>
11860'-11914'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris medio, de dureza alta, compactas, se separan en bloques, levemente calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris mediano con laminación gruesa, moderadamente consolidadas, ligeramente calcáreas.</li> </ul>
11860'-11914'	<p>Lutitas calcáreas gris oscuro a negras, compactas, dureza moderada a alta, microcarbonosas.</p>
11940'-11990'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris claro con abundantes micas, masivas, de dureza alta, con óxido de hierro. Micropiríticas, muy ligeramente calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris claro, laminadas, de dureza suave, con presencia de micas.</li> </ul>

*Continuación de APÉNDICE A:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
11990'-12040'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris claro con intercalaciones de limolitas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris medio, compactas, ligeramente calcáreas.</li> <li>➤ Presencia de restos de madera.</li> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, masivas, con micas (muscovita), compactas, de dureza alta, ligeramente calcáreas. Se observan otras micas iridiscentes.</li> </ul>
12040'-12090'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas laminadas con presencia de micas, dureza moderada, color gris medio, calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas gris medio con intercalaciones de areniscas, cuyas características son: tamaño de grano de fino a muy fino, angulares a subangulares, escogimiento pobre, matriz arcillosa, poco consolidadas, composición cuarzosa principalmente, además de micácea, se aprecian moteados de lodo carbonático.</li> </ul>
12190'-12240'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris claro con intercalaciones de limolitas.</li> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris medio, compactas.</li> </ul>
12240'-12300'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas negras brillantes, masivas, de dureza alta, no calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, de dureza alta, compactas con presencia de micas y cristales de yeso, ligeramente calcáreas.</li> </ul>
12300'-12350'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas negras brillantes, cuyo color no es uniforme debido a que se aprecian sectores oxidados. Se observan moteados blanquecinos de yeso, no calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris medio con intercalaciones de areniscas beige, cuyo escogimiento es pobre, mal consolidadas, son angulares a subangulares, la matriz es arcillosa.</li> </ul>
12400'-12450'	Lutitas calcáreas de color gris medio, dureza suave a moderada, poco consolidadas, de aspecto masivo y se disponen en forma de bloques.

*Continuación de APÉNDICE A:*

<i>INTERVALO</i>	<i>DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA</i>
12450'-12500'	Lutitas calcáreas gris medio, masivas, de dureza suave a moderada, con presencia de micas.
12500'-12550'	Lutitas de color gris oscuro, brillantes, compactas, masivas, dureza firme, se separa en forma de bloques. Presencia de muscovita.
12550'-12600'	Lutitas calcáreas de color gris medio a gris oscuro, fuertemente oxidadas, duras.
12650'-12700'	Lutitas calcáreas, de color gris medio, masivas, de dureza suave intercaladas con arcillas de color beige.
12700'-12730'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris medio y masivas.</li> <li>➤ Intercalación de lutitas de color gris oscuro con lodo micrítico, de dureza suave.</li> </ul>
12700'-12730'	Lutitas gris medio a gris oscuro, masivas, pero regularmente se aprecian laminadas, de dureza moderada, ligeramente calcáreas.

*Continuación de APÉNDICE A:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
	Lutitas calcáreas de color gris medio a gris oscuro, masivas, de dureza moderada, finamente laminadas, presencia de óxido de hierro de manera esporádica.
12750'-12800'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, dureza moderada, no calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas calcáreas friables de color gris claro, dureza suave.</li> <li>➤ Lutitas gris mediano friables con presencia de lodo carbonático dispuesto de manera dispersa.</li> </ul>
	Lutitas de color gris medio, dureza suave, presenta ciertas intercalaciones de lodo carbonático.
12800'-12850'	Lutitas de color gris claro brillante, muy finamente laminadas, dureza muy suave, no calcáreas.
12850'-12900'	Lutitas gris claro a gris medio, dureza firme, compactas, no calcáreas aunque esporádicamente son calcáreas..
12900'-12950'	Lutitas de color gris medio a gris oscuro, de aspecto masivo, calcáreas, dureza de suave a moderada.

