

Análisis sedimentológico y estratigráfico en el intervalo 1657 Ft – 1166 Ft, del pozo P-28 Finca Villa Hermosa, localizado en el cinturón de deformación del Sinú en el municipio de San Pelayo, Córdoba.

Manuel Fernando Ortiz Santos

Trabajo de Grado para Optar el título de Geólogo.

Director

Luis Enrique Cruz Guevara

Geólogo Ph.D

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico Químicas
Escuela de Geología
Bucaramanga
2020**

Dedicatoria

A Dios, porque su tiempo es perfecto, sus planes son más grandes que mis sueños y me enseñó a materializar mis ideas.

A mi padre, madre y abuela, que siempre fueron un pilar más en mi construcción personal, y me apoyaron en todo momento, con su paciencia, amor y comprensión.

A mi tío y mis abuelos paternos, que siempre me apoyan desde lo más alto.

A mis amigos y profesores que deja la hermosa Universidad Industrial De Santander, que no te deja ir, hasta dar ese gran paso de madurez profesional y personal.

Agradecimientos

Principalmente al profesor Luis Enrique Cruz, quien me apporto su opinión y conocimiento, con respecto al estudio e investigación realizado.

Al Servicio Geológico Colombiano, por brindarme tal maravillosa experiencia, que me abrió sus puertas para realizar mi primera experiencia laboral.

A la profesora Georgina Guzmán y Ana Milena Ortiz, quienes depositaron su confianza en mi para cumplir con la pasantía empresarial, y que con sus comentarios y opiniones fueron enseñándome a moldear un perfil profesional, responsable y consiente.

A la escuela de Geología, que me brindo la mejores épocas y experiencias de mi vida.

