
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO BIOESTRATIGRÁFICO CON BASE EN
NANOPLANKTON CALCÁREO DE UN POZO COSTA AFUERA,
AL NORTE DE LA PENÍNSULA DE PARIA, CUENCA DE
CARÚPANO, VENEZUELA**

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Arriaga C. Ma. Eugenia
Para optar al título de
Ingeniero Geólogo

Mayo, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO BIOESTRATIGRÁFICO CON BASE EN NANOPLANKTON CALCÁREO DE UN POZO COSTA AFUERA, AL NORTE DE LA PENÍNSULA DE PARIA, CUENCA DE CARÚPANO, VENEZUELA

TUTOR ACADÉMICO: Dra. Olga Rey
TUTOR INDUSTRIAL: Lic. Ma. Gabriela Gómez

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Arriaga C. Ma. Eugenia
Para optar al título de
Ingeniero Geólogo

Mayo, 2009

DEDICATORIA

A Pinpin, Maru
y mi Dani

AGRADECIMIENTOS

A Dios ante todo, por darme tantas pruebas como oportunidades.

A mi querida Universidad Central de Venezuela, por permitirme hacer realidad el sueño de formarme tanto a nivel profesional y como personal en sus aulas.

A PDVSA Intevep, por darme la oportunidad de trabajar en uno de sus proyectos más importantes.

A mis tutoras, la Sra. Isbelia Durán, por enseñarme tanto, y en especial a la Profa. Olga Rey, por brindarme un apoyo fundamental, sin el cual nada de esto hubiese sido posible. Al MSc. Orlando Méndez, quien fue mi inspiración; maestro dentro y fuera del aula.

A mi familia, quien siempre ha estado ahí de una forma u otra; a mi familia adoptiva Rafael-Ramírez, Sra. Olgamar, Sr. Agustín, Davisito, TODOS, no tengo palabras para agradecer todo lo que han sido para mí. A mis amigos incondicionales, por su gran apoyo, José “fosé” Fuentes, Daniel “Chinchu” Cela, Jhenny Delgado, Julia Rodríguez, Salvador Marval, Laura Azancot, Claudia Cabrera; al mejor grupo de campo que pude haber tenido: César Torres, Raquel Sinde, Yessyca López, y Ricardo Sosa, “dream team” y amigos como muy pocos. A los que me acompañaron y apoyaron durante este trabajo: Mauricio “Mauri” Hernández, Katty Ramírez, Clever Contreras, Luis “Pin” Osorio, Alejandra Hitschfield, Rubén Luque, y muy especialmente a Mayra “Mayrita” Cañizares, a quien admiro mucho por enfrentar cualquier adversidad siempre con una gran sonrisa en la cara y la mejor actitud. Agradezco de manera muy especial a Sergio Alejandro Marín Stoyanovich por su gran apoyo incondicional en momentos claves cuando más necesite de alguien, y a la familia Stoyanivich por brindarme su hogar en estos últimos dos dos intensos meses.

A mi guía, compañero de muchos años, y persona muy especial Daniel Rafael, a quien siempre deberé, entre muchas cosas, haber encontrado la carrera que tanto me apasiona.

Muy especialmente agradezco a aquellas personas que han sido para mí grandes maestros, marcando mi vida en todo aspecto, permitiéndome aprender mucho de mí misma, y a quienes jamás podré olvidar.

A todos, y a tantos otros cuyos nombres se me escapan, les doy mil gracias.

Dios los bendiga y guíe cada uno de sus pasos...

Reconocimiento Especial;

A la Sra. Isbelia Durán, por fungir como asesora de este trabajo, compartiendo parte de su amplio conocimiento en la materia de manera desinteresada para mi entrenamiento y formación.

Arriaga C. Maria E.

**ESTUDIO BIOESTRATIGRÁFICO CON BASE EN
NANOPLANKTON CALCÁREO DE UN POZO COSTA AFUERA,
AL NORTE DE LA PENÍNSULA DE PARIA, CUENCA DE
CARÚPANO, VENEZUELA**

Profa. Olga Rey. Lic. Ma. Gabriela Gómez. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2009. p.86.

Palabras claves: nanofacies, bioestratigrafía, cuenca de Carúpano, Mioceno -
Plioceno, Formación Cubagua.

Resumen. En el presente trabajo se realizó el estudio bioestratigráfico con base en nanoplancton calcáreo de un pozo perforado costa afuera, al norte de Paria, en la cuenca de Carúpano, con la finalidad de lograr una mejor resolución en la datación del mismo; más específicamente, en la definición del límite Mioceno-Plioceno, así como una interpretación más completa de las condiciones paleoambientales bajo las cuales se depositó el intervalo estratigráfico estudiado mediante la integración del análisis realizado por especialistas en foraminíferos, con el estudio de las nanofacies. Para ello se procesaron 114 muestras de canal representativas del intervalo de profundidad 3.820' - 11.950'. En general, se observó una nanoflora diversa, identificándose 12 géneros y 43 especies representativas del Neógeno. Con base en las características bioestratigráficas observadas y las variaciones detectadas en la curva de litología, se reconocieron dos unidades informales identificadas como intervalo I (7.060'-11.950') e intervalo II (3.820'-7.060'). De acuerdo con la información suministrada por el estudio de foraminíferos bentónicos, el ambiente sedimentario que prevaleció durante la sedimentación del intervalo I fue batial superior, y para el intervalo II nerítico externo a nerítico interno. El estudio de las nanofacies permitió la proposición de tres posibles límites de secuencia (*SB*), tres superficies de máxima inundación (*MFS*) y una superficie de inundación (*FS*). La edad del intervalo estudiado es Mioceno Temprano (parte terminal) - Plioceno medio; encontrándose el límite Mioceno-Plioceno a 4.640' de profundidad, definido por la primera ocurrencia del foraminífero *Globorotalia miocenica*.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1.1 OBJETIVO.....	3
1.1.2 Objetivo general.....	3
1.1.3 Objetivos especificos	3
1.2. ÁREA DE ESTUDIO	4
1.3. ANTECEDENTES	5
1.4. METODOLOGÍA APLICADA	7
1.4.1. Revisión bibliográfica	7
1.4.2. Obtención y procesamiento de muestras	8
1.4.3. Adiestramiento en reconocimiento de nanofosiles.....	12
1.4.4. Procesamiento de Resultados.....	13
1.4.4.1. Determinación de Edades	13
1.4.4.2. Estudio de Nanofacies	15
CAPÍTULO II.....	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1 NANOPLANKTON CALCÁREO	17
2.1.1 MODOS DE VIDA (ECOLOGÍA) DE LOS COCOLITOFÓRIDOS	20
2.1.2 TAXONOMÍA	20
2.1.3 HISTORIA DE LOS NANOFÓSILES	23

2.2	UTILIDAD DE LOS NANOFÓSILES	24
2.3	ZONACIÓN DE NANOPLANCTON CALCÁREO	24
2.4	DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DE NANOPLANCTON CALCÁREO DE MAYOR INTERÉS DEL NEÓGENO	25
2.5	DEFINICIÓN DE LAS ESPECIES DE NANOPLANCTON CALCÁREO IMPORTANTES	26
2.6	ZONACIÓN DE FORAMINÍFEROS PLACTÓNICOS DEL NEÓGENO.....	34
2.7	NANOFACIES.....	42
CAPÍTULO III		45
GEOLOGÍA REGIONAL		45
3.1.	PLACA CARIBE	45
3.1.1	Sumario del modelo de un origen Pacífico	45
3.1.2	Sumario del modelo de un origen interamericano.....	47
3.2.	CUENCA DE CARÚPANO.....	50
3.2.1	Elementos Principales de la cuenca de Carúpano	50
3.2.2	Evolución Geológica de la cuenca de Carúpano	52
3.3.	FORMACIÓN CUBAGUA	59
CAPÍTULO IV		62
RESULTADOS.....		62
4.1.	ZONAS BIOESTRATIGRÁFICAS DETERMINADAS CON BASE EN NANOPLANCTON CALCÁREO	62
4.1.1	Zona NN4 (9.940' – 11.950')	63
4.1.2	Zonas NN5 (?) – NN8 (?) (7.210' - 9.940')	63
4.1.3	Zona NN9 (6.460' – 7.210')	64
4.1.4	Zona NN10 (6.370' - 6.460')	64
4.1.5	Zonas NN11 – NN 15 (4.030' – 6.370')	64
4.1.6	Zonas NN16 – NN19 (3.970' – 4.030')	65

4.2.	CRONOESTRATIGRAFÍA INTEGRADA.....	65
4.2.1	Mioceno Inferior (parte superior) – Mioceno Medio (parte inferior)....	65
4.2.2	Mioceno Medio	67
4.2.3	Mioceno Medio – Mioceno Superior	67
4.2.4	Mioceno Superior.....	67
4.2.5	Plioceno Inferior	67
4.2.6	Plioceno medio.....	68
4.3.	IDENTIFICACIÓN DE NANOFACIES	68
4.3.1	Asociación Tipo I	¡Error! Marcador no definido.
4.3.2	Asociación Tipo II.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3.3	Asociación Tipo III	68
4.3.4	Asociación Tipo IV.....	68
4.3.5	Asociación Tipo V	68
4.4.	PALEOAMBIENTAL INTEGRADA	69
4.4.1	Unidad I	70
4.4.2	Unidad II.....	71
4.4.3	Unidad II.1	71
4.4.4	Unidad II.2	72
	CAPÍTULO V.....	75
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
5.1.	CONCLUSIONES	75
5.2.	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	ANEXOS	
	ANEXO 1	

CARTA DE DISTRIBUCIÓN DE NANOPLANKTON CALCÁREO

ANEXO 2

INTERPRETACIÓN PALEOAMBIENTAL INTEGRADA

APÉNDICES

APÉNDICE 1

CONTEO DE NANOPLANKTON CALCÁREO

APÉNDICE 2

**CATÁLOGO DE IMÁGENES DE ESPECIES REPRESENTATIVAS
ENCONTRADAS EN EL POZO**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Zonaciones de Nanoplancton Calcáreo y Foraminíferos planctónicos.....	16
Tabla 2. Rangos utilizados para la datación del intervalo objeto de este estudio.	66
Tabla 3. Resumen Bioestratigráfico Integrado.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca de Carúpano.....	3
Figura 2. Pesada de muestra para análisis de nanoplancton calcáreo.	10
Figura 3. Trituración de muestra para análisis de nanoplancton calcáreo.	10
Figura 4. Colocación de muestra en el cubre objeto para análisis de nanoplancton calcáreo.	11
Figura 5. Escala ilustrativa de un nanoplancton calcáreo.	18
Figura 6. Diferentes clases de cocolitos y su ubicación en la cocósfera.....	19
Figura 7. Diferentes formas de Nanoplancton Calcáreo	20
Figura 8. Diagrama de la célula de un cocolitofórido viviente.	21
Figura 9. <i>Discoaster quinquerramus</i>	27
Figura 10. <i>Discoaster variabilis</i>	27
Figura 11. <i>Discoaster challengeri</i>	27
Figura 12. <i>Discoaster brouweri</i>	28
Figura 13. <i>Discoaster pentaradiatus</i>	28
Figura 14. <i>Discoaster calcaris</i>	29
Figura 15. <i>Discoaster neohamatus</i>	29
Figura 16. <i>Discoaster surculus</i>	30
Figura 17. <i>Discoaster triradiatus</i>	30
Figura 18. <i>Discoaster asymmetricus</i>	30
Figura 19. <i>Sphenolithus abies</i>	31
Figura 20. <i>Helicosphaera kamptneri</i>	31
Figura 21. <i>Helicosphaera ampliaperta</i>	32

Figura 22. <i>Amaurolithus tricorniculatus</i>	32
Figura 23. <i>Ceratolithus rugosus</i>	33
Figura 24. <i>Reticulofenestra pseudoumbilicus</i>	33
Figura 25. <i>Amaurolithus delicatus</i>	34
Figura 26. <i>Pseudoemiliana lacunosa</i>	34
Figura 27. Origen Pacífico de la Placa Caribe.	46
Figura 28. Origen Interamericano de la Placa del Caribe.	48
Figura 29. Elementos principales de la Cuenca de Carúpano.	51
Figura 30. Sección geológica N-S de la cuenca de Carúpano.....	52
Figura 31. Ubicación de los pozo que alcanzaron el basamento en la cuenca de Carúpano	53
Figura 32. Eje de la cuenca y extensión aproximada durante el Eoceno (A) y durante el Eoceno-Oligoceno (B).....	55
Figura 33. Eje de la cuenca y extensión aproximada durante el Oligoceno (A) y Oligoceno Superior (B)	56
Figura 34. Eje de la cuenca y extensión aproximada durante el Mioceno (A) y Eje de la cuenca y extensión aproximada durante el Mioceno Tardío (B)	57
Figura 35. Eje de la cuenca y extensión aproximada en el Plioceno Inferior (A), Plioceno (B), y Plioceno Medio a Superior (C)	58

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La exploración y producción, tanto de gas como de petróleo, costa afuera (*offshore*) requiere de una logística mucho más compleja que la llevada a cabo en tierra firme, ya que deben ser tomados en cuenta ciertos parámetros adicionales tales como: condiciones climáticas extremas, magnitud y capacidad de la plataforma, sistemas de anclaje, equipamientos y medidas de seguridad especiales, entre otros. Es por esto que en la etapa preliminar de la permisología que debe ser aprobada por el Estado para la perforación, es necesario aclarar el tipo de pozo según sea la necesidad manifestada por la operadora; estos pueden ser pozos exploratorios, pozos de delineación o avanzada, y de desarrollo (Silva, 2008).

En Venezuela se inició la actividad de exploración costera de hidrocarburos a partir del año 1940, sin embargo, se estima que las labores a gran escala están por comenzar. Contando con un total de 308.400 km² de territorio disponibles para este tipo de exploración, PDVSA basándose en su experiencia previa, divide dicho territorio en tres segmentos: occidental, central y oriental. Para este último se tiene estimada la perforación de 109 pozos, 21 de ellos en la cuenca de Carúpano, con el objetivo principal de comprobar las reservas totales que se estiman en el orden de los 147 Bpc de gas natural en toda la plataforma continental venezolana y que en su gran mayoría están asociados a hidrocarburos (Rodríguez, 2008).

En este trabajo se realizó el estudio bioestratigráfico de uno de los pozos perforados durante la campaña exploratoria más importante, llevada a cabo por PDVSA, en la plataforma continental venezolana, entre los años 1975 y 1982, la cual abarcó la Ensenada de Barcelona, Tuy-Cariaco, Cubagua y parte de la Blanquilla, cubriendo una extensión de aproximadamente 35.000 km² (Ysaccis *et al.*, 2000).

Los estudios realizados durante esta primera campaña exploratoria arrojaron resultados muy positivos, con buenas expectativas de hidrocarburos al comprobar la presencia de gas, petróleo y condensado en condiciones bastante favorables (CVP, 2000). Es por esto que surge la necesidad de hacer un nuevo estudio con mayor detalle en dichos pozos, así como de perforar pozos nuevos para lograr una mejor resolución en la prospección de estos yacimientos.

Como parte del refinamiento en el estudio de los pozos perforados durante la mencionada campaña, se contempla la implementación de nuevas herramientas en el campo de la bioestratigrafía, como es el análisis de nanoplancton calcáreo. De allí la justificación del presente trabajo, donde se llevó a cabo el estudio bioestratigráfico con base en nanoflora en muestras de canal provenientes de un pozo perforado al norte de la Península de Paria (Figura 1), con el fin de determinar el límite Mioceno-Plioceno, así como las condiciones ambientales que prevalecieron durante el depósito del intervalo de tiempo estudiado.

Este estudio se realizó en el Centro de Micropaleontología “Dr. Pedro Joaquín Bermúdez” perteneciente a la Gerencia Técnica de Exploración y Caracterización de Yacimientos de PDVSA Intevep y resultó de gran interés debido a que el pozo estudiado sólo disponía de información bioestratigráfica basada en el análisis de foraminíferos llevado a cabo durante su perforación (seguimiento operacional), el cual arrojó edades poco precisas por ausencia de microfósiles marcadores.

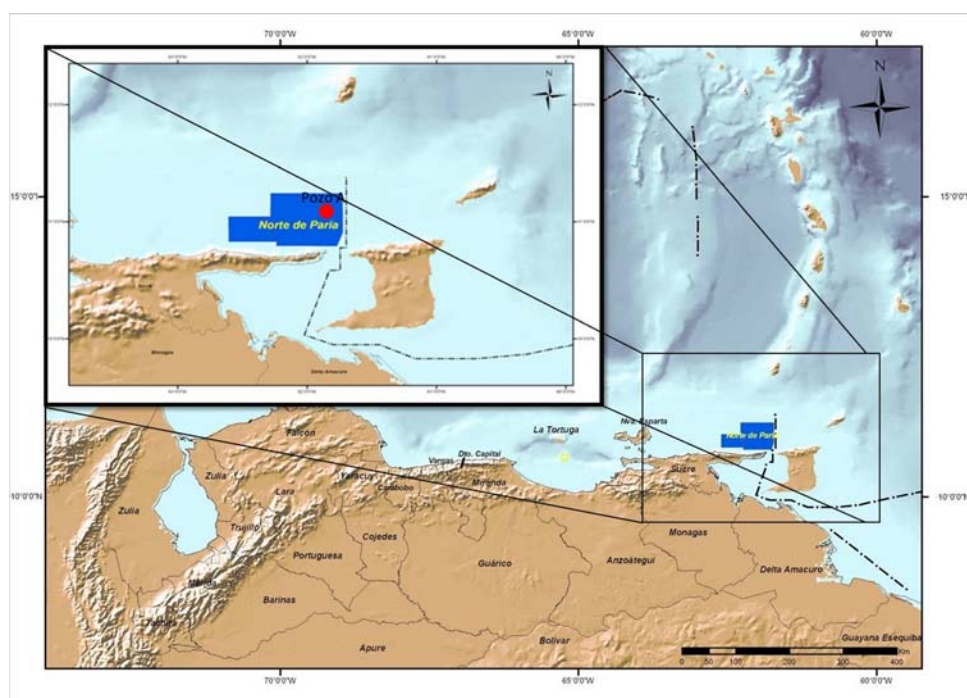


Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca de Carúpano (Imagen original suministrada por el centro de Geomática de PDVSA Intevep)

1.1.1 OBJETIVO

1.1.2 Objetivo general

Determinar el marco cronoestratigráfico y paleoambiental de un pozo costa afuera, localizado en la cuenca de Carúpano, al norte de la península de Paria, Venezuela, mediante el análisis de nanoplancton calcáreo, haciendo énfasis en el límite Mioceno-Plioceno.

1.1.3 Objetivos específicos

Para cumplir el objetivo principal del trabajo fue necesaria la realización de distintas actividades y el cumplimiento de ciertas metas particulares, las cuales se indican a continuación:

1. Revisar y consultar la bibliografía relacionada con estudios sobre nanofósiles calcáreos y sobre bioestratigrafía, así como sobre trabajos

geológicos y estratigráficos realizados en el área de estudio **publicados** hasta la fecha.

2. Realizar un entrenamiento para la preparación de muestras y el montaje de láminas para el análisis de nanoplancton calcáreo, mediante una inducción en el laboratorio.
3. Realizar un entrenamiento para el reconocimiento e identificación de especies de nanoplancton calcáreo del Neógeno, utilizando el microscopio de luz polarizada, mediante la consulta bibliográfica y asesoría directa a cargo de personal de PDVSA Intevep altamente especializado.
4. Integrar los resultados arrojados por el análisis de nanoplancton calcáreo con los resultados generados por especialistas de PDVSA Intevep, a partir del análisis de foraminíferos planctónicos, para la determinación de las edades de la columna estratigráfica atravesada por el pozo.
5. Integrar los resultados arrojados por los análisis de nanoplancton calcáreo y de nanofacies con los resultados generados por especialistas de PDVSA Intevep a partir del análisis de foraminíferos planctónicos y bentónicos (paleoambientes), para la proposición de las superficies estratigráficas claves tales: máxima inundación (*MFS*), superficies de inundación (*FS*) y límites de secuencia (*SB*), en la columna estratigráfica atravesada por el pozo.

1.2. ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca de Carúpano se encuentra ubicada al noreste de Venezuela, más específicamente al norte de la península de Paria, su extensión es de unos 30.000 km² aproximadamente, limitada por la plataforma Margarita-Los Testigos al norte, la península de Araya-Paria y por la cordillera norte de Trinidad al sur, la isla Tobago al este y el alto de Margarita-Coche-Cubagua al oeste (Pereira, 1985).

El estudio se realizó en un pozo perforado al norte de la península de Paria (Figura 1), en el intervalo comprendido entre 3.820' y 11.950' de profundidad.

1.3. ANTECEDENTES

El área de interés ha sido estudiada anteriormente desde el punto de vista estratigráfico por una serie de diversos autores, entre los cuales los más resaltantes se describen a continuación:

Dalton (1912), hace referencia a las rocas sedimentarias aflorantes en las islas de Cubagua, Margarita y en la zona de Araya, como sedimentos fosilíferos de edad terciaria.

Senn (1940), presenta un cuadro de correlación con las formaciones definidas para el norte de Venezuela y las compara con las unidades litoestratigráficas establecidas en la región central de Trinidad. Designando de manera informal e inconsistente a las capas de la Formación Cubagua y sus equivalentes en la península de Araya e isla de Margarita bajo el nombre Manicure-Cubagua.

Gonzáles de Juana (1947), realizó una interpretación de la historia distrófica del noreste de Venezuela basado en su propio trabajo de campo, incorporando datos no publicados, especialmente de Margarita y Cubagua.

Vignali (1965), realizó un estudio geológico en un área de 90 kilómetros cuadrados aproximadamente en la parte más occidental de la península de Araya, donde afloran rocas sedimentarias de edades comprendidas entre el Mioceno y Pleistoceno.

Bolli y Bermúdez (1965), basados en el estudio de foraminíferos planctónicos en depósitos que afloran al norte de Venezuela, Jamaica y Java, definen cinco (5) zonas bioestratigráficas en el intervalo Mioceno Medio a Plioceno.

Macsoy (1965), elaboró una carta faunal de macrofósiles (bivalvos, ostrácodos, gasterópodos) de las formaciones cenozoicas que afloran en la Península de Araya, con el fin principal de destacar la extensión de las especies en las distintas formaciones y los criterios para separar el Mioceno Superior del Plioceno.

Bermúdez (1966), considera la estratigrafía de las formaciones del Mioceno al Reciente que afloran en la costa central y oriental el país. El trabajo incluye una zonación bioestratigráfica con base en el estudio de foraminíferos planctónicos, así

como un cuadro de correlación donde se intentan correlacionar, en un sentido amplio, las zonas estudiadas con las secciones bien conocidas de Trinidad y Falcón.

Barry (1984), realiza una correlación con base en foraminíferos planctónicos de las arenas pertenecientes al intervalo Mioceno-Plioceno correspondiente a la Formación Cubagua de pozos costa afuera.

Furrer (1984), realiza un estudio bioestratigráfico con base en foraminíferos de la cuenca de Carúpano para Lagoven S.A.

