



**ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTACIÓN EN EL EOCENO, PARA LOS POZOS
PORVENIR-3 Y CERRO VILLANUEVA 1. EN EL AREA DEL CINTURON DE SAN
JACINTO, VALLE INFERIOR DEL MAGDALENA. NW DE COLOMBIA.**

GLORIA YAMILE VILAFRADE BRAVO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2007

**ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTACIÓN EN EL EOCENO, PARA LOS POZOS
PORVENIR-3 Y CERRO VILLANUEVA-1. EN EL AREA DEL CINTURON DE SAN
JACINTO, VALLE INFERIOR DEL MAGDALENA. NW DE COLOMBIA.**

GLORIA YAMILE VILAFRADE BRAVO

Proyecto de grado para optar el título de geólogo

Director

Geólogo Especialista Ricardo Mier Umaña

Co-Director

Ph. D. German Yury Ojeda Bueno

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2007

A mi Madre Ernestina Bravo, por regalarme la vida, todo su amor y compartir conmigo su sabiduría.

A Mauricio Villafrade por ser el mejor padre que la vida me pudo regalar.

A Ricardo por todo su amor y ser una motivación en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Ricardo Mier, director de este proyecto, por creer en mí, por su apoyo incondicional, su cariño y por compartir conmigo sus conocimientos.....

A German Yury, Codirector de este proyecto, por su colaboración y apoyo en la realización de este proyecto.....

A Andrés Reyes, Codirector de este proyecto, por su colaboración, apoyo y por brindarme su conocimiento.....

A todos los profesores de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander por formarme como profesional.

Al Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) por brindar los medios y la oportunidad para la realización de este proyecto.

A Nacho por su apoyo incondicional.....

A Helga, por toda su colaboración y sus valiosas apreciaciones.....

A Alberto Ortiz, por las asesorías durante la ejecución de este proyecto.

A Nestor Moreno y a todo el equipo de Petrografía por facilitar las secciones delgadas de los pozos trabajados en este proyecto.

A Alfredo Tada por su colaboración y ayuda incondicional.....

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	16
1. GENERALIDADES	18
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo General.	18
1.1.2 Objetivos Específicos.	18
1.2 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO	19
2. MARCO GEOLOGICO	22
2.1 ESTRATIGRAFÍA	24
2.1.1 Formación Tolúviejo (800 m.).	24
2.2 ESTRUCTURAS	27
2.2.1 Falla de Oca.	28
2.2.2 Falla de Romeral.	28
2.2.3 Falla Bucaramanga – Santa Marta.	28
2.2.4 Lineamiento de Sinú.	28
2.3 EVOLUCIÓN TECTÓNICA	29
2.3.1 Eoceno Medio.	33
2.3.2 Oligoceno – Mioceno.	35
2.3.3 Plioceno – Pleistoceno.	37
3 METODOLOGÍAS	39

3.1 METODOLOGÍA PARA LA DESCRIPCIÓN DE CORAZONES	39
3.2 METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE FACIES	44
3.3 METODOLOGÍA PARA LA INTERPRETACIÓN DE AMBIENTES DE DEPÓSITO	46
3.3.1 Metodología utilizada para la interpretación ambiental.	48
4 MARCO TEORICO	49
4.1 PLATAFORMAS	49
4.1.1 Plataforma Tipo Rampa De Carbonatos.	50
4.1.2 Plataforma Tipo Delineada.	51
4.1.3 Plataforma Tipo Aislada: (Bahamas).	52
4.1.4 Plataforma Interior: (Wilson y Jordan, 1983, en Reineck, 1980).	55
4.1.5 Plataforma Media: (Wilson y Jordan, 1983, en Reineck, 1980).	55
4.1.6 Plataforma Exterior: (Wilson y Jordan, 1983, en Reineck, 1980).	56
4.2 ARRECIFES	57
4.2.1 Espectro de los Tipos de arrecifes (Walker, 1992).	57
4.2.2 Arrecifes de Alta Energía (Walker, 1992).	58
4.2.3 Arrecifes de Bajo Energía (Walker, 1992).	60
4.2.4 Arrecifes de Margen de Plataforma.	63
5. DESCRIPCIÓN FACIAL Y ASOCIACIÓN DE FACIES	65
5.1 FACIES DE ARCILLOLITAS CON BIOCLASTOS (1)	66
5.2 FACIES DE LIMOLITAS CON RELICTOS DE LAMINACIÓN CON BIOCLASTOS (2)	68
5.3 FACIES DE LIMOLITAS CON BIOCLASTOS BIOTURBADAS (3)	70

5.4 FACIES CONGLOMERÁTICA Y/O ARENITAS CONGLOMERÁTICAS (4)	73
5.5 FACIES GRAINSTONE DE ALGAS ROJAS Y FORAMINÍFEROS (5)	75
5.6 FACIES ARENITAS CON BIOCLASTOS BIOTURBADAS (6)	77
6. INTERPRETACION AMBIENTAL	79
6.1 INTERPRETACION AMBIENTAL DEL POZO PORVENIR-3	83
6.2 INTERPRETACION AMBIENTAL DEL POZO CERRO VILLANUEVA-1	84
6.3 INTEGRACION DE RESULTADOS	85
7. CONCLUSIONES	88
BIBLIOGRAFIA	89
ANEXOS	93

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Unidades Litoestratigráficas del área del Cinturón Plegado de San Jacinto	26
Tabla 2. Tipos de Plataforma Carbonatada y sus características.	53
Tabla 3. Resumen de las Facies Caracterizadas por la Formación Tolúviejo en el área del Cinturón Plegado de San Jacinto	78

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Mapa de Localización del Cinturón Plegado de San Jacinto	20
Figura 2. Localización geográfica de los pozos estratigráficos analizados.	21
Figura 3. Mapa Geológico del Cinturón Plegado de San Jacinto	23
Figura 4. Unidades Litoestratigráficas para el Área del Cinturón Plegado de San Jacinto.	25
Figura 5. Marco Estructural Generalizado. Principales lineamientos del Noroccidente de Colombia; límites del Cinturón Plegado de San Jacinto	27
Figura 6. Inicio de la Subducción de la placa de Caribe bajo la Suramericana, en el Cretácico Superior.	29
Figura 7. Diagrama evolutivo. Cretácico Superior-Eoceno Inferior.	30
Figura 8. Paleogeografía y Paleosutura Romeral durante el Cretáceo Inferior-Paleoceno	31
Figura 9. Colisión entre placas, depositación de las Formaciones Cretácicas y parte de las Terciarias y fase inicial del levantamiento del Cinturón Plegado de San Jacinto.	32
Figura 10. Diagrama ilustrativo del primer episodio de deformación, en el Eoceno Medio, inversion del Rift.	33
Figura 11. Bloque diagrama ilustrativo del movimiento distensivo y la configuración inicial de la Subcuenca San Jorge.	34
Figura 12. Evento depositacional del Mioceno Temprano y Medio	36
Figura 13. Esquema depositacional del Mioceno Tardío. Sedimentación en las Cuencas de Plato y San Jorge y depositación en San Jacinto.	37
Figura 14. Estructura actual del Cinturón Plegado de San Jacinto	38

Figura 15. Núcleos del Pozo Porvenir-3	40
Figura 16. Fragmento de Núcleo del Pozo Porvenir-3	41
Figura 17. Materiales utilizados.	41
Figura 18. Clasificación de rocas calcáreas, de acuerdo con la textura depositacional, Dunham. Modificado de Cruz y Mier 2001.	42
Figura 19. Diagrama ilustrativo de la metodología para la descripción de Corazones.	43
Figura 20. Características fundamentales de las Facies.	44
Figura 21. Clasificación de los ambientes sedimentarios (Serra, 1995).	47
Figura 22. Esquema de Plataforma Tipo Rampa.	50
Figura 23. Esquema de Plataforma Tipo Delineada.	51
Figura 24. Esquema de Plataforma Tipo Aislada.	52
Figura 25. Perfil esquemático del ambiente de Plataforma de Carbonatos.	54
Figura 26. Esquema de la Zonación de Arrecife Marginal	58
Figura 27. Ventana de Crecimiento de Arrecifes Modernos.	61
Figura 28. Parches Arrecifales de la Plataforma de Belize.	63
Figura 29. Barrera de Arrecifes en la Plataforma de Australia.	64
Figura 30. Facies arcillolita con bioclastos (1).	67
Figura 31. Facies limolita con relictos de laminación (2).	69
Figura 32. Facies limolita con bioclastos bioturbada (3). Bioturbación no diferenciada.	70
Figura 33. Facies limolita bioturbada. Localmente arenosa (arena muy fina).	72

Figura 34. Facies conglomeratica y/o Arenitas Conglomeraticas (4).	74
Figura 35. Facies Grainstone de algas rojas y macroforaminíferos (5).	75
Figura 36 Facies grainstone donde se observa fragmento de coral.	76
Figura 37. Facies Arenita con Bioclastos Bioturbadas.	77
Figura 38. Asociación de Facies 1 y 3.	80
Figura 39. Facies 2 y 4.	81
Figura 40. Facies 5. Se muestra la alternancia con el boundstone de coral.	82
Figura 41. Diagrama esquemático de las Facies 6.	83
Figura 42. Esquema de ubicación facies 1, 2, 3,4 en el perfil de la plataforma.	86
Figura 43. Perfil depositacional para las facies 5. Para el caso del Parche Arrecifal.	87

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. REGISTRO DE DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLOGICA Y ESTRATIGRÁFICA ESCALA 1:100 DEL POZO PORVENIR-3 – FORMACIÓN TOLÚVIEJO.	94
ANEXO B. REGISTRO DE DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLOGICA Y ESTRATIGRÁFICA ESCALA 1:100 DEL POZO CERRO VILLANUEVA-1– FORMACIÓN TOLÚVIEJO.	95

RESUMEN

TÍTULO: ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTACIÓN EN EL EOCENO, PARA LOS POZOS PORVENIR-3 Y CERRO VILLANUEVA 1. EN EL AREA DEL CINTURON DE SAN JACINTO, VALLE INFERIOR DEL MAGDALENA. NW DE COLOMBIA.*.

AUTOR: GLORIA YAMILE VILAFRADE BRAVO**

PALABRAS CLAVES: DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA, NÚCLEOS, FACIES, ASOCIACIÓN DE FACIES AMBIENTES DE DEPOSITACIÓN.

Descripción:

El objetivo primordial de esta investigación es interpretar el ambiente de depositación mediante la descripción y el análisis sedimentológico-estratigráfico de los núcleos para los pozos Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1, en el área del Cinturón Plegado de San Jacinto (Noroccidente de Colombia). Realizar dicha interpretación requirió, conocer las asociaciones de facies y principalmente las facies sedimentarias presentes en cada uno de éstos pozos, para lo cual se definieron parámetros texturales, composicionales y estructurales en las muestras de los núcleos. Mediante la definición de facies y asociaciones de éstas, a partir de la descripción sedimentológica, se propusieron 6 facies y con base en ellas, se realizó la interpretación ambiental.

Los resultados muestran para estos pozos, un ambiente de Plataforma Externa-Media, caracterizado además, por depósitos de tormenta en el pozo Porvenir-3 y un cuerpo arrecifal en el tope del Pozo Cerro Villanueva-1 cuyo espesor no supera los 30 metros, que fue definido con base en su espesor, extensión y referencias trabajadas en el área, como un Parche Arrecifal. En general los pozos evidencian un somerización hacia el tope, hecho que es concordante con la somerización general presentada en el área del Cinturón Plegado de San Jacinto por las formaciones presentes.

* Trabajo de Grado. Modalidad Investigación.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología. Director Ricardo Mier Umaña. Codirector Germán Yury Ojeda Bueno.

ABSTRACT

TITLE: STRATIGRAPHY AND SEDIMENTATION IN THE EOCENO, FOR THE WELLS PORVENIR-3 AND CERRO VILLANUEVA 1. IN THE AREA OF THE BELT OF SAN JACINTO, INFERIOR VALLEY OF THE MAGDALENA. NW DE COLOMBIA.*

AUTHOR: GLORIA YAMILE VILAFRADE BRAVO**

KEY WORDS: SEDIMENTOLOGYCAL DESCRIPTION, CORES, FACIES, DEPOSITIONAL ENVIRONMENTS FACIES ASSOCIATIONS.

Description:

The primordial objective of this investigation is to interpret the depositional environments by means of the description and the stratigraphic and sedimentologic analysis of the cores for the wells Porvenir-3 and Cerro Villanueva-1, in the area of the Folded Belt of San Jacinto (Norwest of Colombia). To carry out this interpretation required, to know the facies associations and the mainly sedimentary facies present in each one of these, for that were defined textural parameters, compositionals and structural in the samples of the cores. By means of the definition of facies and associations of these, starting from the sedimentological description, 6 facies were proposed and with them, was carried out the environmental interpretation.

The results show for these wells, an environment of External-half Platform, also characterized, for storm deposits in the well Porvenir-3 and a reef body in the end of the Well Cerro Villanueva-1 that was defined as a Patch Reef, with base in their thickness, it is less than 30 meters, extension and references worked in the area. In general all the wells evidence a shallowing towards the top that is concordant with the general tendency of the formation in the Folded Belt of San Jacinto

* Project of Grade. Modality Investigation

** Faculty of Physical – Chemistry Engineering. School of Geology. Director Ricardo Mier Umaña and Co director Germán Yury Ojeda Bueno.

INTRODUCCION

El Cinturón Plegado de San Jacinto se localiza en el Noroccidente de Colombia; algunos autores lo ubican dentro de la Cuenca del Valle Inferior del Magdalena (Reyes, et al., 2000). Geográficamente se localiza entre el Cinturón del Sinú y las depresiones de Plato y San Jorge, sus límites geológicos los conforman fallas regionales. Estratigráficamente comprende rocas del Cretácico Superior- Terciario y su evolución tectónica comprende diversos eventos extensionales y compresionales que afectaron la margen continental del Noroccidente de Colombia.

En el área se han perforado varios pozos algunos de los cuales son estratigráficos, entre los que se encuentran los pozos aquí tratados, Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1, los cuales comprenden parcialmente la Formación Tolúviejo.

En este estudio, un análisis sedimentológico y estratigráfico de los pozos Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1 ha sido llevado a cabo; la metodología empleada para la caracterización de los pozos comprende la determinación de parámetros texturales, composicionales y de estructuras sedimentarias, los cuales constituyen la base para la definición de facies y sucesiones de facies a fin de establecer un ambiente de depositación. Es por esto que mediante el convenio entre la Universidad Industrial de Santander y el Instituto Colombiano del Petróleo -ICP; se decidió realizar dicho análisis para los pozos mencionados, los cuales comprenden parcialmente la Formación Tolúviejo.

En el primer capítulo de este trabajo se muestran las generalidades del área, así como la ubicación geográfica; en el segundo capítulo se trata el marco geológico regional, donde se encuentra la estratigrafía regional, las

estructuras regionales y la evolución tectónica regional.

En el tercer capítulo se encuentran las metodologías utilizadas para la descripción de los núcleos, determinación de facies y ambiente de depositación.

En el cuarto capítulo se encuentra la descripción del intervalo corazonado de los pozos Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1, además se muestra la interpretación de facies y sucesión de facies.

En el capítulo quinto se encuentra la interpretación del ambiente de depósito para los pozos mencionados, los cuales comprenden la Formación Tolúviejo con el fin de cumplir el objetivo primordial de este estudio.

1. GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General.

- Definir la distribución de facies y los ambientes de sedimentación para los pozos Porvenir 3 y Cerro Villanueva-1 del área del Cinturón de San Jacinto, Valle Inferior del Magdalena.

1.1.2 Objetivos Específicos.

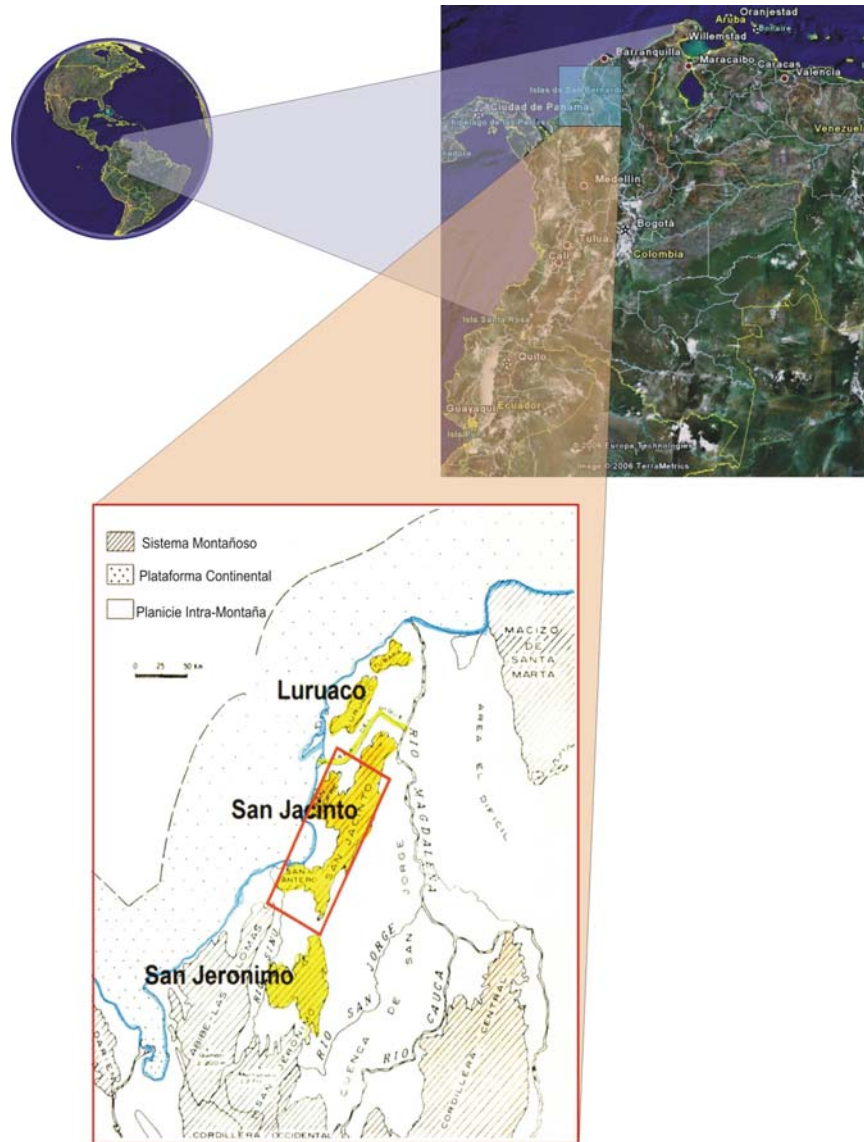
- Realizar la descripción e interpretación estratigráfica de los pozos Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1.
- Determinar las facies sedimentarias a partir de la descripción sedimentológica de los pozos Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1.
- Establecer el ambiente de depósito de las formaciones corazonadas en los pozos Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1.

1.2 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

La provincia geológica conocida como “Cinturón Plegado de San Jacinto” (CPSJ) se localiza en la parte Noroccidental de Colombia, en el dominio fisiográfico del Valle Inferior del Magdalena entre el Cinturón del Sinú y las depresiones de Plato y San Jorge. Tiene dirección general N20E con una longitud de 360 y 20 de ancho (Caro, 2003).

En superficie el CPSJ comprende los anticlinorios de Luruaco, San Jacinto y San Jerónimo de norte a sur. Estos anticlinorios están separados por áreas bajas cubiertas por sedimentos recientes (Duque-Caro 1980, 1984., en Caro, 2003). Esta ubicación se muestra en la figura 1.