Tabla de Contenido

Introducción..... 15

1. Objetivos 19

1.1 OBJETIVO GENERAL 19

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 19

2. Marco teórico..... 20

2.1 LOCALIZACIÓN..... 20

2.2 SEDIMENTOLOGÍA 24

2.2.1 TAMAÑO DE GRANO..... 24

2.2.3 ESFERICIDAD Y REDONDEAMIENTO 27

2.2.4 CONTACTO ENTRE LAS PARTÍCULAS 28

2.3 FABRICA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS 28

2.3.1 ARMAZÓN 28

2.3.2 MATRIZ 29

2.3.4 CEMENTO..... 29

2.3.5 POROSIDAD 30

2.4 ESTRATIGRAFÍA 30

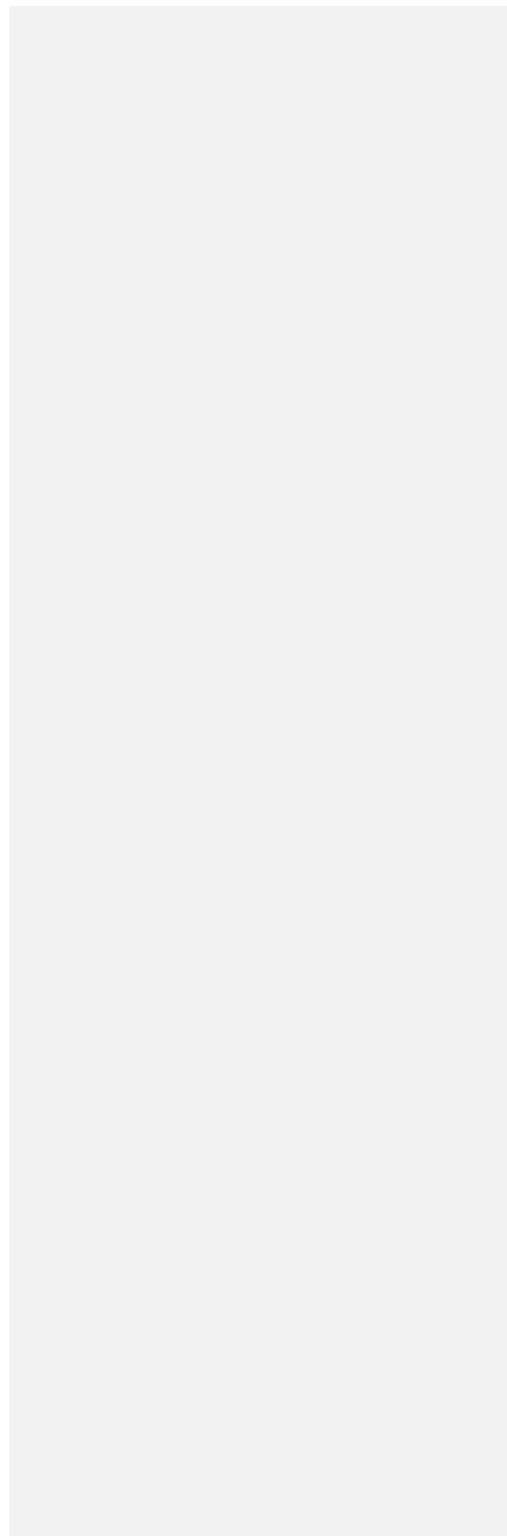
2.4.1 ESTRATO..... 31

2.4.2 FACIES..... 31

TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGATIVA	5
2.4.3 ASOCIACIÓN DE FACIES	33
3. Marco Geológico	34
3.1 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA	36
3.1.1 CRETÁCICO TARDÍO – PALEOCENO (89. 8 – 66 M.A) (CANSONIENSE TEMPRANO)	36
3.1.2 PALEOCENO – EOCENO MEDIO (66 – 45 M.A) (CANSONIENSE MEDIO-TARDÍO).	38
3.1.3 EOCENO MEDIO (OROGENIA PRE ANDINA) 45 M.A	38
3.1.4 EOCENO TARDÍO – OLIGOCENO (41.2 – 33.9 M.A) (CARMENIENSE TEMPRANO).....	39
3.1.5 DIASTROFISMO OLIGOCENO – MIOCENO (33.9 – 32.3 M.A).....	41
3.1.6 MIOCENO TEMPRANO A MEDIO (32.3 – 15.97 M.A) (CARMENIENSE MEDIO).....	41
3.1.7 MIOCENO TARDÍO – PLIOCENO (15.97 – 5.333 M.A) (CARMENIENSE TARDÍO)	42
3.1.8 OROGENIA ANDINA (5.333 – 2.58 M.A) (PLIOCENO - PLEISTOCENO).....	44
3.1.9 PLEISTOCENO - HOLOCENO (2.58 – 0.0117 M.A) (TUBARIENSE)	45
3.2 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS (ESTRATIGRÁFICA).....	46
3.2.1. FORMACIÓN CHERT DE CANDELARIA (E ₂ C).	47
3.2.2 FORMACIÓN LA RISA O PRE MANANTIAL (E ₂ LR).	47
3.2.3 FORMACIÓN RESBALOSA O MANANTIAL (E ₂ R).	48
3.2.4 FORMACIÓN MARALÚ (E ₂ E ₃ MA).....	49
3.2.5 FORMACIONES PAVO INFERIOR (N ₁ PI) Y PAVO SUPERIOR (N ₁ PS).....	49
3.2.6 FORMACIÓN CAMPANO (N ₁ CA).	51
3.2.7 FORMACIÓN FLORESANTO (N ₁ F).	51
3.2.8. FORMACIONES PAJUIL INFERIOR (N ₁ PAI) Y SUPERIOR (N ₁ PAS).	52
3.2.9 FORMACIÓN MOÑITOS (N ₁ MN).	52

TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGATIVA	6
3.2.10 FORMACIÓN MORROCOY- EL PANTANO (N ₁ MP)	53
3.2.11 FORMACIÓN ARENAS MONAS (N ₁ AM)	55
3.2.12 FORMACIÓN BROQUELES (N ₂ B)	56
3.2.13 FORMACIÓN CORPA (N ₂ Q1) (CORPA SUPERIOR Y INFERIOR)	57
3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	58
3.3.1 LINEAMIENTO DE ROMERAL	61
3.3.2 LINEAMIENTO DE BOLÍVAR	62
3.3.3 LINEAMIENTO DEL SINÚ	62
3.3.4 LINEAMIENTO DE COLOMBIA	63
4. Metodología	64
4.1 FASE 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	65
4.2 FASE 2. TRABAJO DE LABORATORIO	65
4.3 FASE 3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	68
4.4 FASE 4. INFORME FINAL	68
5. Resultados	69
5.1 LITOLOGÍAS	69
5.2 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA A ESCALA 1:30.480 (CM)	78
5.3 IDENTIFICACIÓN DE FACIES Y ASOCIACIÓN DE FACIES	93
5.4 CURVA DE PALE OXIGENACIÓN RELATIVA	113
6. Discusión	116

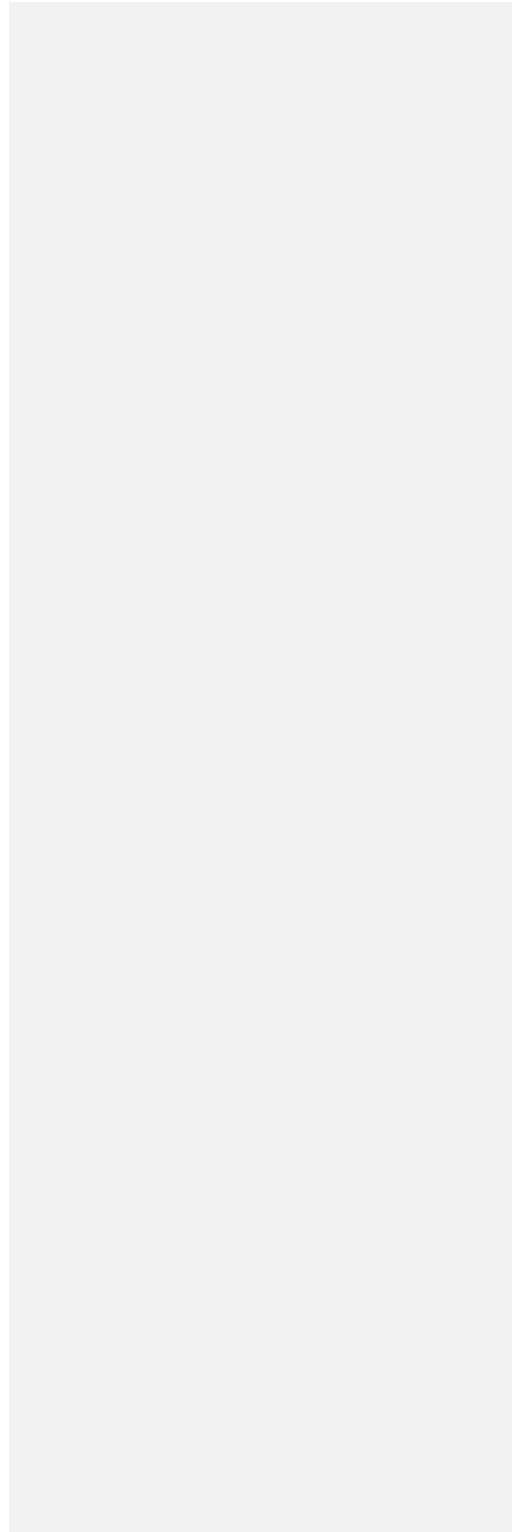
TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGATIVA	7
7.Conclusiones.....	119
Referencias Bibliográficas	121



TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGATIVA	8
--	---

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Codigos de facies.....	94
Tabla 2. Descripcion de facies.....	94



Lista de Figuras

Figura 1. Localización geográfica y geológica de la zona de estudio, en el mapa geológico de Colombia. Tomado del Servicio Geológico Colombiano (2017).....	21
Figura 2. Mapa de provincias geológicas de la Cuenca Sinú. Tomado de Aguilera (2011).....	22
Figura 3. Localización del pozo P-28 Finca Villa Hermosa en la Plancha 50 Puerto esondido. La estrella roja representa el pozo. Tomada del Servicio Geologico Colombiano.	23
Figura 4. Udden - Wentworth clasificación de tamaño de grano de sedimentos terrígenos. Tomado de Wentworth (1922).	25
Figura 5. Imágenes de calibrado de las partículas (Pettijohn). Modificado de Boggs, Jr. (1987).26	
Figura 6. Términos de grado de redondeamiento y esfericidad de las partículas según Powers 1953, en Comptón 1962.	27
Figura 7. Tipos de contactos entre partículas en los sedimentos y en las rocas sedimentarias (Boggs, 2006).	28
Figura 8. Tipos de fábrica presentes en los sedimentos y en las rocas sedimentarias. Tomado de (Cruz, Álvarez, & Caballero, 2007).....	29
Figura 9. Tipos de matriz presentes en los sedimentos y en las rocas sedimentarias. (Cruz et al.,2007).....	29
Figura 10. Características principales de los constituyentes de una facies.	32
Figura 11. Mapa paleo geográfico del Cretácico Tardío - Paleoceno. Tomado de Duque – Caro (1980).....	37
Figura 12. Mapa paleo geográfico del noroccidente colombiano inmediatamente después de la orogenia pre andina. Tomado de Duque – Caro (1980).....	39

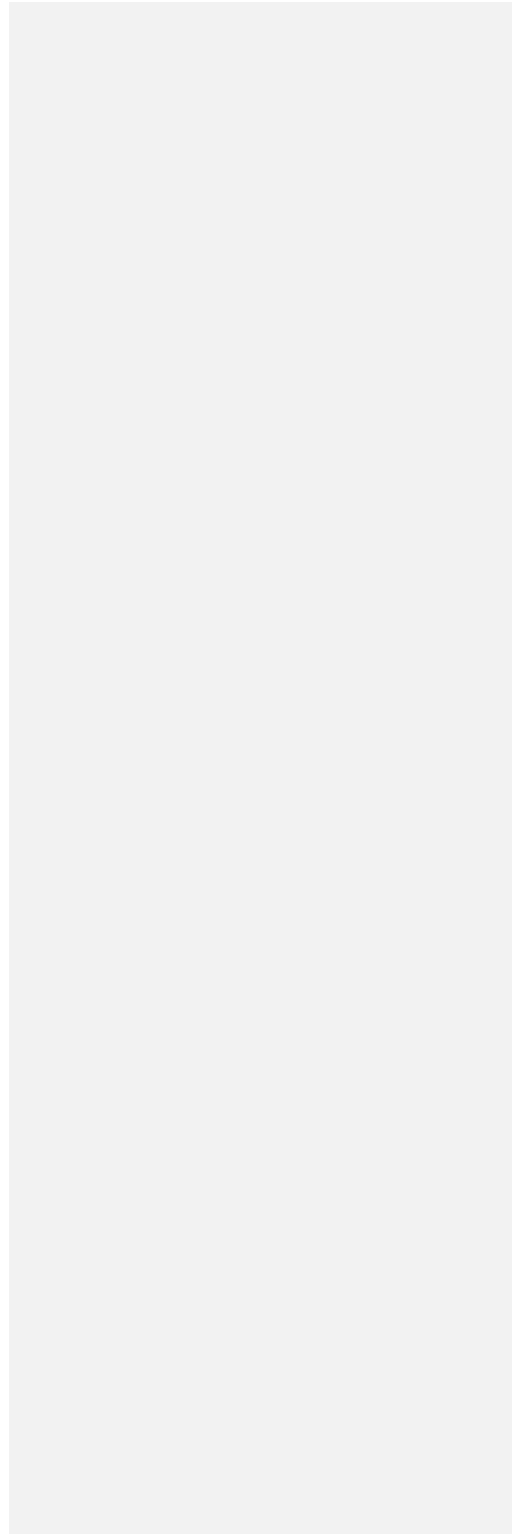
Figura 13. Mapa paleo geográfico del noroccidente colombiano durante el Eoceno tardío – Oligoceno, denominado ciclo sedimentario Carmeniense temprano. Tomado de Duque – Caro (1980).....	40
Figura 14. Mapa paleo geográfico de Colombia durante el Mioceno Temprano – Mioceno medio. Periodo Carmiense medio. Tomado de Duque – Caro (1980).	42
Figura 15. Mapa paleográfico del noroccidente de Colombia durante el Mioceno Tardío – Plioceno. Periodo Carmeniense Tardío. Tomado de Duque – Caro (1980).....	43
Figura 16. Mapa paleo geográfico del noroccidente de Colombia inmediatamente después de la Orogenia Andina (Plioceno - Pleistoceno). Tomado de Duque – Caro (1980).....	45
Figura 17. Marco conceptual de la metodología a realizarse en el proyecto de investigación.	64
Figura 18. Imagen de las salas de consulta publica de la litoteca nacional.	66
Figura 19. Fotografías de núcleos del pozo P-2 Finca Villa hermosa. A) Fotografía de contacto entre limolita arenosa y arenisca. B) Fotografía de limolita arenosa bioturbación alta. C) Fotografía de limolita arenosa con madrigueras verticales y bioturbación moderada.	70
Figura 20. Fotografías del núcleo P-2 Finca Villa Hermosa. A) Fotografía de litoarenita en muestra fresca, con trazas de bioclastos. B) Fotografía de arenisca con moderado grado de bioturbación, la que contiene un fragmento de caparazón de gasterópodo diluida. C) Fotografía de una lito arenita con alto grado de bioturbación, causado por el Phycocifon?.	72
Figura 21. Fotografías del núcleo P-2 Finca Villa Hermosa. A) Arenisca con laminación cruzada inclinada. B) Fotografía de un contacto inferior irregular entre arenisca biosoportada y lito arenisca con laminación cruzada inclinada, mientras que el contacto superior entre las areniscas con laminación cruzada inclinadas y areniscas con intraclastos lodosos y calcáreos es de tipo irregular neto. C) Lito arenisca con laminación cruzada en espina de pescado.	74