Castro (1997), realiza un estudio con base en nanoplacton calcáreo en la Formación Cubagua, identificando en dicha unidad las zonas NN10 a NN17 de Martini (1971), asignándole una edad comprendida entre el Mioceno Tardío y Plioceno.

Castro & Mederos (1997), indicaron que la parte superior de la Formación Cubagua se sedimentó en ambientes de aguas tropicales, someras de mar abierto; siendo el ambiente de sedimentación nerítico interior a medio de plataforma abierta el cual pasa transicionalmente a batial.

Lucena & Padrón (2004), realizaron la comparación de morfotipos y géneros de foraminíferos béticos para el análisis de la paleoecología de la Formación Cubagua.

Fernández & Padrón (2004) definen la estratigrafía de la formación Cubagua a partir del estudio sedimentológico y bioestratigráfico para la definición de las condiciones paleoambientales que se desarrollaron en esa época.

Pérez & Padrón (2004), determinaron las condiciones paleoecológicas que controlaron la sedimentación de la Formación Cubagua mediante el estudio de los fósiles presentes en la misma.

En cuanto al estudio de nanoplancton calcáreo, el primero en reportar su existencia fue Ehrenberg en el año de 1836, describiéndolos como pequeños discos cristalinos calcáreos de origen inorgánico; durante esta década numerosos investigadores europeos, particularmente franceses, realizaron trabajos sobre nanofósiles, entre ellos Bernard, Deflandre, Kamptner, Broard, Parke, entre otros, pero no es sino hasta 1954, cuando Bramlette y Riedel postulan el uso del nanoplancton calcáreo dentro de la bioestratigrafía señalando las diferencias entre las

asociaciones mesozoicas y terciarias. Esto dio un impulso importante para que numerosos investigadores se enfocaran en el estudio de los nanofósiles hasta convertirse hoy en una herramienta de gran importancia en la industria petrolera mundial (Di Gianni, 1989).

En Venezuela el primero en realizar estudios con nanofósiles fue Ansetta en el año 1960, cuyo trabajo se tituló “Nanofósiles en Venezuela”, y fue publicado en el IV Congreso Geológico Venezolano. Posteriormente se han realizado diversos estudios con fines prospectivos de gran interés para la industria petrolera, utilizándose como una herramienta bioestratigráfica al igual que los foraminíferos y la palinología, contando con el apoyo y la asesoría de importantes investigadores del tema reconocidos a nivel mundial, que han venido a realizar investigaciones en las cuencas venezolanas tales como Marie Pierre Aubry y Jason Crux.

De igual manera se han realizado trabajos especiales de grado en importantes universidades del país basados en el estudio de nanoplancton calcáreo y su aplicación como herramienta para la bioestratigrafía, uno de estos es el presentado por Dávila en la Universidad de Los Andes titulado “Bioestratigrafía por nannofloras del Mioceno Temprano a medio en Monagas central ” en el año 1994 y el presentado por Rosa (2001) “Bioestratigrafía con nanofósiles calcáreos del Eoceno medio en la sección de superficie del río San Pedro y el pozo MGB-16X en Zulia oriental; y del Cretácico Tardío en la sección de superficie del río Santo Domingo; estado Barinas, Venezuela” de la Universidad de Oriente.

1.4. METODOLOGÍA APLICADA

En el desarrollo de este trabajo, se cumplieron con las siguientes etapas:

1.4.1. Revisión bibliográfica:

Se realizó una investigación para compilar información sobre la geología de la cuenca de Carúpano ubicada al norte de Paria, así como estudios similares de nanoplancton realizados anteriormente en Venezuela, requerida como información

previa básica. Dicha revisión comprendió la fase inicial del trabajo y se extendió de forma continua hasta la culminación del mismo.

1.4.2. Obtención y procesamiento de muestras:

En el campo, las torres de perforación tienen la finalidad de hacer girar una barrena que va unida a una serie de tubos de acero o “sarta” los cuales se van agregando a medida que se va avanzando en la perforación del pozo. Aquí se originan recortes o esquirlas correspondientes a la roca triturada por la barrena en el proceso de perforación, dichos recortes son eliminados a través del lodo de perforación; el cual se bombea desde la superficie mediante un equipo de gran capacidad, que permite que el fluido y los recortes lleguen a la superficie donde son separados por medio de mallas vibratorias, recolectados y finalmente transportados a las bodegas de muestras.

Este tipo de muestras constituidas por recortes o esquirlas se denominan muestras “de canal” o “ripos”, 114 muestras de esta naturaleza fueron las estudiadas para la realización del presente trabajo en un intervalo que va desde los 3.820’ hasta 11.950’ de profundidad. Cada una corresponde a un “rango” de profundidad y no a un nivel puntual. En el caso del presente estudio cada muestra representa un rango de 30’, y se toma la base o el tope del intervalo para definir alguna superficie de valor estratigráfico (por ejemplo, biohorizontes), dependiendo de las implicaciones del estudio que se realice, por ejemplo, si se está reportando la primera ocurrencia de alguna especie, ésta deberá colocarse en el límite inferior del rango de la muestra, con el fin de incluir siempre el rango de incertidumbre de la muestra en el intervalo.

Tomando como referencia el trabajo realizado por Durán (1992b), se llevó a cabo el procedimiento de laboratorio indicado por esta autora para el procesamiento de muestras de canal para el análisis bioestratigráfico con base en nanoplancton calcáreo de la siguiente manera:

Materiales:

- ✓ Vasos plásticos pequeños

- ✓ Marcador de tinta indeleble
- ✓ Ollas de aluminio
- ✓ Tirro de papel
- ✓ Mortero de ágata o porcelana
- ✓ Micropipetas desechables
- ✓ Portaobjetos de 26 x 76 mm
- ✓ Cubreobjetos de 24 x 40 mm
- ✓ Papel tissue
- ✓ Mondadientes

Equipos:

- ✓ Cámara de luz ultravioleta
- ✓ Plancha
- ✓ Báscula digital de precisión
- ✓ Horno

Reactivos:

- ✓ Agua destilada
- ✓ Ácido clorhídrico al 10%
- ✓ Adhesivo óptico Norland
- ✓ Alcohol isopropílico

Preparación:

1. Se toman aproximadamente 10g. de muestra y se lava con abundante agua destilada (para evitar la contaminación con sedimentos del agua común), agitándose vigorosamente para eliminar el lodo de perforación hasta que el agua prorrumpe totalmente limpia.
2. El residuo se seca en el horno a 60° F. aproximadamente.
3. Se pesan 5 g. de muestra seca (Figura 2) y se colocan en un vaso de plástico identificado con la información de procedencia de la muestra: nombre del pozo e intervalo. Hay que destacar que el tomar el peso de la muestra es muy importante, con

el fin de garantizar un estudio estadístico real.



Figura 2. Pesada de muestra para análisis de nanoplancton calcáreo.

4. Posteriormente se tritura la muestra en un mortero de ágata (recomendado gracias a la baja porosidad del material) con un poco de agua destilada (Figura 3). De tratarse de una litología muy dura (como caliza) se pasa la muestra a un tubo de ensayo de 70-75 ml. con el doble de agua destilada y se introduce durante un máximo de 5 segundos en el ultrasonido para facilitar su posterior trituración.



Figura 3. Trituración de muestra para análisis de nanoplancton calcáreo.

5. Luego de la trituration, se deja reposar por 1 minuto la solución que atraviesa la malla, tiempo durante el cual se puede lavar el mortero con una solución de agua y ácido clorhídrico (HCL) al 10%, para eliminar los posibles restos calcáreos de la muestra procesada anteriormente. Posteriormente a esto se lava nuevamente el mortero con agua destilada, para que no queden residuos del ácido que puedan afectar la próxima muestra a procesar; por último se seca con papel tissue.
6. Se usa una micropipeta desechable con la cual se toma muestra de la parte superficial de la solución y se vierten 3 gotas que se esparcen con un mondadientes sobre el cubre objeto previamente limpiado con alcohol isopropílico y papel tissue. Se coloca sobre una plancha para que la muestra seque (Figura 4).



Figura 4. Colocación de muestra en el cubre objeto para análisis de nanoplancton calcáreo.

7. Una vez que la muestra se seca en el cubre objetos, se agrega una gota de adhesivo óptico Norland en el porta objetos (el cual también ha sido previamente limpiado con alcohol), con los datos correspondientes a la muestra y se coloca el cubre objetos sobre el porta objetos haciendo un poco de presión sobre el cubre objetos de forma muy cuidadosa para que no queden burbujas.
8. Por último se coloca 45 min. en una cámara de luz ultravioleta para que seque el pegamento.

1.4.3. Adiestramiento en reconocimiento de nanofósiles:

Montaje de láminas fijas y método de observación:

1. Se coloca una gota de un aceite óptico de inmersión Zeiss immersol 518 N sobre la lámina, se ajusta en la platina del microscopio, y se sube hasta que el aceite entre en contacto con el objetivo, sirviendo de puente óptico entre la lámina y el objetivo. Luego se gradúa el tornillo macrométrico hasta ver una imagen nítida a través de los oculares.
2. Una vez enfocada la muestra se comienza a recorrer de forma sistemática haciendo un “barrido” completo de la misma. Dicho barrido consiste en un desplazamiento horizontal o transecto que va de un extremo a otro de la lámina. Una vez recorrido un “transvers” o línea horizontal completa, se mueve en dirección vertical y se comienza un nuevo recorrido en sentido contrario al anterior; así sucesivamente hasta cubrir la lámina por completo. Para cuantificar la longitud del movimiento de la lámina, la platina cuenta con un mecanismo de engranaje graduado con un “sistema de coordenadas” que se manipula a través de dos ruedas en la platina (una para el desplazamiento vertical y otra para el horizontal), con el cual se garantiza la exactitud del desplazamiento.
3. A medida que se realiza el barrido, se van identificando los fósiles encontrados mediante la consulta constante con los especialistas y la bibliografía recomendada, y se contabilizan todos los ejemplares observados en toda la lámina, para luego hacer los análisis estadísticos de las muestras.

Adiestramiento para la identificación de géneros y especies:

1. La primera fase del entrenamiento consistió en un curso teórico de introducción a los nanofósiles.
2. Una vez vistas en fotos y discutidas las características más resaltantes de los géneros (y algunas especies) más importantes, se procedió a la observación y estudio al microscópico junto con la especialista de los géneros y especies más importantes del Neógeno (intervalo de interés para el presente trabajo).

3. Una vez culminado el entrenamiento en el microscopio, se procedió a la observación de las muestras provenientes del pozo objeto de estudio, con el constante seguimiento y asesoría de la especialista, llevando un control muestra por muestra de los ejemplares identificados.
4. Una vez culminado el estudio completo de las muestras se procedió a la elaboración de las láminas de figuras. En estas láminas se muestran imágenes de las especies representativas identificadas durante el proceso de análisis de las muestras correspondientes al pozo estudiado. Esta captura de imágenes fue realizada mediante un dispositivo que consiste en una cámara especial marca Leica con resolución de 12 Mp conectada a la parte superior del cañón del microscopio. El campo visual abarcado por la cámara puede ser observado en tiempo real en la pantalla de la PC a través del *software* especializado para captura de imágenes de microscopio “Image-Pro”, el cual cuenta con una herramienta para medir objetos en la imagen capturada y permite plasmar estas medidas en las mismas. Los fósiles fueron estudiados bajo distintos tipos de filtros los cuales pueden observarse en las distintas imágenes mostradas en las mencionadas tablas.

1.4.4. Procesamiento de Resultados:

El estudio de los resultados producto del análisis de las muestras se llevó a cabo en dos fases distintas, las cuales se explican a continuación:

1.4.4.1. Determinación de Edades:

1. Se tomaron los conteos (Apéndice 1) realizados en cada muestra y se elaboró una carta floral (Anexo 1) donde se vacían los datos de todas las muestras analizadas.
2. Dicha carta se identificó en este trabajo como “Carta de Distribución de Nanoplancton Calcáreo”, la misma es la representación gráfica de los resultados presentados en las hojas de conteo, en la cual se colocan en una columna las muestras estudiadas y en una fila los diferentes géneros y especies reportadas, de modo que cada ejemplar reportado corresponda a una muestra y a una casilla donde se indica el

número de ejemplares encontrados de dicha especie (a menos que este ausente en la muestra, en cuyo caso se deja la casilla en blanco). De esta manera es posible identificar más rápidamente primeras, últimas ocurrencias y abundancia, facilitando así el proceso de interpretación. Esta carta contiene también datos de elementos de origen continental, otros elementos marinos, y los gráficos de abundancia para la interpretación paleoambiental.

3. Una vez elaborada la carta, se marcan las primeras y últimas ocurrencias de las especies o “marcadores” que definen las zonas bioestratigráficas según sea su rango de edad y consistencia de aparición dentro del pozo. Ubicándose las zonas que marcan dichas especies junto con la edad a la cual han sido asignadas. Para esta definición se utilizan los rangos dados por los diferentes autores, tomando en cuenta aquellos autores que hayan realizado trabajos en Venezuela como Crux *et. al* (1999) y Aubry (S/F).
4. Con frecuencia la definición de las zonas resulta muy compleja dada las complicaciones estratigráficas que pueden presentarse a la hora del análisis de este tipo de muestras, como lo es la presencia de fósiles re TRABAJOS o “caídos”, discordancias, turbidez, contaminación, entre otras, que propician la presencia en una misma muestra de fósiles con edades muy distintas cuyos biocrones no coinciden a ningún nivel, es por esto que la interpretación de los análisis debe ser llevada a cabo constatando tanto con el registro de pozo como con los resultados sedimentológicos y estructurales, de modo tal de poder establecer un criterio para dicha interpretación.
5. No siempre es necesario, pero dada la particularidad del caso se usó la interpretación muestra a muestra, la cual consiste en el reconocimiento de las zonas en cada una de las muestras, para luego ordenarlas asumiendo el cumplimiento de la ley de superposición de los estratos. El resultado arrojado debe coincidir con el hallado mediante la carta. De cualquier manera; la ubicación de los rangos de las edades de los fósiles en las zonas y la equivalencia de edad de dichas zonas se realiza mediante la utilización de tablas de rangos estratigráficos como la realizada por Crux, *et. al* (1999) y Aubry (S/F).
6. Luego se construyó un resumen resultados bioestratigráficos donde se colocaron las

zonas de foraminíferos, nanoplancton calcáreo y palinología (en caso de que se hayan estudiado las tres disciplinas), para la integración de la información y una correcta correlación entre las zonas determinadas por las distintas disciplinas. Es necesario el uso de la tabla de equivalencia entre las mismas. En la Tabla 1 se indican las zonaciones empleadas en este estudio.

1.4.4.2. Estudio de Nanofacies:

Una vez que se determinaron las edades de la secuencia estudiada, se procedió a la interpretación de las nanofacies para la determinación de los límites de secuencia (*SB*), superficies de inundación (*FS*), superficies de máxima inundación (*MFS*) y la tendencia paleoambiental general con respecto a la cercanía o lejanía de la línea de costa. Toda esta información está determinada por la abundancia, diversidad o ausencia del conjunto de nanoflora, elementos marinos y de origen continental. El análisis consistió en lo siguiente:

1. En el gráfico de abundancia de nanoplancton se marcaron los “picos” o máximos niveles de abundancia; el mismo procedimiento se realizó con otros grupos marinos (ej. foraminíferos), verificándose con cambios o particularidades en la curva de litología. En aquellos niveles donde se observe una coincidencia de los picos se puede definir un nivel de inundación (*FS*).
2. Una vez ubicadas las distintas superficies de inundación (representadas por máximos de abundancia en la nanoflora y otros elementos marinos), se realizó la discriminación de los mismos, tomando como más importantes los de mayor abundancia, determinando así las superficies de máxima inundación (*MFS*).
3. En la medida en que se identificaron las superficies de máxima inundación (*MFS*), se fueron analizando los posibles límites de secuencia (*SB*), los cuales se definen a partir de disminuciones abruptas en la nanoflora y otros grupos marinos.

Una vez que se tenían identificadas las superficies estratigráficas claves anteriormente indicadas, se realizó la interpretación paleoambiental.

(Lourens *et al.* 2004).



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se presenta una introducción al campo del nanoplancton calcáreo del Neógeno, en el cual se exponen conceptos básicos tales como: naturaleza, taxonomía, utilidad, ecología y zonación; los cuales deben conocerse al momento de su incursión en el mismo, con especial énfasis en los grupos representativos del Mioceno y Plioceno, debido a que la determinación del límite entre ambas unidades cronoestratigráficas representó uno de los principales objetivos en este trabajo.

2.1 NANOPLANKTON CALCÁREO (Armstrong & Brasier, 2005):

Es un grupo de formas heterogéneas, que incluyen los cocolitos, discoastéridos, nanoconos y algunos foraminíferos planctónicos. Los cocolitofóridos son protozoarios unicelulares con tamaños que van desde 0,25 a 30 μm como se muestra de manera ilustrativa en la Figura 5; diferenciándose de la mayoría de las otras Crisophytes por tener dos flagelos de igual longitud y un tercer órgano tipo látigo llamado haptonema que utilizan para su alimentación.

Este grupo es un importante constituyente del fitoplancton oceánico. En el registro fósil están presentes en los sedimentos pelágicos de grano fino y pueden encontrarse de manera lo suficientemente abundante como para formar rocas, como ocurre en el Cretácico Superior.

Los cocolitos son pequeñas placas calcáreas que miden de 3-5 μm de diámetro y forman una especie de armadura protectora alrededor de la célula (Figura

6), las cuales al morir el organismo se separan entre sí y caen al fondo del piso oceánico para formar parte del sedimento.

Gracias a la abundancia y a la relativamente fácil recuperación del sedimento marino, los cocolitos son utilizados para la correlación estratigráfica de rocas post-triásicas y estudios paleoceanográficos.

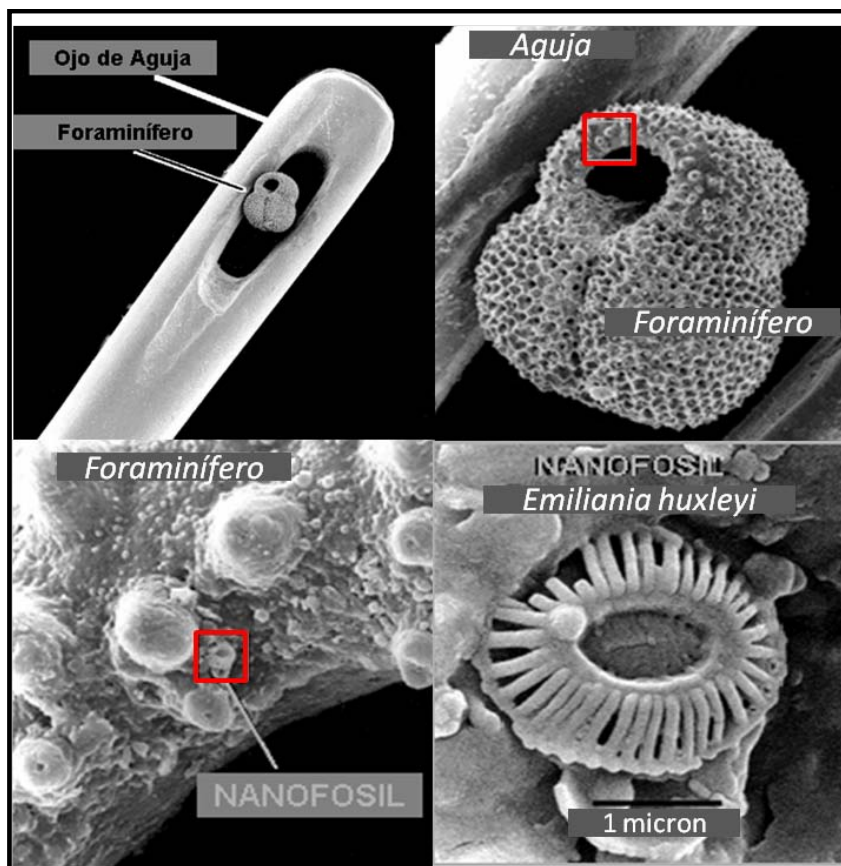


Figura 5. Escala ilustrativa de un nanoplancton calcáreo (Tomado y modificado de Pospichal et al. S/F).

Forman parte importante del fitoplancton marino, pertenecen al grupo de las Haptophytas, diferentes del resto de las Crisophytas y representan una importante fuente de alimento para el plancton herbívoro.

Los nanofósiles de formas estrelladas (*stellate*), los discoastéridos, son un grupo extinto usado ampliamente en el estudio bioestratigráfico del Terciario, cuya

taxonomía se basa en el número de brazos, simetría de los mismos y la ornamentación que presentan vistos en planta (Figura 7 a y b).

Los nanocónidos son un grupo también extinto de diminutas formas cónicas (5-30 μm) constituidas por cuñas de calcita apretadas, con un canal que atraviesa de forma axial el cono. El esqueleto de un organismo está constituido por más de 12 de estas formas individuales, arregladas en forma de estructura tipo pétalos (Figura 7).

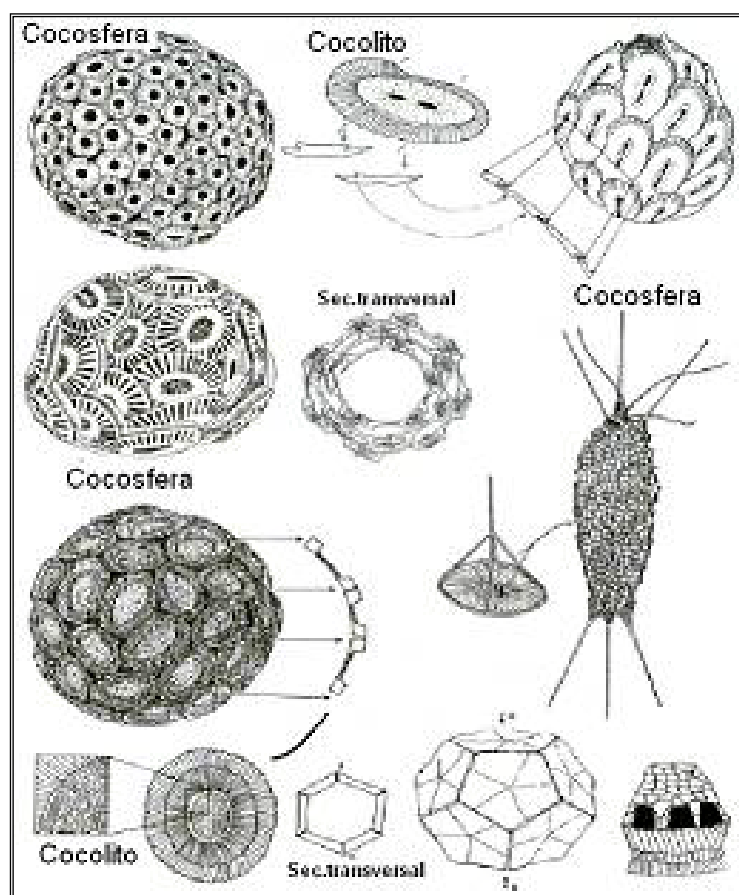


Figura 6. Diferentes clases de cocolitos y su ubicación en la cocósfera (Armstrong & Brasier, 2005).