*Continuación de APÉNDICE A:*

<i>INTERVALO</i>	<i>DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA</i>
12900'-12950'	Lutitas de color gris oscuro con presencia de lodo carbonático dispuesto de manera aleatoria.
13030'-13050'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris medio intercaladas con limolitas beige, dureza moderada y ligeramente calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, dureza moderada y ligeramente calcáreas.</li> </ul>
13090'-13110'	Lutitas gris oscuro, levemente oxidadas, de dureza suave, compactas. Se observa lodo carbonático disperso (moteado).
13110'-13130'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris medio intercaladas con limolitas beige. Presencia de pirita.</li> <li>➤ Lutitas grises intercaladas con arcillas beige, ligeramente calcáreas, dureza suave.</li> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, masivas, compactas, de dureza alta, no calcáreas.</li> </ul>
13130'-13150'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris medio, dureza suave, compactas, no calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas grises intercaladas con limolitas, ligeramente calcárea, de dureza suave a moderada.</li> </ul>
	Lutitas de color gris claro, poco consolidadas, dureza suave, presencia de restos vegetales. También se observan lutitas gris claro con intercalaciones de limolitas marrones a beige, ligeramente calcáreas.

*Continuación de APÉNDICE A:*

<b>INTERVALO</b>	<b>DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA</b>
13130'-13150'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris claro con limolitas beige claro a incoloras, muy levemente calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas masivas o compactas, de color gris medio, muy ligeramente calcáreas.</li> </ul>
13150'-13170'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris oscuro, aspecto masivo, poco consolidadas, de dureza suave.</li> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, masivas, de dureza moderada, no calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas negras, masivas, muy duras, no calcáreas.</li> </ul>
13170'-13190'	Lutitas de color gris mediano, no calcáreas, compactas.
13290'-13310'	Lutitas de color gris oscuro, laminadas, no calcáreas.
13310'-13330'	Lutitas de color gris claro a gris mediano, poco consolidadas, de aspecto masivo, se aprecian moteados de lodo carbonático.
13330'-13350'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Intercalación de lutitas de color gris claro con lodo carbonático.</li> <li>➤ Lutitas cárboicas de color gris claro, dureza suave a moderada, masivas y en ocasiones laminadas.</li> </ul>

*Continuación de APÉNDICE A:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
13350'-13370'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris medio, dureza suave a moderada intercaladas con arcillas gris amarillento. Presencia de micas, calcáreas. Crecimiento de yeso dispuesto de manera aleatoria en la roca (moteado).</li> <li>➤ Lutitas y arcillas con características iguales a las señaladas anteriormente, pero no se disponen paralelas, sino aglomeradas.</li> </ul>
13430'-13450'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Intercalación de lutitas de color gris claro con lodo carbonático.</li> <li>➤ Lutitas de color gris claro, de dureza suave a moderada, cárceas, masivas y en ocasiones laminadas.</li> </ul>
13450'-13470'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas gris claro con intercalaciones de lodo carbonático.</li> <li>➤ Intercalación de lutitas calcáreas con limolitas, dureza moderada.</li> </ul>
13490'-13510'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris oscuro, masivas, dureza moderada.</li> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris claro intercaladas con lutitas gris medio, de dureza moderada.</li> </ul>
13590'-13610'	Lutitas calcáreas de color gris mediano no uniforme, de aspecto masivo, muy duras, presencia de micas (muscovita).
13610'-13630'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris mediano de dureza suave a moderada intercaladas con arcillas de color gris amarillento. Presencia de micas. Crecimiento de yeso dispuesto de manera aleatoria en la roca (moteado).</li> <li>➤ Lutitas de color gris claro, aspecto masivo, se separa en láminas, dureza suave, no calcáreas.</li> </ul>