Figura 1. Mapa de Localización del Cinturón Plegado de San Jacinto



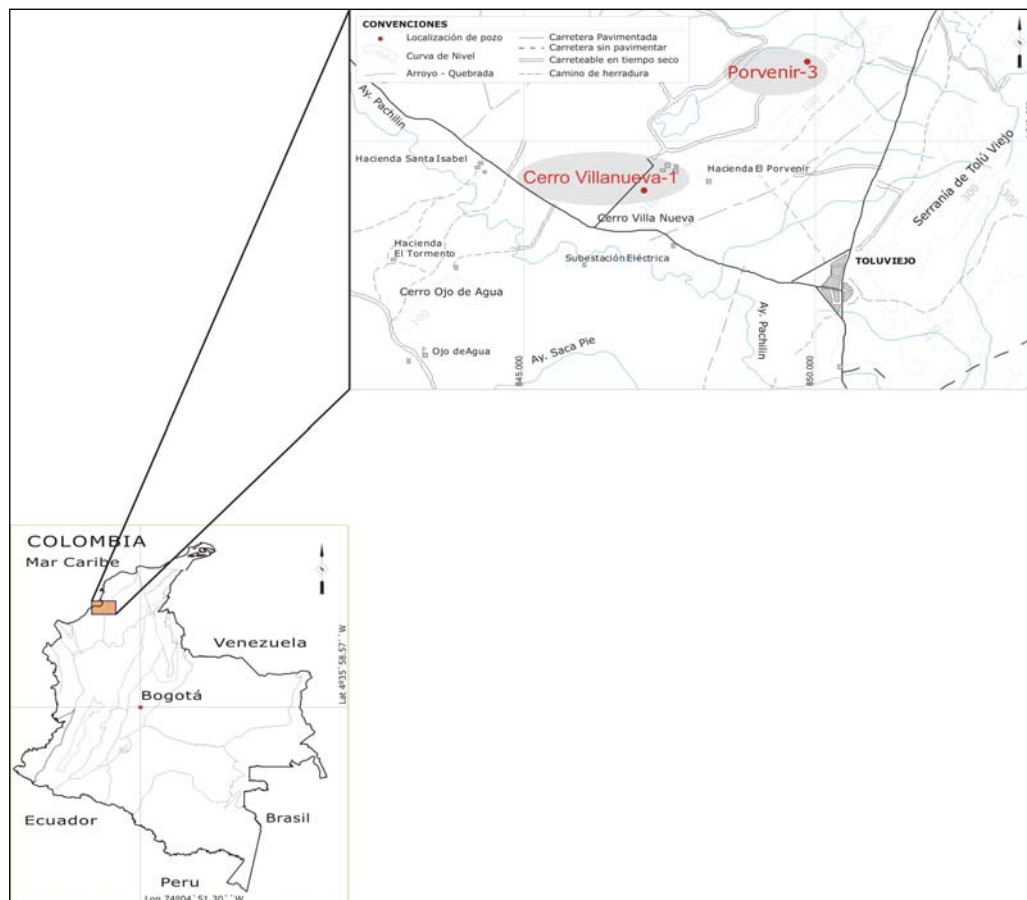
Fuente: Modificado Google Earth y Caro M., 2003.

Este trabajo se realizó con base en los corazones de perforación de los Pozos Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1, los cuales están ubicados en la parte Noroccidental de Colombia, en el CPSJ.

El pozo Porvenir-3 se localiza en el Departamento de Sucre, al Norte del Municipio

de Tolúviejo, Sucre, en las Coordenadas N 1'541.491 y W 850.249. El pozo Cerro Villanueva está localizado en el Departamento de Sucre, al Oriente del Golfo de Morrosquillo y Noroccidente de la ciudad de Sincelejo, en las coordenadas N: 1'539.127, E: 847.307 con origen Bogotá (Figura 2).

Figura 2. Localización geográfica de los pozos estratigráficos analizados.



Fuente: Modificado de Gómez, 2003

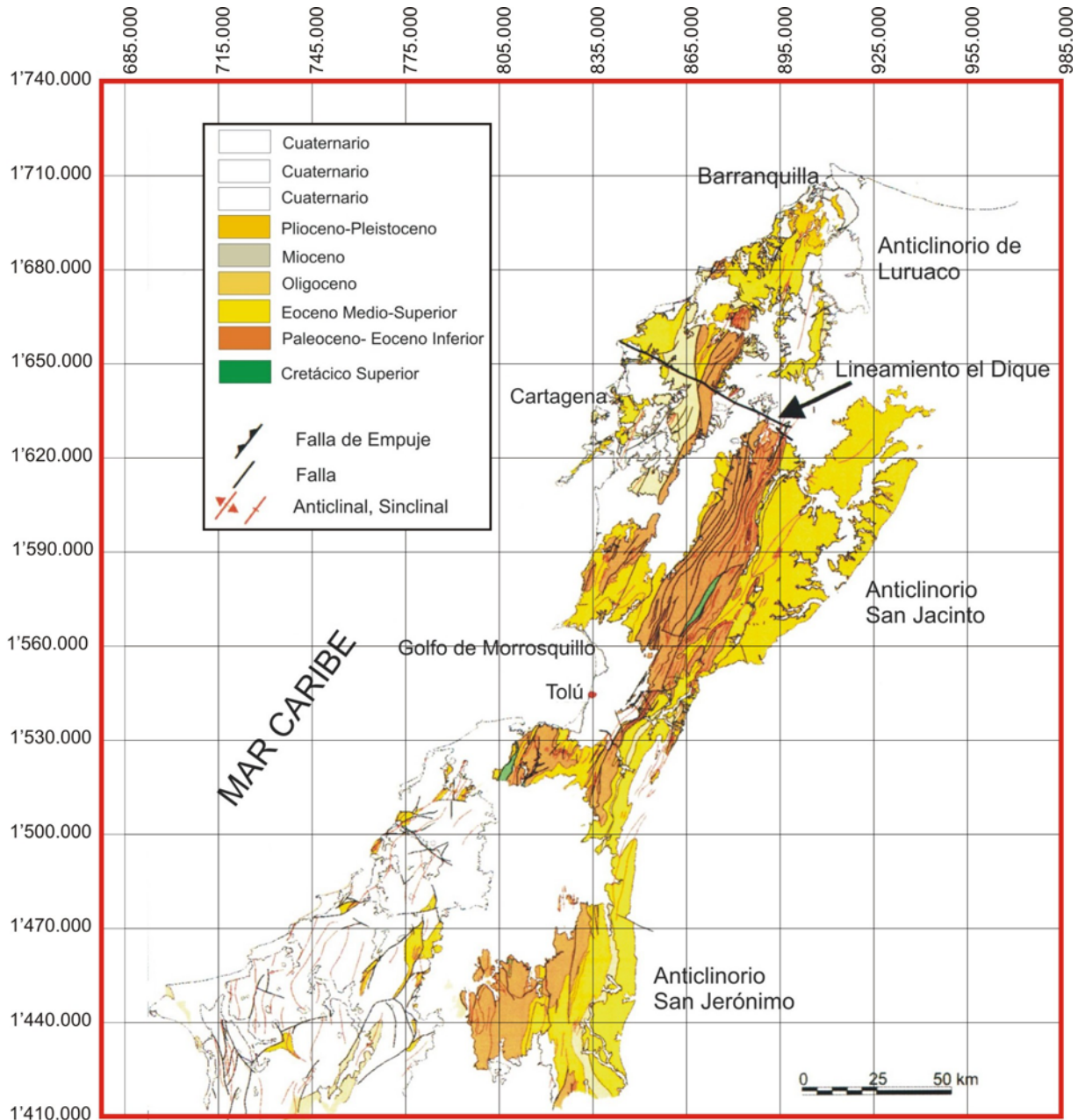
2. MARCO GEOLOGICO

Los patrones estructurales y estratigráficos que se presentan en ésta provincia geológica, al igual que en todo el norte Colombiano, están determinados por las características tectónicas, dominadas por la interacción de las placas Caribe y Suramericana. Producto de ésta dinámica tectónica, la estructura del CPSJ la conforman anticlinales estrechos y sinclinales amplios (Duque-Caro, 1977; en Reyes, 1996).

El CPSJ se caracteriza por tener rocas sedimentarias con edades que van desde el Cretácico Superior al Cuaternario. Estas rocas componen las siguientes unidades litoestratigráficas: Formación Cansona, que corresponde al Cretácico Superior; las Formaciones San Cayetano, Tolúviejo, Carmen y Cerrito, las cuales corresponden al Terciario; y la Formación Sincelejo que corresponde al Cuaternario (Figura 3). Dichas formaciones son tratadas con más detalle en el capítulo de Estratigrafía.

Estructuralmente el Cinturón Plegado de San Jacinto está conformado por una serie de pliegues con dirección noreste, fallas inversas y normales y los principales rasgos estructurales son sus límites, los cuales son: al Norte la Falla de Oca, al Sur Oeste la terminación de la Cordillera Occidental, al Este la Falla de Romeral y al Oeste el Lineamiento Sinú (Caro, 2003), los cuales se describen en el capítulo de Geología Estructural.

Figura 3. Mapa Geológico del Cinturón Plegado de San Jacinto



Fuente: Modificado Caro, 2003

2.1 ESTRATIGRAFÍA

En general la región noroccidental de Colombia está caracterizada por variaciones laterales de las secuencias sedimentarias depositadas, hecho que se debe principalmente a la paleogeografía presente en el momento de la depositación y a las condiciones tectónicas dominadas por la convergencia de placas desde el Cretáceo tardío al Terciario temprano (Duque-Caro, 1977 en Reyes, 2000).

La secuencia estratigráfica en el Cinturón Plegado de San Jacinto es de edad Cretácico Superior a Mioceno Tardío con una delgada cubierta de depósitos Plio-Pleistoceno. Las unidades Litoestratigráficas evaluadas en este trabajo, que hacen parte del Cinturón Plegado de San Jacinto, comprenden el Terciario únicamente entre el Eoceno y el Oligoceno. (Figura 4). En la tabla 1. Se presentan las características Litoestratigráficas de las formaciones del CPSJ.

La Formación de interés en este estudio es la Formación Tolúviejo, por lo tanto se presenta una descripción más detallada de la misma.

2.1.1 Formación Tolúviejo (800 m.). Fue definida inicialmente por (Werenferls, 1926; y Duque-Caro, 1968 en Reyes, 2000). Duque-Caro, 2002 le otorgó una edad de Eoceno medio a superior en Reyes, 200).

La Formación Tolúviejo yace en discordancia angular sobre la Formación San Cayetano, ésta consta de margas y limolitas calcáreas de colores oscuros que varían a areniscas grises de grano fino a medio, glauconíticas y con cemento calcáreo. Hacia el tope, son calizas de color crema, compactas y con abundantes restos fósiles de corales, equinodermos, algas etc. Estas calizas corresponden al desarrollo de arrecifes en forma de pináculo.



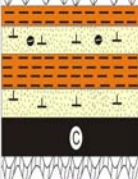

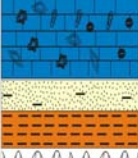


Guzmán, 1995 (memorias del VI Congreso Colombiano del Petróleo) interpretó su ambiente de depósito como una plataforma somera; ESRI – ILEX (1995; en Blanco et. al., 1997) la interpretó como depósitos marinos relativamente someros del nivel alto del mar (HST), que localmente constituye biohermas y/o arrecifes, y que sugiere depositación sinorogénica en estructuras recién levantadas, o en depresiones resultantes de dicha actividad tectono – sedimentaria.

Figura 4. Unidades Litoestratigráficas para el Área del Cinturón Plegado de San Jacinto.

PERIODO	EPOCA	ANTICLINORIO SAN JACINTO		
		SUR	NORTE	
CUATERNARIO	HOLOCENO	Q	Q	
	PLEISTOCENO	FORMACIÓN SINCELEJO FORMACIÓN BETULIA		
TERCIARIO	NEOGENO	FORMACIÓN CERRITO	FORMACIÓN ZAMBRANO	
			FORMACIÓN JESUS DEL MONTE	
			FM. MANDATU	
			FM. EL RANCHO	
			FORMACIÓN CARMEN	
	PALEOGENO	OLIGOCENO	FORMACIÓN CARMEN	Mo ARENISCAS DEL OSO
				FORMACIÓN CARMEN
		EOCENO		FORMACIÓN SAN JACINTO
				FORMACIÓN CHENGUE
				FM. MACO
				MUCAGAL
PALEOCENO	FORMACIÓN SAN CAYETANO			
CRETACICO SUPERIOR	MAASTRICHTIANO	FORMACIÓN CANSONA		
	CAMPANIANO			

Fuente: Modificado de Reyes, 2000

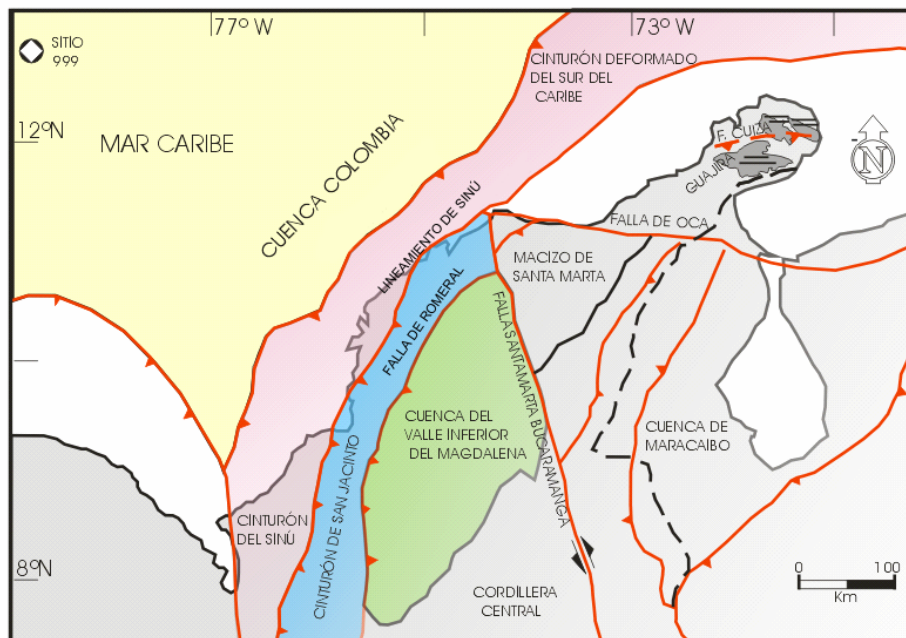
Tabla 1. Unidades Litoestratigráficas del área del Cinturón Plegado de San Jacinto

FORMACIÓN	LITOLOGIA	Curva del nivel del mar marino continental	EDAD	ESTRATIGRAFIA	ESPESOR	CONTACTOS	CORRELACIONES
SINCELEJO			Plioceno Superior Pleistoceno (Ingeominas, 1995, en Reyes, 2000)	Capas gruesas de areniscas conglomeráticas, con estratificación cruzada, intercalaciones de arcillolitas grises, restos de huesos de macrofósiles (Werenfels, 1926, Duque-Caro, 1981)	1.000 metros (Ingeominas, 1995, en Reyes, 2000)	Suprayace discordantemente a la formación Cerrito (Ingeominas, 1994, en Reyes, 2000)	En el cinturón del Sinu se correlaciona con la Formación Corpa (Hernández, 1996)
CERRITO			Mioceno superior Plioceno inferior (Ingeominas, 1994 en Reyes, 2000)	Arcillolitas grises verdosas ricas en restos oxidados de plantas con intercalaciones de areniscas grises, calcareas, con restos de gasteropodos y bivalvos. Ocasionalmente mantos de Carbon (Werenfels, 1926 en Reyes, 2000)	1.000 metros (Ingeominas, 1994 en Reyes, 2000)	Descansa inconformemente sobre formación Carmen (Guzmán, 1994 en Reyes, 2000)	En la franja del Sinu se correlaciona con la Formación Pajuil (Hernández, 1996)
CARMEN			Oligoceno inferior Mioceno inferior (Guzmán, 1994 en Reyes, 2000)	Capas de arcillolitas calcareas grises oscuras, con cristales de yeso y delgadas intercalaciones de arenitas arcillosa (Notestein, 1929 en Reyes, 2000)	1.100 - 1.200 metros (Duque-Caro, 1995 en Reyes, 2000)	Discordante con la Formación Toluvejo (Guzmán, 1994 en Reyes, 2000)	En la franja del Sinu esta formación se denomina Formación Floresanto tiene un mayor desarrollo debido al espacio reducido de la cuenca y al continuo y abundante aporte (Hernández, 1996)
TOLUVEJO			Eoceno medio a superior (Duque-Caro, 2000)	Margas y limolitas calcareas de colores oscuros que varían a areniscas grises de grano fino a medio, glauconíticas y con cemento calcáreo (Werenfels, 1926 y Duque-Caro, 1968 en Reyes, 2000)	800 metros (Duque-Caro, 1986)	Yace en discordancia angular sobre la Formación San Cayetano (Ingeominas, 1994)	En el norte del Anticlinalio de San Jacinto con las Formaciones Chengue, Maco y San Jacinto (Ingeominas, 1994)
SAN CAYETANO			Eoceno temprano (Guzmán, 1994 en Reyes, 2000)	Consta de una secuencia rítmica de arenitas conglomeradas finas, liticas, grano-decrecientes, con estratificación cruzada. Presencia de concreciones calcareas y delgados niveles de limolitas y arcillolitas (Chenevart, 1963 en Reyes, 2000)	600 - 1.200 metros (Guzmán, 1995 en Reyes, 2000)	Suprayace discordantemente a la formación Cansona (Ingeominas, 1994 en Reyes, 2000)	
CANSONA			Campaniano Maastrichtiano (Guzmán, 1994 en Reyes, 2000)	Consta de niveles de chert negro, lutitas negras ricas en materia orgánica, facies calcareas algunas veces fosfáticas (Notestein, 1929 y Wood, 1940 en Reyes, 2000)	250 metros (Guzmán, 1994)	El contacto superior con la formación San Cayetano es discordante (Ingeominas, 1994)	Se correlaciona con el Ciclo de Cansona facies turbidíticas de Duque, 1972 en Reyes, 2000

2.2 ESTRUCTURAS

El Cinturón de San Jacinto está conformado por una serie de pliegues con dirección noreste, fallas inversas y normales, las principales estructuras que limitan el Cinturón Plegado de San Jacinto son: al Norte la falla de Oca, al Este la falla de Romeral, la cual tectónicamente separa el Cinturón Plegado de San Jacinto de las Cuenca de Plato y San Jorge; al Oeste está limitado por el lineamiento del Sinú, el cual separa este del Cinturón del Sinú. y al Sur Oeste por la terminación de la Cordillera Occidental (Caro M., 2003) como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Marco Estructural Generalizado. Principales lineamientos del Noroccidente de Colombia; límites del Cinturón Plegado de San Jacinto



Fuente: Caro, 2003

A continuación se describen las características de los principales rasgos tectónicos que limitan el Cinturón Plegado de San Jacinto.

2.2.1 Falla de Oca. Esta falla contemporánea con la falla Bucaramanga – Santa Marta, es una falla transcurrente con componente dextral y deslizamiento aproximado de 65 kilómetros. Tiene un trazo muy recto con rumbo preferencial oeste – este, llegando a un trazo mas sinuoso en la parte W. La máxima rata de desplazamiento ocurrió durante el Mioceno (Caro, 2003)

2.2.2 Falla de Romeral. La Falla Romeral se extiende al norte Colombiano, forma el borde este del cinturón plegado de San Jacinto y continúa hacia el sur como el límite de la placa Sur Americana. Este sistema de fallas o paleosutura, separa la corteza oceánica al oeste y la continental al este. Esta falla actuó como una megacizalla con movimiento lateral izquierdo del Cretáceo al Eoceno temprano, ya para el Mioceno el movimiento cambio a una falla inversa imbricada de alto ángulo (Caro, 2003)

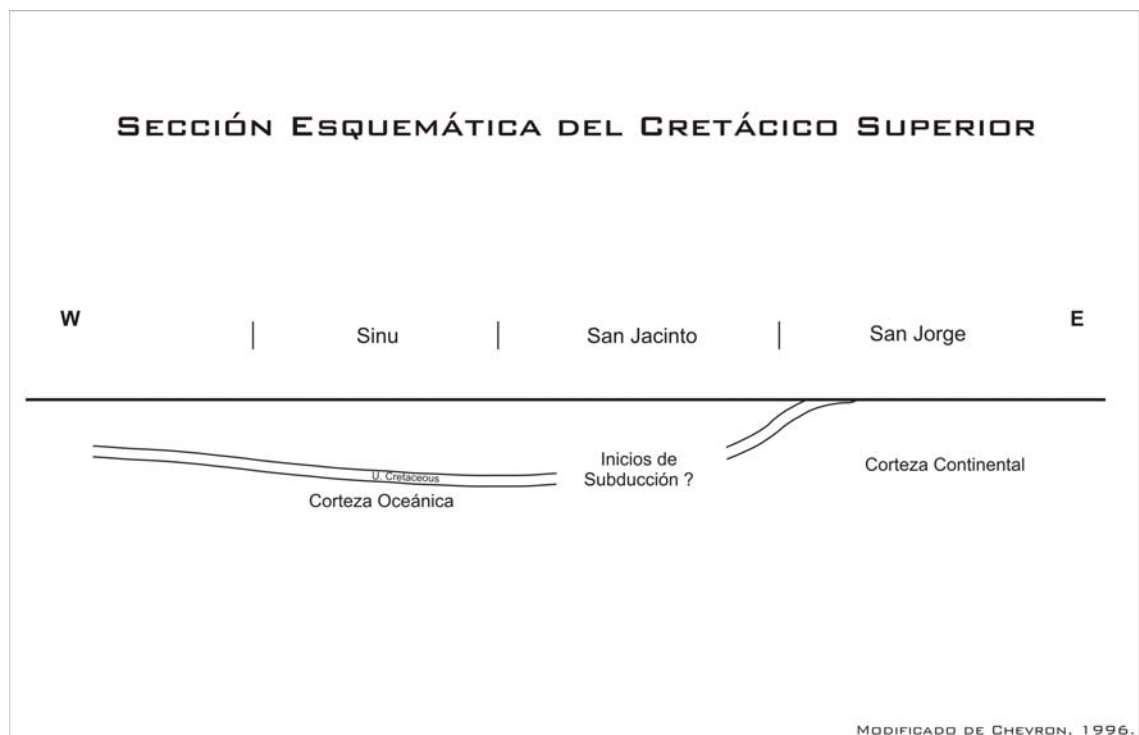
2.2.3 Falla Bucaramanga – Santa Marta. Es una falla de deslizamiento lateral izquierdo que ha estado activa desde el Terciario temprano?, con una rata máxima de desplazamiento durante el Mioceno (110 km, post Mioceno). Esta falla separa dos provincias geológicas, la cuenca del Valle inferior del Magdalena al Oeste y las rocas cristalinas del Macizo de Santa Marta al Este. (Caro, 2003)

2.2.4 Lineamiento de Sinú. Este lineamiento tiene tendencia N20E, paralelo a la falla Romeral que separa el cinturón plegado de San Jacinto del cinturón de Sinú al oeste. Este lineamiento marca un cambio en el estilo estructural entre los cinturones de Sinú y San Jacinto y define un límite occidental de vulcanismo de lodo, el cual no prevalece en el cinturón plegado de San Jacinto (Caro, 2003).