Los nanocónidos son un grupo muy utilizado en la bioestratigrafía del Cretácico en ausencia de otros grupos.



Figura 7. Diferentes formas de Nanoplankton Calcáreo (Tomado y modificado de Aubry, 1989)

2.1.1 Modo de vida (ecología) de los cocolitofóridos (Armstrong & Brasier, 2005):

Como puede apreciarse en la Figura 8, un cocolitofórido es generalmente una célula esférica u oval, de menos de 20 μm de diámetro, compuesto de dos cloroplastos dorado-marrones con un prominente núcleo entre ambos, dos flagelos de igual longitud y un haptonema. Los cocolitos calcáreos se forman en vesículas dentro de la célula, bajo el estímulo de la luz, estas eventualmente se mueven hacia el exterior de la célula, donde son expulsados.

Su reproducción es primordialmente asexual, por división simple de una célula madre en dos hijas Figura 8. En algunos géneros vivientes, consiste también en la alternancia entre un estadio mótil y uno no-mótil, bentónico o planctónico. El estadio mótil cuenta con un esqueleto flexible con cocolitos embebidos en la membrana celular, luego en el estadio no-motil, puede tomar lugar la calcificación de la membrana formando una estructura rígida llamada cocósfera.

2.1.2 Taxonomía (Armstrong & Brasier, 2005):

La morfología es la base para la clasificación de los cocolitos, tanto los pertenecientes a los grupos vivientes como los grupos fósiles. Gracias a los estudios de microscopio electrónico se conocen dos tipos de estructura de los mismos: los holococolitos; los cuales están constituidos por cristales de calcita submicroscópica,

mayoritariamente romboédrica, estructurada de forma regular; y los heterococolitos; los cuales son usualmente grandes y compuestos de diferentes elementos submicroscópicos como placas, barras y granos, unidos en una estructura relativamente dura. Debido a que los holococolitos son desintegrados luego de su expulsión de la cocósfera, son los heterococolitos los que proveen el grueso del registro microfósilífero, los cuales varían considerablemente en cuanto a forma y constitución.

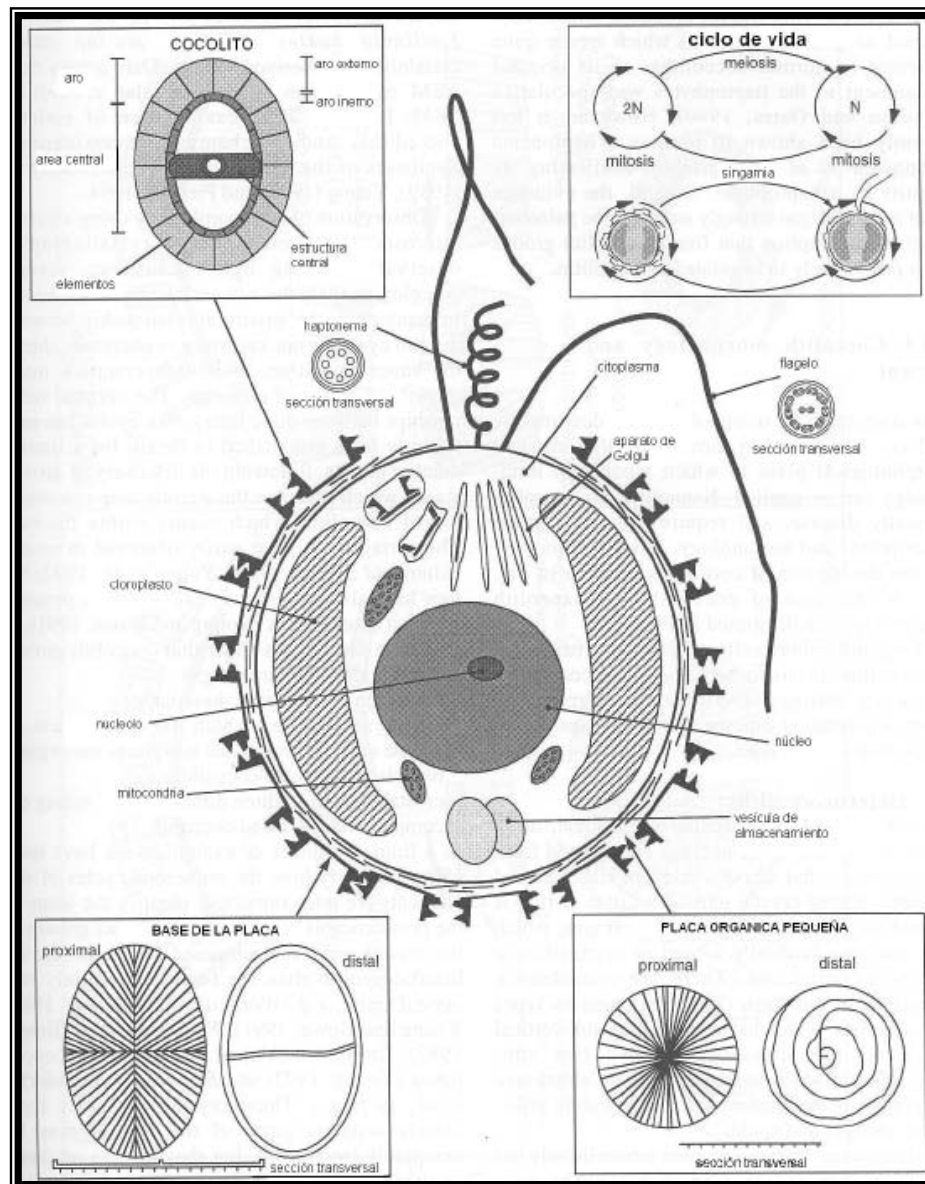
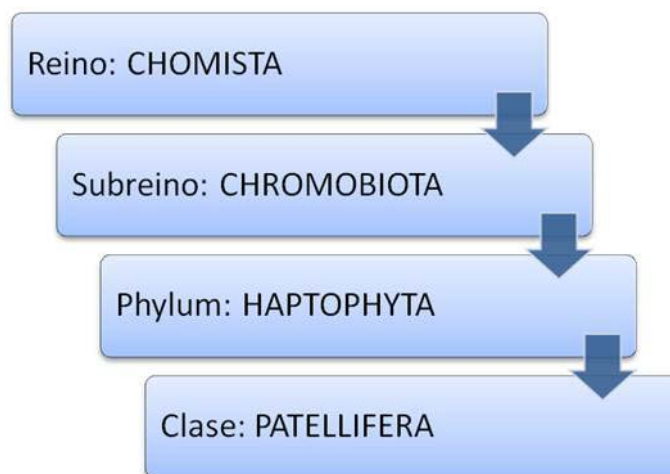


Figura 8. Diagrama de la célula de un cocolitofórido viviente (Armstrong & Brasier, 2005).

Los cocolitofóridos han sido la mayor fuente de carbonato de origen orgánico desde el Mesozoico temprano, la biomineralización de los cocolitos es, a nivel global, un proceso importante en la formación de rocas, aunque aún se conoce poco de los mecanismos de formación de los cocolitos. Los órganos encargados de la producción y aparición de los cocolitos son el aparato de Golgi, el cuerpo reticular y el núcleo, pero no todos los grupos producen cocolitos del mismo modo; la manera sencilla suele consistir en la secreción de placas y cocolitos en el aparato de Golgi, seguido por una expulsión a la membrana celular. En la especie *Coccolithus pelagicus*, las placas se producen primero en el cuerpo de Golgi, son expulsadas y luego forman lugares de nucleación para el posterior desarrollo del cocolito entre la membrana celular y una cutícula orgánica que se desarrolla alrededor de la célula. En la especie *Emiliana huxleyi* los cocolitos son producidos en una vesícula adjunta al núcleo y el cuerpo reticular por precipitación de calcita la cual está controlada por una matriz orgánica, finalmente los cocolitos son exteriorizados formando un exoesqueleto interdigitado.

Se piensa que estas cocósferas se forman por diversas razones tales como protección de la luz solar intensa, para concentrar la luz, o como armadura que brinda a su vez soporte al organismo.

Ni los botánicos, ni los paleontólogos, están de acuerdo acerca de cómo clasificar a los cocolitofóridos. Según Armstrong & Brasier (2005), Cavalier-Smith en 1993 propuso ubicarlos en el reino Chromista, luego los reubicó dentro del reino Haptophyta por ser algas unicelulares dorado-marrones con dos flagelos de igual longitud y una cubierta de placas. Los esquemas para la clasificación de la micropaleontología tradicional mantienen a los cocolitofóridos en la división de las Chrysophyta, clase Coccolithophyceae. Sin embargo, recientemente, gracias a los estudios de microscopio electrónico, la clasificación se basa en la ultraestructura de los cocolitos y su arreglo alrededor de la célula, quedando de la siguiente manera:



2.1.3 Evolución de los nanofósiles (Armstrong & Brasier, 2005):

Como fuente principal de alimento en los océanos y una fuente importante de oxígeno atmosférico, los cocolitofóridos han estado fuertemente involucrados en la mayoría de la historia de la vida. Aunque los registros paleozoicos son escasos y dudosos, los primeros cocolitos reportados aceptados son raros y pertenecen a las rocas del Triásico Superior, la gran diversificación ocurrida durante el Jurásico Temprano es un hecho remarcable que puede reportar cambios en las condiciones paleoceanográficas posiblemente relacionadas con la apertura del océano Atlántico. La cantidad y diversidad taxonómica se mantuvo hasta el Cretácico Tardío, período en el cual ocurre el momento de mayor transgresión marina y luego una radiación explosiva de muchos grupos planctónicos. La mayoría de los cocolitofóridos se extinguieron durante la transición Cretácico-Terciario, y muchos de sus representantes fueron sustituidos por diatomeas durante el Cenozoico temprano. Estos lograron recuperar su dominio en aguas tropicales y templadas, sin embargo, siguen siendo significativamente menos diversos que en el Mesozoico.

Existieron otras formas que surgieron en el Eoceno, como los *Discoaster*, muchos de estos de formas arrosetadas con numerosos brazos, desapareciendo dichas

formas a finales de Eoceno, tiempo durante el cual sucedió una disminución general en la diversidad de los cocolitos y discoastéridos, ocurriendo la completa extinción de los discoastéridos al final del Plioceno, pudiendo tener esto que ver con el proceso de enfriamiento climático y regresión marina.

2.2 UTILIDAD DE LOS NANOFÓSILES:

Los nanofósiles calcáreos se han convertido en una importante herramienta para la interpretación del registro geológico; integrando los datos bioestratigráficos basados en las otras disciplinas de microfósiles, así como la estratigrafía isotópica y magnética, la bioestratigrafía de nanofósiles ayuda a mejorar la resolución estratigráfica y cronológica necesaria para descifrar los cambios geológicos ocurridos en cortos intervalos de tiempo y, a la vez que proporcionan una importante evidencia para la interpretación de eventos geológicos de gran importancia. Por ejemplo, actualmente, los nanofósiles calcáreos proveen importantes evidencias en la caracterización de eventos de finales del Cretácico (Aubry, 1989).

2.3 ZONACIÓN DE NANOPLANKTON CALCÁREO:

Básicamente el estudio de los nanofósiles del Neógeno fue realizado durante la década de los 60, principalmente por Bramlette & Wilcoxon (1971a), Hay *et al.*, (1967), Hay y Schmidt (1968), dicho estudio fue sintetizado en una zonación estandarizada de Nanoplankton calcáreo por Martini y Worsley (1971), descrito a detalle por Martini (1971).

La identificación de biozonas se realiza basándose en zonificaciones estandarizadas a nivel mundial; para el nanoplankton calcáreo las más conocidas son la de Martini (1971) y la de Okada & Bukry (1980). Para la realización de este trabajo se utilizó específicamente la zonación de Martini (*op cit.*), que se presenta en la Tabla 1. El principal intervalo de interés en este estudio (límite Mioceno-Plioceno)

corresponde con las zonas NN12 y NN13, equivalentes con las zonas CN10b y CN10a de Okada & Burky (*op cit.*).

Durán (1995) basándose en diversos estudios de nanoplancton del Neógeno en Venezuela, plantea en su informe “Redefinición de las zonas del Neógeno de Venezuela, áreas asignadas a MARAVEN S.A.”, así como Truskowski (S/F) en su compilación “Cuadro Cronoestratigráfico del Cenozoico”, que el límite Mioceno-Plioceno lo definen las zonas NN11 y NN12, respectivamente.

Es importante hacer notar que la Tabla 1 corresponde a una actualización en la calibración de las zonas bioestratigráficas con las líneas de tiempo según estudios más recientes, es por esto que el límite de interés se ubica dentro de la zona NN12 y no como aparece originalmente en la publicación de la zonación de Martini (1971).

Debido a la ambigüedad en cuanto la definición del límite de interés por parte de las distintas publicaciones, se toma en cuenta la de publicación más reciente, en cuyo caso corresponde a la tabla de Lourens *et al.* (2004; Tabla 1)

2.4 DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DE NANOPLANCTON CALCÁREO DE MAYOR INTERÉS DEL NEÓGENO

(Martini, 1971):

NN11: Zona de *Discoaster quinquaramus*

Definición: Intervalo desde la primera hasta la última aparición del *Discoaster quinquaramus* Gartner.

Localidad tipo: Core P 6603-49: 550-1500 cm, 28°30' O (Océano Atlántico) (30).

Especies comunes: *Discoaster variabilis* Martini & Bramlette, *Discoaster challengeri* Bramlette & Riedel, *Discoaster brouweri* Tan Sin Hok, *Discoaster pentaradiatus* Tan Sin Hok, *Sphenolithus abies* Deflandre, *Helicosphaera kamptneri* Hay & Mohler. Tienen su última aparición *Discoaster calcaris* Gartner y *Discoaster neohamatus* Bukry & Bramlette. El *Ceratolithus tricorniculatus* tiene su primera

aparición en la parte inferior de la zona NN11. Especímenes raros de *Discoaster surculus* Martini & Bramlette, suelen aparecer a través de la zona y la especie *Reticulofenestra pseudoumbilica* suele tener su primera aparición en la parte superior de la zona de *Discoaster quinqueramus*.

NN12: Zona de *Ceratolithus tricorniculatus*

Definición: Intervalo desde la última aparición de *Discoaster quinqueramus* Gartner hasta la primera ocurrencia de *Ceratolithus rugosus* Bukry & Bramlette.

Localidad tipo: Core P 6603-49: 331-501 cm, 28°30' O (Océano Atlántico) (30).

Especies comunes: Están listadas en la parte superior de la Zona NN11 en común a *Discoaster surculus*.

NN13: Zona de *Ceratolithus rugosus*

Definición: Intervalo desde la primera aparición del *Ceratolithus rugosus* Bukry & Bramlette hasta la primera aparición del *Discoaster asymmetricus* Gartner.

Localidad tipo: Core P 6603-49: 311-321 cm, 28°30' N 77°30' O (Océano Atlántico) (30).

Especies comunes: *Ceratolithus tricornatus* (NN12), además de *Ceratolithus rugosus* Bukry & Bramlette.

2.5 DEFINICIÓN DE LAS ESPECIES DE NANOPLANKTON CALCÁREO IMPORTANTES

Discoaster quinqueramus: Forma estrellada con 5 brazos delgados espaciados regularmente, doblados agudamente en la extremidad hacia lado proximal. Estructura central con 5 nodos laterales prominentes en la cara proximal. Tamaño de 10-12 micrones. Rango NN 11A – NN 11B. Figura 9 (Young, 1998).

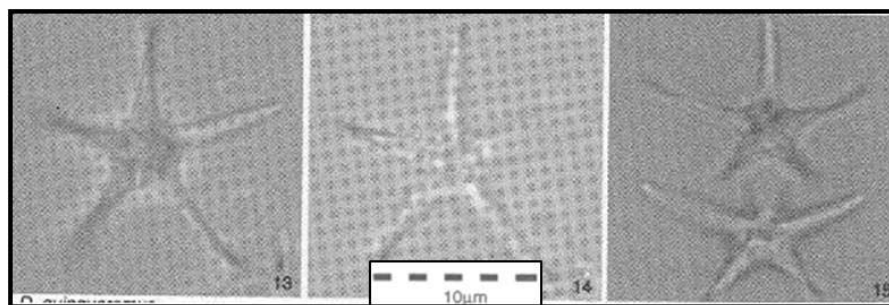


Figura 9. *Discoaster quinqueramus* (Young, 1998).

Discoaster variabilis Martini & Bramlette, 1963: Área central con crestas distales y proximales pero con suturas débiles. Bifurcaciones bien desarrolladas. Rango: NN 4 – NN 16. Figura 10 (Young, 1998).

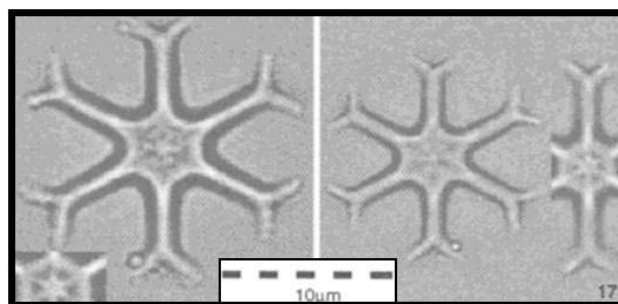


Figura 10. *Discoaster variabilis* (Young, 1998).

Discoaster challengeri Bramlette & Riedel, 1954: Área central estrecha y con una sola protuberancia débil. Bifurcaciones bien desarrolladas. Tiene una forma generalizada, pero sus diferencias le dan valor estratigráfico distinguiéndolo de *D. exilis* y *D. variabilis*. Rango: NN 5 – NN 10. Figura 11 (Young, 1998).

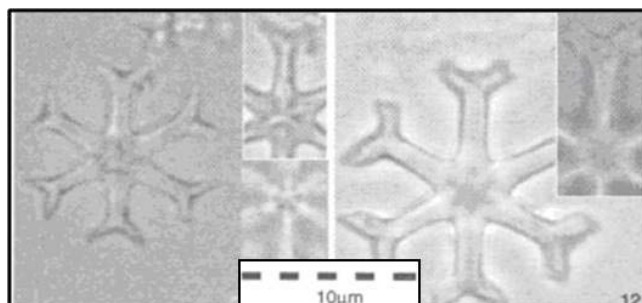


Figura 11. *Discoaster challengeri* (Young, 1998).

Discoaster brouweri: Posee 6 brazos cilíndricos. Variedad **a**: los rayos se engrosan hacia la parte distal, no bifurcados: Variedad **b**: Los rayos no se engrosan y están provistos de una muesca. Variedad **c**: Los rayos se engrosan hacia la parte distal y están bifurcados. Variedad **d**: los brazos son petaloides. Tamaño entre 12-15 micrones. Rango NN 8 – NN 21. Figura 12 (Young, 1998).

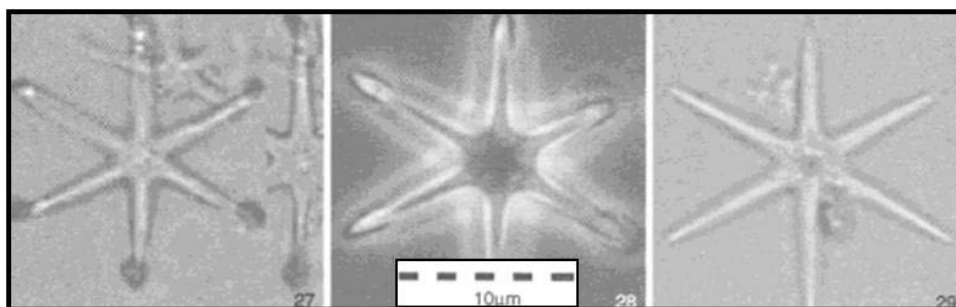


Figura 12. *Discoaster brouweri* (Young, 1998).

Discoaster pentaradiatus Tan, 1927: Con 5 brazos. Variedad **a**: Los brazos se engrosan hacia la parte distal, no bifurcados. Variedad **b**: Los brazos no se engrosan hacia la parte distal, está provisto de un nódulo. Variedad **c**: Los brazos se engrosan y se ramifican. Variedad **d**: Los brazos son petaloides, poco frecuentes. Tamaño entre 9 – 12 micrones. Rango: NN 9 – NN 17. Figura 13(Young, 1998).

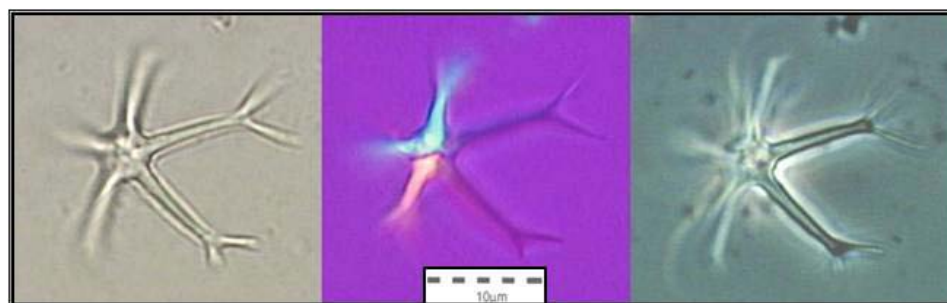


Figura 13. *Discoaster pentaradiatus* (INA, 1999).

Discoaster calcaris Gartner, 1967b: Forma estrellada usualmente de 6 brazos de terminaciones bifurcadas asimétricamente, cuya rama más larga tiene forma levantada y ligeramente ensanchada; la rama más pequeña de la bifurcación forma alrededor de 60° con el brazo del discoastérido, formando una especie de espuela en

la terminación del rayo. Tamaño aproximado: 16 – 20 micrones. Rango NN 9 – NN 11. Figura 14 (Young, 1998).

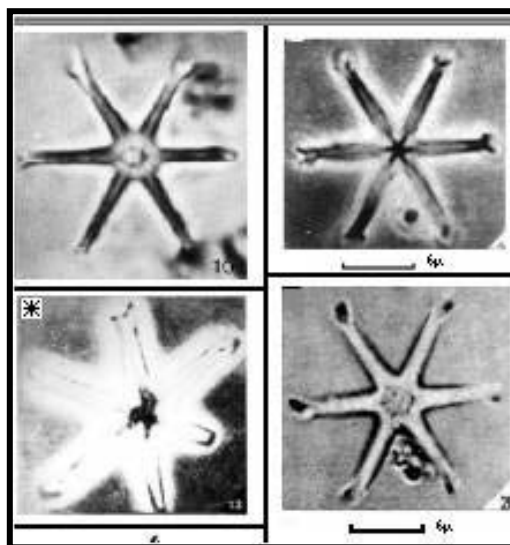


Figura 14. *Discoaster calcaris* (Wise et al., 2002).

Discoaster neohamatus Bukry & Bramlette, 1969: Esta especie tiene 6 brazos largos y delgados, cuyas terminaciones se doblan en dirección proximal (vista en planta) y terminan en puntos. No tiene una estructura central distintiva, carece de ornamentación. Tamaño: 10 – 15 micrones. Figura 15 (Wise et al. 2002).