*Continuación de APÉNDICE A:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
13630'-13650'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris medio intercaladas con limolitas, calcáreas.</li> <li>➤ Presencia de xilópalo.</li> <li>➤ Lutitas muy calcáreas de color gris claro.</li> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, laminadas, no calcáreas, en algunos casos se observa óxido de hierro.</li> </ul>
13670'-13690'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro a negras, compactas, presencia de óxido de hierro y fragmentos de madera.</li> <li>➤ Lutitas grises con areniscas de color beige claro, cuyas características morfológicas comprenden un tamaño de grano muy fino y mala selección. Calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, masivas, levemente calcáreas.</li> </ul>
13690'-13710'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris mediano, masivas, se separan en bloques, dureza suave, crecimiento de cristales de yeso tabulares, ligeramente calcáreas, presencia de óxido de hierro.</li> <li>➤ Aglomerados de lutitas calcáreas de color gris amarillento con fragmentos de lutitas gris oscuro, se observan moteados de yeso.</li> </ul>
13730'-13750'	Lutitas de color gris medio, calcáreas, dureza de suave a moderada.
13770'-13790'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, dureza suave, masivas, ligeramente calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris amarillento no uniforme, dureza suave, presencia de óxido de hierro.</li> </ul>
13830'-13850'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris claro a gris medio con intercalaciones de arcillas beige.</li> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, dureza moderada, aspecto masivo. Se separa en forma de bloques.</li> <li>➤ Lutitas grises intercaladas con areniscas beige. Estas últimas presentan un tamaño de grano muy fino, subangulares y con mala selección.</li> </ul>

*Continuación de APÉNDICE A:*

<b>INTERVALO</b>	<b>DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA</b>
13870'-13890'	Lutitas calcáreas de color gris medio laminadas intercaladas con arcillas gris amarillento. Óxido de hierro.
13890'-13910'	Lutitas laminadas con intercalaciones de arcillas de color gris amarillento (laminación delgada), ligeramente calcáreas. Micropiritas oxidadas, presencia de muscovita.
13950'-13970'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris medio no uniforme, masivas, dureza moderada.</li> <li>➤ Lutitas calcáreas laminadas con intercalaciones de arcilla de color gris amarillento (laminación más delgada). Presencia de muscovita.</li> </ul>
13970'-13990'	Lutitas microcarbonosas de color gris medio, dureza moderada con crecimiento en alto porcentaje de cristales de yeso, presencia de óxido de hierro. Moteado de lodo carbonático.
14020'-14040'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas negras, de dureza alta, masivas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris medio, micropiríticas, fuertemente oxidadas, de dureza suave, masivas, ligeramente calcáreas.</li> </ul>
14050'-14060'	Lutitas calcáreas de color gris medio, poco consolidadas, de dureza suave.

*Continuación de APÉNDICE A:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
14060'-14080'	Lutitas de color gris oscuro con vetillas de yeso, dureza suave, poco consolidadas, de aspecto masivo.
14080'-14100'	Lutitas de color gris medio, color no uniforme, masivas, dureza moderada, ligeramente calcáreas.
14100'-14120'	Lutitas de color gris medio, masivas, dureza moderada, ligeramente calcáreas.
14120'-14140'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas gris oscuro, duras, ligeramente calcáreas, masivas.</li> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris medio y de dureza alta, intercaladas con arcillas amarillentas, desarrolla cristales de yeso, presencia de óxido de hierro.</li> </ul>
14140'-14160'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, masivas, de dureza muy alta. Presencia de micas (muscovita y biotita) en gran porcentaje. No calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris oscuro, compactas con moteados de arcilla amarillenta. Micropiritas oxidadas, presencia de micas oscuras (biotita), moteados de yeso.</li> </ul>
14160'-14180'	Lutitas de color gris medio, aspecto masivo aunque se presentan algunas levemente laminadas, dureza modera. Micropiritas oxidadas.

*Continuación de APÉNDICE A:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
14180'-14200'	Lutitas de color gris oscuro con bandeoamiento de lodo carbonático que se dispone paralelo a la laminación. Presencia de carbón. Micripíritosa. Se observan algunas lutitas masivas. Calcáreas.
14240'-14260'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas gris oscuro con moteados blancos de yeso, duras, masivas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris medio, masivas, dureza moderada, calcáreas.</li> </ul>
14300'-14320'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas gris oscuro, calcáreas, dureza moderada.</li> <li>➤ Presencia de carbón.</li> <li>➤ Lutitas gris oscuro con intercalaciones de areniscas beige con granos mal escogidos, muy finos, de subredondeados a subangulosos y composición cuarcífera esencialmente; poco consolidadas.</li> </ul>
14320'-14340'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris medio intercaladas con arcillas de color gris claro amarillento, presencia de lodo carbonático de manera aleatoria.</li> <li>➤ Lutitas y arcillas con características similares a las anteriores, pero se disponen en forma aglomerada. Moteados abundantes de yeso.</li> </ul>
14420'-14440'	Lutitas de color gris medio moteadas de lodo carbonático, dureza moderada.
14460'-14480'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris medio intercaladas con arcillas beige. Se encuentran laminadas, pero el grosor de la laminación de la primera es mayor que en la segunda. La dureza es suave y son muy ligeramente calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, de aspecto masivo, dureza suave y muy ligeramente calcáreas.</li> </ul>