2.3 EVOLUCIÓN TECTÓNICA

El Cinturón Plegado de San Jacinto fue la margen continental del NW de Colombia (placa Suramericana) en el Cretácico; el cual fue deformado y acrecionado al continente Suramericano como resultado de la interacción tectónica de las placas Caribe, Cocos, Nazca, Norte y Suramericana (Pennington, 1981; Gula, 1983; Kellogg, 1985; Case, Mann, 1999 en Caro, 2003) (Figura 6)

Figura 6. Inicio de la Subducción de la placa de Caribe bajo la Suramericana, en el Cretácico Superior.



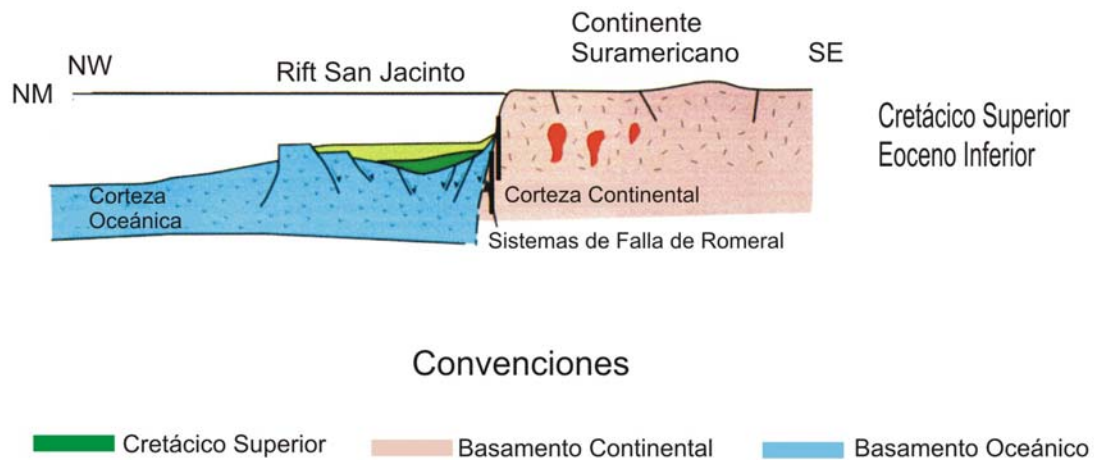
Fuente: Modificado de Chevron, 1996.

La estructura actual del Cinturón de San Jacinto esta íntimamente ligada a la dinámica de la tectónica de placas, ya que es el resultado de una evolución

tectónica de fases múltiples, que incluye episodios compresionales y extensionales que afectaron la margen continental durante el Cenozoico (Caro, 2003).

La historia geológica del Cinturón de San Jacinto se inició en el **Cretáceo Superior** (Dueñas., 1986., en Reyes, 2000); luego de la apertura del Atlántico en el Cretácico inferior y de la subducción de la placa Nazca bajo la placa Suramericana; hecho que generó un arco volcánico, que correspondió a los primeros estadios de la Cordillera Central y cuya zona de sutura está representada en la actualidad por la Falla de Romeral, la cuál sirvió como limite acrecionario para el desarrollo del Cinturón Plegado de San Jacinto (Figura 7).

Figura 7. Diagrama evolutivo. Cretácico Superior-Eoceno Inferior.

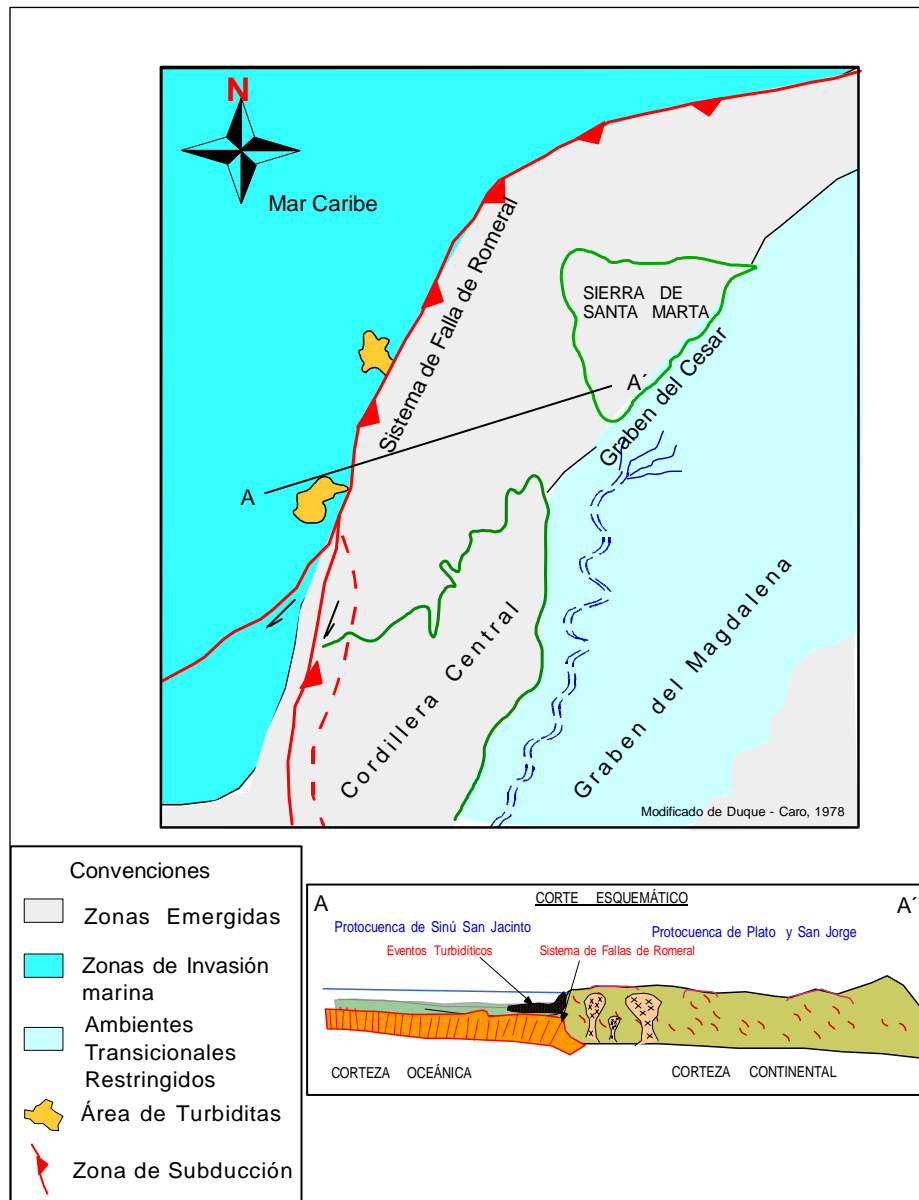


Fuente: Modificado de Caro, 2003

Para este periodo el continente emergió incluyendo el macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta y la cordillera central (Duque-Caro, 1984., en Caro, 2003); por su parte la sedimentación se restringió a pequeños rift o graben limitados por el

sistema de fallas de Romeral o paleosutura (Duque-Caro, 1974., en Reyes, 2000) (Figura 8).

Figura 8. Paleogeografía y Paleosutura Romeral durante el Cretáceo Inferior-Paleoceno

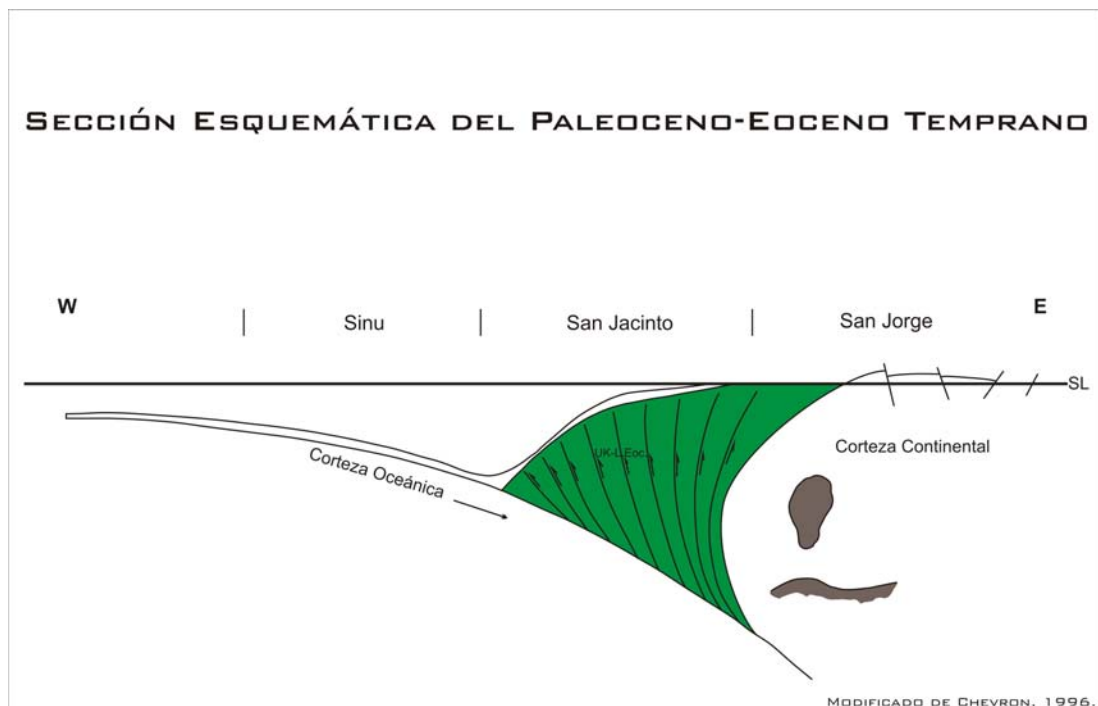


Fuente: Reyes, 2000

Durante este episodio, la sedimentación pelágica y hemipelágica de la Formación Cansona tuvo lugar en el fondo oceánico y sobre esta secuencia, las turbiditas de San Cayetano se depositaron desde el Paleoceno al Eoceno temprano, siendo la corteza continental emergida la zona de aporte de dichas turbiditas; seguidos por los depósitos conglomeráticos de la Formación Maco (Caro, 2003).

Las fuerzas compresionales producto del choque entre las placas generó un vulcanismo máfico que tomó lugar en la plataforma marginal dando crecimiento a una serie de conos volcánicos submarinos, los que se interpretaron como la fase inicial del levantamiento del Cinturón de San Jacinto. (Duque - Caro, 1977 en Caro, 2003) (Figura 9).

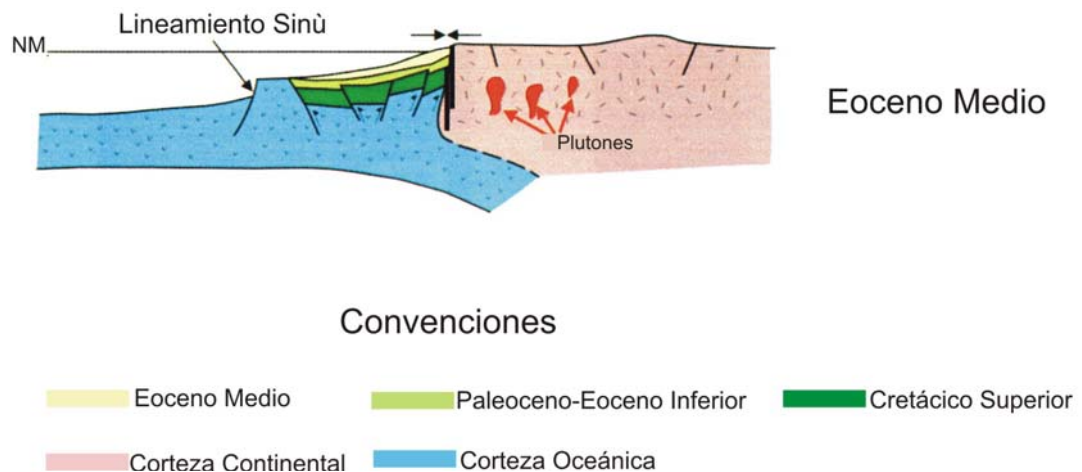
Figura 9. Colisión entre placas, deposición de las Formaciones Cretácicas y parte de las Terciarias y fase inicial del levantamiento del Cinturón Plegado de San Jacinto.



Fuente: Modificado de Chevron, 1986

2.3.1 Eoceno Medio. Posterior al evento de rift el área del Cinturón Plegado de San Jacinto experimentó episodios subsecuentes de deformación, el primer episodio de deformación se inicia en el Eoceno Medio cuando se produce la inversión del rift debido a las fuerzas laterales compresivas (Figura10). Las fallas normales iniciales asociadas al rift se reactivaron como fallas inversas de alto ángulo; (Texas Petroleum 1991; Caro, 2003).

Figura 10. Diagrama ilustrativo del primer episodio de deformación, en el Eoceno Medio, inversion del Rift.



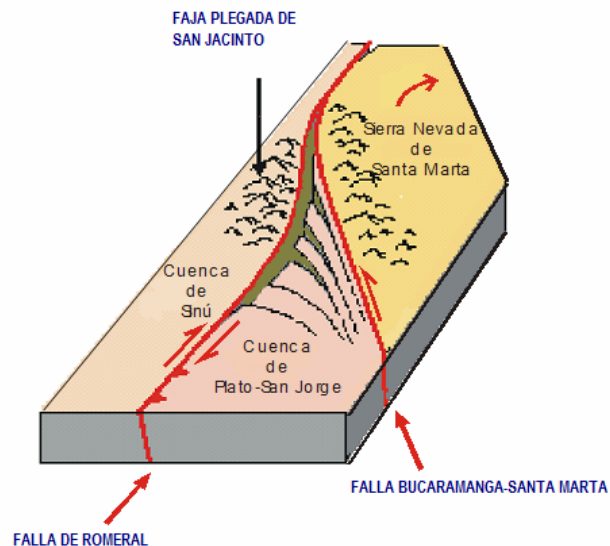
Fuente: Modificado de Caro, 2003

En este tiempo el lineamiento Sinú empezó a separar la plataforma abisal del rift o graben levantado de San Jacinto y la zona de subducción migró al oeste de la margen continental (Figura 10 Duque-Caro, 1980., en Caro, 2003). Por consiguiente para el Eoceno Medio la margen continental estaba localizada en el lineamiento Sinú.

El prisma acrecional el cual fue el ancestro del Cinturón Plegado de San Jacinto, sufrió mayores efectos estructurales y se levantó generando así un cambio en las condiciones de sedimentación, pasando de un ambiente de depósito profundo a un ambiente de plataforma donde se depositaron los carbonatos de las formaciones Chengue y Tolúviejo; lo cual, indica un descenso en la tasa de depositación clástica en el área (Chevron, 1986).

El flanco oeste del cinturón fue marginado y separado de la llanura abisal por el nuevo Lineamiento del Sinú, resultando así una “migración” hacia el oeste de las características originalmente descritas como el Surco del Romeral (zonas profundas de Llanuras abisales). Aunque la plataforma permaneció emergida, sufrió una inclinación hacia el oeste, produciendo la configuración inicial de la Subcuenca de San Jorge (Duque - Caro, 1977; en Hernández, 1996) (Figura 11).

Figura 11. Bloque diagrama ilustrativo del movimiento distensivo y la configuración inicial de la Subcuenca San Jorge.



Fuente: Hernández, 2003.

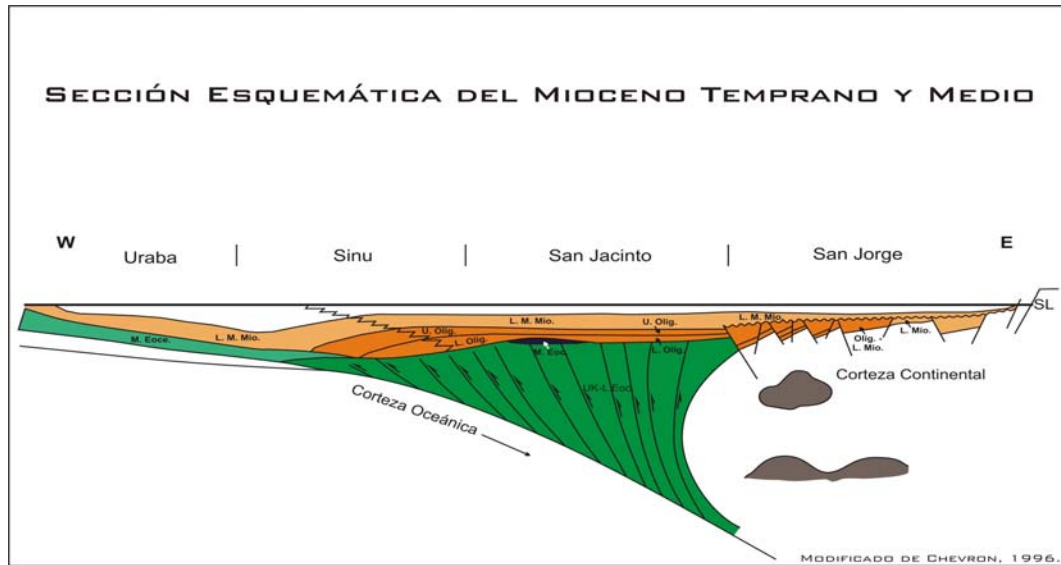
Durante el Eoceno Tardío la Formación San Jacinto se depositó discordante sobre la Formación Chengue, debido a los pequeños pulsos de levantamiento del Cinturón Plegado de San Jacinto (Duque-Caro, 1984; en Caro, 2003).

Al final del Eoceno, ocurrió un cambio tectónico regional; la Serranía del Perijá, los macizos de Santa Marta y Santander registraron evidencia de pulsos de levantamiento (Molina, 1978; Kellogg, 1984; en Caro, 2003) al mismo tiempo este evento causó distensión al este del rift de San Jacinto, en la plataforma Continental y se inició la sedimentación en las cuencas de Plato y San Jorge (Figura 11).

2.3.2 Oligoceno – Mioceno. Durante el Oligoceno al Mioceno el levantamiento del rift de San Jacinto continuó en algunos lugares o al menos permaneció emergente (Caro, 2003).

Mientras que un nuevo episodio de levantamiento ocurría en el Cinturón Plegado de San Jacinto, la extensión comenzó a desarrollarse en la plataforma continental en las nuevas cuencas de Plato y San Jorge y se inició con la depositación de la Formación Ciénaga de Oro (Caro, 2003) (Figura 12), por su parte la discordancia del Oligoceno Inferior parece marcar el fin del rift de San Jacinto (Caro, 2003).