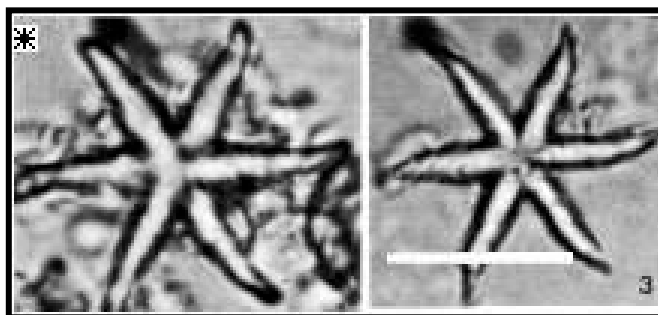


Figura 15. *Discoaster neohamatus* (Wise et al. 2002).

Discoaster surculus Martini & Bramlette, 1963: Similar a *D. variabilis* pero con una extensión en las terminaciones dándole apariencia de terminaciones trifurcadas. Con frecuencia es necesario mover el foco en nículos paralelos para

observar las extensiones de las terminaciones. Rango NN10 – NN 16. Figura 16 (Young, 1998).

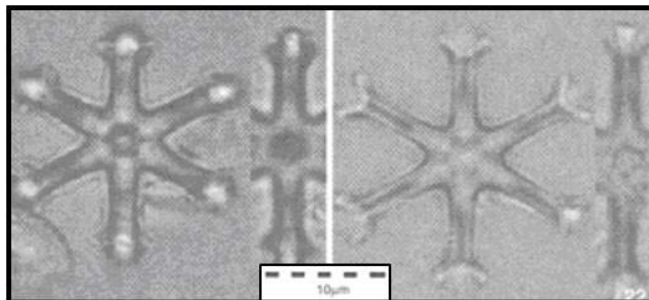


Figura 16. *Discoaster surculus* (Young, 1998).

Discoaster triradiatus Tan, 1927: Variedad de tres brazos simétricos de *D. brouweri*. Común en la parte superior del NN8. Rango: NN 17 – NN 18. Figura 17 (Young, 1998).

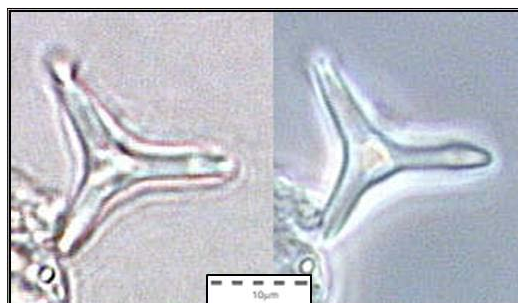


Figura 17. *Discoaster triradiatus* (INA, 1999).

Discoaster asymmetricus Gartner, 1969: Forma de estrella con 5 brazos delgados cuyos ángulos de separación entre sí no son iguales. Tamaño entre 10 – 14 micrones. Rango: NN 10 – NN 18. Figura 18 (Young, 1998).

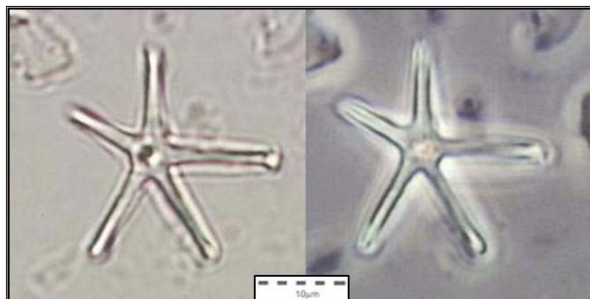


Figura 18. *Discoaster asymmetricus* (INA, 1999)

Sphenolithus abies Deflandre in Deflandre & Fert, 1954: Especie sin una espina apical prominente, similar a *S. moriformis* pero más elevado y de contorno cúspico. Rango: NN12 – NN 15. Figura 19 (Young, 1998).

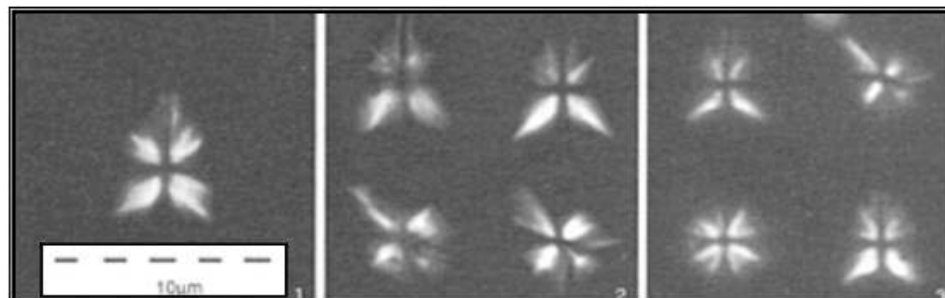


Figura 19. *Sphenolithus abies* (Young, 1998).

Helicosphaera kamptneri Hay & Mohler in Hay *et al.*, 1967: El piso del cocolito es cóncavo cuando es visto desde su lado convexo, sugiriendo que los cocolitos están, probablemente, arreglados (aunque planos) como un cocolito típico, con la apertura hacia el exterior cuando se encuentra unido a la superficie del cocolitosfórido viviente. Tamaño del holotipo: 10 micrones. Rango: NN1 – NN 21. Figura 20 (Young, 1998).

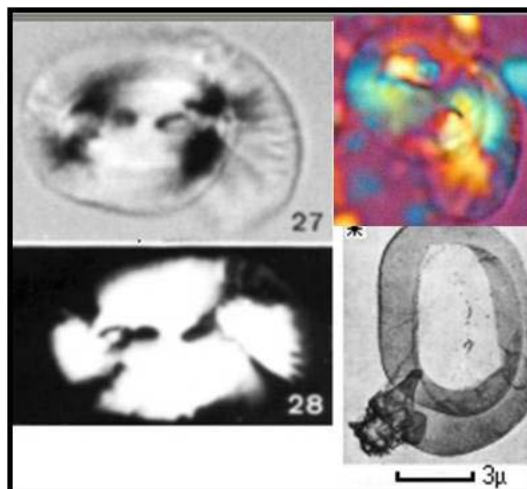


Figura 20. *Helicosphaera kamptneri* (Tomado y modificado de Wise *et al.*, 2002).

Helicosphaera ampliaperta Bramlette & Wilcoxon, 1967: Similar a la *Helicosphaera kamptneri* pero con una amplia apertura central. Rango: NN2 – NN4. Figura 21 (Young, 1998).



Figura 21. *Helicosphaera ampliaperta* (INA, 1999).

Amaurolithus tricorniculatus (Gartner, 1967b): El brazo derecho se extiende en una espuela apical. Rango: NN11b – NN 14. Figura 22 (Young, 1998).

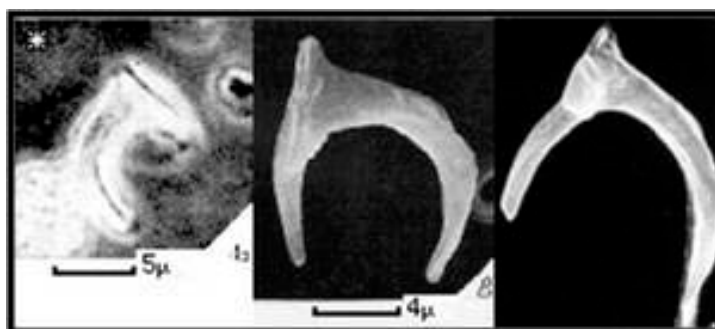


Figura 22. *Amaurolithus tricorniculatus* (Wise et al., 2002).

Ceratolithus rugosus Bukry and Bramlette, 1968: Esta especie extinta se caracteriza por su robustez pronunciada y superficie rugosa, así como por la orientación de la calcita que lo constituye. Bajo nícoles cruzados este ceratolito se ve opaco o brillante de acuerdo con la rotación de la platina, lo que es indicativo de la misma orientación cristalográfica que *C. cristatus*. Los dientes son visibles en algunas especies como ésta, particularmente en la parte superior de su rango. Máxima longitud: 18 micrones. Figura 23 (Wise et al., 2002).

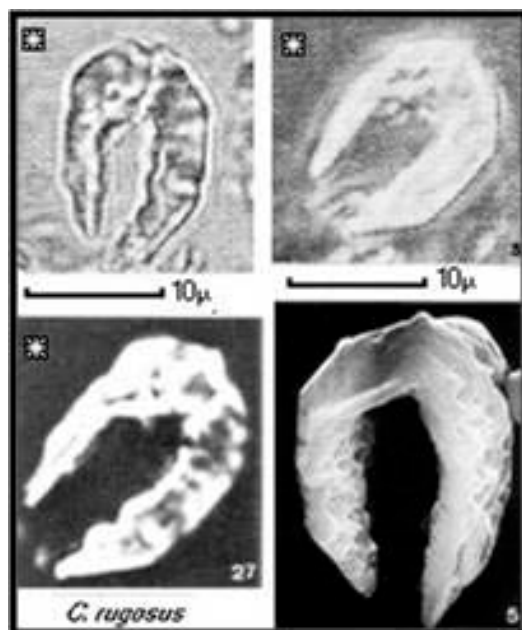


Figura 23. *Ceratolithus rugosus* (Wise et al., 2002).

Reticulofenestra pseudoumbilicus (Gartner, 1967b): Es conveniente para bioestratigrafía separar los especímenes mayores de 7 micrones. Área central bastante amplia. Rango: NN7 – NN 15. Figura 24 (Young, 1998).

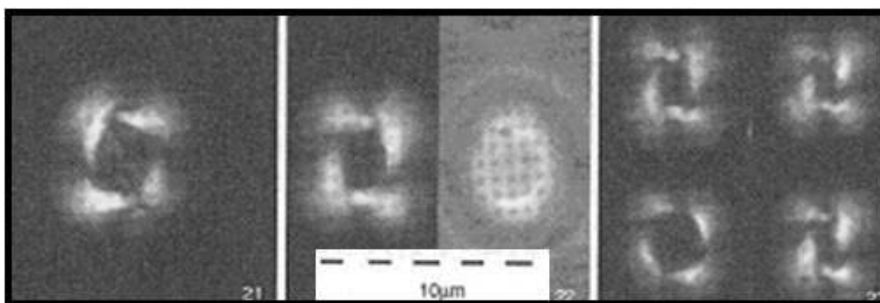


Figura 24. *Reticulofenestra pseudoumbilicus* (Young, 1998).

Amaurolithus delicatus Gartner & Buhry, 1975: Amaurolito simple en forma de herradura. Relacionado con otros morfotipos, especialmente con *A. primus* y *A. tricorniculatus*. Rango: NN11 – NN13. Figura 25 (Young, 1998).

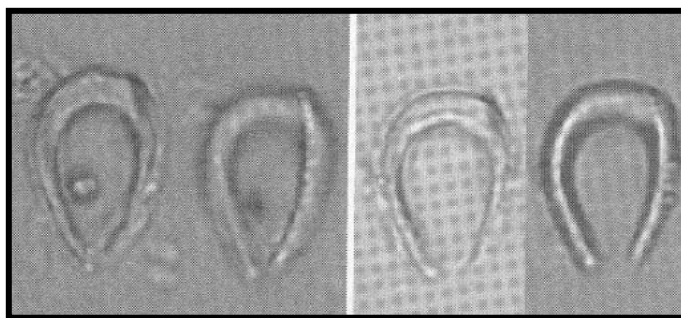


Figura 25. *Amaurolithus delicatus* (Young, 1998).

Pseudoemiliania lacunosa (Kamptner, 1963) Gartner, 1969: Cocolito circular a sub-circular con más de 12 elementos, es abundante en el Plioceno Tardío, pero las formas bien desarrolladas, grandes y circulares ocurren sólo en el Pleistoceno. Rango: NN 15 – NN 19. Figura 26 (INA, 1999).

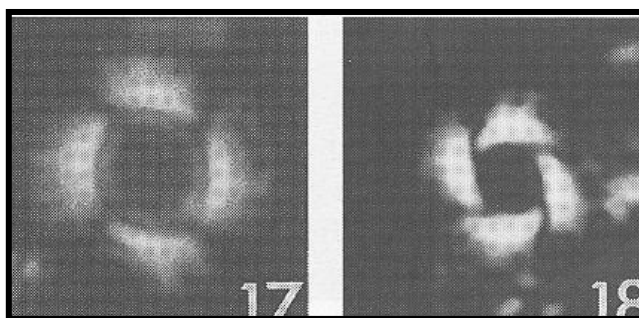


Figura 26. *Pseudoemiliania lacunosa* (Young, 1998).

2.6 ZONACIÓN DE FORAMINÍFEROS PLACTÓNICOS DEL NEÓGENO (Kennett & Srinivasan, 1983):

Los diversos estudios que se han realizado con las perforaciones estudiadas del *Deep Sea Drilling Project* han ayudado en el desarrollo de nuevos esquemas bioestratigráficos. Los esquemas más ampliamente utilizados han sido los desarrollados por Bolli (1957a, 1966), Banner & Blow (1965) y el de Blow (1969) para las regiones tropicales, así como el de Jenkins (1971) para las regiones templadas.

La primera publicación de Bolli fue la de zonaciones del Paleoceno al Mioceno de Trinidad, subsecuentemente dividió el Plioceno y Pleistoceno en zonas y

subzonas. Inicialmente Bolli (1957a 1966) dividió el Mioceno en 15 zonas y el Plioceno en 2, luego, con datos del *DSDP*, Bolli (1970) y Bolli & Premoli Silva (1973) presentaron una zonación revisada definiendo 14 zonas para el Mioceno, 5 zonas para el Plioceno, la zona de *G. truncatulinoides* del Pleistoceno se subdividió en 4 subzonas, así como se definió una subzona para el Holoceno. La zonación de Bolli (1957 a 1966) ha sido corregida en diversas ocasiones por algunos investigadores, sin embargo, la mayoría de los bioestratígrafos encuentran dicha zonación ampliamente aplicable, aunque poco la aplican directamente.

El esquema más comunmente utilizado es el de Banner & Blow (1965), y Blow (1969), los cuales son muy similares a las de Bolli (1970). Ambos esquemas definen aproximadamente 45 zonas para todo el Cenozoico.

Para Blow (1969), el Paleógeno está dividido en 22 zonas, desde la P1 para el Paleoceno más temprano, hasta la P22 correspondiente a la parte más tardía del Oligoceno; por otro lado el Neógeno está subdividido en 20 zonas, desde la N4 para el Mioceno más temprano hasta la N23 para el Cuaternario tardío.

La amplia utilización de dicha zonación viene dada mayormente porque define numéricamente cada zona, lo cual resulta más conveniente para fines prácticos, a diferencia de la identificación de cada zona con nombres taxonómicos, provee una mejor idea general de la secuencia estratigráfica. Este esquema ha sido aceptado a pesar de que va en contra de las normas existentes del Código Estratigráfico (Kennet & Srinivasan, 1983).

En el presente trabajo los especialistas en al análisis de foraminíferos utilizaron los rangos de las edades de los fósiles definidos por Bolli & Saunders (1985) y su equivalencia en la zonación de Blow (1969) para una mejor ubicación de los distintos niveles estratigráficos. Dichas zonas se definen a continuación según Bolli & Saunders (1985):

Zona de *Globigerinoides primordius*:

Edad: Mioceno Temprano.

Definición: Definida por Blow (1969). Intervalo que va desde la primera aparición de *Globigerinoides primordius/trilobus*, hasta la última ocurrencia de *Globorotalia kugleri*.

Equivalencia de Blow: N4.

Zona de *Catapsydrax dissimilis*:

Edad: Mioceno Temprano.

Definición: Definida por Cushman & Renz (1947), modificada por Bolli (1957). Intervalo desde la última aparición de *Globorotalia kugleri* hasta la primera aparición de *Globigerinatella insueta*.

Equivalencia de Blow: N5.

Zona de *Catapsydrax stainforthi*:

Edad: Mioceno Temprano.

Definición: Definida por Bolli (1957). Intervalo desde la primera aparición de *Globigerinatella insueta* hasta la última ocurrencia de *Catapsydrax dissimilis*.

Equivalencia de Blow: N6.

Zona de *Globigerinatella insueta*:

Edad: Mioceno Temprano.

Definición: Definida por Cushman & Stainforth (1945) modificada por Bolli (1957). Intervalo desde la última aparición de *Catapsydrax dissimilis* hasta la primera aparición de *Praeorbulina glomerosa*.

Equivalencia de Blow: N7.

Zona de *Praeorbulina glomerosa*:

Edad: Mioceno Temprano.

Definición: Definida por Blow (1959) y renombrada por Bolli (1966a) Intervalo desde la primera aparición de la *Praeorbulina glomerosa* hasta la última aparición de *Globigerinatella insueta*.

Equivalencia de Blow: N8.

Zona de *Globorotalia fohsi peripheroronda*:

Edad: Mioceno Medio.

Definición: Definida por Bolli (1957) y renombrada por Blow & Banner (1966), Bolli (1967). Intervalo que va desde la última aparición de la *Globigerinatella insueta* hasta la primera aparición de *Globorotalia fohsi fohsi*.

Equivalencia de Blow: N9.

Zona de *Globorotalia fohsi fohsi*:

Edad: Mioceno Medio:

Definición: Definida por Cushman & Stainforth (1945) y enmendada por Bolli (1957). Intervalo que va desde la primera aparición de *Globorotalia fohsi fohsi*, hasta la primera aparición de *Globorotalia fohsi lobata*.

Equivalencia de Blow: N10.

Zona de *Globorotalia fohsi lobata*:

Edad: Mioceno Medio.

Definición: Definida por Bolli (1957). Intervalo que va desde desde la primera aparición de la *Globorotalia fohsi lobata* hasta la primera aparición de *Globorotalia fohsi robusta*.

Equivalencia de Blow: N11.

Zona de *Globorotalia fohsi robusta*:

Edad: Mioceno Medio.

Definición: Definida por Bolli (1957). El único evento característico para este intervalo, aparte de la aparición del marcador, es la aparición de ejemplares de gran tamaño de *Sphaeroidinellopsis multiloba* con más de 5 cámaras en la última vuelta.

Equivalencia de Blow: N12.

Zona de *Globigerinoides ruber*:

Edad: Mioceno Medio.

Definición: Definida por Bolli (1966a). Intervalo que va desde la última aparición de *Globorotalia fohsi robusta*, hasta la última aparición del marcador en el Mioceno.

Equivalencia de Blow: N13.

Zona de *Globorotalia mayeri*:

Edad: Mioceno Medio.

Definición: Definida por Brönnimann (1951a). Modificada por Bolli (1966a). Intervalo que va desde la última aparición miocena de *Globigerinoides ruber* hasta la última aparición de *Globorotalia mayeri*.

Equivalencia de Blow: N14.

Zona de *Globorotalia menardii*:

Edad: Mioceno Medio.

Definición: Definida por Stainforth (1948). Modificada por Brönnimann (1951a) y refinada por Bolli (1966a). Intervalo que va desde la última aparición de *Globorotalia mayeri* hasta la primera ocurrencia de *Globorotalia acostaensis*.

Equivalencia de Blow: N15.

Zona de *Globorotalia acostaensis*:

Edad: Mioceno Tardío.

Definición: Definida por Bolli & Bermúdez (1965). Intervalo que va desde la primera aparición de *Globorotalia acostaensis* hasta la primera ocurrencia de *Globorotalia humerosa*.

Equivalencia de Blow: N16.

Zona de *Globorotalia humerosa*:

Edad: Mioceno Tardío.

Definición: Definida por Bolli & Bermúdez (1965). Intervalo que va desde la primera aparición de *Globorotalia humerosa*, a la primera aparición de *Globorotalia margaritae*.

Equivalencia de Blow: N17.

Zona de *Globorotalia margaritae*:

Edad: Plioceno Temprano.

Definición: Definida por Bolli & Bermúdez (1965). Intervalo de aparición del marcador zonal y se divide en dos subzonas:

Subzona de *Globorotalia margaritae margaritae*:

Edad: Plioceno Temprano.

Definición: Redefinido por Bolli & Premoli Silva (1973). Intervalo que va desde la primera aparición de *Globorotalia margaritae margaritae* hasta la primera aparición de *Globorotalia margaritae evoluta*.

Equivalencia de Blow: N18.

Subzona de *Globorotalia margaritae evoluta*:

Edad: Plioceno Temprano.

Definición: Intervalo que abarca el rango de extensión de la *Globorotalia margaritae margaritae*.

Equivalencia de Blow: N19.

Aunque para la presente zonación esta especie es considerada marcadora del inicio del Plioceno Temprano, en la tabla cronoestratigráfica utilizada en este trabajo (Tabla 1), su primera aparición está incluida dentro del Mioceno tardío, por lo tanto no se tomó como indicadora del límite Mioceno - Plioceno.

Zona de *Globorotalia miocenica*:

Edad: Plioceno medio.

Definición: Intervalo definido por Bolli (1970) y renombrado por Bolli & Premoli Silva (1973). Corresponde a la última aparición de *Globorotalia margaritae evoluta* y la última aparición de *Globorotalia miocenica* o *Globorotalia exilis*.

Subzona del *Globigerinoides trilobus fistulosus*:

Edad: Plioceno medio.

Definición: Definido por Bolli & Premoli (1973). Intervalo entre la última aparición de *Globorotalia margaritae evoluta* y la última aparición del marcador de la subzona (*Globigerinoides trilobus fistulosus*).

Equivalencia de Blow: N20.

Subzona de *Globorotalia exilis*:

Edad: Plioceno medio.

Definición: Definido por Bolli & Premoli Silva (1973). Intervalo que abarca desde la extinción de *Globigerinoides trilobus fistulosus* hasta la extinción de *Globorotalia miocenica* o *Globorotalia exilis*.

Equivalencia de Blow: N21.

Zona de *Globorotalia tosaensis tosaensis*:

Edad: Plioceno Tardío.

Definición: Definido por Bolli (1970). Intervalo comprendido entre la extinción de *Globorotalia miocenica*/ *Globorotalia exilis* a la primera aparición de *Globorotalia truncatulinoides truncatulinoides*.

Equivalencia de Blow: N21.

Zona de *Globorotalia truncatulinoides truncatulinoides*:

Edad: Pleistoceno – Holoceno.

Definición: Definida por Bolli & Bermúdez (1965) y renombrada por Bolli (1966a) y Bolli & Premoli Silva (1973), estos últimos subdividieron esta zona en 4 subzonas para el Pleistoceno y una subzona para el Holoceno:

Subzona de *Globorotalia crassaformis viola*:

Edad: Pleistoceno.

Definición: Definida por Bolli & Premoli Silva (1973). Intervalo que va desde la primera aparición de *Globorotalia truncatulinoides truncatulinoides* hasta la primera aparición de *Globorotalia crassaformis hessi*.

Equivalencia de Blow: N22.

Subzona de *Globorotalia crassaformis hessi*:

Edad: Pleistoceno.