*Continuación de APÉNDICE A:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
14480'-14500'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro de dureza suave a moderada, presencia de óxido de hierro. No calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro intercaladas con arcillas beige; dureza muy suave.</li> </ul>
14500'-14520'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris claro a mediano con moteados blancos de yeso, dureza moderada, masivas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris mediano, muy duras, masivas, ligeramente calcáreas.</li> </ul>
14520'-14540'	Lutitas de color gris mediano, masivas, de dureza moderada, con bandas de yeso. Ligeramente calcáreas, presencia de óxido de hierro y micas.
14540'-14560'	Lutitas gris mediano, de dureza alta, masivas, no calcáreas.
14580'-14600'	Lutitas negras, masivas, de dureza alta, no calcáreas.
14600'-14620'	Lutitas de color gris oscuro, masivas, de dureza alta, desarrollo de cristales de yeso.

*Continuación de APÉNDICE A:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
14640'-14660'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, aspecto masivo, oxidadas y de dureza suave. No calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas negras con una oxidación bien marcada, de aspecto masivo.</li> <li>➤ Limolitas de color gris claro con fragmentos de restos vegetales.</li> <li>➤ Presencia de madera petrificada (Xilópalo).</li> <li>➤ Presencia de carbón.</li> </ul>
14660'-14680'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, de dureza suave y ligeramente calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris medio con intercalaciones de lutitas gris oscuro, cuyas características son similares a la descrita anteriormente. Ligeramente calcáreas.</li> </ul>
14760'-14780'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas gris oscuro, laminadas, de dureza muy suave y ligeramente calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas negras, de dureza alta con un alto porcentaje de oxidación. Ligeramente calcáreas.</li> </ul>
14780'-14800'	<p>Lutitas intercaladas con limolitas. Las lutitas presentan colores que varían de gris medio a gris oscuro, dureza de suave a moderada. Las limolitas son beige y se aprecian débilmente consolidadas. No calcáreas.</p>
14800'-14820'	<p>Lutitas de color gris medio intercaladas con arcillas de color gris amarillento. Las lutitas se disponen laminadas y con dureza suave. Ligeramente calcáreas.</p>
14820'-14840'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas intercaladas con limolitas. Las lutitas presentan colores que varían de gris medio a gris oscuro, dureza de suave a moderada. Las limolitas son beige y se aprecian débilmente consolidadas. No calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris mediano intercaladas con lodo carbonático.</li> </ul>

*Continuación de APÉNDICE A:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
<i>14880'-14900'</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas gris medio, masivas, se separa en forma de bloques, dureza moderada, no calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas gris medio, color no uniforme (varía entre gris claro y gris medio), masivas y de dureza moderada.</li> </ul>
<i>14940'-14960'</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas intercaladas con limolitas. Las lutitas presentan colores que varían de gris medio a gris oscuro, dureza de suave a moderada. Las limolitas son beige y se aprecian débilmente consolidadas. Ligeramente calcáreas.</li> <li>➤ Presencia de carbón.</li> </ul>
<i>14960'-14980'</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris medio, finamente laminadas, dureza moderada, ligeramente calcáreas.</li> </ul>
<i>14980'-15000'</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, dureza muy suave. Presencia de óxido de hierro. Su aspecto es masivo.</li> <li>➤ Lutitas de color gris medio a oscuro con intercalaciones de areniscas, de mala selección, están poco consolidadas. Los granos son subangulares a subredondeados y el tamaño es muy fino.</li> </ul>
<i>15000'-15020'</i>	Lutitas de color gris medio, masivas, de dureza suave, no calcáreas. Se observan otras lutitas con las mismas características pero de dureza alta.
<i>15020'-15040'</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris mediano intercaladas con limolitas color beige, finamente laminadas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro, dureza moderada y ligeramente calcáreas.</li> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris medio, finamente laminadas, dureza moderada.</li> </ul>