Figura 12. Evento depositacional del Mioceno Temprano y Medio

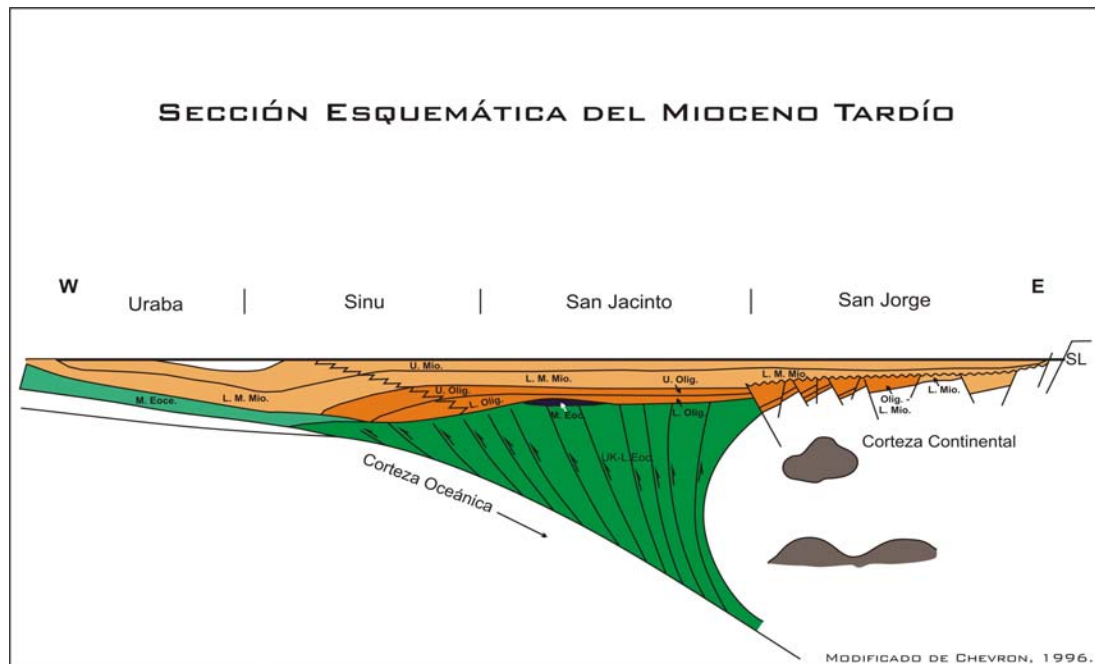


Fuente: Modificado de Chevron, 1986

En el Mioceno Medio se registró una discordancia regional que marcó el cambio de facies profundas a facies someras, ésta coincide con la edad de los primeros pulsos de la Orogenia Andina y probablemente involucra levantamientos en el cinturón de San Jacinto (Reyes, 2000).

Desde el Mioceno Tardío al Plioceno, el rifting al este del Cinturón Plegado de San Jacinto generó la sedimentación en la cuencas Plato y San Jorge (ECP-ICP-GOX, 2001; en Caro, 2003). Este rifting se produjo por las fuerzas laterales extensionales asociadas con la separación del Macizo de Santa Marta de la Cordillera Central, el registro litológico continua con la depositación de la Formación Cerrito en algunas partes del Cinturón Plegado de San Jacinto (Figura 13).

Figura 13. Esquema deposicional del Mioceno Tardío. Sedimentación en las Cuencas de Plato y San Jorge y deposición en San Jacinto.



Fuente: Modificado de Chevron, 1986

2.3.3 Plioceno – Pleistoceno. Durante el Plioceno – Pleistoceno otro evento importante de levantamiento, plegamiento y fallamiento, el cual fue correlacionado con la Orogenia Andina, sucedió en los Cinturones de San Jacinto y Sinú, deformando éste último durante la parte media del Plioceno y reactivando varias fallas en el Cinturón Plegado de San Jacinto, dicha compresión provocó el levantamiento de la mayor parte del Cinturón Plegado de San Jacinto y originó la topografía actual de éste. (Chevron, 1986), (ECOPETROL-ICP-GOX, 2001; en Caro, 2003) (Figura14).

La sedimentación durante este tiempo corresponde a las Formaciones Sincelejo y Betulia en el Cinturón Plegado de San Jacinto (Duque-Caro, 1977; en Hernández, 1996) y en el Cinturón del Sinú, eventos de lodo diapírico se asocian con este levantamiento.

3 METODOLOGÍAS

3.1 METODOLOGÍA PARA LA DESCRIPCIÓN DE CORAZONES

Este capítulo corresponde a las metodologías utilizadas para la descripción de los corazones, facies y ambientes depositacionales en los pozos Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1; siendo la descripción de los núcleos de perforación el punto de partida para el desarrollo de este trabajo. La descripción de corazones tiene como objetivo primordial observar a detalle las características fundamentales de la roca, tales como textura, estructura y composición para determinar facies sedimentarias y establecer asociaciones de facies. Por último, a partir de la compilación de dicha información, interpretar el ambiente y/o subambientes de depósito de la sección corazonada.

La descripción sedimentológica de los núcleos de los Pozos Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1 se llevó a cabo en las instalaciones de la Litoteca Nacional Bernardo Taborda Arango ubicada en Piedecuesta, Santander. Los pozos en mención presentan profundidades finales de 256' y 237' respectivamente, y se encuentran bien preservados.

La metodología se puede dividir en los siguientes pasos:

1. Revisión general del pozo de base a techo con la ayuda de una lupa de mano. Esta se realizó para conocer la variación litológica en el pozo, y se observaron características físicas tales como color, variación en el tamaño de grano, y químicas tales como presencia de carbonato de calcio utilizando ácido clorhídrico.

Así, se diferenciaron rocas siliciclásticas de rocas químicas y se identificó la estratificación para evitar describir horizontes verticales (Figura 15).

Figura 15. Núcleos del Pozo Porvenir-3



2. Descripción sedimentológica detallada a escala 1:10 (Figura 16), utilizando el formato estándar para la descripción de núcleos del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), el cual consta de las siguientes columnas: litología, textura, composición, cemento, matriz, superficies de discontinuidad (contactos, fracturas, etc.), estructuras sedimentarias físicas y biogénicas, grado de bioturbación, consistencia, impregnación, porosidad aparente y color. Para su identificación, se utilizaron las tablas granulométricas publicadas por Ingeominas, un estereomicroscopio, agua, ácido clorhídrico diluido al 10% y alcohol (Figura 18).

**Figura 16. Fragmento de Núcleo
del Pozo Porvenir-3**



Figura 17. Materiales utilizados.



3. Se registró cada parámetro contenido en el formato partiendo de la clasificación general de la roca.

Es importante definir si la roca es siliciclástica o química, pues estos dos grupos de roca evidencian características distintas. Las rocas siliciclásticas poseen tres propiedades fundamentales que son textura, composición y estructuras.

Para la clasificación de rocas siliciclásticas se utilizó la siguiente metodología:

α. Caracterización textural, incluyendo: descripción del tamaño de grano, usando la escala de Wentworth para material arenoso (arena gruesa, arena media, arena fina y arena muy fina) y lodoso (limo y arcilla), grado de selección utilizando la

clasificación de Pettijhon, armazón, matriz, cemento, porosidad y forma de las partículas.

b. Identificación composicional, indicando mineralogía en términos de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca presentes.

c. Descripción de estructuras sedimentarias presentes, tales como laminación, estratificación, huellas de bioturbación, etc.

d. Identificación de fósiles: conchas fósiles, impresiones e ichnofósiles presentes en las muestras.

e. Determinación del tipo de roca según la clasificación textural y composicional de Folk (1974).

Para las rocas químicas, las cuales en éste caso son calizas, se utilizó la clasificación de Dunham, la cual se basa en la abundancia de los materiales gruesos o del lodo calcáreo, y las divide en tres grandes grupos: granosoportadas, lodosoportadas y/o fragmentos arrecifales (Figura 18).

Figura 18. Clasificación de rocas calcáreas, de acuerdo con la textura depositacional, Dunham. Modificado de Cruz y Mier 2001.

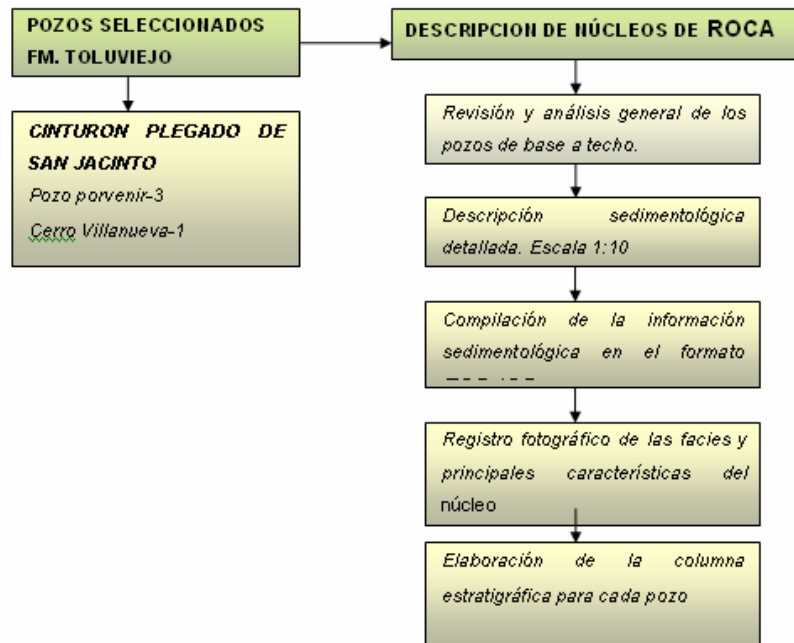
TEXTURA DEPOSITACIONAL				
Componentes originales no crecieron juntos durante la depositación				Componentes originales crecieron juntos durante la depositación por intercrecimiento de material esquelético, laminación contraria a la gravedad.
Contiene lodo, partículas de arcilla o de limo fino			Grano soportada Grano soportada carente de lodo	
Menos del 10% de granos	del	Más del 10% de granos		

4. Se realizó un registro fotográfico de las facies y características más representativas, tales como estructuras y tipos de fósiles presentes en cada uno de los pozos.

5. Se construyó la columna estratigráfica a escala 1:100 con base en la información descrita y compilada en el formato mencionado, incorporando allí la identificación de las facies cuya metodología se explicará más adelante, así como el agrupamiento o asociación de las mismas, para interpretar a partir de dicha información el ambiente de depositación.

A continuación se presenta un esquema resumen donde se muestra la metodología general utilizada para la descripción de los núcleos (Figura 19).

Figura 19. Diagrama ilustrativo de la metodología para la descripción de Corazones.

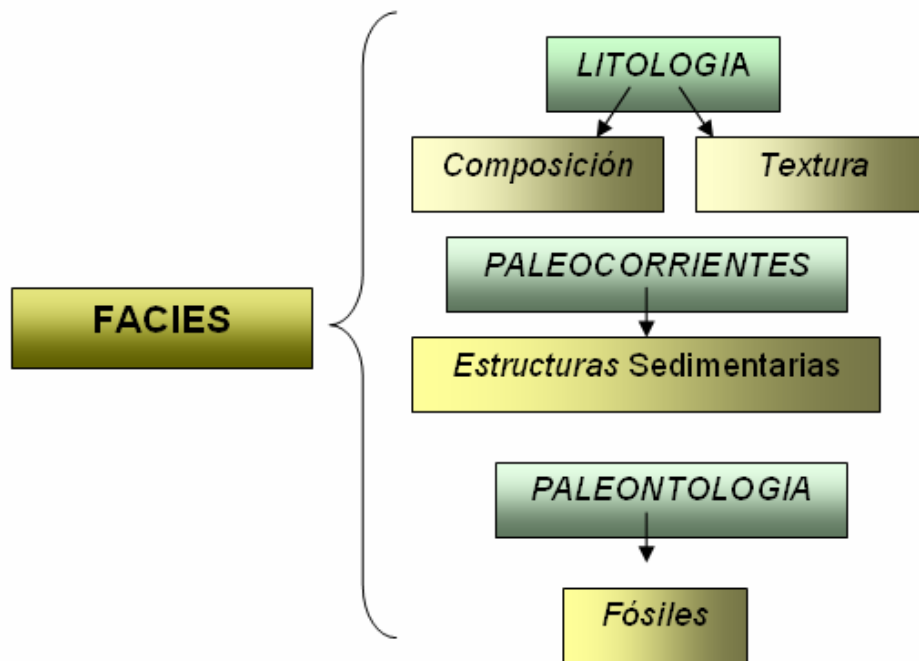


3.2 METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE FACIES

El concepto de facies ha sido utilizado de diversas maneras desde su introducción, la cual fue hecha por Gressly (1838) en Serra (1985). Entre las definiciones se encuentran las publicadas por Moore (1949), Weller (1958), Teichert (1958), Krumbein y Sloss (1963), posteriormente por Selley (1970), Reading (1978), Middleton (1978) y Walter 1984., en Serra (1985).

Una facies (la palabra “facies” puede usarse en singular y en plural) se define como una unidad litológica que posee un conjunto distintivo de características y/o atributos sedimentarios: una litología característica, textura, estructuras sedimentarias, contenido fósil, color, y esquema de paleocorrientes, los cuales la hacen distinguible de otras partes de la misma unidad (Walter, 1984) (Figura 20).

Figura 20. Características fundamentales de las Facies.



Las facies pueden llamarse litofacies, biofacies o ichnofacies, dependiendo de los parámetros usados para su determinación y clasificación. La litofacies se define con base en las características sedimentarias, las cuales pueden estar conformadas por una sola litología o por intercalaciones de varias litologías (Walter, 1984).

La biofacies se refiere a los elementos paleontológicos presentes en la roca (Selley, 1970). La ichnofacies hace referencia a las clases de fósiles traza presentes en la roca (Bromley, 1996).

En general una facies está rodeada por otras facies, que a su vez están relacionadas con ella. Esto significa que en un ambiente determinado las facies no están distribuidas al azar, sino que constituyen una asociación secuencial previsible, como resultado de ambientes de depósito contiguos (O. Serra.1985)

En este caso particular, se determinaron litofacies para los núcleos de los pozos Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1. Utilizando la siguiente metodología.

1. Las litofacies se determinaron a partir de la descripción sedimentológica detallada, la cual se basó en similitudes sedimentológicas tomando como parámetros críticos de comparación la litología y las estructuras sedimentarias físicas. Cada facies puede estar conformada por una o más litologías.
2. Las facies se nombraron con números de 1 a 5 para efectos de un manejo simplificado dentro de la columna estratigráfica.
3. Finalmente se procedió a determinar las asociaciones de facies a partir de la disposición y variación en la vertical de cada una de las facies, las cuales son evidencia de las variaciones en el régimen energético y de depositación de los sedimentos presentes.

4. Se registraron dichas facies en la columna estratigráfica utilizando la numeración adjudicada.

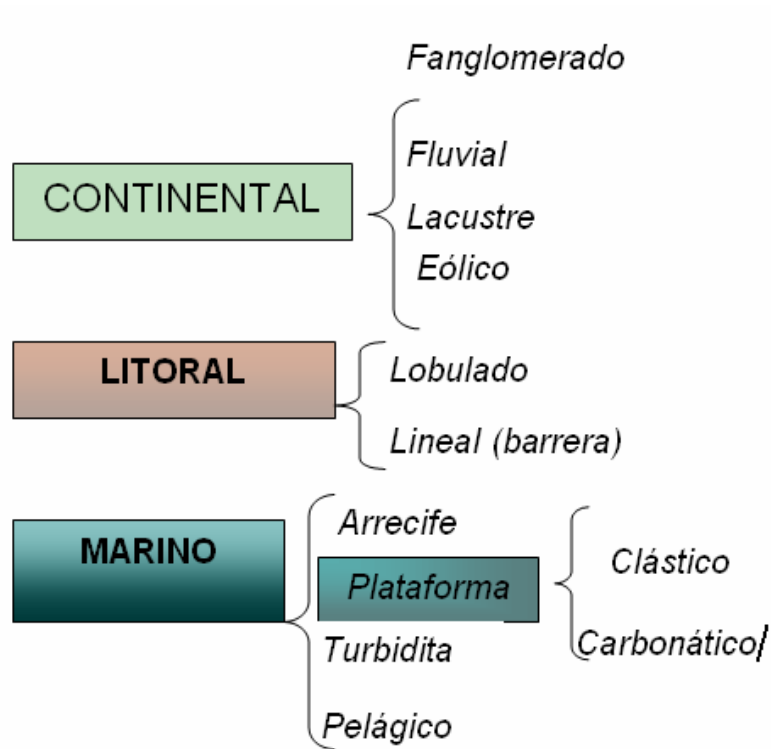
3.3 METODOLOGÍA PARA LA INTERPRETACIÓN DE AMBIENTES DE DEPÓSITO

Un ambiente sedimentario es una porción geográficamente limitada de la superficie terrestre, que puede ser fácilmente distinguida de las áreas adyacentes a través de un conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas, bajo cuyas influencias se acumulan sedimentos; este conjunto de condiciones identifica al ambiente del fondo y determina las propiedades de los sedimentos que en él se depositaron (Krumbein y Sloss, 1963; Selley, 1970; Reineck y Singh, 1975; Blatt et al., 1980., en Serra, 1985).

Estas evidencias definen la “facies” que es “la suma de las características físicas, químicas y biológicas que diferencian un cuerpo sedimentario de otro”. El estudio de las facies y su distribución o asociaciones en la secuencia lateral y vertical es el único modo de establecer el ambiente de depósito (Walker, 1984)

Los ambientes, según Selley (1970) se pueden dividir como se muestra en la Figura 21.

Figura 21. Clasificación de los ambientes sedimentarios (Serra, 1995).



Por lo tanto, un ambiente estará caracterizado por una secuencia típica de facies, tanto en el espacio como en el tiempo. Según la ley de Walther “Las facies encontradas en una secuencia concordante fueron depositadas en ambientes (geográficamente) adyacentes”. Es decir, la sucesión vertical de facies refleja yuxtaposición lateral de ambientes. Por lo tanto, la secuencia vertical de rocas estratificadas es predecible teniendo en consideración la distribución lateral de los procesos físicos y orgánicos en un ambiente de fondo determinado y al tiempo de su depósito (Serra, 1995).

La metodología utilizada para la interpretación del ambiente del fondo de depósito es básicamente un resumen de las metodologías anteriores, ya que como se

mencionó anteriormente, son las facies y su asociación secuencial las que permiten realizar una interpretación ambiental razonable.

3.3.1 Metodología utilizada para la interpretación ambiental.

1. Se realizó la descripción detallada de los núcleos tal como se explicó en la sección 3.1
2. Teniendo la descripción de los núcleos a escala 1:10 se determinaron las analogías sedimentológicas para establecer las facies sedimentarias y posteriormente la asociación de las mismas según su disposición y variación en la vertical.
3. Posteriormente, a partir de las facies y asociaciones de facies, se consultaron diferentes bibliografías relacionadas con ambientes sedimentarios para establecer semejanzas con las facies observadas y analizadas en los corazones de los pozos Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1, pues según la ley de Walther, cada ambiente de fondo presenta una secuencia típica de facies que lo identifica.

4 MARCO TEORICO

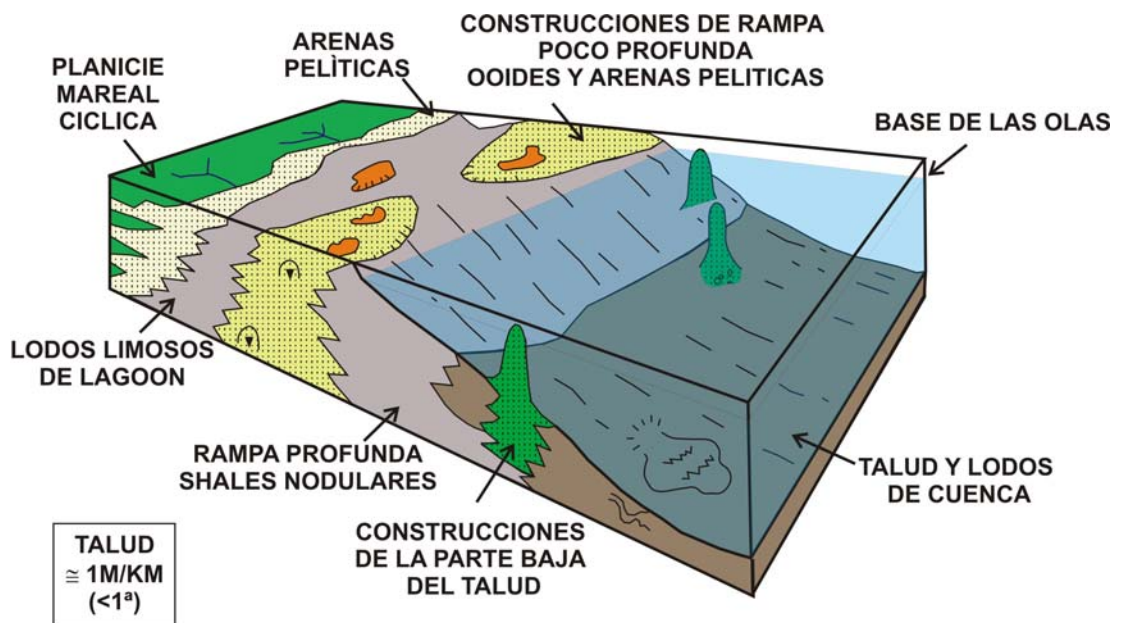
4.1 PLATAFORMAS

La plataforma está definida como la zona sumergida del margen continental que se extiende desde la línea de costa hasta el talud continental, aproximadamente 200m. Las plataformas están afectadas por varios procesos sedimentarios estos incluyen acción de las olas, corrientes generadas por olas, tormentas, corrientes de marea y corrientes geotrópicas. La mayoría de las plataformas están expuestas a condiciones de corrientes de alta energía y se pueden describir como dominadas por olas, tormentas y mareas, estos procesos constantemente agitan el lecho marino (Walker, 1992).