Definición: Definida por Bolli & Premoli Silva (1973). Intervalo entre la primera aparición del marcador zonal y la primera aparición de *Globigerina calida*.

Equivalencia de Blow: N22.

Subzona de *Globigerina calida calida*:

Edad: Pleistoceno.

Definición: Definida por Bolli & Premoli Silva (1973). Intervalo entre la primera aparición del marcador zonal, y la extinción de *Globorotalia tumida flexuosa*.

Equivalencia de Blow: N22.

Subzona de *Globigerina bermudezi*:

Edad: Pleistoceno.

Definición: Definida por Bolli & Premoli Silva (1973). Intervalo desde la última aparición de *Globorotalia tumida flexuosa* hasta la primera aparición de *Globorotalia fimbriata*.

Equivalencia de Blow: N23.

Subzona de *Globorotalia fimbriata*:

Edad: Holoceno.

Definición: Definida por Bolli & Premoli Silva (1973), esta subzona representa aproximadamente los últimos 11000 años y corresponde al período post-glacial. La especie *Globorotalia unguolata* es otro taxón reconocido que se restringe a esta subzona.

Equivalencia de Blow: N23.

2.7 NANOFACIES:

Se denomina **facies** al conjunto de rocas con determinadas características, ya sean paleontológicas o litológicas (como la forma, el tamaño, la disposición de sus granos y su composición de minerales o contenido fósil) que ayudan a conocer dónde y cuando se formó la roca.

En este trabajo se realizó el estudio de “nanofacies”, Durán (1995a) propone la definición de nanofacies como asociaciones determinadas no sólo con base en el contenido de nanoflora, sino con base también en el resto del residuo presente en las muestras, tanto orgánico como inorgánico (minerales, materia orgánica, fósiles vegetales y animales). Esto gracias a que durante el proceso de preparación de las muestras para el análisis de nanoplancton calcáreo no se utilizan sustancias químicas que pudieran alterar las características de los componentes de las mismas, a diferencia de la preparación para el análisis de otros grupos fósiles (como palinomorfos), aquí solo se utiliza agua destilada; por lo tanto se hace posible la observación y conteo de otros elementos marinos aparte del nanoplancton calcáreo tales como ejemplares juveniles de foraminíferos, materia orgánica amorfa de origen marino, glauconita, entre otros, así como también es posible la observación de material de origen continental tal como: granos de polen, esporas, pirita detrítica y materia orgánica de origen terrestre (material leñoso, cuticular, entre otros).

El uso de estas nanofacies permite un mejor aprovechamiento de la información suministrada por las muestras. Aunque la preparación resulte estéril en cuanto al contenido de nanoflora, es posible obtener una interpretación de la tendencia paleoambiental basada en el análisis del resto de elementos que la componen.

En el análisis de nanofacies, es de vital importancia realizar un estudio detallado de los resultados correspondientes a abundancia y diversidad reportados tanto de los organismos planctónicos y otros elementos marinos, como de materiales de origen continental; para esto, es necesaria la realización de gráficos de área porcentual donde sea posible la identificación del aumento o disminución relativa de

cada uno de estos elementos, permitiendo de este modo identificar incrementos en el registro de elementos marinos e interpretarlos como superficies o niveles de inundación o de máxima inundación (*FS* y *MSF*), mientras que cuando se identifican disminuciones de dicho registro, junto con un aumento de material de origen terrestre, se interpreta la posible existencia de límites de secuencias (*SB*). Gracias a la identificación de estos niveles, los cuales se determinan integrando los resultados con las demás disciplinas (foraminíferos y palinología), es posible también la interpretación de eventos transgresivos y regresivos con base en la lejanía o cercanía con respecto a la línea de costa.

Para la identificación de dichos niveles, Durán (1995), propone 5 asociaciones para el estudio de nanofacies definidas de la siguiente manera:

Asociación I: Se caracteriza por estar constituida por material netamente continental, materia orgánica medianamente seleccionada, abundante piritita detrítica y puede estar presente el grupo de los palinomorfos.

Asociación II: Constituida por material arcilloso muy fino, la piritita detrítica es común, la materia orgánica es de origen terrestre, pudiéndose observar restos leñosos, material amorfo, cuticular y restos epidermales.

Estas dos primeras asociaciones se relacionan con ambientes costeros y fluvio-marinos, caracterizados generalmente por la ausencia de organismos planctónicos, ocurrencias ocasionales de restos de organismos bentónicos, abundante materia orgánica de origen terrestre y abundante piritita detrítica.

Asociación III: Esta asociación está constituida por materia orgánica de origen continental mal seleccionada y en menor proporción que en las asociaciones descritas anteriormente, se reportan también algunos conteos de glauconita y organismos planctónicos pobremente preservados.

Asociación IV: Se caracteriza por un aumento considerable en el porcentaje de glauconita con respecto a las asociaciones descritas anteriormente, bajo contenido de material orgánico, así como porcentajes variables de nanoplancton, microforaminíferos, dinoflagelados, entre otros elementos de origen marino.

Asociación V: En esta asociación los porcentajes de pirita son muy bajos, así como la presencia de materia orgánica, a diferencia de la glauconita la cual aumenta considerablemente. En cuanto al conjunto de nanoflora, se hace más abundante la ocurrencia de los diferentes organismos planctónicos. Destaca el dominio del género *Discoaster*, el cual se asocia a ambientes de aguas tranquilas, bien oxigenadas y muy poco turbulentas, por tratarse de estructuras simples y delicadas; a diferencia del género *Helicosphaera*, que por tratarse de estructuras más complejas y resistentes, se asocia a ambientes de mayor energía, más cercanos a la línea de costa.

Estas últimas tres asociaciones representan ambientes marinos hemipelágicos con influencia terrestre, hemipelágico y pelágico respectivamente; y se caracterizan por contener porcentajes variables de diferentes organismos planctónicos, materia orgánica y la ocurrencia de minerales como glauconita y pirita autigénica.

Mediante una interpretación completa de los resultados con base en la utilización de estas nanofacies (adicionalmente al estudio tradicional de nanoflora), se puede mejorar considerablemente la calidad de los datos obtenidos a través del estudio de nanofósiles, esto sumado a la correlación con la información obtenida por otras disciplinas contribuye de manera muy significativa al conocimiento detallado de la evolución paleogeográfica de una cuenca, debido a que se pueden verificar y apoyar con mayor firmeza los niveles propuestos como superficies estratigráficas claves, para una interpretación más precisa de los procesos transgresivos y regresivos dominantes dentro de la misma.

CAPÍTULO III

GEOLOGÍA REGIONAL

El presente trabajo fue realizado en un pozo perforado costa afuera en la cuenca de Carúpano, ubicada en la Placa del Caribe, por esto, para dar una idea del marco geológico donde esta se desarrolló, en el presente capítulo se hace una breve reseña de las dos teorías que han sido propuestas para explicar el origen de esta Placa, luego se describe la evolución general de la ya mencionada cuenca, para luego proceder, de manera más específica, a la descripción de la Formación Cubagua, a la cual corresponde la sección estratigráfica atravesada por el pozo del cual proceden las muestras estudiadas.

3.1. PLACA CARIBE

Es comúnmente manejado un origen pacífico para la placa del Caribe, mientras que pocos artículos argumentan a favor de un origen interamericano. James (2006) discute argumentos publicados que apoyan al origen pacífico y toma en consideración otros que apuntan a un origen interamericano de dicha placa, el cual se menciona a continuación:

3.1.1 Sumario del modelo de un origen Pacífico:

En principio, la teoría pacífica comienza mostrando una reconstrucción paleogeográfica en la cual el bloque Maya yace a lo largo de la costa norte de Suramérica, entre Norteamérica y Suramérica; mientras que el bloque Chortis se encuentra hacia el oeste de México. La provincia oceánica del “proto-Caribe” y el Golfo de México se forman en el Jurásico - Cretácico Temprano, cuando Norteamérica se aleja a la deriva de Pangea y el bloque Maya rota en sentido horario

50° o más. El arco de islas “proto-Antillas” (o Gran Arco del Caribe) está ubicado de cara al este y con tendencia noroeste-sureste, a través del extremo occidental del proto-Caribe, a lo largo de México y al noroeste de Suramérica. La futura Placa Caribe se encuentra al oeste de dicho arco.

En el Cretácico la futura Placa Caribe es engrosada convirtiéndose en una gran provincia ígnea/plateau oceánico. Dicho engrosamiento ocurre durante su migración hacia el noreste a través del punto caliente de Galápagos; sobre la punta de una o dos plumas mantelares, fundiéndose rápidamente, donde dicho engrosamiento se explicaría por fusión por descompresión.

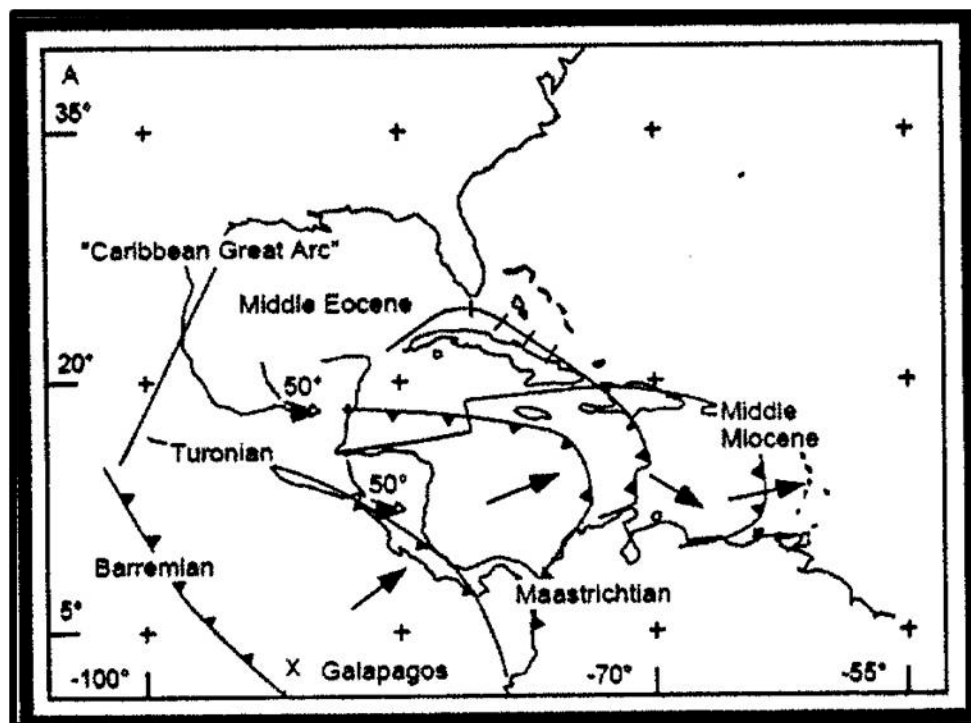


Figura 27. Origen Pacífico de la Placa Caribe (James, 2006).

A finales del Cretácico y principio del Paleoceno, ocurre una inversión en la dirección de subducción de la Placa Caribe por debajo del borde principal del Gran Arco del Caribe. La Placa Caribe entró en el vacío que existía entre Norte y Suramérica, sobrecorriendo la corteza oceánica “proto-Caribe”.

El bloque Chortis se mueve hacia el sureste ubicándose en América Central, acreacionándose en el borde posterior de la Placa Caribe.

La actividad del Gran Arco del Caribe cesó luego de la colisión con Norte y Suramérica en el Paleoceno-Eoceno Medio. Esta colisión es vista como un episodio temprano en la interacción continua y diacrónica de la Placa Caribe con Norte y Suramérica durante su migración desde el Pacífico.

El límite de las placas Caribe y Norteamérica se desplazó desde el norte de Cuba, a través de las fallas Oriente-Swan de la depresión de Caimán; asumiendo ahora la Placa Caribe una dirección de migración hacia el este, entre Norte y Suramérica, ocurriendo un desplazamiento sinistral de 1.100 a 1.300 km a lo largo del límite norte de la Placa Caribe, con un desplazamiento similar pero dextral al sur de la misma, a partir del comienzo de la apertura de la Depresión de Caimán en el Eoceno (Figura 27).

Los segmentos norte y sur del Gran Arco del Caribe se extendieron en una dirección E-O, formando las Antillas Mayores y la cadena de islas Holandesas - Venezolanas, el resto de los segmentos del arco con tendencia norte-sur formaron las Antillas Menores al norte y la dorsal de Aves. El último segmento de arco se movió hacia el sur de la Antillas Menores cuando la cuenca retroarco o interarco de Granada se formó, en el Eoceno.

3.1.2 Sumario del modelo de un origen interamericano:

Este modelo comienza con una reconstrucción de Pangea donde no intervienen rotaciones a gran escala de elementos como los bloques Maya y Chortis. Su evolución es explicada más bien a través de una transtensión sinistral entre Norte y Suramérica.

En el Jurásico-Cretácico, cuando Norteamérica deriva hacia el norte de Gondwana, es cuando se forma el “proto-Caribe”, junto con el Golfo de México, la cuenca de Yucatán y la depresión de Caimán.

Se desarrolla corteza continental extendida o transicional en la plataforma de Bahamas, los márgenes del Golfo de México, las partes distales de la depresión de Caimán o el levantamiento de Nicaragua.

El límite sinistral entre Caribe y Norteamérica se encuentra a lo largo de la fosa temprana de Caimán y entre los grandes bloques Maya y Chortis.

El engrosamiento de corteza oceánica presente hoy en día en las cuencas de Venezuela, Colombia y Yucatán, ocurre como resultado de la fusión por descompresión, asociada quizás a puntos triples que anunciaban saltos de expansión tanto para el Atlántico como para el Pacífico durante el Aptiense.

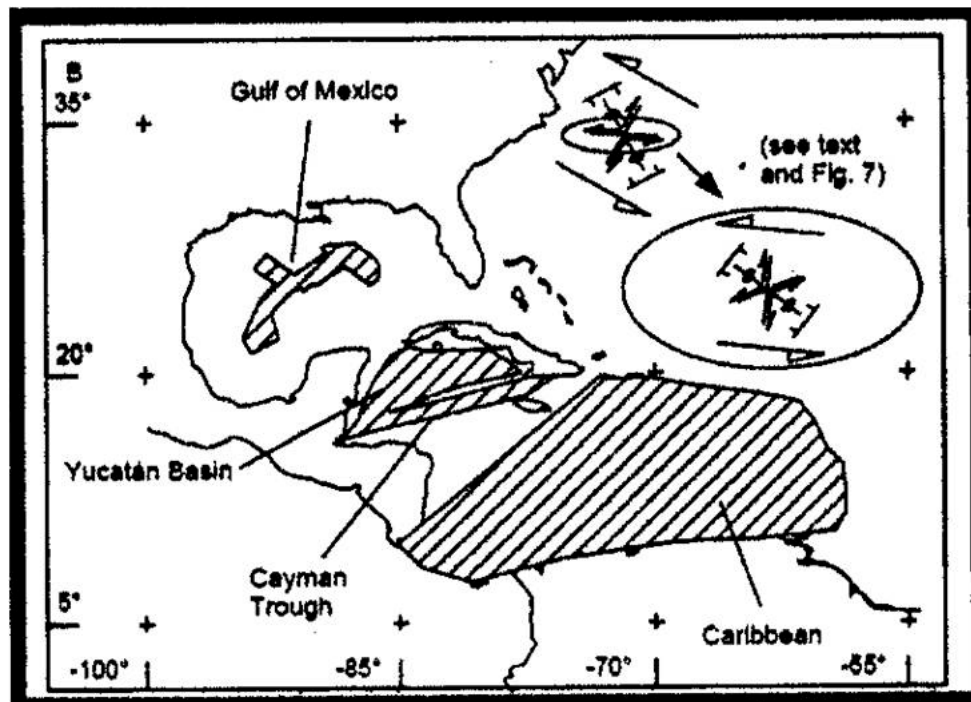


Figura 28. Origen Interamericano de la Placa del Caribe (James, 2006).

La convergencia con el área Caribe por la expansión del Atlántico y el Pacífico, da origen a arcos de islas en los bordes este y oeste de ésta, ocasionando un aislamiento de la misma. Las direcciones de las divergencias atlántica y pacífica ocasiona una extensión de la placa Caribe y una mayor descompresión relacionada a la extrusión, principalmente de 90-88 Ma pero que se extiende hasta los 75 Ma. (Figura 28)

El continuo desplazamiento de la Placa Norteamericana hacia el oeste con respecto a la Placa Suramericana (y Placa Caribe) resultó en la subducción continua en las Antillas Menores. En los depósitos paleógenos de flysch y wildflysch se incluyen olistolitos de rocas sedimentarias mesozoicas de margen continental de gran tamaño, rocas de arcos de islas, así como serpentinitas y ofiolitas formadas a lo largo del margen de placas.

El evento culmina violentamente en el Eoceno Medio con el desarrollo de una discordancia regional a la cual suprayacen carbonatos regionales marino someros, registrándose así el levantamiento regional de la zona base del oleaje y la zona fótica. Subsecuentemente, la placa permanece relativamente estacionaria en su movimiento hacia el oeste con respecto a las placas de Norte y Suramericana.

La subducción durante el Oligoceno-Reciente a lo largo de los límites norte y sur de placa Caribe, genera una extensión *pull-apart* que migra al este, empujando y complementando la subsidencia de la cuenca antearco.

La actividad del arco volcánico a lo largo de los límites este y oeste de la placa registra la convergencia continua con las placas oceánicas circundantes.

Tardáguila (2008), explica la evolución de la placa Caribe a partir del Terciario, la cual deja una idea bastante clara de los procesos que influyen a nivel regional en el desarrollo de la cuenca de Carúpano, una síntesis de dicha evolución se presenta a continuación:

Durante el Terciario y previo al Mioceno Medio, la convergencia de Norte y Suramérica genera un mecanismo de subducción y colisión oblicua en el margen meridional caribeño, el cual acomoda tanto el acortamiento norte-sur, como el desplazamiento relativo hacia el este de la placa Caribe, el cual sufre un cambio debido a los altos niveles de colisión entre ambas placas, dando inicio desde ese momento (17-15 Ma) a una repartición de las deformaciones.

La interacción tectónica entre las placas Caribe y Norte y Suramericana genera sistemas de fallas con desplazamientos transcurrentes dextrales los cuales propician la formación de provincias fisiográficas y cuencas sedimentarias en el margen norte de Venezuela.

Según Schubert (1984; citado en Tardáguila, 2008) se tiene el sistema de fallas Morón-El Pilar, el cual cruza desde el este y continúa con un quiebre curvado fuerte y se une en el norte con la falla transcurrente de Boconó. Esta zona de falla de Morón, activada hace unos 2 Ma, pasa y cruza hacia el sur terminando en la cuenca *pull-apart* de Cariaco. Estudios realizados por Giraldo (1993; 1996; citados en Tardáguila, 2008) indican que el margen sur de esta cuenca *pull-apart* activa es la zona de la falla de El Pilar, la cual se extiende hacia el este hasta el norte de Trinidad, y aparenta haber sufrido una reactivación iniciada en el Mioceno Medio-Tardío durante la fase tectónica responsable de la formación de la Serranía del Interior.

Gracias a la actividad geodinámica entre las placas Caribe y Suramericana se han desarrollado una serie de cuencas sedimentarias localizadas costa afuera de Venezuela rodeadas por una cadena de islas y varias zonas de gran desarrollo de plataforma continental.

3.2. CUENCA DE CARÚPANO

La cuenca de Carúpano se ubica en la parte más noreste de la placa continental de Venezuela, al norte de la península de Paria, abarcando una extensión de 30.000 km² aproximadamente.

Está delimitada por la plataforma Margarita-Los Testigos al norte, la península de Araya-Paria y la cordillera Norte de Trinidad al sur, isla de Tobago al este y el alto de Margarita-Coche-Araya al oeste (Pereira, 1985).

3.2.1 Elementos Principales de la cuenca de Carúpano:

Según Pereira (1986), esta cuenca es una depresión estructuralmente compleja, formada por una subcuenca principal en el sector nor-oriental denominada subcuenca de Caracolito, y otras denominadas subcuenca de Paria, Araya y este de Margarita, a las cuales se les atribuye un carácter secundario (Figura 29). A continuación se hace una breve descripción de los elementos principales que constituyen la cuenca de Carúpano (Pereira, 1985):

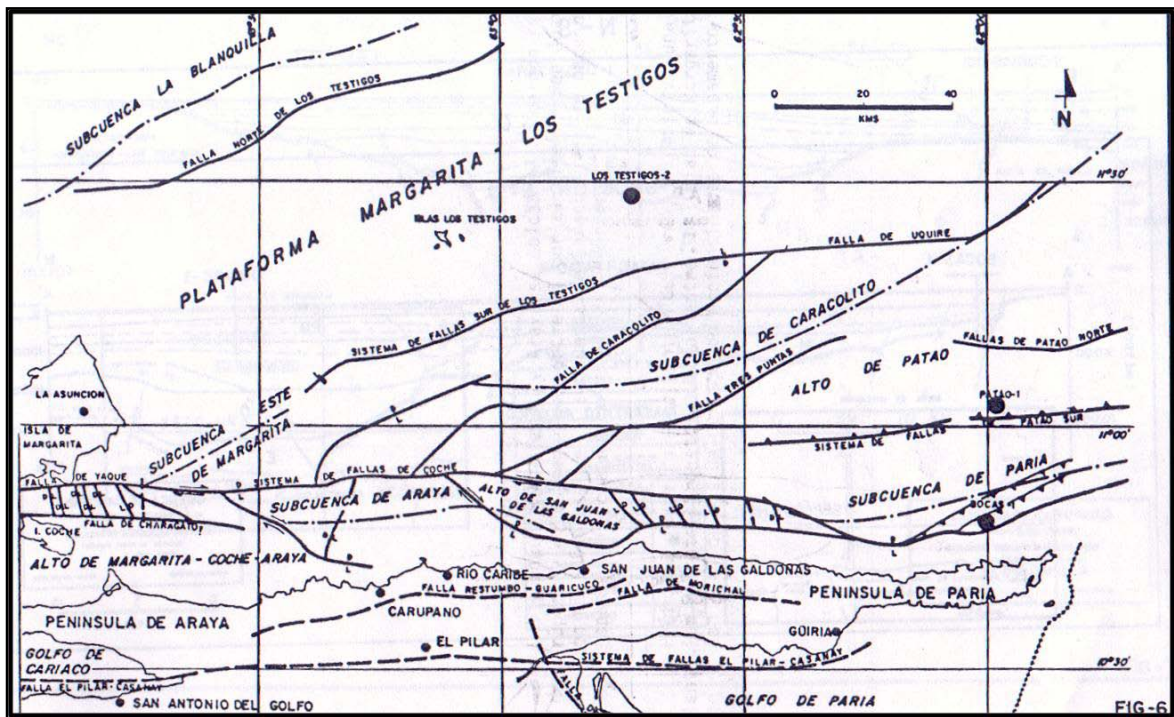


Figura 29. Elementos principales de la Cuenca de Carúpano (Pereira, 1985).