Figura 22. Fotografías del núcleo P-28 Finca Villa Hermosa. A) Fotografía de concreciones ferruginosas de gran espesor. B) Fotografías de concreciones ferruginosas dispuestas en laminación plano paralela continua. C) Fotografía de concreciones ferruginosas dispuestas de forma irregular	75
Figura 23. Fotografías del núcleo P-28 Finca Villa Hermosa. A) Fotografía de un conglomerado arenoso bioclástico. B) Fotografía de un contacto de areniscas con laminación plano paralela y un conglomerado arenoso fosilífero. C) Fotografía de una brecha arenosa lítica. D) Fotografía de gasterópodos bien preservados de hasta 2 cm en un conglomerado arenoso lítica.	77
Figura 24. Columna estratigráfica digitalizada del pozo P-2 Finca Villa Hermosa.	83
Figura 25. Asociación de facies AF1, asimétrica positiva.	100
Figura 26. Asociación de facies AF2, bandeada discíclica.	101
Figura 27. Asociación de facies AF3, bandeada cíclica.	102
Figura 28. Asociación de facies AF4, asimétrica positiva.	103
Figura 29. Asociación de facies AF5, multiepisódica.	104
Figura 30. Asociación de facies AF6, multiepisódica.	105
Figura 31. Asociación de facies AF7, bandeada discíclica.	106
Figura 32. Asociación de facies AF8.	107
Figura 33. Asociación de facies AF9, bandeada cíclica.	108
Figura 34. Asociación de facies AF10.	109
Figura 35. Asociación de facies AF11, bandeada cíclica.	110
Figura 36. Asociación de facies AF12.	111
Figura 37. En la columna inferior de oxigenación del agua, L representa el límite umbral de condiciones anaeróbicas donde por debajo de este, se conservan las estructuras primarias y por	

TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGATIVA

12

encima donde pueden sobrevivir el organismo tipo 1. 2 y 3 representan los niveles umbral
requeridos para permitir la presencia de productores de traza tipo 2 y 3 respectivamente..... 114



Resumen

Título: Análisis sedimentológico y estratigráfico en el intervalo (1657 ft – 1166 Ft) del pozo P-28 Finca Villa Hermosa, localizado en el cinturón de deformación del Sinú en el municipio de San Pelayo, Córdoba*

Autor: Manuel Fernando Ortiz Santos**

Palabras Clave: Sedimentología, Estratigrafía, Núcleo de perforación, Curva de Paleoxigenación.

Descripción: El estudio sedimentológico y estratigráfico del núcleo de perforación P-28 Finca Villa Hermosa, se realizó en las salas públicas de la litoteca nacional, ubicada en Piedecuesta – Santander. La investigación se llevó a cabo con el fin de brindar características sedimentológicas, estratigráficas y paleooxigénicas de las litologías descritas en él y los ambientes de formación. Se buscó generar una correlación litológica, con el objetivo de definir las propiedades más representativas en un marco estratigráfico local, mediante el riguroso análisis de 491 Ft, siguiendo como metodología la descripción macroscópica del pozo. Se realizó una descripción sedimentológica pie a pie, para generar como resultado una columna estratigráfica a escala 1:30.48, donde queden registrados los datos característicos de la sucesión terrígena. La formación el Morrocoy – El Pantano, aflora en el sinclinal el pantano, ubicado al Sureste de la plancha 50 Canalete. Las litologías encontradas corresponden predominantemente a facies terrígenas compuestas predominantemente por limolitas arenosas, areniscas sub líticas, conglomerados arenosos bioclásticos y brechas. Se identificaron 51 facies y 12 asociaciones de facies, para definir un ambiente en la secuencia de facies regresivas, que se depositaron en un ambiente marino somero dominado por olas y tormentas, con variaciones del nivel del mar. Los niveles de bioturbación son generalmente altos, a consecuencia de que priman los ambientes aeróbicos, donde pueden sobrevivir organismos productores de trazas como lo son *Skolithos*, *Phycosiphon* y *Ophiomorpha*. La sucesión generalmente presenta concentraciones mayores a 0.1 ml/L de oxígeno, condiciones donde reinan las madrigueras de tamaño variable.