Los sedimentos carbonáticos son depositados principalmente en plataformas marinas de aguas poco profundas, el término se utiliza para una secuencia espesa de carbonatos de aguas poco profundas, se ubican en un amplio rango pero preferencialmente en los márgenes continentales pasivos, en cuencas intracratónicas, rift fallados, cuencas back arc y foreland (J.L. Wilson and Jordan, 1983). Tres tipos básicos de plataformas son reconocidas: 1. rampas de carbonatos, 2. plataformas carbonáticas delineadas, 3. plataformas carbonáticas aisladas (Hine, 1983, Read, 1982; Ginsburg and James, 1974, en Tucker, 1992).

4.1.1 Plataforma Tipo Rampa De Carbonatos. Son plataformas con pendientes iguales o inferiores a 1° , en las cuales los depósitos de agua poco profundas cambian talud abajo con un leve rompimiento hacia facies de aguas más profundas, el rompimiento en el talud no está marcado por una tendencia pronunciada de arrecifes pero pueden estar presentes carbonatos discontinuos y shoals de arenas poco profundas a lo largo del borde de la plataforma, donde la energía del agua es más alta, la circulación del agua a través de la plataforma debe ser adecuada para permitir el desarrollo de una zona de playa de alta a moderada energía y la formación de shoals de arenas esqueléticas o pelets y ooides a lo largo del borde de la plataforma (Alter Read, J. F., 1982, en Tucker, 1992). (Figura 22)

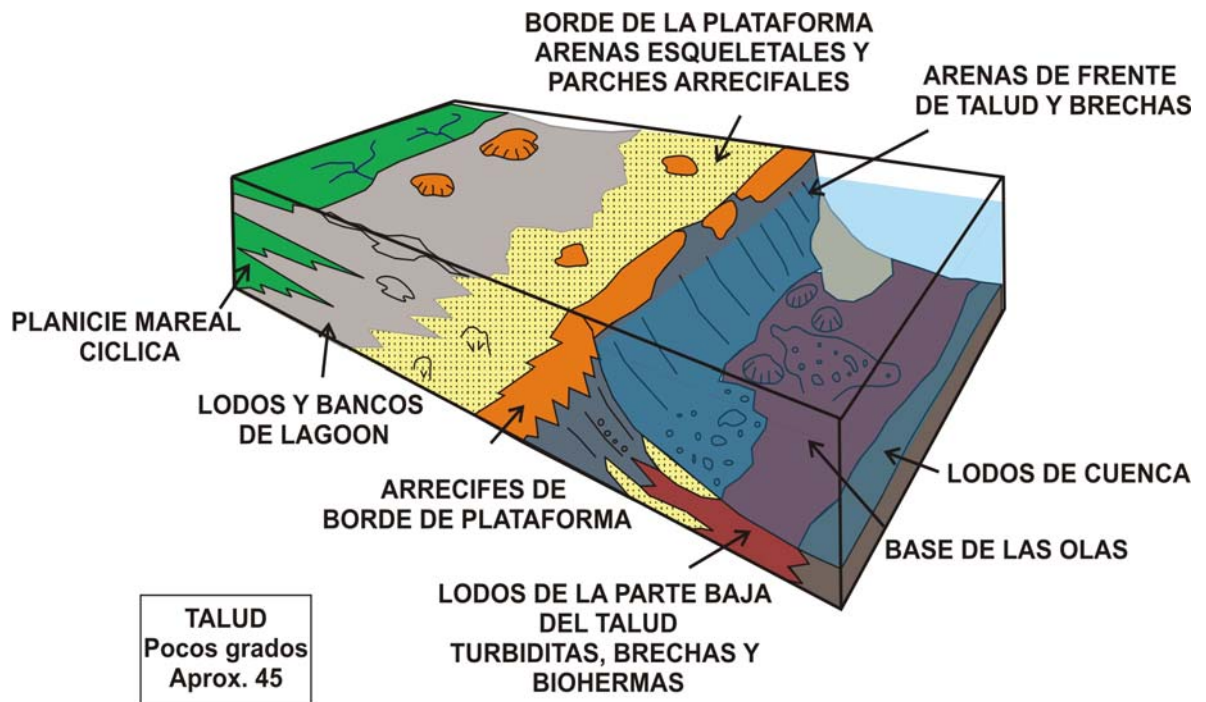
Figura 22. Esquema de Plataforma Tipo Rampa.



Fuente: Modificado de After, 1982, en Tucker, 1992

4.1.2 Plataforma Tipo Delineada. son plataformas poco profundas marcadas en sus bordes exteriores por rompimientos pronunciados en el talud hacia aguas más profundas, éstas poseen bordes continuos o barreras a lo largo de la plataforma, dichas barreras están conformadas ya sea de construcciones arrecifales, esqueletales, shoals de arenas oolíticas, las cuales restringen la acción de las olas y la circulación del agua para crear lagoons de baja energía, los lagoons normalmente gradan hacia el continente a planicies mareales de baja energía, en lugar de zonas de playa de alta energía (Ginsburg and James, 1974, en Tucker, 1992) (Figura 23).

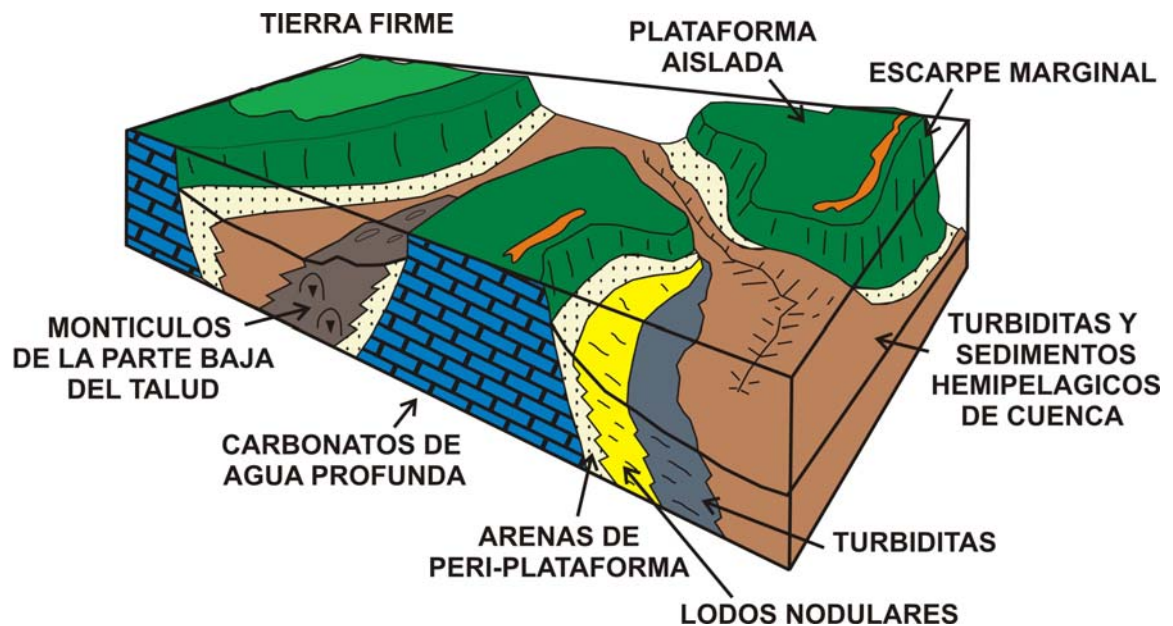
Figura 23. Esquema de Plataforma Tipo Delineada.



Fuente: Modificado de After, 1982, en Tucker, 1992.

4.1.3 Plataforma Tipo Aislada: (Bahamas). Son plataformas poco profundas de decenas a cientos de kilómetros de anchas, localizadas comúnmente costa afuera a partir de plataformas continentales y rodeadas por aguas profundas que están en el rango de varios cientos de metros a pocos kilómetros de profundidad. Los atolones son un tipo más particular de estructura que se localiza en la plataforma aislada con un borde arrecifal y central con lagoons más profundos. Las plataformas pueden tener leves buzamientos, márgenes tipo rampa o márgenes con taludes pronunciados semejante a las plataformas delineadas (Read, 1982, en Tucker, 1992). (Figura 24)

Figura 24. Esquema de Plataforma Tipo Aislada.



Fuente: Modificado de After, 1982, en Tucker, 1992.

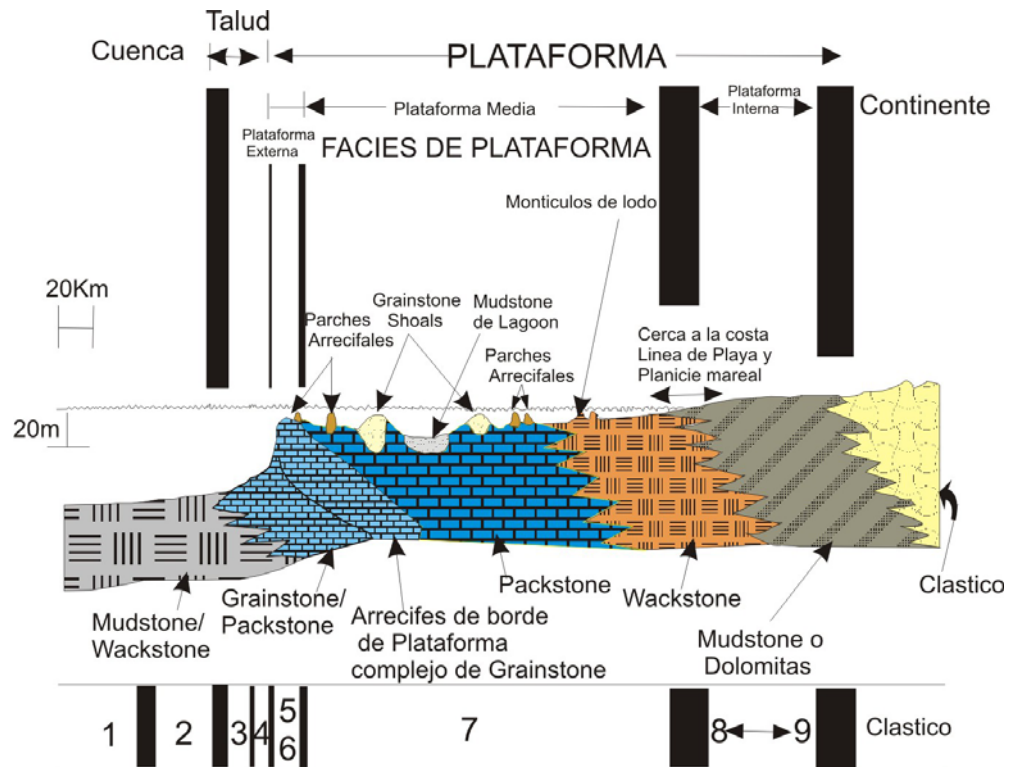
Tabla 2. Tipos de Plataforma Carbonatada y sus características.

TIPOS DE PLATAFORMAS			
TIPO	GRAFICO ILUSTRATIVO	CARACTERISTICAS	REFERENCIAS
RAMPA		<ol style="list-style-type: none"> 1. Plataformas con buzamientos iguales o inferiores a 1°. 2. Depósitos de aguas poco profundas que cambian con un leve rompimiento en el talud a facies de aguas más profundas. 3. Presencia de carbonatos discontinuos y shoals de arenas esqueléticas o pelets y ooides, a lo largo del borde de la plataforma, baja presencia de bancos arrecifales. 4. Alta energía del agua en el borde de la plataforma, permitiendo así el desarrollo de una zona de playa de alta a moderada energía. 	<p>Ginsburg and James, 1974 After Read, J. F., 1982 Hine, 1983</p>
DELINEADA		<ol style="list-style-type: none"> 1. Son plataformas poco profundas marcadas en sus bordes exteriores por rompimientos pronunciados en el talud hacia aguas más profundas. 2. Poseen bordes continuos o barreras a lo largo de la plataforma éstas barreras están conformadas ya sea de construcciones arrecifales, esqueléticas, shoals de arenas oolíticas, las cuales restringen la acción de las olas y la circulación del agua. 3. Detrás de la barrera se crea un lagoon de baja energía, los cuales gradan hacia el continente a planicies mareales de baja energía. 	<p>Ginsburg and James, 1974. After Read, J. F., 1982</p>
AISLADA		<ol style="list-style-type: none"> 1. Son plataformas poco profundas de decenas a cientos de kilómetros de anchas. 2. Comúnmente se localizan offshore, a partir de plataformas continentales. 3. Se encuentran rodeadas por aguas profundas. 4. Las plataformas pueden tener leves buzamientos. 5. Se pueden presentar márgenes tipo rampa o márgenes con taludes pronunciados semejante a las plataformas delineadas. 	<p>Plataforma tipo Bahama (Read, 1982)</p>

La plataforma de carbonatos fue subdividida en tres porciones: plataforma interior, media y exterior (Figura 25) En 1975 J. L. Wilson, en Walker, 1992 reconoció 9 tipos de facies en ambientes de carbonatos que se extienden mar adentro desde la zona supratidal al talud y la cuenca.

La plataforma comprende cuatro (4) tipos de facies de los nueve (9) reconocidos. (Figura 25)

Figura 25. Perfil esquemático del ambiente de Plataforma de Carbonatos.



Fuente: Modificado de Wilson, 1975., en memoria 33 de AAPG

4.1.4 Plataforma Interior: (Wilson y Jordan, 1983, en Reineck, 1980). La cual incluye ambientes cercanos a la costa, subaéreos tales como playas, planicies mareales y posiblemente lagoons cercanos a la costa, es en general un área de baja energía, en el cual predominan las acumulaciones de sedimentos de grano fino, sin embargo, en algunas plataformas de rampa pueden estar presentes zonas donde se desarrollan playas o shoals de arenas. Los sedimentos generalmente están conformados de mudstone pelíticos y algunos wackstone esqueletales comúnmente bioturbados y con madrigueras donde las salinidades son cercanas a la normal, charcas de marea, corrientes y otros cuerpos soportan una población restringida pero proliferas de gastrópodos y foraminíferos.

4.1.5 Plataforma Media: (Wilson y Jordan, 1983, en Reineck, 1980). Comprende la zona poco profunda submareal, yace cercana a la playa y va hasta la rompiente de la ola, a ella se refiere también como el lagoon subtidal particularmente en las plataformas de carbonatos delineadas.

La plataforma media (Lagoon) es una zona generalmente de baja energía, excepto en los parches arrecifales y shoals de arenas localizados a lo largo de la línea de costa, particularmente en plataformas delineadas, la circulación de agua varía de abierta a parcialmente restringida dependiendo de las condiciones de la plataforma.

Típicamente la parte exterior de la plataforma media se caracteriza por circulación abierta, mientras que la parte interna experimenta una circulación más restringida, ésta es una zona de alta producción de carbonatos, arenas esqueletales, lodos calcáreos, peloides y grainstone.

Los organismos que pueblan la plataforma son comúnmente formas estenuales marinas normales; la fauna típica de la plataforma incluye braquiópodos, pelecípodos, gastrópodos, crinoideos, algas calcáreas, amonites y foraminíferos

bentónicos, la bioturbación es comúnmente extensiva debido a la baja energía del agua. Los sedimentos son pobremente removidos con una alta tasa de fragmentos esqueletales y otros granos, estas condiciones pueden ajustarse para plataformas tipo rampa, donde las condiciones de alta energía existen a través de la plataforma y las arenas calcáreas se desarrollan en la mayoría de la plataforma.

Las facies antiguas de esta zona esta representada principalmente por mudstone y Wackstone esqueletales o de pelets, dependiendo de las condiciones específicas de depositación se pueden acumular grainstone o packstone.

4.1.6 Plataforma Exterior: (Wilson y Jordan, 1983, en Reineck, 1980). Esta es una zona muy angosta y de mayor energía, que está conformada por la rompiente de la ola hasta el limite de la plataforma y la rompiente con el talud, comprende las construcciones arrecifales o los shoals de arenas a lo largo del borde de la plataforma, el efecto de esta barrera en la circulación del agua junto con el ancho de la plataforma influencia fuertemente el tipo y la distribución de las facies de carbonatos que se desarrolla en la plataforma; si se presenta una barrera bien desarrollada o si la plataforma es bien ancha la circulación del agua en la plataforma está restringida (J. L. Wilson and Jordan, 1983) , la restricción de la conducción del agua conlleva al desarrollo de condiciones de salinidad que se desvían de la normal aproximadamente (35%).

Las salinidades pueden desviarse por encima de la normal en climas áridos y semiáridos donde la tasa de evaporación es más alta, o pueden caer por debajo de la normal por corrientes de agua fresca, las variaciones en la salinidad afectan el número y la diversidad de organismos que viven en la plataforma.

La plataforma externa esta comúnmente conformada por fragmentos esqueletales tales como, corales y algas calcáreas, briozoos, ooides y peloides, la mayoría se deriva de arrecifes orgánicos adyacentes y están comúnmente esculpidos y

redondeados por la acción de las olas, los depósitos de shoals arenosos son generalmente bien calibrados y tienen estratificación cruzada. Las facies de las rocas carbonáticas antiguas representativas de esta zona son principalmente grainstone bioclasticas o packstone.

4.2 ARRECIFES

El arrecife es un crecimiento en el piso marino, que se produce por la acumulación de organismos calcáreos en un sitio, alrededor de éstos o sobre ellos, se reproducen otros organismos que segregan grandes cantidades de carbonato y contribuyen con el crecimiento del arrecife, esto si las condiciones de luz, salinidad y temperatura permiten el desarrollo de la bioconstrucción (James, 1983). Los arrecifes están constituidos por organismos tales como Algas verdes, algas rojas, foraminíferos incrustantes, briozoos incrustantes, esponjas y moluscos (Heckler, 1979, en Reineck, 1980).

4.2.1 Espectro de los Tipos de arrecifes (Walker, 1992). Los arrecifes se pueden desarrollar en cualquier lugar del espectro de las facies de carbonatos, como estructuras aisladas, están dispersos en la plataforma carbonatada poco profunda, pero estos también crecen en ubicaciones de talud y de cuenca, comúnmente forman barreras sinuosas a lo largo de las márgenes de la plataforma cercanas a la tierra a lo largo del borde de plataformas angostas o como halos alrededor de elementos estructurales positivos.

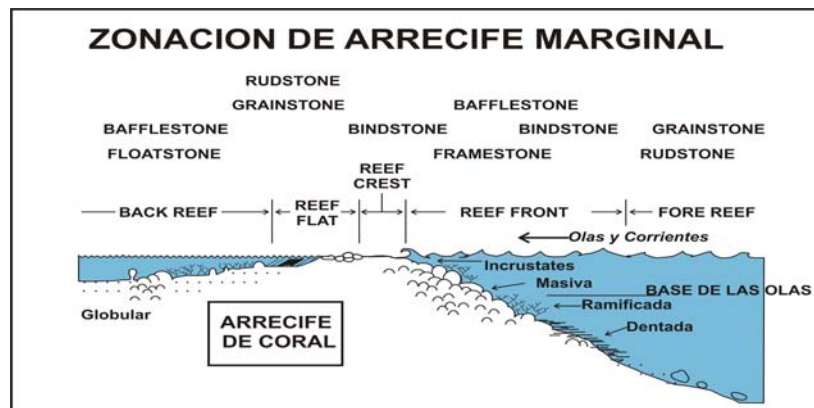
Los arrecifes además se desarrollan mejor y más exitosamente hacia el lado de barlovento de la plataforma, donde el viento y la marea son consistentes. La simetría de muchos arrecifes recientes y la distribución de las facies sedimentarias sugieren que fue así en el pasado.