*Continuación de APÉNDICE A:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
15040'-15060'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas gris mediano intercaladas con limolitas beige. La dureza varía de suave a moderada. Se observa óxido de hierro.</li> <li>➤ Lutitas gris oscuro de aspecto masivo, ligeramente calcáreas.</li> </ul>
15100'-15120'	Lutitas calcáreas de color gris medio, finamente laminadas intercaladas con limolitas (láminas más gruesas que las lutitas); dureza moderada, micropiritas oxidadas.
15140'-15160'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas color gris medio a gris oscuro, masivas, finamente laminadas, ligeramente calcáreas y de dureza suave a moderada.</li> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro intercaladas con areniscas beige, tamaño de grano muy fino.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Intercalación de lutitas beige con lutitas de color gris medio, poco consolidadas con un grado de dureza suave.</li> <li>➤ Lutitas de color gris medio a gris oscuro. En algunos casos se observan intercaladas con areniscas de color beige, cuya composición es esencialmente cuarzo, aunque en menor proporción se presentan algunas micas (muscovita). Muy levemente calcáreas, dureza moderada. Algunas lutitas son de aspecto masivo, pero la mayoría son laminadas.</li> </ul>
15160'-15180'	Lutitas de color gris medio a gris oscuro. Regularmente se observan intercaladas con areniscas beige, cuya composición es esencialmente cuarzo, aunque en menor proporción se presentan algunas micas (muscovita). Muy levemente calcáreas. Dureza moderada. Algunas lutitas son de aspecto masivo, pero la mayoría son laminadas.
15180'-15200'	Lutitas de color gris oscuro, aspecto masivo, muy duras, se separan en forma de bloques y son ligeramente calcáreas.

*Continuación de APÉNDICE A:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
15200'-15220'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris medio a gris oscuro, dureza moderada, masivas y se separan en forma de bloques.</li> <li>➤ Intercalación de lutitas beige con limolitas beige, la dureza es suave, se separan en forma de láminas y son muy ligeramente calcáreas.</li> </ul>
15220'-15240'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas calcáreas. de color gris medio intercaladas con arcillas de color gris amarillento, laminadas y con dureza suave.</li> <li>➤ Lutitas de color gris oscuro a negras con moteados (alrededor del 80%) de yeso. Ligeramente calcáreas, dureza de blanda a moderada.</li> </ul>
15240'-15260'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas calcáreas de color gris medio intercaladas con arcillas gris amarillento. Las lutitas se disponen laminadas y con dureza suave.</li> <li>➤ Lutitas de color gris medio, laminadas, dureza moderada, intercaladas con limolitas color marrón amarillento.</li> </ul>
15280'-15300'	Lutitas calcáreas de color gris claro a medio, masivas, de dureza suave.
15320'-15340'	Lutitas de color gris oscuro intercaladas, pocas veces, con arenas beige. Se observa laminación y presentan una dureza suave, aunque en ocasiones el comportamiento es friable. No calcáreas. Presencia de óxido de hierro.
15340'-15360'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas de color gris claro a gris moderado con intercalaciones de arenas color beige de manera esporádica. Muy ligeramente calcáreas. La composición de las arenas es esencialmente granos de cuarzo suangulares a subredondeados, mala selección y tamaño de grano muy fino.</li> <li>➤ Lutitas masivas, de color gris moderado, laminadas.</li> </ul>

*Continuación de APÉNDICE A:*

<b>INTERVALO</b>	<b>DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA</b>
15360'-15380'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas masivas, gris claro a medio, dureza suave, calcáreas, compactas.</li> <li>➤ Lutitas de color gris medio con intercalaciones de ariscas beige, cuyo tamaño de grano es muy fino y de matriz arcillosa, de color gris amarillento, no consolidadas, calcáreas.</li> </ul>
15380'-15400'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lutitas muy calcáreas, gris claro a medio, dureza suave, compactas, masivas.</li> <li>➤ Presencia de madera.</li> </ul>
15420'-15440'	Lutitas de color gris medio, muy ligeramente calcáreas, laminadas, dureza moderada, aunque en algunos casos se presentan friables. Esporádicamente son limosas.
15460'-15480'	Lutitas de color gris medio, laminadas, no calcáreas y friables.
15480'-15500'	Lutitas laminadas, gris mediano, ligeramente calcáreas, de dureza variable: en algunos casos es friable, mientras que en otros es de dureza alta.