*Trabajo de grado

**Facultad de ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Luis Enrique Cruz Guevara Ph.D. en paleontología

Abstract

Title: Sedimentological and stratigraphic analysis in the interval 1657 Ft – 1166 Ft of the well P-28 Finca Villa Hermosa, located in the Sinú deformation belt*

Author: Manuel Fernando Ortiz Santos**

Key Words: Sedimentology, Stratigraphy, Drill core, Pale oxygenation curve.

Description: The sedimentological and stratigraphic study of the perforation nucleus P-28 Finca Villa Hermosa was carried out in the public rooms of the national lithographic library, located in Piedecuesta - Santander. The research was carried out in order to provide sedimentological, stratigraphic and paleoxygenic characteristics of the lithology described in the formation environments. We seek to generate a lithology correlation, to define which formation was studied, through the rigorous analysis of 491 Ft, following as methodology the macroscopic description of the well. A sedimentological description was made foot by foot, to generate as a result a stratigraphic column at scale 1:30.48, where the characteristic data of the terrigenous sequence are recorded. The unit Morrocoy – El Pantano emerges in the syncline the swamp, located to the Southeast of the plate 50 Canalete. The lithology's found correspond predominantly to terrigenous facies composed predominantly of sandy silts, sublittic sandstones, bioclastic sandy conglomerates and breccia. 51 facies and 12 associations of facies were identified to define an environment in the sequence of regressive facies, which were deposited in a shallow marine environment dominated by waves and storms, with variations in sea level. Their bioturbation levels are generally high, as a result of the primacy of aerobic environments, where trace-producing organisms such as Skolithos, Phycosiphon and Ophiomorpha can survive. The sequence usually has greater oxygen concentrations than 0.1 ml/L, conditions where burrows of variable size.

*Application work

**Faculty of Physicochemical Engineering. School of Geology. Director: Luis Enrique Cruz

Guevara Ph.D. in Paleontology

Introducción

La esquina Noroccidental del continente Sudamericano, es ocupada por la zona costera Nororiental colombiana, formando el margen sur, o suroeste de la cuenca Caribe Colombia. El margen noroccidental de Colombia, es caracterizado por la interacción entre las placas tectónicas Sudamericana y del Caribe. El área de estudio presenta tres elementos topográficos de importancia fisiográfica sobre la región, entre los cuales encontramos: Sistema altiplano, plataforma continental Andina, y Tierras planas inter montañosas. Estas últimas, presentan características ambientales de sistemas pantanosos y fluviales, en donde se incluyen, los ríos Magdalena, San Jorge, Sinú y canal del Dique, que suministran grandes flujos de sedimentos durante el transcurso del año (Duque-Caro H, 1979). Los elementos topográficos anteriormente mencionados, se agrupan en dos sistemas de elementos geotectónicos principales, los que separan el área en una región estable o plataforma que se encuentra subyacida por la plataforma continental, y un geosinclinal o región inestable (plegada) subyacida por corteza oceánica (Duque-Caro H, 1980). La región estable corresponde al Valle Inferior del Magdalena, limitado al Este por los anticlinales de San Jacinto y Luruaco, al Sur por los altos de Santa Marta y San Lucas, además de estar conformado por cinco elementos tectónicos de gran importancia, como lo son: El alto de Cicuco, el alto el Difícil, la geo fractura de Plato, y la depresión tectónica de Sucre. Duque-Caro (1979) identifica como un geosinclinal a la región costera inmediatamente adyacente a la plataforma, compuesto por una pila gruesa de sedimentos, que se diferencian en dos grandes elementos estructurales, el cinturón plegado de San Jacinto y el cinturón plegado de Sinú. La cuenca se caracteriza por

Eliminado: S

Eliminado: este

Eliminado: Oriental

Eliminado: ,

Eliminado: el que

Eliminado: do

presentar la mayor cantidad de emanaderos de petróleo y gas del país, limitando al Norte por la Falla de Oca; Noreste con el frente de deformación del Caribe; al Sur con las rocas volcánicas y sedimentarias, del Cretácico que conforman la Cordillera Occidental, y al Suroeste con el sistema de Fallas de Uramita.

La cartografía de la cuenca Sinú-San Jacinto, se puede dividir, tomando como eje el lineamiento del Sinú, representado de Sur a Norte por la Falla del Sinú, que controla el curso del río Sinú, la Falla de Villanueva - El totumo al Norte del golfo de Morrosquillo, la Falla el Jinete en la zona meridional, que divide las rocas del (Cretácico tardío – Paleoceno) cinturón del San Jacinto y del cinturón del Sinú al occidente (Mioceno) (Aguilera, 2011). El cinturón de San Jacinto forma parte de un prisma de acreción, ubicado contra el continente sudamericano, entre el Paleoceno y Oligoceno (Flinch, 2003), e incluye una secuencia de rocas deformadas del Cretácico Tardío al reciente. Sus sedimentos descansan inconformemente sobre gabros y basaltos de afinidad oceánica (Aguilera, 2011). Según Barrero et al., (2007) la cuenca se divide en un área offshore, con límites como: Noreste Falla de Oca, al Noroeste frente de deformación del Caribe Sur, al Suroeste actual línea de costa, hacia el Suroeste Falla de la Uramita, y una zona emergida onshore que limita con: la actual línea de costa al Noroeste, el sistema de Fallas de Romeral al Este, las rocas volcánicas y cretáceas de la cordillera Occidental al Sur, y la falla de Uramita al Suroccidente (Aguilera, 2011). El límite de la cuenca denominado sistema de falla Romeral, definido por Cediel et al (2003), ha sido cambiado al sistema de fallas de San Jacinto, ya que en esta zona, la falla de Romeral no actúa como una sutura, a raíz de no separar claramente la corteza oceánica de la continental, como si ocurre al sur del país (Quintero, 2016).