Los arrecifes de aguas poco profundas producen característicamente sedimentos finos abundantes, más que los construcciones arrecifales mayores, ya que estos tienen micropropiedades y alimentadores filtrantes que son intolerantes al sedimento fino; el mar abierto o las ubicaciones barlovento es el único lugar donde los sedimentos finos son barridos.

Los arrecifes forman un rompiente de agua natural cuando crecen en la zona cercana a la costa, creando un ambiente relativamente tranquilo en la parte posterior del arrecife, comúnmente esta restricción cambia significativamente la circulación del agua en la plataforma o en el lagoon por detrás del arrecife, en éstas ubicaciones marginales el modelo de facies arrecifales simétricas esta conformado por núcleos de facies arrecifales rodeadas por todos lados por facies arrecifales de flanco; por el contrario cuando las facies están mas simétricamente distribuidas las facies de núcleos de arrecifes están rodeados en el lado de barlovento por facies de forereef y en el lado de sotavento por facies back reef.

4.2.2 Arrecifes de Alta Energía (Walker, 1992). En ubicaciones de alta energía el arrecife se encuentra zonado de diferentes maneras. Ver Figura 26.

Figura 26. Esquema de la Zonación de Arrecife Marginal



Fuente: Modificado de Walker, 1992

- **Zona de la cresta del arrecife.** Ésta es la parte más alta de un arrecife en cualquiera de las etapas de su crecimiento y está en aguas poco profundas; es la parte del techo del arrecife que recibe la mayoría de la energía del viento y las olas, la composición de las crestas depende del grado de la fuerza del viento y el movimiento de barrido de las olas. En áreas donde el viento y el movimiento del oleaje es intenso solamente aquellos organismos que se pueden incrustar generalmente en forma de láminas son capaces de sobrevivir.
- **Zona Frontal Arrecifal.** Ésta se extiende desde la zona de rompiente de las olas hasta una profundidad no determinada; comúnmente, menor a 100m; donde la zona de arrecife esquelético abundante grada hacia sedimentos de la zona forereef. Las formas más abundantes son masivas, laminares a esqueletos semiesféricos.

La parte principal de esta zona soporta una fauna diversa con construcciones arrecifales que varían en forma desde semiesférica, ramificada, columnar a dendriforme, se encuentran braquiópodos, bivalvos, algas coralinas, crinoideos y algunas algas verdes. Esta zona se extiende aproximadamente 30 metros por debajo de ésta profundidad la intensidad de las olas es poca o no existe y la luz se atenúa; la respuesta de muchas construcciones arrecifales metazoarios es incrementar su área superficial teniendo solo un base muy pequeña y un cuerpo largo y delgado en forma de hoja.

La sedimentación en el frente arrecifal es de dos tipos (1) sedimentos internos dentro de la estructura, que generalmente son limos o lodos le dan a la roca una matriz entre Mudstone a Wackstone. (2) las arenas gruesas y las gravas dentro de los canales corren hacia el mar. Los sedimentos generados en la parte superior del frente arrecifal y en la cresta del arrecife son transportados episódicamente por tormentas por encima y sobre el tope y se acumulan en la parte posterior de las

cresta del arrecife los sedimentos en las regiones intermedias y bajas del frente arrecifal se transportan hacia abajo a la zona de forereef solo cuando éste tienen canales que pasan a través del arrecife.

- **Zona Arrecifal Plana.** Esta zona se compone de grandes detritos esqueléticos y pocos nódulos de algas coralinas en áreas de intensa actividad de las olas varían a shoals de arenas calcáreas bien lavadas.

Los cordones de arena también pueden estar presentes en la parte posterior del arrecife; las variaciones de la refracción de las olas pueden barrer las arenas hacia los cayos e islas. Los tipos de rocas presentes en esta zona son grainstone esqueléticos.

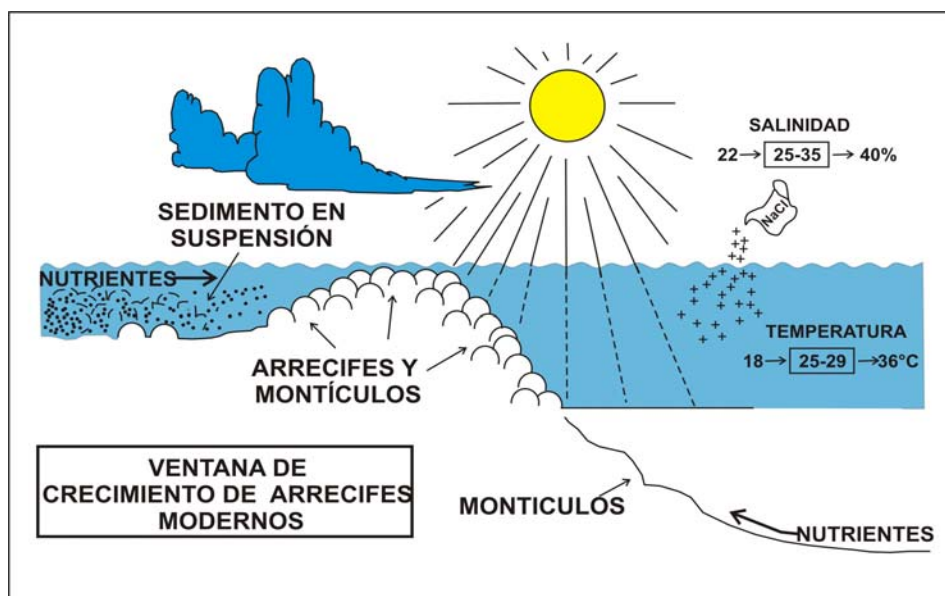
- **Zona de Back Ref.** En la zona posterior del arrecife las condiciones son más tranquilas y la mayoría del lodo formado en el frente arrecifal llega por suspensión; esto junto con el crecimiento prolífico de lodo y fauna productora de arena como los crinoideos algas calcáreas verdes, braquiópodos y ostracodos, resulta comúnmente en litologías ricas en lodo. Los hábitos de crecimiento son comúnmente en este ambiente formas dendríticas, arbustos ramificados y/o grandes formas globulares. Los tipos de roca características de este ambiente son Wackstone esqueléticos a Packstone.

- **Zona de Fore-Reef.** Las facies en esta zona están conformadas de grainstone esqueléticos finos a gruesos a Packstone que está compuesto por detritos esqueléticos fragmentados, bloques de calizas arrecifales y esqueletos de constructores esqueléticos, éstos gradan hacia la cuenca a shales y lodos en contraste a las facies del arrecife las capas raramente están dolomitizadas.

4.2.3 Arrecifes de Bajo Energía (Walker, 1992). A medida que la energía disminuye el estilo de crecimiento de los arrecifes cambia, una zonación distintiva

es menos notable, la forma de los organismos constructores es diferente y la diversidad relativa disminuye; la relación entre la energía de las olas y el tipo de arrecife ha sido resumida en los arrecifes modernos por Geistek, 1980 y para los arrecifes fosilizados por Wilson, 1975 las ubicaciones de baja energía también están caracterizadas por intercambios de agua, aplicados por las variaciones en la salinidad del agua y contenido de nutrientes (Figura 27). Como resultado los arrecifes aislados o parches arrecifales están pobremente zonados y son generalmente circulares a elípticos y pueden ser lo suficientemente grandes para cerrar un lagoon por si mismos

Figura 27. Ventana de Crecimiento de Arrecifes Modernos.



Fuente: Modificado Walker, 1992

En los mares modernos los organismos constructores varían desde bancos de pastadores a cordones de arenas esqueléticas usualmente unidos por algas o amplios bancos de corales y algas. Estas estructuras aunque no son comunes actualmente son una parte importante en el espectro de fósiles carbonatados y se

debe integrar dentro del modelo del arrecife.

- **Construcciones de Carbonato o Parches Arrecifales (Garrett 1971, en Reineck, 1980).** Wilson, 1975 utilizó el término construcción de carbonato para un cuerpo formado localmente y restringido lateralmente de sedimentos carbonatados que poseen un relieve topográfico sin importar la composición interna de la construcción.

Las masas arrecifales aisladas pequeñas se conocen comúnmente como parches arrecifales, pináculos arrecifales o tablas arrecifales se presentan a lo largo de los márgenes de la plataforma o esparcidos en el medio de la plataforma.

Estos intercrecimientos para Garrett, 1971 están compuestos por corales, algas rojas y organismos asociados pueden ser de 5 - 50m de ancho y crecer de 6 – 20m como en la plataforma de Belize (Figura 28). Son en gran parte agregados de protuberancias coralinas éstos arrecifes generalmente no están zonados; la mayoría de la superficie de la roca está cubierta por algas coralinas las cuales se incrustan en los corales muertos, otros organismos incrustantes tales como briozoarios y bivalvos también son comunes. Las construcciones arrecifales varían en forma desde pináculos, parches, a microatolones los cuales encierran un pequeño lagoón de fondo arenoso.

Figura 28. Parches Arrecifales de la Plataforma de Belize.



Fuente: Google Earth

4.2.4 Arrecifes de Margen de Plataforma. Los arrecifes de margen de plataforma varían desde barreras casi continuas a parches aislados de corales distribuidos irregularmente a lo largo del margen de la plataforma.

En algunas áreas como el margen de la Plataforma Australiana (Figura 29) está cubierto por amplias áreas de crecimiento coralino principalmente colonias masivas y semiesféricas, como se ve desde el aire son verdaderas barreras; zonas completamente zonadas complejos de arrecifes vivos y sedimentos derivados de estos.

Figura 29. Barrera de Arrecifes en la Plataforma de Australia.



Fuente: Google Earth

5. DESCRIPCIÓN FACIAL Y ASOCIACIÓN DE FACIES

En este estudio se describieron 6 facies sedimentarias las cuales fueron definidas haciendo referencia a sus principales atributos texturales, estructurales y paleontológicos, siguiendo la metodología detallada en el Capítulo 3. Las facies fueron nombradas utilizando la abreviatura simplificada de números, la cual se menciona en el capítulo de metodología para la identificación de facies. Además, en este capítulo se discute la asociación existente entre dichas facies.

Las facies definidas fueron:

- Arcillolitas con Bioclastos (1),
- Limolitas con relictos de Laminación con Bioclastos (2),
- Limolitas con Bioclastos Bioturbadas (3),
- Conglomerados y/o Arenitas Conglomeraticas (4),
- Grainstone de Algas rojas y Foraminíferos (5), y
- Arenitas con Bioclastos Bioturbadas (6).

A continuación se presenta la descripción de cada una de las facies existentes, la cual comprende: litología, color, composición y textura de la roca, estructuras sedimentarias tanto físicas como biogénicas existentes, y relación estratigráfica entre las facies.

5.1 FACIES DE ARCILLOLITAS CON BIOCLASTOS (1)

La facies arcillolita con bioclastos (1): corresponde composicionalmente a una Arcillolita según la clasificación de Folk (1974), de color negro oliva, gris oliva, localmente calcáreo, limosas, y presentan tonos amarillos en algunos intervalos. En algunos tramos están completamente bioturbadas con madrigueras de *Thalassinoides*, *Anconichnus* y *Terebellina* (Figura 30). Estas ichnoformas se identificaron por comparación con los estándares publicados por Pemberton, 1992.

La facies (1) composicionalmente contiene fragmentos de calcita recristalizada (< 5%), muscovita (5%), minerales ferromagnesianos (2%) y materia orgánica (<1%). Presenta bioturbación no diferenciada. Muestra además fragmentos calcáreos (filamentos de conchas de Bivalvos 2%) tamaño limo, foraminíferos (*Nummulities* 2%).

Ocasionalmente estas arcillolitas presentan intercalaciones Mudstone/Wackstone (1' de espesor) de de color gris claro, las cuales contienen fragmentos calcáreos tamaño limo (2%) color crema y fracturas rellenas de calcita (1%).

Figura 30. Facies arcillolita con bioclastos (1).



ASOCIACION. Estas facies se encuentran genéticamente relacionadas con las facies (3), hacia la base de los pozos Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1, y las dos presentan los mayores espesores (Anexo 1). Además, la facies (1) se encuentra infrayacida y suprayacida primordialmente por la facies (3). El limo y la arcilla tienden a acumularse por suspensión en medios subacuosos, en ambientes de baja energía (Reineck & Singh, 1980), donde la acción de las olas es mínima o nula.

5.2 FACIES DE LIMOLITAS CON RELICTOS DE LAMINACIÓN CON BIOCLASTOS (2)

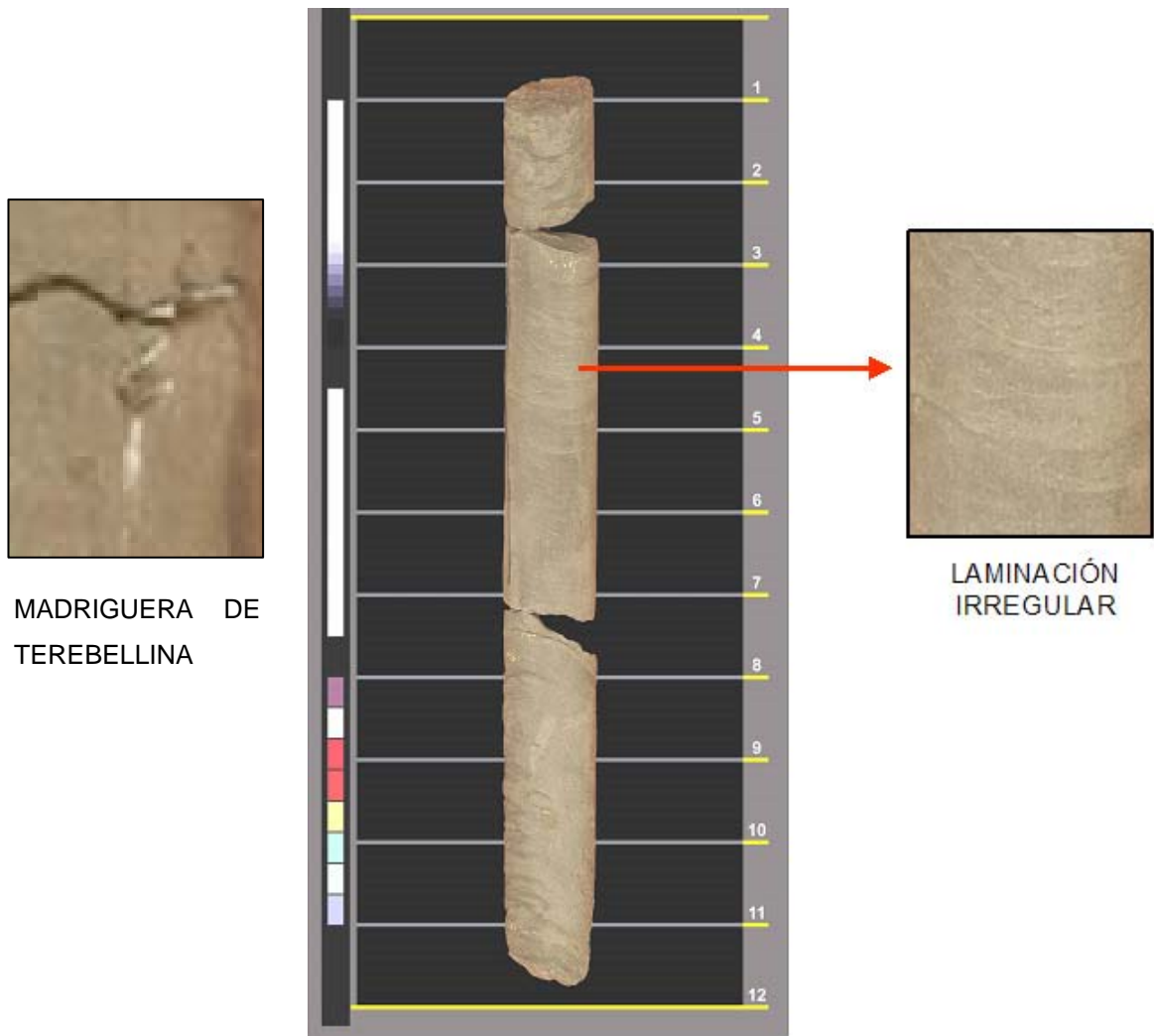
Las facies limolita con relictos de laminación con bioclastos (2) corresponden composicionalmente a limolitas según Folk (1974). Las limolitas son localmente calcáreas, de color gris pardusco y negro, y presentan relictos de laminación ondulosa simétrica discontinua a ondulosa, plana paralela a ligeramente ondulosa en algunos sectores (Figura 31).

En estas facies se evidencian estructuras sedimentarias orgánicas tales como bioturbación no diferenciada de madrigueras (a) *Terebellina* (Pemberton, 1992), las cuales se encuentran comúnmente en la ichnofacies *Cruziana* distal, que caracteriza ambientes marinos costa afuera (Pemberton 1992); (b) *Thalassinoides*, consideradas generalmente madrigueras de alimentación o vivienda, las cuales están asociadas con la ichnofacies *Cruziana* en ambientes *shoreface* y *offshore*; (c) ichnofósiles *Planolites* de la Ichnofacies *Cruziana*; y (d) ichnofósiles de *Helminthopsis*, la cual es definida como una estructura de pastoreo y está asociada a la ichnofacies *Cruziana* (Pemberton 1992).

Las facies (2) contienen un 30% de fósiles consistentes en foraminíferos (*Nummulities*), fragmentos de bivalvos, gasterópodos y equinodermos (espículas).

Las facies (2) parece ser el producto de corrientes y depósitos de flujo hidrodinámico medio-alto (Selley, 1988), evidenciados en la presencia de terrígenos tamaño arena/conglomerados junto con fragmentos calcáreos en disposición caótica.

Figura 31. Facies limolita con relictos de laminación (2).

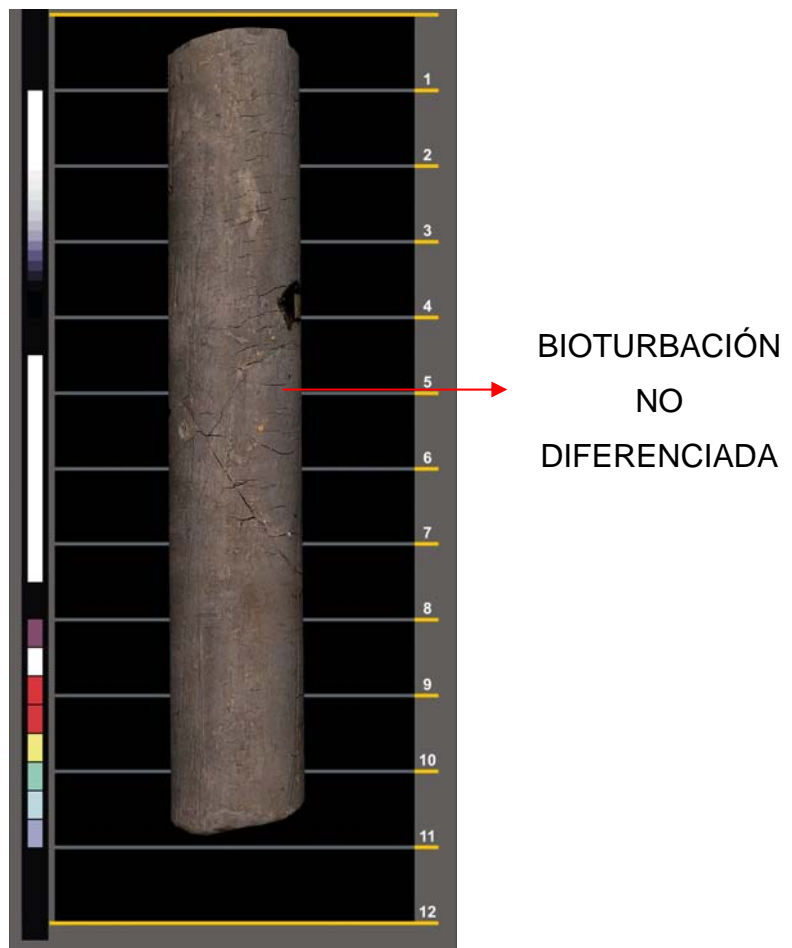


ASOCIACION. Las facies (2) está primordialmente relacionada con la facies (4) y en menor grado con la facies (3), las cuales la infrayacen y/o suprayacen, y en algunos casos se presentan como intercalaciones.

5.3 FACIES DE LIMOLITAS CON BIOCLASTOS BIOTURBADAS (3)

Las facies de limolitas, localmente calcáreas con bioclastos bioturbadas corresponden composicionalmente a limolitas en la clasificación de Folk (1974). Son calcáreas y de color gris oliva- gris pardusco y negro, no presentan laminación quizás debido a la intensa bioturbación presente, como se observa en la Figura 32.