**APÉNDICE B: Descripción Litológica detallada de las areniscas de las formaciones  
Carapita y Capaya.**

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
11915'-11920'	Areniscas laminadas intercaladas con finas láminas de lutitas negras. Las areniscas poseen tamaño de grano muy fino, angulares y subangulares, mal escogimiento, con matriz arcillosa muy fina de lodo carbonático.
11955'-11960'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Areniscas grisáceas de composición cuarzosa con fragmentos de lutitas. Tamaño de grano fino, de subangulares a subredondeados, el escogimiento varía de pobre a regular, dureza moderada, no calcáreas.</li> </ul>
12130'-12135'	Areniscas de color gris claro con blanco, composición cuarzosa con fragmentos de lutitas en menor proporción. Presencia de óxido de hierro de manera esporádica, tamaño de grano fino, buen escogimiento, ligeramente calcáreas.
12165'-12170'	Areniscas de color gris claro con fragmentos de lutitas en su composición, dureza suave, tamaño de grano muy fino, subangulares a subredondeados, arreglo pobre, presencia de muscovita, muy calcáreas.
12305'-12310'	Areniscas de color gris claro, granos angulares, subangulares y subredondeados. Dureza suave, tamaño de grano medio, se observa porosidad, mal escogimiento, ligeramente calcárea.

*Continuación del APÉNDICE B:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
12350'-12355'	Areniscas de color gris claro, tamaño de grano fino, de dureza suave, compactas, no calcáreas. Presencia de óxido de hierro.
12510'-12515'	Areniscas de color gris claro (color no uniforme) con presencia de micas, dureza suave, tamaño de grano fino, angulares a subangulares, escogimiento regular, matriz arcillosa poco consolidada, dureza suave, calcáreas
12610'-12615'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Areniscas grisáceas de composición cuarzosa con fragmentos de lutitas. Tamaño de grano fino, de subangulares a subredondeados, el escogimiento varía de pobre a regular, dureza moderada, no calcáreas.</li> <li>➤ Areniscas beige claro, mal preservadas, tamaño de grano muy fino, posee fragmentos de lutitas en su composición, presencia de óxido de hierro de manera escasa, dureza moderada.</li> </ul>
12990'-12995'	Areniscas de color gris claro no uniforme, tamaño de grano muy fino, de angulares a subangulares, escogimiento regular a pobre, presencia de fragmentos de lutitas y óxido de hierro, dureza suave. Se aprecia glauconita muy esporádicamente, no calcáreas.
13050'-13055'	Areniscas grisáceas de composición cuarzosa con fragmentos de lutitas. Tamaño de grano muy fino, de subangulares a subredondeados, el escogimiento varía de pobre a regular, dureza moderada, muy ligeramente calcáreas.

*Continuación del APÉNDICE B:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
13225'-13230'	Areniscas de color gris claro, compactas, de dureza firme, tamaño de grano fino, subangulares, escogimiento regular, calcáreas.
13280'-13285'	Areniscas de color gris claro, tamaño de grano fino, de dureza suave, compactas, calcáreas.
13295'-13300'	Areniscas grises de dureza suave, microcarbonosas, poseen tamaño de grano fino, angulares a subangulares, no calcáreas.
13350'-13355'	
13360'-13365'	Areniscas de color gris claro, tamaño de grano fino, de dureza suave, compactas, ligeramente calcáreas, presencia de óxido de hierro.