La subcuenca de Caracolito presenta los mayores espesores de depósitos terciarios. Se encuentra limitada al norte por la plataforma Margarita – Los Testigos, y al sur por los altos de Patao y San Juan de las Galdonas, siendo estos últimos los que la separan de las cuencas secundarias.

Las subcuencas Araya y Paria se ubican en el sur de la cuenca de Carúpano y están separadas entre sí por el alto de San Juan de Las Galdonas. Ambas son más jóvenes que la subcuenca de Caracolito y están rellenas por una espesa secuencia sedimentaria del Neógeno.

El alto de Patao está constituido por una serie ígneo-metamórfica de edad mesozoica, cubierto por una espesa secuencia volcánico-sedimentaria denominada “Complejo Mejillones” por Castro y Mederos (1997).

El alto estructural de San Juan de Las Galdonas - San Juan de Unare, que por sus características magnéticas y gravimétricas, podría representar una intrusión básica o probablemente una escama tectónica del complejo ígneo plutónico de la franja costera, constituida por una asociación de peridotitas serpentinizadas,

gabros y dioritas que forman un cinturón discontinuo que aflora al norte de la península de Araya – Paria y que constituye parte de la napa de la franja costera.

Otro elemento importante en la cuenca de Caúpano es la **zona de fallas de Coche**, las cuales se encuentran separando el borde continental de la península Araya– Paria en dirección E – O, paralelas a la falla de El Pilar.

3.2.2 Evolución Geológica de la cuenca de Carúpano:

A continuación se describirá de forma breve la evolución geológica del área de Carúpano, la cual a muy grandes rasgos puede enunciarse como rocas sedimentarias del Terciario que se encuentran de manera discordante sobre un basamento ígneo metamórfico (Figura 30) (Pereira, 1985).

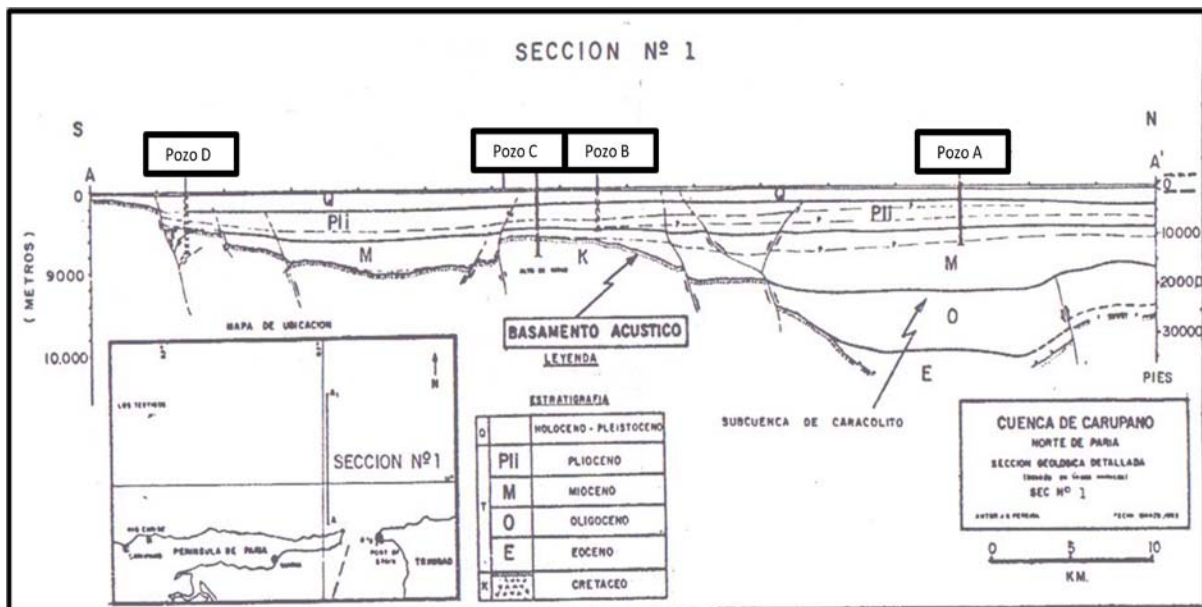


Figura 30. Sección geológica N-S de la cuenca de Carúpano (Pereira, 1985).

Para la interpretación en cuanto a ambientes y edades de los depósitos de la cuenca de Carúpano, fueron utilizados ejemplares de foraminíferos, pero de cualquier manera la distribución de los mismos es muy irregular y escasa, incluso ausente en algunas áreas, por lo cual se hace particularmente difícil diferenciar el Mioceno

Superior del Plioceno Inferior en toda el área por lo que suelen agruparse en una sola unidad (Ysaccis, 1997).

Basamento del área de Carúpano:

El basamento de la cuenca de Carúpano fue alcanzado en 8 de los 20 pozos perforados en esta área (Figura 31), según Talukdar (1983) son afines a tres tipos diferentes de rocas volcánicas: basaltos de cordillera centroceánica (MORB), arco de islas primitivo (PIA) y arco de islas maduro.

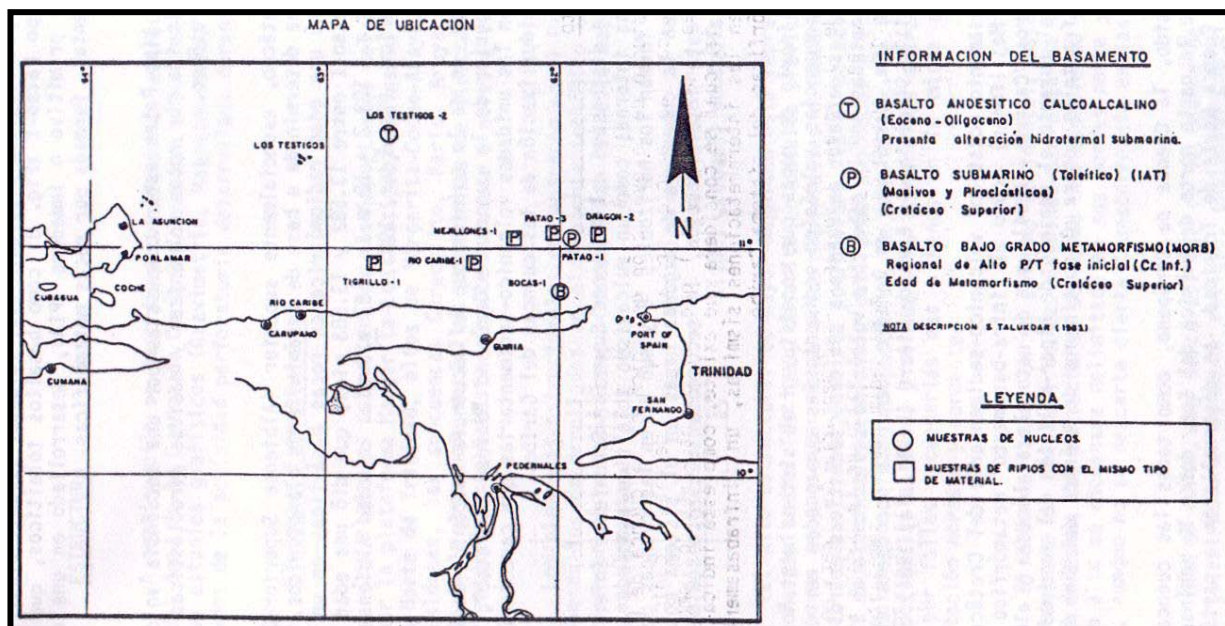


Figura 31. Ubicación de los pozos que alcanzaron el basamento en la cuenca de Carúpano (Pereira, 1985).

Las volcánicas afines a basaltos de cordillera centroceánica consisten en metabasaltos con metamorfismo de bajo grado, asociados con rocas metasedimentarias como metacuarcitas, metarenitas, filitas, cuarcitas y esquistos cuarzosos a las cuales se les ha asignado una edad Jurásico/Cretácico Temprano, y correlacionado con la Formación El Copey de la península de Araya, pero dicha correlación no está clara (Vierbuchen, 1984).

Las rocas asociadas al arco de islas primitivo están representadas por una secuencia de basaltos masivos y/o piroclásticos junto con limolitas y lutitas pelágicas,

chert de radiolarios y areniscas calcáreas. Castro & Mederos (1997) nombraron esta secuencia sedimentaria como Complejo Mejillones, la cual es correlacionada con la Formación Washikemba de Bonaire (Furrer, 1984).

Las rocas representativas del arco de islas maduro fueron alcanzadas cerca de las islas de Los Testigos. Castro & Mederos (1997) nombraron este grupo de rocas volcanoclásticas como Complejo Los Testigos, definiéndolo como un conglomerado piroclástico grueso (lapilli y bombas) no metamorfizado.

Tanto la cuenca de Carúpano como todas las cuencas del margen continental de la parte norte de Suramérica, desde la península de la Goajira hasta la cuenca norte de Trinidad, se comienzan a desarrollar en el Eoceno (Pereira, 1986). Por tanto, aquellos depósitos de edades más antiguas son tomados como basamento, ya que estos no forman parte de la historia depositacional de la cuenca y han sufrido cierto grado de metamorfismo.

Cretácico

Las rocas correspondientes al Cretácico Inferior fueron alcanzadas sólo en el alto de Bocas, al norte de la península de Paria, las mismas consisten en limolitas marrones fosilíferas que contienen restos de algas verdes y fragmentos de moluscos, depositadas en condiciones de aguas someras, las cuales están en relación discordante con las capas volcánicas epiclásticas y sedimentarias del Cretácico Superior.

En la secuencia correspondiente al Cretácico Superior se pueden identificar rocas correspondientes a tres facies: una epiclástica y sedimentario-piroclástica, una facies pelágica y otra clástica. En estas rocas es común la presencia de radiolarios, indicando profundidades que van desde unos cientos de metros a unos pocos miles de metros.

Sin embargo, como se explica anteriormente, las rocas correspondientes a esta edad son consideradas como parte del basamento ya que presentan características meta-sedimentarias.

Paleoceno

Según Pereira (1985) en el margen continental de Suramérica no han sido encontrados sedimentos de edad Paleoceno, estos se restringen a las subcuencas de Guárico, Portuguesa y Barquisimeto.

Eoceno

A partir del Eoceno se produce un cambio notable en el estilo tectónico de la cuenca (Bellizzia, 1984). Las dimensiones de esta fueron restringidas, con un relleno sedimentario de gran espesor que cubre las superficies erosionadas del Cretácico Superior, controlado principalmente por fallamientos intensos.

Estos sedimentos son generalmente de carácter turbidítico relacionados con la actividad tectónica. El eje de la sedimentación tiene sentido NNE – SSO, se estima que la ubicación de la fuente principal de sedimentos se encuentra en el noroeste (Figura 32).

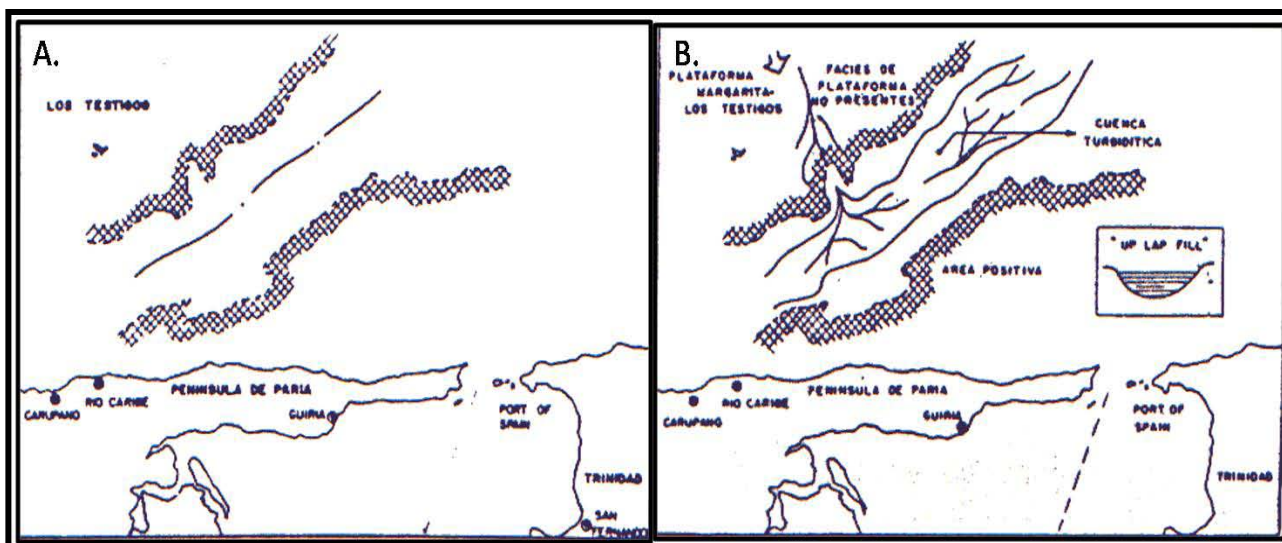


Figura 32. Eje de la cuenca y extensión aproximada durante el Eoceno (A) y durante el Eoceno-Oligoceno (B) (Pereira, *et al.*, 1986).

Oligoceno

Para esta época se destaca un incremento de la transcurrancia, desarrollándose un régimen predominantemente transpresivo con magmatismo de tipo volcánico e

hipoabisal representado por basaltos andesíticos y rocas volcánicas fragmentales. Se mencionan también rocas graníticas, monzo-gabros, monzo-dioritas y cuarzo dioritas (Pereira *et al.*, 1986).

La cuenca conserva una orientación similar a la del Eoceno pero con el eje primario bifurcado. La fuente principal de sedimentos se ubica al noroeste (Figura 33) el relleno sedimentario es de tipo acrecional vertical solapante (*onlap fill*) y acreacional vertical (*uplap fill*) en condiciones de aguas marinas profundas.

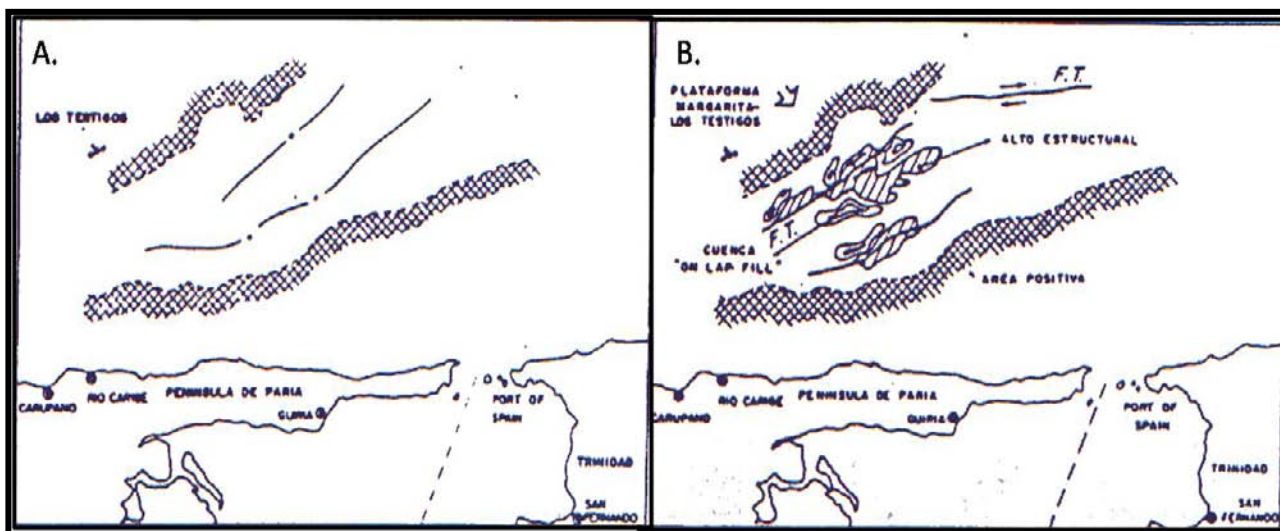


Figura 33. Eje de la cuenca y extensión aproximada durante el Oligoceno (A) y Oligoceno Superior (B) (Pereira, *et al.*, 1986).

Mioceno

Este intervalo de tiempo estuvo caracterizado por movimientos oblicuos resultantes de la compresión oblicua entre las placas Caribe y Suramericana, dando como resultado una transtensión y deformación compresiva (transpresión), sin magmatismo.

Aún en el Mioceno Temprano la morfología reflejaba el paleo relieve del Oligoceno, es a partir del Mioceno Medio cuando la topografía de la cuenca es modificada, iniciándose una amplia sumersión consecuente con la trasgresión marina en toda la región. El eje de la cuenca sufre una reorientación en dirección noreste –

suroeste, estando la fuente principal de sedimentos ubicada al noroeste y observándose por primera vez un aporte sustancial de sedimentos desde el suroeste (Figura 34).

En el estudio de las arenas de dicho intervalo se tiene que son predominantemente de grano fino a muy fino; son frecuentes además las lodolitas, lutitas, limolitas calcáreas, packstones, calizas y calizas dolomíticas impuras, vacas líticas y bio-micritas (Pereira, 1985).

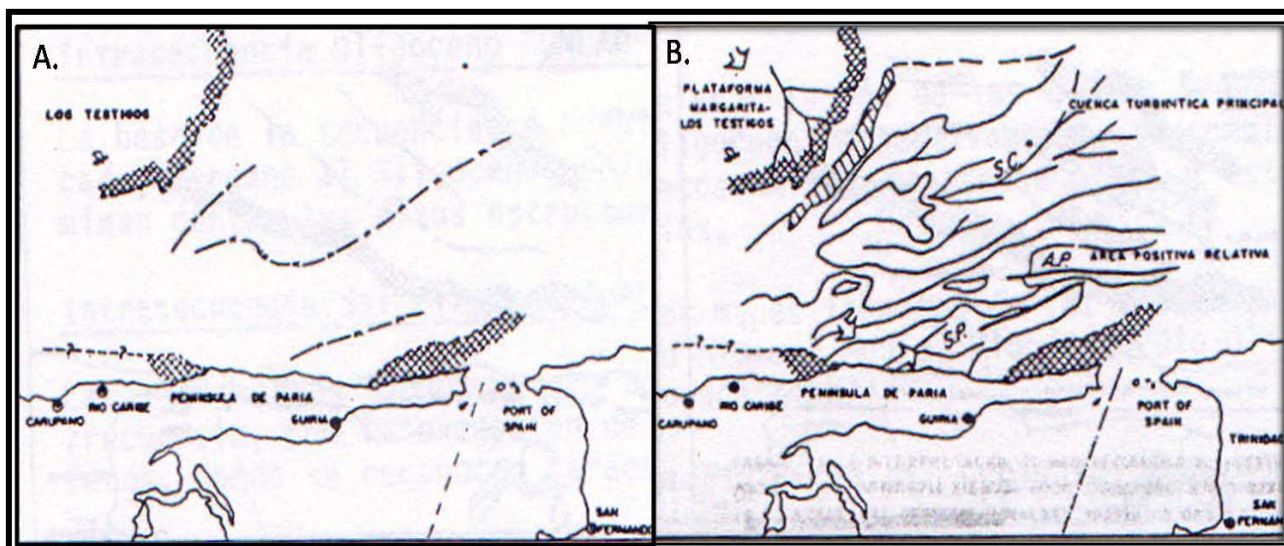


Figura 34. Eje de la cuenca y extensión aproximada durante el Mioceno (A) y Eje de la cuenca y extensión aproximada durante el Mioceno Tardío (B) (Pereira *et al.*, 1986).

Plioceno

Este periodo está caracterizado por el máximo desarrollo de la cuenca. En el Plioceno Temprano prevalecen depósitos de aguas profundas, donde el relleno se distribuye principalmente en la región sur-oriental y lo constituye un complejo interdigitado de abanicos marinos profundos de carácter turbidítico.

El eje de la cuenca se orienta en dos direcciones, este-oeste y noreste-suroeste, las fuentes principales de sedimentos se ubican al noroeste y suroeste como se observa en la Figura 35.

Durante el Plioceno Tardío la sedimentación de las secuencias ocurre en aguas someras tropicales tranquilas, en una plataforma de poca inclinación.

En resumen, desde el Mioceno Medio hasta el Plioceno Tardío, se acumulan grandes espesores de sedimentos, posteriormente en el Plioceno medio-Tardío, ocurre una progradación formando una secuencia pro-deltaica en toda el área.

Desde al Pleistoceno al Reciente, las condiciones de sedimentación se hacen más someras con la ampliación de la plataforma, desarrollándose arrecifes coralinos y bancos carbonáticos asociados, los cuales amplían la distribución de la sedimentación hasta constituir la plataforma que observamos hoy en día (Pereira *et al.*, 1986).

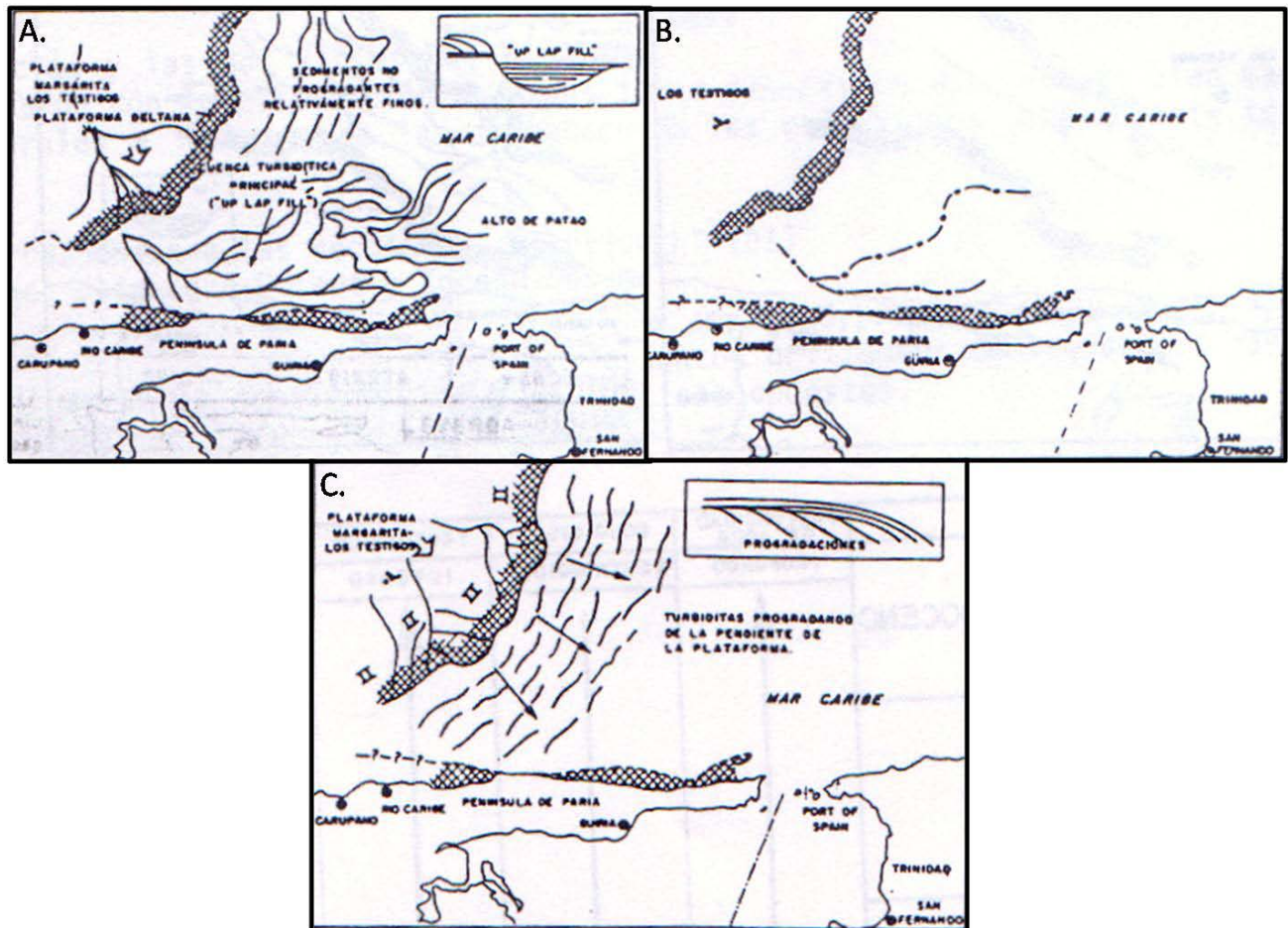


Figura 35. Eje de la cuenca y extensión aproximada en el Plioceno Inferior (A), Plioceno (B), y Plioceno Medio a Superior (C) (Pereira, *et al.*, 1986).