La ciencia de la geología sedimentaria, es un término que generalmente hace referencia, en un sentido más amplio que la sedimentología, al trabajo en conjunto entre los campos de la estratigrafía y sedimentología (Reading, 1996). En 1907 se perforo el primer pozo exploratorio colombiano llamado las Perdices 1, localizado en la cuenca del Sinú, que aunque esta “poco estudiada”, tiene una antigua historia de exploración. En el Valle Inferior del Magdalena, se localiza la cuenca del Sinú, la que presenta una historia estratigráfica complicada, debido a las múltiples propuestas de nomenclaturas y descripciones, con referencia a las unidades sedimentarias, establecidas por las diferentes compañías petroleras y reconocidos autores nacionales, entre las que algunas no presentan descripciones formales - bioestratigrafías (Aguilera, 2011), generando algunas confusiones al momento de revisar los trabajos previos, y una incertidumbre sobre la precisión de esta información, del mismo modo su ubicación geográfica, que es dominada por la interacción de la placa Caribe bajo la Sudamericana, determina su compleja configuración tectónica y estratigráfica. Durante la última década, se han incrementado las campañas exploratorias en el área de estudio, puesto que recae gran importancia petrolífera en la cuenca, en donde se propone realizar un estudio cualitativo, aprovechando la información proporcionada mediante el análisis de un núcleo estratigráfico, en el que se puede observar directamente el registro litológico para determinar sus características macroscópicas texturales-composicionales y ambientales.

La cuenca Sinú costa adentro fue acrecida al continente Sudamericano durante el evento que registro el pulso final de la orogenia Andina, sometiendo a la cuenca que actualmente es el VIM a inversión tectónica y levantamiento, generando cambio de espesores y ambientes de deposición (Desde transicionales a batiales, silisiclásticos, carbonáticos) (Reyes y Mantilla,

2000). El estudio sedimentológico y estratigráfico del cúmulo de sedimentos presentes en el margen continental del Caribe colombiano, los que hacen parte del frente de deformación del Caribe, originado por la interacción entre la placa Caribe bajo la placa Sudamericana, desarrollándose una compleja configuración geológica (Reyes, et al., 2004).

Este trabajo se realiza conjuntamente con el proyecto denominado Cartografía Geológica y Geomorfológica de la plancha 60 Canalete a escala 1:100.000, ejecutado por el Servicio Geológico Colombiano, en la Litoteca Nacional de Colombia, con el objetivo de actualizar y complementar la información geológica del área de estudio. Dado que buscamos proporcionar características de las unidades presentes en la zona, se plantea utilizar la metodología de descripción de núcleos, con el fin de realizar una caracterización sedimentológica y un análisis estratigráfico del intervalo que comprende desde 1657 Ft – 1166 Ft, en el pozo P-28 Finca villa hermosa ubicado en la Cuenca Sinú onshore, en el municipio de San Pelayo-Córdoba, y así mismo la organización de las características texturales, composicionales y fósiles, representadas en una columna estratigráfica, donde definiremos facies y posteriormente asociaciones de facies, con la intención de lograr una posible correlación de la(s) unidad en estudio y su ambiente de formación, a través del presente trabajo de tesis de pregrado “modalidad investigación”.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Realizar una caracterización sedimentológica y un análisis estratigráfico del intervalo que comprende desde los 1657 Ft - 1166Ft, a partir de la descripción del núcleo de perforación, en un pozo ubicado en la Cuenca Sinú onshore, en el municipio de San Pelayo-Córdoba.

1.2 Objetivos Específicos

- Revisar y analizar la información disponible sobre el cinturón de de Sinú y pozo P-28 Villa hermosa, para fines de contextualizar la geología del área de estudio, desde el punto de vista de su geología regional y local.
- Realizar una columna estratigráfica a escala 1:30.480 (cm), a partir de la caracterización sedimentológica sobre el intervalo (1657 Ft- 1166Ft) del núcleo de perforación estratigráfico.
- Identificación de facies y asociación de facies, con el fin de determinar los ambientes deposicionales.
- Generar una curva de pale oxigenación, con el fin de reconocer las características de oxigenación y bioturbación del núcleo.

Eliminado:

- Identificar la(s) formación(es) de estudio encontradas en el núcleo.

2. Marco teórico

2.1 Localización

La zona de desarrollo del proyecto se encuentra en la esquina noroccidental suramericana y además pertenece al Valle Inferior del Magdalena, situada en la costa caribe de Colombia, en donde se localiza en el frente de deformación del Caribe Colombiano y a su vez corresponde al margen suroriental de la Cuenca de Colombia. El área se caracteriza por presentar una compleja evolución en los patrones de configuración tectónica y estratigráfica, determinada por la evolución de los eventos originados a causa del tipo de interacción entre la Placa Caribe bajo la Sudamericana (Reyes et al., 2004).