*Continuación del APÉNDICE B:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
13405'-13410'	Arenisca de color gris claro a medio, tamaño de grano muy fino, subangulares, buen escogimiento, dureza moderada a suave, presencia de feldespatos, poco consolidadas, calcáreas.
13550'-13555'	Areniscas de color gris claro, tamaño de grano fino, subredondeados a subangulares, escogimiento pobre, la matriz es escasa, dureza moderada, muy ligeramente calcáreas.
13695'-13700'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Areniscas limosas de color gris blanquesino, dureza muy suave, tamaño de grano muy fino, subangulares a subredondeados, mal escogimiento.</li> <li>➤ Presencia de fragmentos vegetales.</li> </ul>
13760'-13765'	Areniscas de color gris claro, tamaño de grano fino, subangulares, escogimiento de regular a bueno, dureza suave, calcáreas.
13785'-13790'	Arenisca de color gris claro a medio, tamaño de grano muy fino, subredondeados, buen escogimiento, matriz arcillosa, dureza moderada a suave, presencia de feldespato, poco consolidadas, no calcáreas.

*Continuación del APÉNDICE B:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
13940'-13945'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Areniscas de grano fino, selección moderada, subangulares a subredondeados.</li> <li>➤ Presencia de calizas color ocre muy recristalizadas.</li> <li>➤ Presencia de calcita.</li> </ul>
14000'-14005'	<p>Areniscas muy duras, tamaño de grano fino, subangulares a subredondeados, escogimiento bueno, matriz arcillosa de color blanco.</p>
14075'-14080'	<p>Areniscas de color gris medio no uniforme, tamaño de grano muy fino, escogimiento bueno, muy duras, ligeramente calcáreas.</p>
14125'-14130'	<p>Areniscas de color gris medio, tamaño de grano muy fino, subredondeados a subangulares, dureza moderada, presencia de óxido de hierro, ligeramente calcáreas.</p>
14270'-14275'	<p>Areniscas de color gris claro, tamaño de grano fino, mal seleccionados, matriz arcillosa, dureza moderada, composición cuarzosa con fragmentos de lutitas, no calcáreas.</p>

*Continuación del APÉNDICE B:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
14520'-14525'	Areniscas grisáceas con tamaño de grano fino, granos subangulares a subredondeados, el escogimiento es de regular a pobre, presencia de micas, fragmentos de lutitas, muy duras. No calcáreas, presencia de fragmentos fósiles de manera muy escasa.
14725'-14730'	Areniscas gris claro, muy duras, tamaño de grano fino, subangulares a subredondeados, arreglo de regular a pobre, presencia de óxido de hierro, el cual se encuentra concentrado principalmente en la matriz, no calcáreas.
14860'-14865'	Areniscas de color gris claro, tamaño de grano muy fino, subangulares, escogimiento de regular a bueno, composición cuarzosa con fragmentos de lutitas, no se aprecia la matriz, no calcáreas.
14915'-14920'	Areniscas de color gris claro, muy duras, de composición cuarzosa con fragmentos de lutitas, matriz arcillosa de color blanco, tamaño de grano fino, subangulares a subredondeados, escogimiento regular, ligeramente calcáreas.
15070'-15075'	Areniscas de color marrón medio, duras, compuestas de cuarzo (en mayor porcentaje) y fragmentos de lutitas, tamaño de grano fino, angulares a subangulares, escogimiento regular, bien consolidadas, muy ligeramente calcáreas.

*Continuación del APÉNDICE B:*

INTERVALO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
15300'-15305'	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Areniscas de color gris medio, mal escogimiento, angulares, subangulares a subredondeados. Tamaño de grano fino, matriz arcillosa, marronuzcas, no calcáreas.</li> <li>➤ Calizas poco consolidadas, presencia de calcita.</li> <li>➤ Presencia de hidrocarburo pesado.</li> <li>➤ Areniscas gris claro, muy duras, tamaños de granos finos con escogimiento de regular a pobre, composición cuarzosa, fragmentos de rocas (lutitas), no calcáreas.</li> <li>➤ Presencia de yeso con hábito fibroso.</li> <li>➤ Areniscas impregnadas de hidrocarburo, mal seleccionadas con tamaño de granos que varían de fino, muy fino a limo grueso.</li> </ul>
15400'-15405'	<p>Areniscas gris claro (color no uniforme, varía de gris claro a medio), poco consolidadas, de tamaño de grano muy fino, subangulares a subredondeados, mal escogimiento, presencia de micas, fragmentos de lutitas, microcarbonatos y óxido de hierro, se observa lodo carbonático.</p>