Figura 32. Facies limolita con bioclastos bioturbada (3). Bioturbación no diferenciada.



Localmente las limolitas gradan de base a techo a limolitas arenosas o arenitas de grano muy fino con bioturbación no diferenciada, las cuales contienen fragmentos calcáreos tamaño limo (8%) (Figura 33).

En éstas facies se evidenciaron estructuras sedimentarias orgánicas como bioturbación no diferenciada, madrigueras *Terebellina* la cual es comúnmente encontrada con ichnofacies distales *Cruziana* (Pemberton 1992) y *Anconichnus* la cual es una ichnoforma de común ocurrencia con las ichnofacies *skollitos* y *cruziana* (Pemberton 1992). Además presenta fragmentos calcáreos tamaño limo, impresiones de conchillas reemplazadas por calcita, foraminíferos (*Nummulites*) fragmentados y aplastados, y fragmentos de equinodermos (espículas). Localmente se aprecian madrigueras *Helminthopsis*, las cuales son madrigueras de pastoreo, asociadas a la facies *Cruziana* y *Thalassinoides*. Se encuentran fragmentos de bivalvos gasterópodos y equinodermos.

La facies (3) presenta ocasionales intercalaciones de Wackstones y Mudstones gris oscuro de fragmentos calcáreos tamaño limo, con bioturbación no diferenciada y madrigueras de *Talassinoides*.

Figura 33. Facies limolita bioturbada. Localmente arenosa (arena muy fina).



ASOCIACIÓN. Esta facies (3) se encuentra relacionada genéticamente con la facies (1) y en menor proporción con la facies (2). La facies (3) se encuentra suprayacida e infrayacida por las facies (2) y (1), y localmente se pueden presentar a manera de intercalaciones (Anexos 1 y 2).

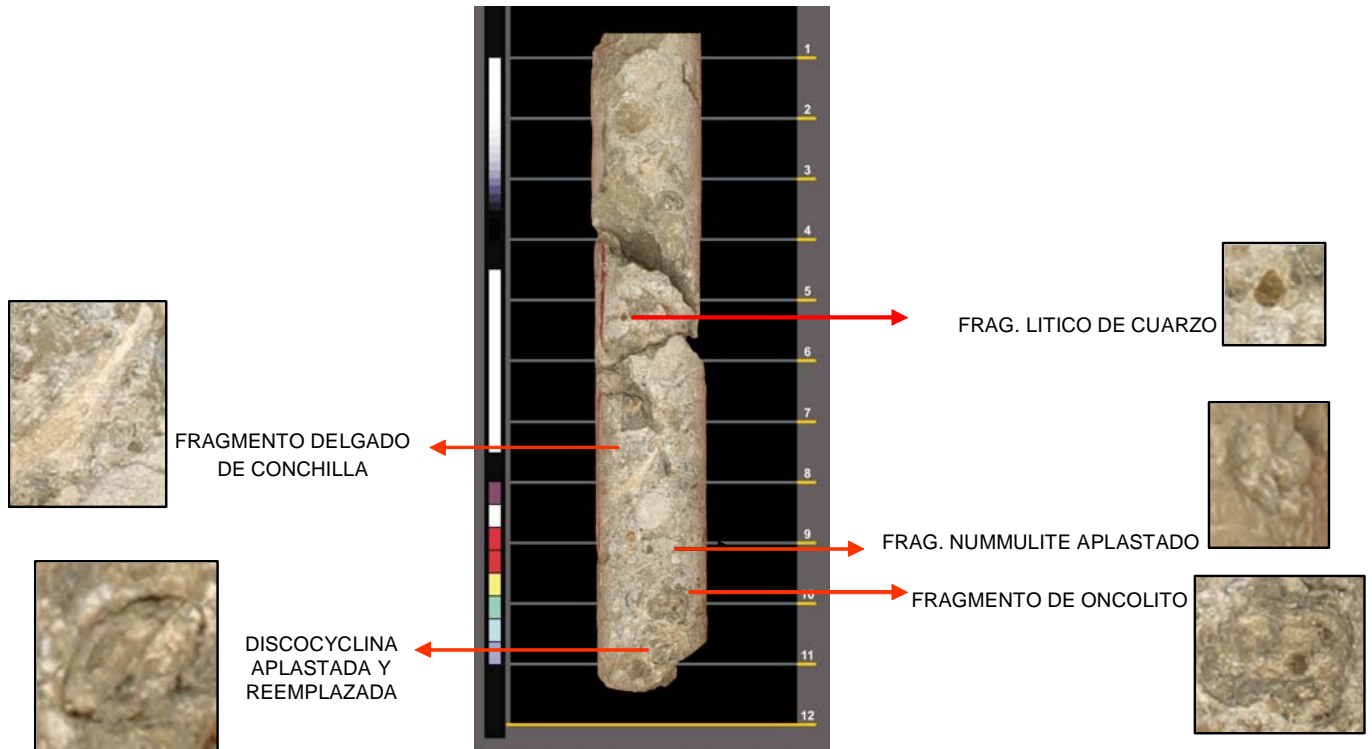
5.4 FACIES CONGLOMERÁTICA Y/O ARENITAS CONGLOMERÁTICAS (4)

La facies conglomerática y/o arenitas conglomeráticas corresponde a conglomerados (Folk, 1974) de color gris claro, de cuarzo lechoso (45%) cuya matriz consiste en arenita y arenita limosa de cuarzo (20%), y de fragmentos líticos (13%). Presenta mal calibrado, con partículas angulares a subangulares cementadas predominantemente por carbonato de calcio (1%). Contiene gránulos de cuarzo, chert negro e intraclastos de limolitas (1%).

Además esta facies contiene fragmentos fósiles (20%) principalmente de conchas de bivalvos, gasterópodos, fragmentos de algas rojas, *Nummulites* y *Discocyclus* sin ninguna orientación o disposición preferencial (Figura 34).

Por otra parte las arenitas de color gris verdoso- gris pardusco de grano medio-grueso se presentan de regular a moderadamente calibradas, con fragmentos calcáreos notoriamente aplanados y desarticulados.

Figura 34. Facies conglomeratica y/o Arenitas Conglomeraticas (4).



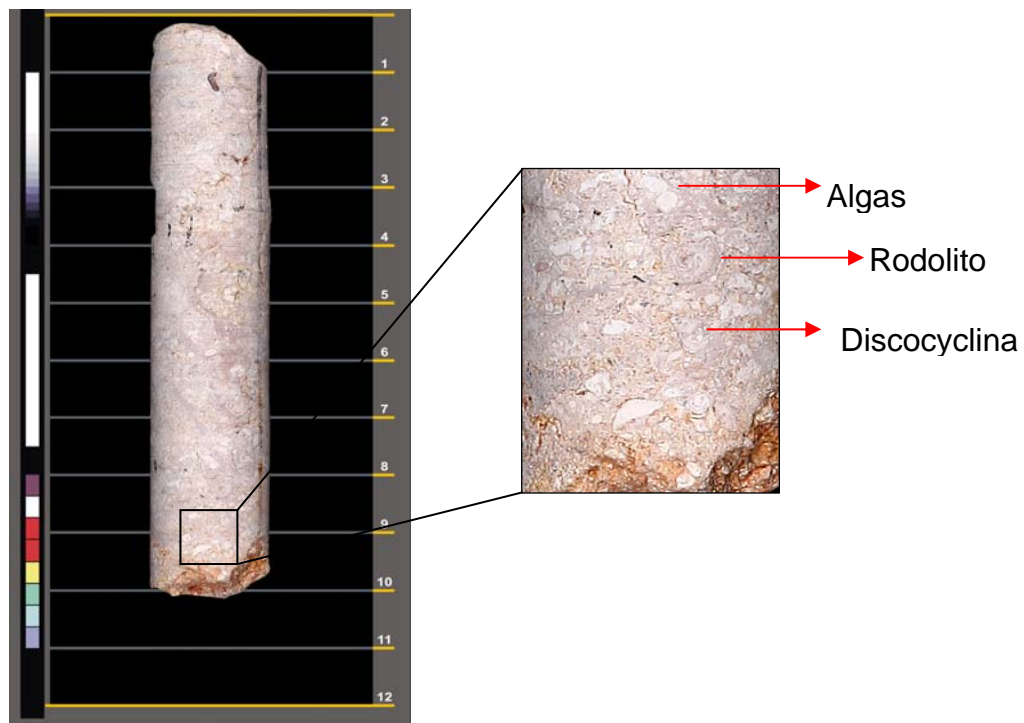
ASOCIACION. La facies (4), es muy local, pues solo se encuentra en el Pozo Porvenir-3 y corresponde a depósitos característicos depositados en intervalos pequeños de tiempo y en espacios reducidos, hecho por el cual presentan poco espesor (<2 pies). Esta facies está sedimentológicamente relacionada con la facies (2) y se presentan casi siempre intercaladas. Están suprayacidas o infrayacidas por las facies 2 y 3. Ver tabla resumen de facies.

5.5 FACIES GRAINSTONE DE ALGAS ROJAS Y FORAMINÍFEROS (5)

La facies grainstone de algas rojas y macroforaminíferos corresponde a un grainstone en la clasificación de Dunham (1962). Son rocas de color amarillo-beige claro debido al alto contenido de algas y macroforaminíferos, y contienen restos de algas rojas (45%), macroforaminíferos (*Discocyclinas*, *Lepidocyclinas* y *Nummulites*) (35%), y además presentan rodolitos en menor proporción (10%) y fragmentos de gastrópodos, bivalvos y briozoos (Figura 35).

ASOCIACION. La facies de grainstone de algas rojas y macroforaminíferos es por sí misma una facies diagnóstica de un ambiente sedimentario particular, por lo cual no está asociada con ninguna de las facies identificadas (Anexo 2).

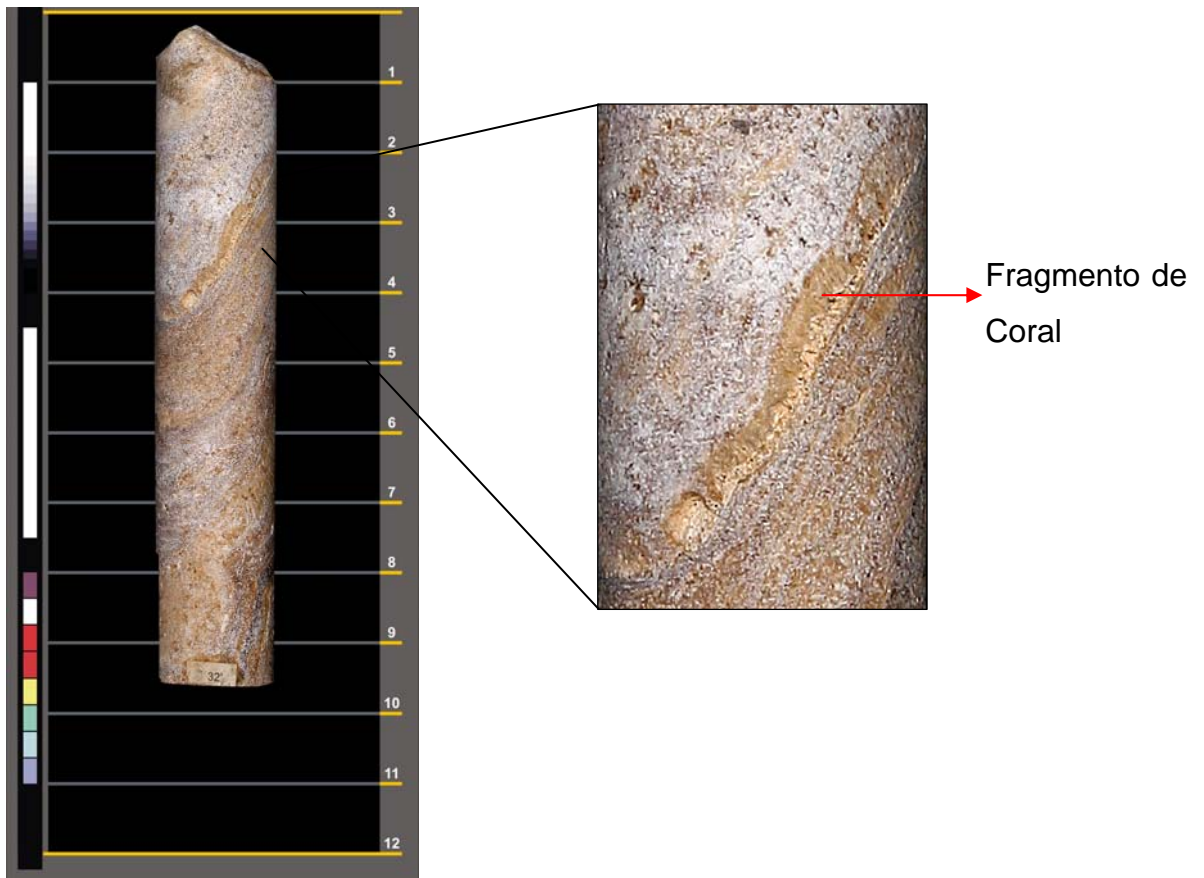
Figura 35. Facies Grainstone de algas rojas y macroforaminíferos (5).



La facies de grainstone presenta localmente intercalaciones de Boundstones color

beige y amarillo con apariencia de bandeamiento donde se observan los fragmentos de coral (Figura 36). Presenta porosidad heterogénea tipo vugular interpartícula y móldica. Estas facies gradan en algunos intervalos a Packstone, en donde el contenido de macroforaminíferos predomina sobre el de algas rojas. Incluye además niveles de caliza cristalina de color naranja amarillento oscuro, producto de procesos kársticos probablemente recientes (estalactitas o estalagmitas?) en el tramo superior.

Figura 36 Facies grainstone donde se observa fragmento de coral.



5.6 FACIES ARENITAS CON BIOCLASTOS BIOTURBADAS (6)

Esta facies está compuesta por cuarzoarenitas calcáreas de color amarillo grisáceo, de grano muy fino, bien calibradas, con fragmentos de conchas de bivalvos y macroforaminíferos (*Lepidociclinas*) en baja proporción (<5%) y trazas de pirita (Figura 37).

Figura 37. Facies Arenita con Bioclastos Bioturbadas.



ASOCIACIÓN: las facies arenita con bioclastos bioturbada (7) es una facies local, por lo cual está relacionada con la facies arcillolita con bioclastos bioturbada (1) que la infrayace en el pozo Cerro Villanueva-1. Ver tabla resumen de facies.

Tabla 3. Resumen de las Facies Caracterizadas por la Formación Tolúviejo en el área del Cinturón Plegado de San Jacinto

Facies y Abreviatura	Símbolo de Facies	Tamaño de grano										Espesor de capas(pies)	Fósiles Traza	Contactos y Asociaciones	Interpretación				
		Lodo		Arena					P	M	B								
		Arcill	Li	mf	f	m	g	mg											
											0	2	4	6	8	10			
Facies Grainstone de algas rojas y macroforaminíferos (5)																		I 6	Banco de arrecifes? Parche arrecifal?
Facies Arenita con bioclastos bioturbada (6)																		Th, B I 5 1, 3	Plataforma Media
Facies Conglomerática y/o Arenitas conglomerática (4)																		B S 2, 3 I 3, 2	Plataforma externa Proceso de Tormenta
Facies Limolita con bioclastos bioturbada (3)																		Ch, Th, B S 1, 2 I 2, 1, 4	Plataforma media Plataforma externa
Facies Limolita con relictos de laminación con bioclastos (2)																		An, B, Te S 4, 3 I 1, 3, 4	Plataforma externa
Facies Arcillolita con bioclastos bioturbada (1)																		Te, Th, Ch S 3, 2 I 3,	Plataforma externa

Contactos:
 S: Contacto superior I: Contacto inferior
 Fósiles traza
 Te: Teichichnus An: Anconichnus Ch: Chondrites
 Th: Thalassinoides B: Bioturbado/Madrigueras

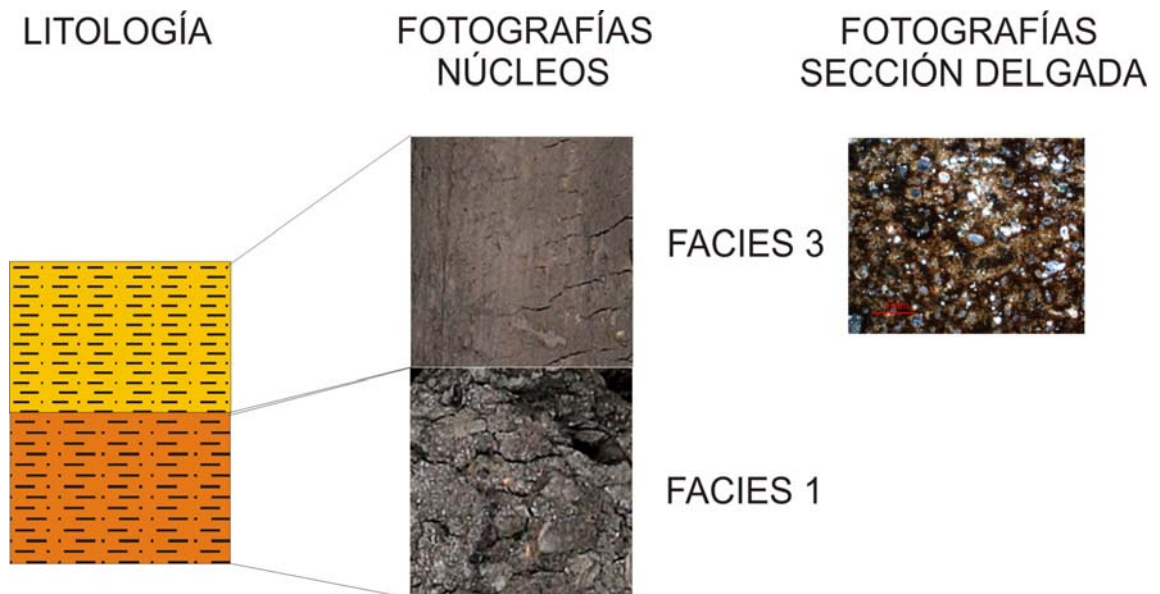
6. INTERPRETACION AMBIENTAL

La descripción de los intervalos corazonados en los pozos Porvenir-3 y Cerro Villanueva-1, correspondientes a la Formación Tolúviejo, permitió la determinación de características texturales, composicionales y de estructuras sedimentarias a partir de las cuales se identificaron facies y se establecieron las asociaciones de facies para posteriormente realizar la interpretación ambiental. En el **Anexo 1** se presenta la columna estratigráfica a escala 1:100 de la sección perforada por el pozo Porvenir-3, y en el **Anexo 2** se presenta la columna estratigráfica a escala 1:100 de la sección perforada en el pozo Cerro Villanueva-1.

Las facies descritas en el **capítulo 5** se compararon con algunos análogos correspondientes, según descripciones de Reineck (1985), Walker (1992), Reineck y & Singh (1980), After (1977), y Serra (1986), para la definición de ambientes de depósito. En los párrafos siguientes se describe la relación entre las asociaciones de facies y los ambientes de depósito correspondientes.

Asociación de las Facies 1 y 3: Esta asociación de facies se caracteriza por presentar un dominio de material fino (Figura 38), las cuales se clasificaron texturalmente como arcillolita y limolita respectivamente, además presentan bioclastos, bioturbación y madrigueras de *Helminthopsis*, *Chondrites* y *Thalassinoides* no presenta estructuras sedimentarias, el contacto entre las facies es neto. Por lo anterior, esta asociación de facies se interpretó como depositada en un ambiente de Plataforma externa, es decir en un rango de batimetría por debajo de los 30 metros.

Figura 38. Asociación de Facies 1 y 3.



Asociación de las Facies 2 y 4: Esta asociación de facies se caracteriza por un contraste en el tamaño de grano (Figura 39). La Facies 2 presenta tamaño de grano fino (limolitas), las cuales evidencian relictos de laminación ondulosa discontinua y/o plana paralela. Además, contiene madrigueras de *Anconichnus* y *Terebellina*. Por su parte, la Facies 4 presenta tamaños de grano mayores que la Facies 2, principalmente conglomerados y arenitas conglomeráticas, con granos subangulares a subredondeados de cuarzo y fragmentos líticos, mezclados con fragmentos calcáreos.

Esta asociación de facies sugiere que durante su depósito se presentaron las condiciones necesarias para la acumulación mecánica de fragmentos de fósiles, tales como algas rojas, *Numulites* y *Discocyclus* (Macroforaminíferos), (no *in situ*), los cuales se presentan de manera caótica mezclados con fragmentos líticos.