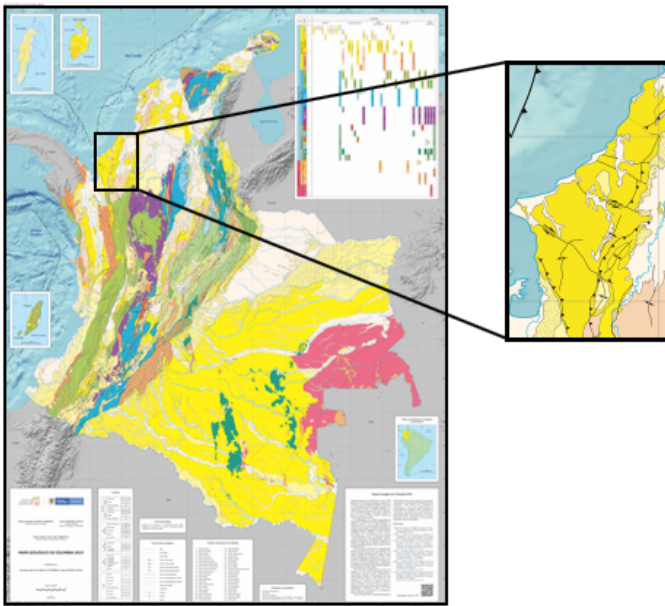


Figura 1. Localización geográfica y geológica de la zona de estudio, en el mapa geológico de Colombia. Tomado del Servicio Geológico Colombiano (2017).

El cinturón del Sinú o también llamado cuenca del Sinú, se encuentra en la región más septentrional colombiana, entre el lineamiento del Sinú al E, el frente de deformación del Caribe sur al NW, el sistema de fallas la Uramita al SW, la falla de Oca al N y la cordillera Occidental al S, posicionándose como una franja de norte a sur por todo el occidente del departamento de Córdoba, (Lozano & Zamora, 2014). Su área, está dividida en tres fragmentos, dos de los cuales hacen parte de la actual plataforma costera denominada la provincia del Sinú offshore y únicamente su porción sur aflora en la región continental de colombiana conocida como la provincia de Sinú onshore (Geotec, 1997).

Eliminado: la provincia del Sinú offshore y únicamente su porción sur aflora en la región continental

El pozo P-28 Finca Villa Hermosa fue perforado el 27 de junio del 2007 por la ANH, en el

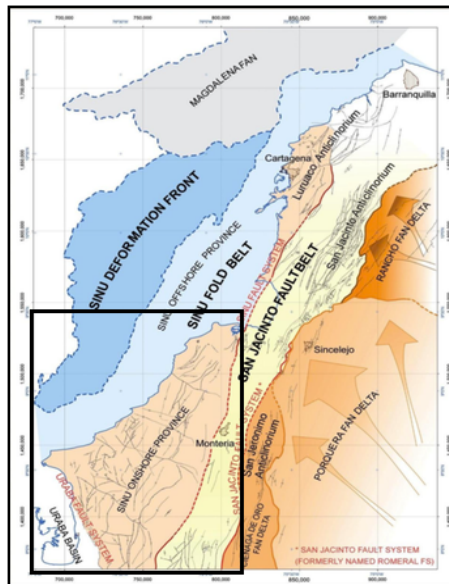


Figura 2. Mapa de provincias geológicas de la Cuenca Sinú. Tomado de Aguilera (2011)

campo SSSJ, ubicado en el municipio de San Pelayo, departamento de Córdoba. Este se encuentra localizado al sureste de la plancha 50 Puerto Escondido, en el flanco oriental del sinclinal El Pantano, entre la falla de Mangle al N, la falla del Ébano al S, la falla Caballo blanco al W y la falla Cucharal al E.

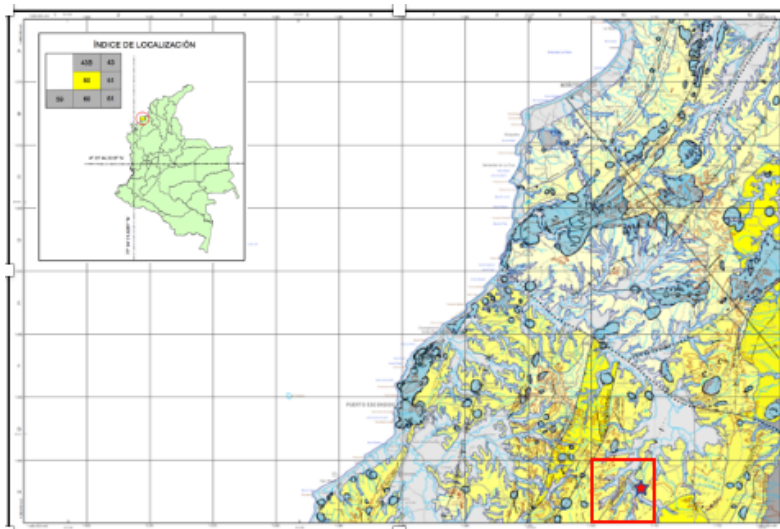


Figura 3. Localización del pozo P-28 Finca Villa Hermosa en la Plancha 50 Puerto escondido. La estrella roja representa el pozo. Tomada del Servicio Geologico Colombiano.

- Coordenadas geográficas en grados decimales: Latitud: **8,967,634** - Longitud: **-76,071,344**
- Coordenadas bajo el sistema WGS84: **N 08° 58' 3.482''** - **O 76° 4' 16.838''**

2.2 Sedimentología

La sedimentología es el registro de la historia de la tierra, confinado en las rocas sedimentarias, que remonta casi a cuatro mil millones de años. Según Boggs (2006), se define como el estudio científico de la clasificación, el origen y la interpretación de los sedimentos y rocas litificadas, ocupándose de las propiedades físicas (textura, estructuras, mineralogía), químicas y biológicas (fósiles).