3.3. FORMACIÓN CUBAGUA (Castro & Mederos, 1997):

El intervalo de interés de este estudio ha sido identificado como Formación Cubagua, por lo tanto a continuación se indican las características generales de esta unidad estratigráfica:

Nombre de la Unidad: Formación Cubagua

Edad: Terciario (Mioceno Tardío a Plioceno Tardío)

Descripción litológica: La parte inferior de la formación corresponde a sedimentos de aguas más profundas, con una litología consistente de lutitas grises con glauconita y nódulos de pirita acompañadas de limolitas grises, adicionalmente se presentan algunos intervalos arenosos interdigitados con clásticos más finos, transportados posiblemente por corrientes de turbidez. Ocasionalmente aparecen en los clásticos componentes metamórficos y volcánicos. La parte superior de esta unidad está constituida por bancos de moluscos y briozoarios, calizas arrecifales y sacaroideas, areniscas cuarzosas grises, de grano fino, subredondeados, de esfericidad media; areniscas calcáreas, areniscas micríticas grises, calcarenitas, calizas bioclásticas interestratificadas con lutitas gris oliva masivas y laminares con glauconita, arcillas y limolitas grises, como material accesorio hay cuarzo, lignito y pirita.

Esta unidad aflora en la isla de Cubagua, parte oeste de la península de Araya, isla de Margarita y al norte de Paria, ha sido reportada en todos los pozos perforados hasta ahora en el área de costa afuera correspondiente a la cuenca de Carúpano.

Contactos: La unidad infrayace en contacto aparentemente concordante a la Formación Cumaná y se encuentra por encima de la Formación Tres Puntas en contacto aparentemente concordante, aunque en algunos de los pozos se ha reportado en contacto discordante debido a la ausencia del Mioceno Superior.

Correlación: Bermúdez (1966), correlaciona esta formación con la parte superior de las formaciones Guatire, Tuy, Cumaca y Aramina, ubicadas hacia la parte norcentral de Venezuela; correlacionando también con la parte inferior de las formaciones Las Pailas y Carenero y cronológicamente, relaciona esta unidad con la Formación Springvale y la parte superior de la Formación Manzanilla de Trinidad.

Paleoambientes: El ambiente de sedimentación es nerítico interior a medio de plataforma abierta, el cual pasa transicionalmente a batial. La parte superior de la Formación se sedimentó en aguas tropicales someras de mar abierto, detrás de arrecifes y bancos de moluscos y briozoarios.

Paleontología: En cuanto al contenido fosilífero se han reportado un abundante contenido de foraminíferos, entre los cuales se encuentran los ejemplares planctónicos correspondiente a las especies *Globorotalia margaritae*, *Globorotalia plesiotumida*, *Sphaeroidinellopsis paenedehiscens*, *Globorotalia juanai*, *Globorotalia acostaensis*, *Globorotalia merotumida*, ejemplares bentónicos calcáreos de las especies *Ammonia beccarii*, *Amphistegina lessonii*, *Hanzawaia* sp., *Elphidium* sp., *Bolivina imporcata*, entre otros, y ejemplares arenáceos de las especies *Cyclammina cancellata* y *Cyclammina* sp.

Nanoplanton calcáreo: En cuanto a los nanofósiles, fueron estudiados por Castro (1997; comentarios enviados al CIEN), reportando hacia la base de la formación ejemplares de *Coccolithus miopelagicus*; *Reticulofenestra pseudoumbilica*; *Amaurolithus delicathus*; *Amaurolithus* sp., muy recristalizado; *Discoaster neorectus*; *Discoaster surculus*; *Discoaster pentaradiatus*; *Discoaster calcaris*; *Discoaster brouweri*; *Discoaster variabilis*; *Discoaster hamatus*; lo que ubica estas muestras en el límite entre las zonas NN10 y NN11 de Martini (1971), correspondiente a la edad Mioceno Tardío. En los estratos suprayacentes se hallan ejemplares de *Ceratholithus* sp., muy recristalizado; *Thoracosphaera* cf. *heimii*, dinoflagelado calcáreo; *Calcidiscus macintyreii*; *Calcidiscus leptoporus*; *Sphenolithus abies*; *Sphenolithus neoabies*; *Discoaster neorectus*; *Sphenolithus* cf.

verensis; *Pontosphaera multipora*; *Helicosphaera carteri carteri*; *Sphenolithus* sp.; *Coccolithus pliopelagicus*; *Helicosphaera carteri*; *Helicosphaera sellii*; *Coccolithus pelagicus*; *Amaurolithus* sp., muy recristalizado; *Reticulofenestra pseudoumbilica*; *Reticulofenestra* spp.; y diatomeas. En la parte superior la formación reporta las especies *Ceratholithus* sp., muy recristalizado; *Thoracosphaera saxeae*, dinoflagelado calcáreo; *Calcidiscus macintyreii*; *Calcidiscus leptoporus*; *Discoaster* sp.; *Discoaster pentaradiatus*; *Discoaster brouweri*; *Discoaster triradiatus*; *Discoaster variabilis*; *Helicosphaera carteri carteri*; *Helicosphaera* aff. *sellii*; *Coccolithus pelagicus*; *Coccolithus pliopelagicus*; *Reticulofenestra* cf. *pseudoumbilica*; *Reticulofenestra minutula*; *Reticulofenestra* spp.; adicionalmente se observan escasos ejemplares de *Watznaueria barnesae* y *Micula staurophora*, rotos y mal preservados, producto de retrabajo del Cretácico.

Según Castro (1997), la Formación Cubagua tiene una edad comprendida entre el Mioceno Tardío y el Plioceno, desde la Zona NN10, Zona de *Discoaster calcaris* hasta la Zona NN17, Zona de *Discoaster pentaradiatus* de Martini (1971).

El nanoplancton calcáreo ubica las muestras de la base en el límite entre las zonas NN10 y NN11 de Martini (1971), Mioceno Tardío. Esto se pueden calibrar con el límite entre las zonas N16 y N17, zonas de *Globorotalia acostaensis* y *Globorotalia humerosa* de Bolli y Saunders (1985).

La parte superior se ubica en el límite entre las zonas NN16 y NN17, es decir, entre las zonas de *Discoaster surculus* y *Discoaster pentaradiatus* de Martini (1971). Tiene una edad Plioceno Tardío cuya calibración con foraminíferos la ubica en las zonas de *Globorotalia miocenica* y la base de *Globorotalia tosaensis tosaensis*, según Bolli y Saunders (1985).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En el análisis realizado a las 114 muestras correspondientes al intervalo de profundidad 3.820' – 11.950' del pozo, se pudo observar una amplia diversidad de nanoflora caracterizada por la presencia de 12 géneros y 43 especies representativas del Neógeno. La abundancia en que se presentan las especies identificadas a lo largo de la secuencia es variable, en donde se pudieron realizar conteos de hasta 955 ejemplares en una muestra, a diferencia de otras cuyos conteos resultaron nulos (Anexo 1). En términos generales, en el conjunto de nanoflora predominan aquellos grupos cuyas estructuras son más resistentes, tal es el caso del género *Helicosphera*, el cual se encuentra presente en casi la totalidad de la perforación.

La distribución estratigráfica de los ejemplares identificados se presentan en una carta floral llamada “Carta de Distribución de Nanoplancton Calcáreo” (Anexo 1). A pesar de que algunas muestras resultaron estériles, pudo realizarse una interpretación de la tendencia paleoambiental a lo largo de toda la sección gracias al estudio de las asociaciones definidas con base en el estudio de nanofacies y la identificación de zonas bioestratigráficas.

Las especies más representativas observadas fueron fotografiadas y se muestran en el Apéndice 2 del presente trabajo.

4.1. ZONAS BIOESTRATIGRÁFICAS DETERMINADAS CON BASE EN NANOPLANKTON CALCÁREO

En la siguiente sección se presentan las zonas de nanoplancton calcáreo identificadas en la secuencia analizada y los criterios utilizados para la determinación

de las mismas, en algunos casos, se pudieron reconocer con base en las especies que las definen, sin embargo esto ocurrió rara vez en este estudio, dado que en la mayoría de los intervalos la datación se realizó apoyada en el rango de edad del conjunto representativo.

Los rangos estratigráficos de las especies aquí utilizadas fueron los definidos por Perch-Nielsen *En Bolli et al.* (1985), Aubry (S/F) y Crux *et al.* (1999), según el esquema de zonas definido por Martini (1971).

4.1.1 Zona NN4 (9.940' – 11.950')

La base de este intervalo estratigráfico no se determinó con certeza ya que la misma pudiera encontrarse a una profundidad mayor a la alcanzada en el presente estudio (11.950'). El tope se definió con la última ocurrencia de la especie *Helicosphaera ampliaperta* (NN2 – NN4) a 9940' de profundidad.

Adicionalmente se encuentran presentes en este intervalo las especies *Sphenolithus heteromorphus* (NN4 – NN5) y *Discoaster variabilis* (NN4 – NN16).

Las especies *Gephyrocapsa caribbeanica* (NN20 – NN21), *Reticulofenestra pseudoumbilica* (NN7 – NN15) y *Sphenolithus abies* (NN12 – NN16), se consideran ejemplares caídos de estratos suprayacentes, dado que sus rangos de edad no se corresponden con los del conjunto de nanoflora representativa del intervalo.

4.1.2 Zonas NN5 (?) – NN8 (?) (7.210' - 9.940')

La base del intervalo se determinó a partir de la última ocurrencia de la especie *Helicosphaera ampliaperta* (NN2 – NN4). El límite entre las zonas NN8 – NN9 se propone a la profundidad de 7210', con la primera ocurrencia del fósil *Discoaster pentaradiatus* (NN9 – NN17) que aparece en la base de la zona NN9.

Adicionalmente se encontró en este intervalo la presencia del fósil *Watznaueria barnesae*, cuya ocurrencia se interpretó como retrabajo de edad cratácica sin diferenciar.

La delimitación completa de las zonas NN5, NN6, NN7 y NN8 no fue posible debido a la ausencia de marcadores bioestratigráficos.

4.1.3 Zona NN9 (6.460' – 7.210')

La base de la zona está marcada por la primera ocurrencia de la especie *Discoaster pentaradiatus* (NN9 – NN17), mientras que el tope se ubica a 6.460' de profundidad, indicado por la última ocurrencia del *Discoaster hamatus* (NN9).

Adicionalmente, las especies *Sphenolithus abies* (NN12 – NN16), *Discoaster pansus* (NN12 – NN15) y *Discoaster triradiatus* (NN17 – NN18), se consideran caídas de estratos superiores. Mientras que la presencia de las especies *Cyclicargolithus floridanus* (NP19 – NN6) y *Sphenolithus conicus* (NN1 – NN3) fueron identificadas como retrabajo.

4.1.4 Zona NN10 (6.370' - 6.460')

La base de la zona está indicada a partir de la última ocurrencia del fósil *Discoaster hamatus* (NN9) y la primera ocurrencia de la especie *Discoaster asymmetricus* (NN10 – NN17). Con relación al tope, se propone un posible límite entre las zonas NN10 – NN11 a la profundidad de 6.370', dado que en la muestra 6.340' – 6.370' se observó un (1) ejemplar del *Discoaster quinquerramus*, que define la zona NN11, por esta razón este límite no es indicado con certeza debido a la escasa representación de la especie al tratarse de datos provenientes de muestras de canal.

4.1.5 Zonas NN11 – NN 15 (4.030' – 6.370')

Se propone un posible comienzo de la zona NN11 a la profundidad de 6.370', debido a la ocurrencia del fósil marcador *Discoaster quinquerramus* (NN11), tal como se explicó en el párrafo anterior. Para el tope de la zona, se propone otro posible límite marcado por la última aparición de la especie *Reticulofenestra pseudumbilica* (NN7 – NN15), sin embargo, tampoco es indicado con certeza debido a que se encuentra a lo largo de toda la perforación de manera inconsistente, por lo que pudiera tratarse de contaminación dentro del mismo pozo (derrumbes en el pozo) y estar presente también en estratos superiores a la sección estudiada.

Adicionalmente se reporta la presencia de las especies *Discoaster asymmetricus* (NN10 – NN17) y *Discoaster pentaradiatus* (NN9 – NN17).

La determinación de los límites entre las zonas NN11, NN12, NN13, NN14 y NN15, no fue posible debido a la falta de marcadores bioestratigráficos.

4.1.6 Zonas NN16 – NN19 (3.970' – 4.030')

Se propone una posible base de este intervalo a la profundidad de 4.030' marcada por la última ocurrencia de la especie *Reticulofenestra pseudoumbilica* (NN7 – NN15), la cual no es indicada con certeza dada la escasa confiabilidad del dato, como se explica para la zonación anterior. Se propone un posible tope para el intervalo a la profundidad de 3.970', por la última ocurrencia observada del fósil *Pseudoemiliana lacunosa* (NN15 – NN19), este límite tampoco es marcado con certeza debido a que las dos muestras inmediatamente suprayacentes analizadas son estériles en cuanto al contenido de nanoflora, además de la finalización de la sección estudiada, pudiendo encontrarse el límite de la zona NN19 en estratos superiores.

4.2. CRONOESTRATIGRAFÍA INTEGRADA

En el siguiente apartado se presenta la información cronoestratigráfica de la columna sedimentaria estudiada producto de la integración de los resultados del análisis con base en nanoplancton calcáreo, con los realizados por los especialistas de foraminíferos planctónicos, la cual puede observarse de manera gráfica en la Tabla 2. Los rangos estratigráficos para las especies de foraminíferos planctónicos utilizados en este trabajo fueron los definidos por Bolli & Saunders *En Bolli et al.* (1985), según el esquema de zonación de Blow (1969). Las zonas definidas para ambas disciplinas fueron calibradas según la escala del tiempo geológico publicada Lourens *et al.* (2004) (Tabla 1).

4.2.1 Mioceno Inferior (parte superior) – Mioceno Medio (parte inferior):

Abarca el intervalo de profundidad 9.940' – 11.950', la base no se determinó con certeza debido a que el comienzo de la zona identificada para datar este intervalo pudiera encontrarse a mayor profundidad de la alcanzada por el presente estudio. El

1 1 1 0 1 1



4.2.2 Mioceno Medio:

Abarca el intervalo de profundidad 9.610' – 9.940', determinado por el final de la zona de nanoplancton calcáreo NN4 determinada por la última ocurrencia de la especie de nanoplancton calcáreo *Helicosphaera ampliaperta*, hasta la base de la zona de foraminíferos planctónicos N12, ésta última marcada por la primera ocurrencia de la especie de foraminífero planctónico *Globorotalia menardii*. Este intervalo se ubica entre las líneas de tiempo de 13,42 Ma y 14,97 Ma.

4.2.3 Mioceno Medio – Mioceno Superior:

Abarca el intervalo de profundidad 7.210' – 9.610', determinado a partir del comienzo de la zona N12 de Blow (1969), la cual se coloca en la primera aparición del foraminífero planctónico *Globorotalia menardii*, hasta el comienzo de la zona NN9 de Martini (1971) determinada por la primera ocurrencia de la especie de nanoplancton calcáreo *Discoaster pentaradiatus*. Este intervalo se ubica entre las líneas de tiempo de 10,55 Ma y 13,42 Ma.

4.2.4 Mioceno Superior:

Abarca el intervalo de profundidad 4.690' – 7.210', determinado a partir del comienzo de la Zona NN9 de Martini (1971), el cual se coloca en la primera ocurrencia de la especie de nanoplancton calcáreo *Discoaster pentaradiatus*, hasta el comienzo de la zona N19 de Blow (1969), marcada por la primera ocurrencia del foraminífero planctónico *Globorotalia miocenica*. Este intervalo se ubica entre las líneas de tiempo de 5,3 Ma y 10,55 Ma.

4.2.5 Plioceno Inferior:

Abarca el intervalo de profundidad 3.940' – 4.690', determinado de base a tope por la zona N19 de Blow (1969), desde la primera ocurrencia del foraminífero planctónico *Globorotalia miocenica* hasta la última ocurrencia de la especie *Globorotalia margaritae*. Este intervalo se ubica entre las líneas de tiempo de 3,6 Ma. y 5,3 Ma.

4.2.6 Plioceno medio:

Abarca el intervalo de profundidad 3.820' – 3.940', determinado a partir del tope de la zona N19 de Blow (1969), caracterizado por la última ocurrencia de la especie *Globorotalia margaritae* y presencia del grupo de los *Sphaeroidinellopsis*. Este intervalo se le asigna una edad más joven que 3,6 Ma.

4.3. IDENTIFICACIÓN DE NANOFACIES

La identificación de nanofacies en este trabajo se realizó aplicando las características y nomenclatura propuestas por Durán (1995), las cuales aparecen indicadas en el capítulo del Marco Teórico.

4.3.1 Asociación Tipo III:

Caracterizada por contener material de origen continental representado principalmente por materia orgánica marrón rojiza y algunos conteos de piritita detrítica. Se observa buena cantidad de elementos marinos con presencia de nanoflora, la cual a pesar de tener buena diversidad, es poco abundante y está representada principalmente por especies de estructuras más resistentes pertenecientes a los géneros *Helicosphaera* y *Reticulofenestra*.

La asociación Tipo III se identifica en los siguientes intervalos de profundidad: 7.060' – 7.780'; y una combinación de las asociaciones III y IV se reporta a la profundidad de 4.960' – 6.190'.

4.3.2 Asociación Tipo IV:

Esta asociación se caracteriza por presentar un contenido abundante de elementos marinos (glauconita, cámaras de foraminíferos, materia orgánica negra), mientras que la fracción correspondiente a componentes terrestres se encuentra en una proporción mucho menor y se restringe casi completamente a materia orgánica marrón-rojiza. Se observa la presencia de ejemplares del género *Discoaster*. Dos de los intervalos identificados con esta asociación (3.820' – 4.960' y 7.780' – 9.790')

tienen la particularidad que el contenido de nanoflora es muy bajo y coincide con la presencia de diatomeas y en algunos casos de radiolarios, lo cual pudiera estar indicando la influencia de corrientes de surgencia o *up-welling* explicando así la escasez en el conjunto de nanoflora

La asociación Tipo IV se identificó en los siguientes intervalos de profundidad: 7.780' – 9.790', 3.820' – 4.960' y una combinación de las asociaciones tipo III y IV se reporta en el intervalo 4.960' – 6.190' mencionado en la descripción de la asociación anterior.

4.3.3 Asociación Tipo V:

Esta asociación está caracterizada por registrar los mayores conteos de nanofósiles y otros elementos marinos como la glauconita, en contraposición con la abundancia de componentes terrestres la cual llega a su menor expresión. Es importante destacar que es en esta asociación donde se reporta la mayor diversidad y abundancia de ejemplares pertenecientes al género *Discoaster*.

La asociación Tipo V se identificó en los siguientes intervalos de profundidad: 9.790' – 11.950' y 6.190' – 7.060'. El primero de ellos tiene la particularidad que, aunque se mantiene el predominio de componentes marinos, hay presencia de palinomorfos y pirita detrítica, observándose la ocurrencia conjunta de formas delicadas como los discoastéridos (correspondientes a ambientes de baja energía), con formas de estructuras más complejas y resistentes como las *Helicosphaeras* (asociadas a ambientes de mayor energía), así como también el dominio de litología lutítico-limosa, lo cual puede indicar la influencia de corrientes de turbidez.

4.4. INTERPRETACIÓN PALEOAMBIENTAL INTEGRADA

La siguiente interpretación se realizó mediante la integración del estudio realizado de las distintas asociaciones de nanofacies identificadas a lo largo de la sección estudiada, junto con los resultados de la interpretación paleoambiental realizada por los especialistas en foraminíferos Tabla 3. Dicha integración permitió la

identificación de las posibles superficies estratigráficas claves (*FS*, *SB*, y *MFS*) para la secuencia analizada, así como, con base en la diferencia en las características bioestratigráficas reportadas por ambas disciplinas y particularidades apreciables en la curva litológica, su división en dos unidades informales (Unidad I y Unidad II, ver Anexo 2), una de ellas a su vez en otras dos sub-unidades (II.1 y II.2, ver Anexo 4), las cuales se describen a continuación:

4.4.1 Unidad I

Esta primera unidad abarca el intervalo de profundidad 7.060' – 11.950' (Anexo 2), depositado en su totalidad en un ambiente batial superior de acuerdo con la información reportada por los foraminíferos bentónicos.

Desde la base se observa un aumento en la abundancia de organismos, principalmente planctónicos, tales como foraminíferos y nanoplancton calcáreo. La litología es mayoritariamente arcillosa-limosa. Está caracterizado por una mezcla de elementos marinos y terrestres en condiciones predominantemente marinas identificándose una Asociación tipo V de nanofacies, ya que aparecen ejemplares del género *Discoaster* (estructuras delicadas) junto con granos de polen y pirita detrítica, lo cual puede estar indicando la influencia de corrientes de turbidez. Esta condición se mantiene hasta la profundidad de 11.230', donde se propone la presencia de una superficie de máxima inundación (*MFS*), definida por un aumento en el contenido de foraminíferos bentónicos, planctónicos y nanoplancton calcáreo.

Subiendo en la sección, a partir de la profundidad anteriormente indicada, se observa una disminución abrupta en la abundancia de nanoplancton calcáreo, atribuida a un posible evento de *up-welling* indicado por la presencia de radiolarios y diatomeas en el intervalo identificado por nanofacies como Asociación tipo IV (7.780' – 8.020'), mientras que el porcentaje de material de origen terrestre aumenta progresivamente y adicionalmente disminuye el porcentaje de litología limosa. Un cambio abrupto de las características anteriormente indicadas permite proponer un posible límite de secuencia (*SB*) a la profundidad de 8.530', ya que a partir de aquí el porcentaje de la litología arenosa experimenta un rápido aumento; adicionalmente

disminuye el contenido de organismos planctónicos, cuya presencia a partir de aquí es bastante baja, y se incrementa de manera progresiva el porcentaje de material de origen terrestre, hasta reportarse uno de los mayores valores encontrados en el pozo a la profundidad de 7120', llegando a identificarse la Asociación tipo III de nanofacies, indicativa de una mayor influencia continental.