Esta última facies está únicamente en capas delgadas (~ 1 pie de espesor). Al igual que la asociación de Facies 1 y 3, la asociación de las facies 2 y 4 se interpretó como depositada en un ambiente de plataforma externa, según la clasificación de Walker, 1984.

La presencia de conglomerados en capas delgadas, suprayacidos e infrayacidos por limolitas, sugiere un evento esporádico de tormenta (tempestita).

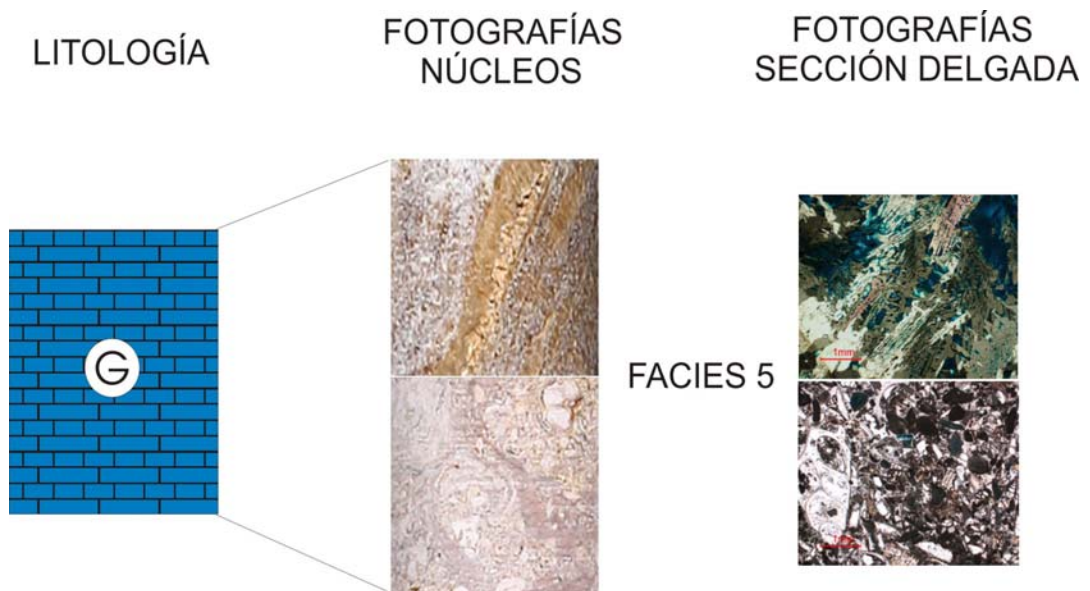
Figura 39. Facies 2 y 4.



Facies 5: desde el punto de vista composicional esta facies es un Grainstone de algas rojas y macroforaminíferos (*Discocyclinas*, *Nummulites*), los cuales son organismos incrustantes. Presenta alternancias de Boundstone de coral moderadamente preservado (Figura 40), y exhibe porosidad secundaria intrapárticula, interpárticula, móldica y vugular. Esta facies indica un ambiente

marino de media-alta energía. Por lo tanto, se interpretó como depositada en la zona interna de la plataforma media, según la clasificación de After, 1977; particularmente una acumulación arrecifal, éstos se pueden depositar en la plataforma interior entre (0 – 10) metros y en la parte más interna de la plataforma media entre (15 – 30) metros.

Figura 40. Facies 5. Se muestra la alternancia con el boundstone de coral.



Facies 6: esta facies se caracteriza por presentar un tamaño de grano que varía desde arena fina hasta arena muy fina (Figura 41). Composicionalmente, es una cuarzo arenita, pues contiene cuarzo (70%), y sus granos son subangulares a subredondeados. Esto significa que el área fuente de aporte se encontraba relativamente cerca. Por lo que se interpreta como depositada en un ambiente de plataforma media, según la clasificación propuesta por After, 1977 para los ambientes de plataforma.

Figura 41. Diagrama esquemático de las Facies 6.



6.1 INTERPRETACION AMBIENTAL DEL POZO PORVENIR-3

En este pozo se identificaron de base a techo las siguientes facies:

Intervalo entre 140 y 0 pies contiene las facies 2 y 3, las cuales corresponden a un ambiente de plataforma media en un rango de batimetría entre (15 – 30 metros)

Intervalo comprendido desde 230 a 140 pies corresponde a la asociación de facies 2 y 4, las cuales fueron interpretadas como un ambiente de plataforma externa con al menos un evento esporádico de tormentas (tempestitas), con un rango de batimetría entre (15 – 30 metros)

Intervalo entre 257 y 230 pies presenta la asociación de las facies 1 y 3 las cuales fueron interpretadas como un ambiente de plataforma externa, ésta se encuentra batimétricamente a más de 30 metros de profundidad.

Los contactos entre estos intervalos no parecen indicar ausencia de sección. Por

lo tanto, este pozo registrar una sedimentación continua y una somerización del nivel base.

6.2 INTERPRETACION AMBIENTAL DEL POZO CERRO VILLANUEVA-1

En este pozo se identificaron de base a techo las siguientes facies:

Facies 5 se presentan en el intervalo (100–15pies), y corresponde a un ambiente típico de la parte interna de una plataforma media (Alter, 1977), particularmente un cuerpo arrecifal.

Facies 6, se encuentran suprayacidas e infrayacidas por las facies 1 y 2 en el intervalo entre 120 – 100pies, ésta asociación es interpretada como un ambiente de plataforma media, en un rango batimétrico 15 - 30 metros.

Facies 2 y 1 se presentan en el intervalo entre 190 – 120pies, éstas facies fueron interpretadas como un ambiente de plataforma externa (a una profundidad mayor de 30 metros).

Facies 1 y 3 se encuentran en el intervalo de profundidad (237 a 190 pies), estas facies fueron asociadas a un ambiente de plataforma externa, la cual se ubica a más de 30 metros de profundidad.

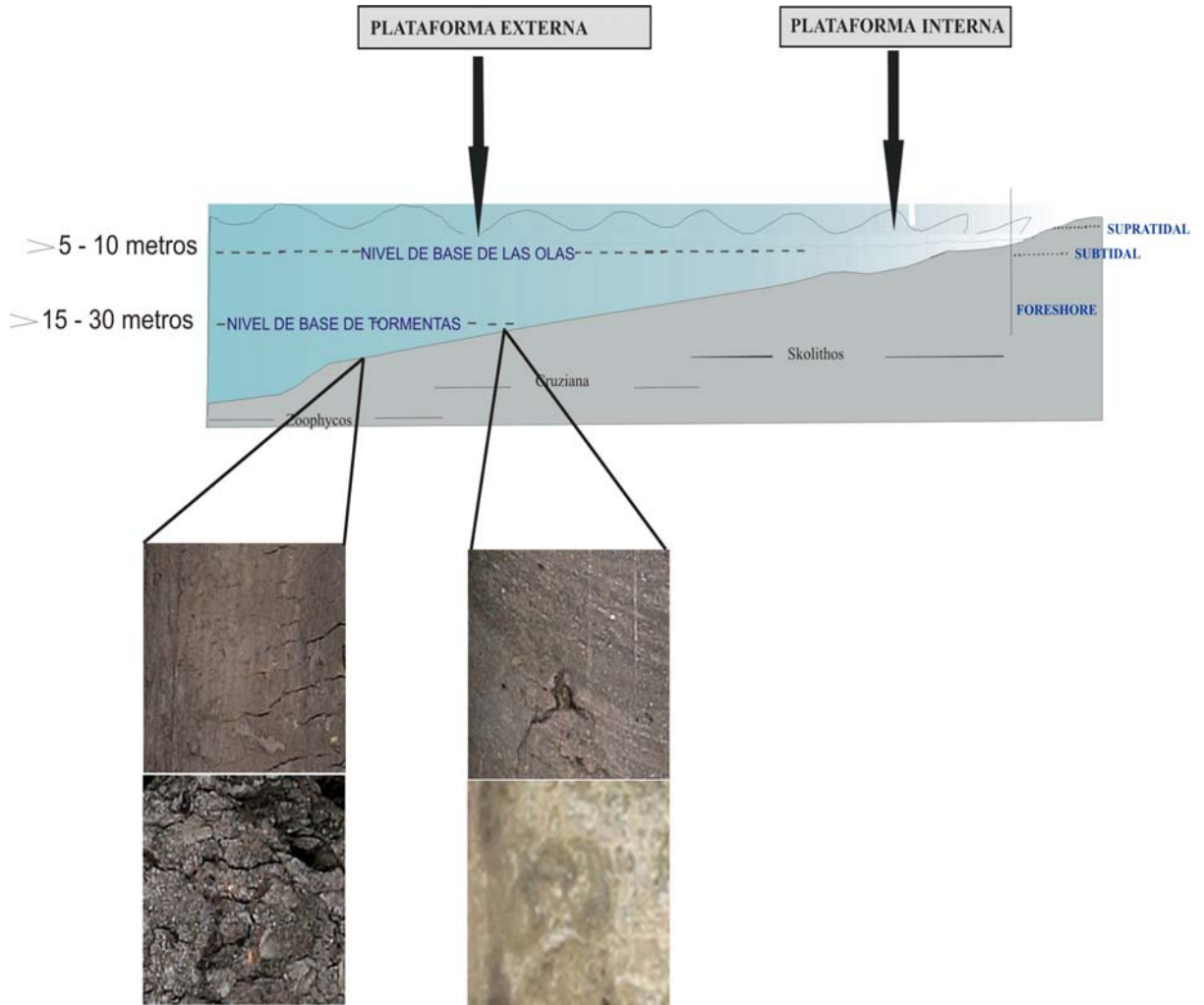
Entre ellas no parece haber contacto discordante que permita indicar ausencia de sección. Por lo tanto, este pozo registra una sedimentación continua y una somerización gradual del nivel base.

6.3 INTEGRACION DE RESULTADOS

Las Facies 1 y 3 fueron reconocidas tanto en el pozo Porvenir-3 como en el pozo Cerro Villanueva-1. Estas facies indican ambientes de plataforma externa, los cuales tienden a ser lateralmente continuos, por lo tanto se interpreta que estas facies pueden estar presentes regionalmente en el área de estudio. En la Figura 42 se muestra un esquema ilustrativo de la ubicación de dichas facies en un perfil de plataforma con el rango batimétrico característico.

Las Facies 2 y 4 fueron reconocidas solo en el pozo Porvenir-3. Estas facies indican ambientes de plataforma externa con presencia esporádica de eventos de tormenta. Dado que estos eventos tienden a ser eventos locales, era de esperarse que no fueran encontrados en el pozo Cerro Villanueva-1. Según Walker, 1992, "Los estratos de tormenta se caracterizan por la presencia de arena y/o conglomerados interestratificados con lodos bioturbados de las ichnofacies *Cruziana* y *Skolithos*; estas arenas tienen comúnmente bases agudas y/o erosivas, un promedio de espesor entre 5 y 10 cm. y se presentan de manera local. En concordancia con la descripción hecha por Walker, 1992 se corrobora la existencia de dichos depósitos en el pozo Porvenir-3.

Figura 42. Esquema de ubicación facies 1, 2, 3,4 en el perfil de la plataforma.

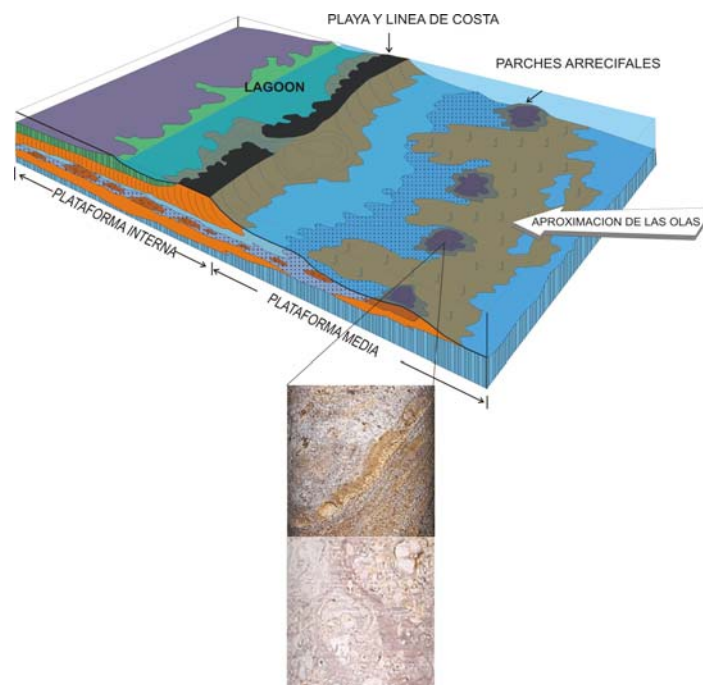


Las facies 5 y 6 solo fueron reconocidas en el pozo Cerro Villanueva-1. La Facie 5, indica fondos de alta energía donde las mareas, el oleaje y las corrientes limpian el fondo de lodo (Jones & Desrochers, 1992). Esta facies es interpretada como arrecifal, y puede o no extenderse regionalmente. Se proponen dos hipótesis para su formación: (1) que sea un cuerpo arrecifal tipo “Patch Reef”, tal como lo propuso Ortiz, 1998, o (2) que sea un banco arrecifal (Walker, 1992. Ortiz, 1998).

Los cuerpos arrecifales o *patch reefs* son “intercrecimientos de corales, algas rojas y organismos asociados que pueden ser de 5 m de ancho y crecer 1-3 metros sobre el piso que lo rodea” (Garrett, 1971). Los bancos de arrecifes se caracterizan por estar constituidos por algas rojas, algas verdes, foraminíferos incrustantes, briozoos incrustados, esponjas y moluscos (Heckel, 1979) y estos se distinguen por su desarrollo a lo largo de la línea de costa, como es el caso de las Bermudas, los cuales pueden tener hasta 1km de espesor. (Ginsburg, 1969).

Por lo tanto, con la información disponible no se puede determinar la continuidad lateral del cuerpo arrecifal, ya que éste se evidencia sólo en la Facies 5, la cual se encuentra restringida al pozo Cerro Villanueva-1. La figura 43 muestra un perfil depositacional para las facies 5, considerándose depósito de parche arrecifal. Los dos pozos muestran evidencia de una continua somerización de base a techo.

Figura 43. Perfil depositacional para las facies 5. Para el caso del Parche Arrecifal.



Fuente: Modificado de After, 1977, en memoria 33 de AAPG.

7. CONCLUSIONES

- Las Facies sedimentarias en la base del pozo Porvenir-3 varían entre arcillolitas a limolitas, cuyas asociaciones se interpretaron como un ambiente de Plataforma Externa, con base en las características litológicas, estructurales y composicionales.
- La presencia de Facies conglomeraticas intercaladas con Facies de limolitas, indican un ambiente característico de depósitos de tormentas (flujos esporádicos) los cuales solo fueron encontradas en el pozo Porvenir-3.
- El ambiente de depositación interpretado para el pozo Porvenir-3 está asociado a un ambiente de Plataforma Externa a Media con depósitos de tormentas, ubicándose por debajo del nivel base de las tormentas en un rango batimétrico entre (15 - 30 metros).
- Las facies sedimentarias descritas para el pozo Cerro Villanueva-1 varían entre limolitas y arcillolitas, estas últimas en menor proporción, dichas asociaciones se interpretaron como un ambiente de Plataforma Externa-Media.
- El pozo Cerro Villanueva-1 se caracteriza por presentar en el tope un cuerpo arrecifal "Patch Reef", el cual se distingue por estar compuesto de macroforaminíferos bentónicos así como algas rojas.
- En general estos dos pozos reflejan una somerización de los ambientes, variando de Plataforma Externa a una Plataforma Media.

BIBLIOGRAFIA

CARO MIRYAM. Structural Evolution of the San Jacinto Fol. Belt, NW Colombia. Department of Geology and Geophysics Calgary, Alberta. 2003

CRUZ L., y MIER R., 2001, Sedimentología para Ingenieros de Petróleos Prácticas de Laboratorio, UIS, Bucaramanga.

CHEVRON OVERSEAS PETROLEUM, INC. Northwest Colombia Hydrocarbon Evaluation. 1986.

DUQUE-CARO H., 2000, Análisis Bioestratigráficos de 400 muestras de 34 pozos y 16 muestras de superficie de las cuencas de San Jorge, Sinú, Plato y Barranquilla, en el Valle Inferior del Magdalena, Informe Confidencial Preparado para Ecopetrol Por Duque-Caro y Compañía Ltda Consultoría Geológica.

DUQUE-CARO H., 1979, Major structural elements and evolution of northwester, In J. S. Watkinsd, L. Mondater, and P. W. Dickerson, eds, Geological and Geophysical Investigations of Continental Margins: AAPG Memoir 29, 1979, p 329-351.

FLINCH J., 2003, Structural Evolution of the Sinu-Lower Magdalena area (Northern Colombia), in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics, AAPG Memoir 79, p. 776-796.

GUZMAN, G., 1995, Geología Regional del Caribe Colombiano, Problemática Estratigráfica en Memorias I del VI Congreso Colombiano del Petróleo. Santa Fe de Bogota, D.C

HERNÁNDEZ M., MALDONADO I., GONZÁLEZ J., MARTÍNEZ H., CLAVIJO J., REYES G., 2003, Geología de las Planchas 25 Fundación, 32 Monterrubio y 39 El Difícil, Memoria Explicativa, Escala 1:100000, INGEOMINAS, Bogotá, D.C.

HERNÁNDEZ R., RAMIREZ V., REYES J., 2003, Evolución Geohistórica de las Cuencas del Norte de Colombia, ECP, VII Simposio Bolivariano-Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, 8, págs. 256-263.

MANN P. Caribbean Sedimentary Basins: Classification and Tectonic Setting from Jurassic to Present. Elsevier 1999.

ORTIZ ALBERTO. Calidad de Reservoir de las Calizas de las Formaciones Tolúviejo y Ciénaga de Oro, Subcuenca Sinú-San Jacinto, Cuenca Caribe Colombiana. División de Exploración y Explotación. Instituto Colombiano del Petróleo. Empresa Colombiana de Petróleos. 1998.

PEMBERTON G., VAN WAGONER J., AND WACH G., 1992, Ichnofacies of a wave-dominated shoreline: in Applications of Ichnology to Petroleum Exploration, A Core Workshop ed. Pemberton G. p.339-382.

PETTIJOHN F., 1975, Sedimentary Rocks, 3rd ed., Harper & Row Publishers, New York.

PINDELL J. 1995, Circum – Caribbean Sedimentary Basin Development and Timing of Hydrocarbon Maturation as a Function of Caribbean Plate Tectonic Evolution. Department of Earth Sciences, Dartmouth College, Hanover.

REINECK H., y SINGH I., 1980, Depositional Sedimentary Environments, 2nd ed, Springer, New York.

REYES J., REYES A., RANCEL A., GIRALDO B., MESA A., MANTILLA M., GÓMEZ P., GONZÁLEZ S., RUIZ C., MONTENEGRO G., DUQUE H., LUNA O., 2000, Evaluación Integrada del Valle Inferior del Magdalena Oportunidades Exploratorias, ECOPETROL-ICP, Colección de Artículos.

REYES J. P., MANTILLA M. M., SEBASTIAN G. J. Regiones Tectono-Sedimentarias del Valle Inferior del Magdalena, Colombia. VII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas. Caracas, Venezuela.

RUEDA M., REYES J., MANTILLA M., GÓMEZ P., 2001, Evaluación del Sector Atlántico y su Prospectividad, ACIPET, IX Congreso Colombiano del Petróleo, Bogotá D.C. Colombia.

RUIZ C., DAVIS N., PRINCE A., CARVAJAL D., Structure and Tectonic Evolution of the South Caribbean Basin, Southern offshore Colombia. VII Simposio Bolivariano Exploracion Petrolera en las Cuencas Subandinas. Caracas, Venezuela.

REYES A., MONTENEGRO G., GÓMEZ P., 2000, Evolución Tectonoestratigráfica del Valle Inferior del Magdalena Colombia, Simposio Bolivariano de Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, 7, Bogotá, p. 293-309.

REYES G., ZAPATA G., 2001, Geología de la Plancha 24 Sabanalarga, Escala 1:100.000, Memoria Explicativa, INGEOMINAS, Bogotá, D.C.

SERRA O., 1985, Sedimentary Environments from Wirelines Logs, Schlumberger, Houston, Texas.

TUCKER MAURICE E., 1992, Sedimentology Carbonate. Blackwell Scientific Publications, London.

WALTER R., 1984, Facies Models, 2nd ed, Geoscience Canada, reprint series I

ANEXOS

**ANEXO B. REGISTRO DE DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA Y
ESTRATIGRÁFICA ESCALA 1:100 DEL POZO CERRO VILLANUEVA-1-
FORMACIÓN TOLÚVIEJO.**