La tendencia regresiva se mantiene hasta la profundidad de 7.060', donde se propone un posible segundo límite de secuencia (SB), reportándose un quiebre abrupto en las gráficas de abundancia para ambas disciplinas, y un aumento brusco en el porcentaje de litología arenosa, indicando cambios en las condiciones ambientales.

4.4.2 Unidad II

Esta segunda unidad, la cual se definió a partir del posible límite de secuencia (SB) mencionado anteriormente, abarca el intervalo de profundidad 3.820' – 7.060'. La información aportada por los foraminíferos bénticos indica un ambiente de sedimentación nerítico externo a nerítico interno-

Esta unidad se dividió en dos sub-unidades definidas bajo los mismos criterios utilizados en la división de las unidades principales, pero cuyas características no son tan notoriamente diferentes entre sí como ocurre entre las unidades como ocurre entre las primeras. Estas sub-unidades se describen a continuación:

4.4.3 Unidad II.1

Abarca el intervalo de profundidad 6.040' – 7.060' (Ver Anexo 2), desarrollándose principalmente en un ambiente nerítico externo.

Se observa el predominio de condiciones marinas identificándose la Asociación tipo V de nanofacies, la cual se relaciona con ambientes pelágicos. Se reporta un incremento en la cantidad tanto de foraminíferos, como de nanoplancton calcáreo, así como una disminución en la cantidad de componentes terrestres y del porcentaje de litología arenosa, aumentando la cantidad de litología arcillosa-limosa. Estas características se mantienen hasta los 6.430' de profundidad, donde se propone una superficie de máxima inundación (MFS), observándose los mayores valores en el

contenido de organismos planctónicos dentro del pozo, dominio completo de litología lutítico-limosa, y una reducción importante en la cantidad de material proveniente del continente.

A partir de la superficie de máxima inundación (*MFS*) propuesta anteriormente, se observa una disminución en el contenido de foraminíferos y nanoplancton calcáreo, así como un aumento en el porcentaje correspondiente a litología arenosa, indicando una posible tendencia regresiva hasta la profundidad de 6.040', donde se propone un posible límite de secuencia (*SB*) dado el quiebre en los gráficos de abundancia de todo el conjunto fósil, inclusive en la de material de origen continental, identificándose una combinación de las asociaciones III y IV de nanofacies, con la particularidad de que en algunos intervalos se observa ausencia total de nanoflora.

4.4.4 Unidad II.2:

Esta unidad abarca el intervalo de profundidad 3.820' – 6.040' (Anexo 2), el conjunto de foraminíferos bentónicos indica ambientes que van desde nerítico externo a nerítico interno.

A partir del límite de secuencia propuesto anteriormente, se observa un dominio tanto de litología arenosa como de material de origen continental, reportándose para este último los mayores valores dentro del pozo, contrario a lo que sucede con la abundancia de los diferentes organismos marinos, para los cuales se tienen porcentajes muy bajos sin llegar a ser nulos, por lo que se identifica una combinación de las asociaciones tipo III y IV de nanofacies indicando ambientes con mayor influencia continental. Dicha condición cambia progresivamente a medida que se sube en sección, reportándose una transición de la batimetría de nerítica media a externa y un incremento en la abundancia de foraminíferos y nanoplancton, proponiéndose una superficie de inundación (*FS*) a la profundidad de 5.350'.

A partir de la superficie propuesta anteriormente, se experimenta un aumento abrupto en la abundancia de los foraminíferos planctónicos y bentónicos, encontrándose aquí los mayores valores dentro del pozo, así como una disminución

del porcentaje de litología arenosa y material de origen continental, inversamente proporcional al porcentaje de litología lutítico-limosa, identificándose la Asociación IV de nanofacies, lo que permite proponer una superficie de máxima inundación (*MFS*) a la profundidad de 4.690’.

A pesar de que todas las evidencias indican un ambiente de dominio marino, se aprecia una caída en la abundancia de nanoplancton calcáreo junto con la ocurrencia de diatomeas, en el intervalo de profundidad 4.630’ – 5.620’, el cual según Durán (comunicación personal) puede correlacionarse con otros pozos estudiados en el área, caracterizado por presentar valores elevados de diatomeas, radiolarios y silicoflagelados, asociados con abundantes huevos de copépodos, que indican variaciones en el ambiente de sedimentación, tanto química (abundancia de silicio en el medio) como de las paleotemperaturas, tornándose estas más frías; lo cual podría ser indicativo de corrientes de surgencia o *up-welling*, las cuales implican un aumento en la disponibilidad de alimento en el medio, pudiendo así explicar la caída en el contenido de nanoflora.

Hacia el tope de la secuencia, por encima de la superficie de máxima inundación (*MFS*) propuesta, comienza un cambio progresivo de las condiciones, observándose cierta tendencia regresiva marcada por un descenso en la abundancia de los organismos estudiados, así como un aparente aumento de la litología arenosa con respecto a la limosa, indicando un aumento en la influencia continental.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

A partir de los resultados bioestratigráficos integrados, obtenidos de los análisis de nanoplancton calcáreo, nanofacies, foraminíferos planctónicos y bentónicos, se concluyen los siguientes aspectos:

1. A la columna estratigráfica, correspondiente a la Formación Cubagua, atravesada por la perforación, se le asigna una edad Mioceno Temprano terminal a Plioceno medio.
2. El límite entre las unidades cronoestratigráficas correspondientes al Mioceno y Plioceno del pozo, pudo ser determinado con certeza a aproximadamente 4.690' de profundidad, gracias a la primera ocurrencia de la especie de foraminífero planctónico *Globorotalia miocenica*.
3. En el intervalo estratigráfico estudiado, pudieron ser determinadas las siguientes zonas de nanoplancton calcáreo de acuerdo con el esquema de Martini (1971): NN4, NN5 a NN8, NN9, NN10 a NN15, y NN16 a NN19.
4. Mediante el estudio de nanofacies, pudieron ser identificados de base a tope, tres de los cinco tipos de Asociaciones propuestas por Durán (1995a), cuyas características reflejan diferentes tendencias paleoambientales, indicando para el presente caso el dominio de condiciones marinas.
5. A partir de la interpretación paleoambiental integrada se logró identificar dos (2) intervalos estratigráficos con características paleoambientales diferentes:
 - El intervalo inferior (I), abarca los 7.060' – 11.950' de profundidad, en el cual se identificó una paleobatimetría correspondiente a batial superior,

asociaciones de nanofacies tipo V, IV y III, con evidencias de ambientes de aguas muy tranquilas lejanas a la línea de costa gracias a la abundante presencia del género *Discoaster*, e influencia de corrientes de turbidez, reportándose la mayor profundización dentro de la perforación.

- El intervalo superior (II), el cual se dividió en dos sub-intervalos, uno (el inferior) de paleobatimetría nerítica externa, de profundidad 6.040' – 7.060' para el cual se reporta la mayor profundización del pozo y se identifica la asociación V. Otro (el superior) de paleobatimetría nerítica media a interna y profundidad 3.820' – 6.040', y se identifican las asociaciones III y IV, con evidencias de *up-welling*.
6. Las evidencias de la mayor profundización registrada en el pozo, fueron reportadas entre 6130' y 6550' de profundidad, coincidiendo con el reporte de nanofacies de ambientes con mayor influencia marina.
 7. La mayor somerización del intervalo estratigráfico estudiado se identificó hacia el tope del mismo, reportándose una batimetría nerítica media a interna y las asociaciones III - IV y III de nanofacies, evidenciadas por un aumento en la influencia de elementos de origen continental.
 8. Se identificó la influencia de posibles corrientes de surgencia o *up-welling*, debido a la presencia de evidencias de cambios físico-químicos en el agua, y su posible correlación con otros pozos en el área.
 9. En cuanto al análisis de superficies estratigráficas claves, se proponen tres (3) posibles límites de secuencia (SB), a 8.530'; 7.060'; y a 8.040' de profundidad; así como también tres (3) superficies de máxima inundación (MFS) a 11.230', 6.430' y 4.690' de profundidad y una superficie de inundación (FS) a la profundidad de 5.350'.
 10. Se identificaron 12 géneros y 43 especies de nanoplancton calcáreo representativas del Neógeno, mediante la utilización de las diferentes herramientas del microscopio, las cuales sirven para la determinación precisa de las características morfológicas que hacen posible su diferenciación.

11. Se identificaron algunas especies de nanofósiles calcáreos correspondientes a edades cretácicas y paleógenas hacia la parte superior de la sección estudiada, lo cual evidencia la presencia de retrabajo dentro de la cuenca.
12. Se logró una mejor definición de las edades asignadas a la sección estudiada en este trabajo con respecto al estudio anterior, gracias a la utilización de nuevas herramientas como es el caso del análisis de nanoplancton calcáreo y estudio nanofacies, sumado a un estudio más exhaustivo de foraminíferos, ya que el estudio anterior fue el resultado del seguimiento operacional.

5.2. RECOMENDACIONES

- Vigilar cuidadosamente los procesos de preparación de las muestras, debido a que por el pequeño tamaño de los ejemplares, las muestras son altamente susceptibles a la contaminación.
- Es preferible la utilización de muestras de núcleo o pared para el estudio bioestratigráfico, siempre y cuando se cuente con la disponibilidad de las mismas, de lo contrario, es igualmente valedero el estudio en muestras de canal, sin embargo debe ponerse mayor atención a la hora de la interpretación de los resultados.
- El estudio de edad mediante nanoplancton calcáreo arroja resultados bastante precisos, por esto, para un estudio completo, se recomienda el análisis de nanofacies como parte del trabajo rutinario, dado que el mismo permite optimizar la información suministrada por la muestra gracias a que arroja una tendencia paleoambiental inclusive en ausencia de asociaciones de nanoflora.
- Se pudo comparar la óptica de un microscopio que tiene aproximadamente 20 años de antigüedad con la óptica de un equipo adquirido recientemente por la empresa, y fue notable la diferencia entre ambas, así como la eficiencia de las distintas herramientas de los equipos, por lo tanto se recomienda la utilización de equipos de tecnología de punta, ya que estos permiten una mejor observación y, por ende, una identificación más veráz de las distintas especies.

- Es sumamente importante la realización del mantenimiento periódico de todos los equipos, ya que esto es garantía del buen estado de los mismos, lo cual se traduce en una mayor eficiencia en el proceso de identificación.
- El mobiliario debe ser el adecuado para este tipo de estudio y las condiciones de ergonomía deben estar garantizadas, ya que de no ser así, se ve entorpecido el proceso de identificación, disminuyendo la eficiencia del mismo, y pudiendo inclusive ocasionarse accidentes laborales.
- Se recomienda el uso de microscopía electrónica, en algunos casos, para la identificación más precisa de líneas evolutivas de especies cuyas características resultan muy difíciles de apreciar en un microscopio de luz, lo cual permitiría un refinamiento aún mayor de las edades.

BIBLIOGRAFÍA

- Armstrong, H. & M. Brasier. (2005). *Microfossils* (Second edition ed.). Oxford, U.K: Blackwell Publishing, 296.
- Aubry, M. (1989). *Handbook of Cenozoic Calcareous Nannoplankton*. New York: Micropaleontology Press: American Museum of Natural history.
- Aubry, M. P. (1989). Phylogenetically based calcareous nannofossil taxonomy implications for the interpretation of geological events. En J. A. Crux, *Nannofossils and their applications* (pp. 21 - 40). Gran Brataña: Ellis Horwod Limited.
- Banner, F.T. & Blow, W.H. (1965a). *Some primary types of the species belonging to the superfamily Globigerinaceae*. Contrib.
- Barry. (1984). *Correlation of the Mioceno-Plioceno sandstones at northeast of Venezuela*. PDVSA - CVP.
- Bellizzia, A. (1984). *Evaluación Geodinámica de la Cuenca de Carúpano y regiones adyacentes*. Interno, LAGOVEN S.A.
- Bermúdez, P. J. (1966). Consideraciones sobre los sedimentos del Mioceno medio al reciente de las costas central y oriental de Venezuela. (Primera parte). *Bol. Geol.* , 7 (14), 333-411.
- Blow, W. (1969). Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *Procedings First International Conference on Planktonic Microfossils*, (pp. 199-422). Geneva.

- Bolli, H. M. y Bermúdez P. J. (1965). Zonation based on planktonic foraminifera of Middle Miocene to Pliocene warm-water sediments. *Asoc. Venez. Geol. Min. y Petról., Bol. Inform.* , 8 (5), 121-149.
- Bolli, H. (1970). *The foraminifera of sites 23 - 31, Leg 4, in R.G. Bader, et al.* Washington D.C.: Government Printing Office, 577-643
- Bolli, H. (1957a). The genera globigerina and Globorotalia in the Paleocene - Lower Eocene Lizard Springs Formation of Trinidad, B.W.I. *U.S. Natl. Mus. Bull* (215), 61-81.
- Bolli, H. (1966). Zonation of Cretaceous to Pliocene marine sediments based on planktonic foraminifera. *Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo. Bol. Inf.* , 9, 3-32.
- Bolli, H.M. & Saunders, J.B. (1985). Capítulo 6: Oligocene to Holocene low latitude planktic foraminifera. En H. S.-N. Bolli. Cambridge: Cambridge University Press, 155-262
- Bolli, H.M., & Premoli Silva. (1973). *Oligocene to Recent planktonic foraminifera and stratigraphy of the Leg 15 sites in the Caribbean sea, in N.T. Edgar et al.* Washington D.C.: Government Printing Office, 475-497.
- Bramlette, M.N. & Wilcoxon, J.A. (1967a). Middle Tertiary calcareous nannoplankton of the Cipero section, Trinidad, W. I. Tulane Studies. *Geology and Paleontology* (5), 93 - 131.
- Bug Ware Oilfield Paleontology.* (n.d.). Retrieved from <http://www.bugware.com>
- Castro M. & Mederos A. (1997). *Léxico Estratigráfico.* Retrieved enero 17, 2009, from <http://www.pdv.com/lexico/c148w.htm>

- Castro, M. (1997). *Léxico Estratigráfico*. Retrieved enero 14, 2009, from <http://www.pdv.com/lexico/c148w.htm>
- Cavalier-Smith, T. (1993). Kingdom Protozoa and its 18 phyla. *Microbiological Review* (57), 953-994.
- Crux, J.; Paredes, I.; Carvajal, H.; Cabrera, D.; Carrillo, M.; Gonzáles, M.; Pilloud, A.; Canache, M. (1999). *Metodología Estratigráfica: Escalas de Tiempo y Distribución de Microfósiles*. Intevep.
- CVP, P. (2000). “*Proyecto de Exploración por Hidrocarburos Costa Afuera de Venezuela*”. Informe Interno, Venezuela.
- Dalton, R. (1912). On the geology of Venezuela. *Geol. Mag.* , Vol. 9 (Num. 975), 203-210.
- Dávila, H. (1994). *Bioestratigrafía por nannofloras del Mioceno Temprano a Medio en Monagas Central*. Universidad de los Andes, 64.
- Di Gianni, N. (1989). *Curso de Nannofosiles*. : Compagnie Francaise des Petroles (TOTAL) y CORPOVEN, S.A., 73.
- Durán, I. (1992). *Guía Práctica de Preparación de Muestras para Estudios de Nanoplancton Calcáreo*. Informe técnico, MARAVEN S.A., Caracas, 26.
- Durán, I. (1995). *Nanoplancton Calcáreo. Redefinición de las Zonas del Neogeno de Venezuela. Areas Asignadas a Maraven S.A*. Informe Interno, MARAVEN S.A., Venezuela.
- Fernández J. & Padrón V. (2004). *Definición de la estratigrafía de la Formación Cubagua a partir del estudio sedimentológico y bioestratigráfico para la*

definición de las condiciones paleoambientales que se desarrollaron en esa época. Universidad Central de Venezuela, 134.

Furrer, M. (1984). *Paleontology and biostratigraphy of the Carúpano basin, north of Paria.* Internal report, Lagoven S. A., 70.

González de Juana, C. (1947). Elements of diastrophic history of northeastern Venezuela. *Geol. Soc. Amer. Bull.* , 58 (8), 689-702.

Griem W. & Griem-Klee S. (1999). *El ambiente marino Apuntes de geología general.* (U. d. Atacama, Producer) Retrieved from <http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/geologiageneral/ggcap05c.htm>.

Hay, W.W., & Schmidt R.R. (1968). Calcareous nannofossils in the Pliocene of Italy. *Giornale di Geologia* (35), 153-162.

Hay, W.W., Mohler, H.P., Roth, P.H., Schmidt, R.R. & Boudreaux, J.E. (1967). Calcareous nannoplankton zonation of the Cenozoic of the Gulf coast and Caribbean - Antillean area, and transoceanic correlation transactions of the Gulf Coast. *Association of Geological Societies* (17), 428-480.

INA. (1999). *Palacio de la Calcita.* Retrieved septiembre 7, 2008, from http://www.nhm.ac.uk/hosted_sites/ina/

James, K. H. (2006). Arguments for and against the Pacific origin of the Caribbean Plate: discussion, finding for an Inter-American origin. *Geologica Acta* , 4 (1-2), 279-302.

Jenkins, H. (1971). New Zealand Cenozoic planktonic foraminifera, New Zealand Geol. *Survey Paleont. Bull* , 42, 1-278.

- Kennett, J.P. y Srinivasan, M.S. (1983). *Neogene planktonic foraminifera. A phylogenetic atlas*. Hutchinson Ross Publ. Camp., 265.
- Lourens, L.; Hilgen, F.; Shackleton, N.J.; Laskar, J. & Wilson, D. (2004). The Neogene Period. In F. Gradstein, & J. & Ogg, *A Geologic Time Scale 2004* (pp. 409-440.). U.K.: Cambridge University Press.
- Lucena G. & Padrón V. (2004). *Análisis paleoecológico de la Formación Cubagua utilizando la comparación de morfotipos y géneros de foraminíferos bénticos*. Universidad Central de Venezuela, 127.
- Macotay, O. (1965). Carta faunal de macrofósiles correspondientes a las formaciones cenozoicas de la Península de Araya, estado Sucre. (U. C. Venez., Ed.) *GEOS* (13), 37-49.
- Martini, E. (1971). Standard Tertiary and Quaternary Calcareous Nannoplankton Zonation. *11th Planktonic Conference*, 2, pp. 739-785. Roma.
- Martini, E., & Worley, T. (1971). Tertiary calcareous nannoplankton from the western equatorial Pacific. *Initial Reports of the DSDP* (7), 1471-1507.
- Nahle, N. (2008). *Ambientes Marinos*. (©Biology Cabinet Organization.) Retrieved noviembre 12, 2008, from http://www.biocab.org/Ambientes_Marinos.html
- Okada, H. & Bukry, D. (1980). Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Marine Micropaleontology* (5), 321-325.
- Pereira J., Perdomo J., & Nalsen M. (1986). Interpretación sismo-estratigráfica del sector oriental del la cuenca de Carúpano. *III Congreso Venezolano de Geofísica*, (pp. 454 - 463). Caracas.

- Pereira, J. (1985). Evolución tectónica de la Cuenca de Carúpano durante el Terciario. *Memorias IV Congreso Geológico Venezolano, III*, pp. 2618-2648. Caracas.
- Pérez A. & Padrón V. (2004). *Determinación de condiciones paleoecológicas de la Formación Cubagua en la Península de Araya*. Universidad Central de Venezuela, 134.
- Rodríguez, P. (2008). PDVSA regresa al mar para quedarse. *Petroleum* (221), 40-42.
- Rosa, J. (2001). *Rosa Bioestratigrafía con nanofósiles calcáreos del Eoceno medio en la sección de superficie del río San Pedro y el pozo MGB-16X en Zulía oriental; y del Cretácico tardío en la sección de superficie del Río Santo Domingo, Estado Barinas, Venezuela*. Tesis de grado, Universidad de Oriente, 97.
- Senn, A. (1940). Paleogene of Barbados and its bearing on history and structure of antillean-caribbean region. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* , 24 (9), 1548-1610.
- Silva. (2008). *Yacimientos de Gas*. Retrieved febrero 5, 2009, from Silva. (2008). Yacimientos de <http://yacimientos-de-gas.blogspot.com/2008/02/perforacion-exploratoria-y-de-produccion.html>
- Talukdar, S. (1983). *Petroleum geology of Tuy-Cariaco basin, eastern Venezuela continental shelf: a preliminary appraisal*. Intevep.
- Tardáguila, P. (2008). *Marco cronoestratigráfico integrado del margen norte costa afuera de Venezuela, a partir del análisis de la información geológica publicada*. Universidad Central de Venezuela, 278.

- Truskowki, I. (S/F). *Cuadro Cronoestratigráfico del Cenozioco*. Informe Interno, PDVSA.
- Vielma, A. (2006). *Mineralogía Óptica: procedimientos para determinar las principales propiedades ópticas de los minerales*. Los Teques: PDVSA-UDO.
- Vierbuchen, R. (1984). The geology of the El Pilar fault zone and adyacent areas in northeastern Venezuela. (R. H. W. Bonini, Ed.) *Geological Society of América*, 189 - 212.
- Vignali, C. M. (1965). Estudio geológico de las rocas sedimentarias de Araya. (U. C. Venez., Ed.) *GEOS* (13), 23-36.
- wikipedia.org*. ([wikipedia.org](http://es.wikipedia.org/wiki/Birrefringencia)). Retrieved noviembre 17, 2008, from <http://es.wikipedia.org/wiki/Birrefringencia>
- Wise, S., Covington, M., Ladner, B., Wei, W. . (2002). Electronic Calcareous Nannofossils. *CD 1*. (Ver. 2003.1.2.).
- Young, J. (1998). 8.NEOGENE. In J. Bown, & U. College (Ed.), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy* (First Edition ed., pp. 225-265.). London: Chapman & Hall.
- Ysaccis, R. (1997). *Tertiary evolution of the northeastern Venezuela offshore*. Houston: Rice University, 285.
- Ysaccis, R.; Cabrera E.; & Castillo H. (2000). El Sistema Petrolífero de la Cuenca de la Blanquilla, Costa Afuera. *7th Simposio Bolivariano - Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas*, (pp. 411-415).

ANEXOS

ANEXO 1:

**CARTA DE DISTRIBUCIÓN DE NANOPLANKTON
CALCÁREO**

ANEXO 2:

INTERPRETACIÓN PALEOAMBIENTAL INTEGRADA

APÉNDICES

APÉNDICE 1:

CONTEO DE NANOPLANKTON CALCÁREO

APÉNDICE 2:

LAMINARIO DE IMÁGENES DE ESPECIES REPRESENTATIVAS ENCONTRADAS EN EL POZO