2.2.1 Tamaño de grano

Corresponde a un atributo fundamental de las propiedades descriptivas con mayor relevancia de los granos, de carácter cuantitativo, que se pueden determinar en las rocas sedimentarias terrígenas. En un depósito los tamaños de las partículas evidencian las diferentes formas y tamaños que reflejan los procesos de erosión y transporte, energía del medio al que han sido expuestas y distancia de la fuente de origen (Boggs, 2006). Las partículas que componen las rocas terrígenas presentan un rango de tamaño de grano, que varía desde la fracción 0,06 micrones de las partículas arcilla, hasta algunos metros de los conglomerados. Las dimensiones correspondientes a los lodos, únicamente se pueden visualizar por medio de un microscopio, a causa de su diminuto tamaño.

Los geólogos a causa de la necesidad de establecer unos parámetros generales que describieran las dimensiones de las partículas, crearon la primera escala propuesta por Udden (1898), modificada y extendida por Wentworth (1992). En la escala geométrica, cada valor definido en la escala es dos veces mayor que el valor anterior o la mitad de grande,

dependiendo el sentido de la dirección en la tabla. Esta presenta una división mayor en cuatro categorías principales, donde encontramos la arcilla, limo, arena y grava, que se pueden subdividir en clases de menor jerarquía (Boggs, 2006).

Milímetros	Micrones	Clase de tamaño Wentworth	Clase Mayor	Litificado el sedimento
4096		Cantos	GRAVA	CONGLOMERADO
1024				
256				
64		Gujarros		
16				
4		Guljas		
3,36		Gránulos		
2,83				
2,38				
2				
1,68		Upper Arena	ARENA	ARENISCA
1,41				
1,19				
1	1	Muy Gruesa		
0,84		Lower		
0,71		Upper Arena		
0,59				
1/2	0,5	Gruesa		
	0,42	Lower		
	0,35	420		
	0,3	350		
	0,3	300		
1/4	0,25	250		
	0,21	210		
	0,177	177	LODO	LODOLITA
	0,149	149		
1/8	0,125	125		
	0,105	105		
	0,088	88		
	0,074	74		
1/16	0,0625	62,5		
	0,053	53		
	0,044	44		
	0,037	37		
1/32	0,031	31		
1/34	0,0156	15,6		
1/128	0,0078	7,8		
1/256	0,0039	3,9		
	0,002	2		
	0,00098	0,98		
	0,00049	0,49		
	0,00012	0,12		
	0,00006	0,06		
		Arcillas		

Figura 4. Udden - Wentworth clasificación de tamaño de grano de sedimentos terrígenos. Tomado de Wentworth (1922).

2.2.2 Calibrado o selección de las partículas

Esta propiedad describe la variabilidad del rango del tamaño de los granos predominantes la magnitud o dispersión de la extensión alrededor del tamaño medio presente en la roca. Según Boggs (1987), la selección refleja el nivel de energía dominante en el medio y la capacidad para seleccionar los tamaños de las partículas que se transportan, para su posterior deposición. En la figura 6, se puede observar que las rocas que presenten una clase granulométrica bien definida, se denominan muy bien seleccionadas, mientras que, si las partículas constituyentes presentan gran diversidad de tamaños, se dice que es mal seleccionada. La clasificación de una muestra en el campo o laboratorio, se puede realizar por el procedimiento de estimación visual, basado en la figura 5, mediante el uso de una lupa manual o un microscopio (Boggs, 2006).

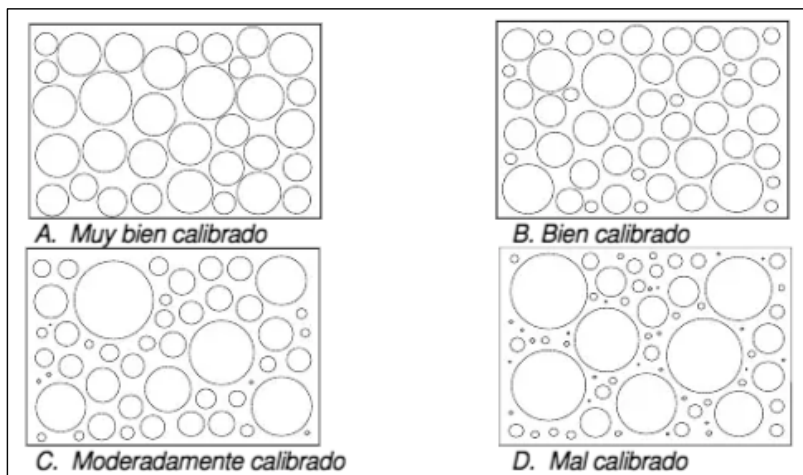


Figura 5. Imágenes de calibrado de las partículas (Pettijohn). Modificado de Boggs, Jr. (1987).

2.2.3 Esfericidad y redondeamiento

Según Wadell (1932), quien fue el primero en introducir este término, la esfericidad es la tendencia de una partícula a tener la forma de una esfera, y refleja las variaciones en las proporciones de las longitudes relativas entre los diámetros perpendiculares presentes en el sedimento: largo, intermedio y corto. En los casos particulares en los cuales los tres diámetros perpendiculares son iguales, es cuando se presenta el mayor grado en el cual se aproxima a una esfera, mientras que, si los ejes difieren en su longitud, la partícula presenta bajo grado de esfericidad. Esta se puede establecer por medio un proceso de medición directa de los tres ejes presentes, o por comparación con las imágenes de esfericidad en la figura 6 (Boggs, 2006).

La redondez se define como el grado de nitidez de las esquinas y los bordes o aristas de un grano. En caso de que las esquinas o los bordes sean lisos, se determina como un grano bien redondeado, mientras que, si son afilados y angulares, se dice que está mal redondeado. Esta se puede establecer bajo un proceso de comparación respecto a una imagen con una escala visual de redondez (figura 6) (Boggs, 2006).

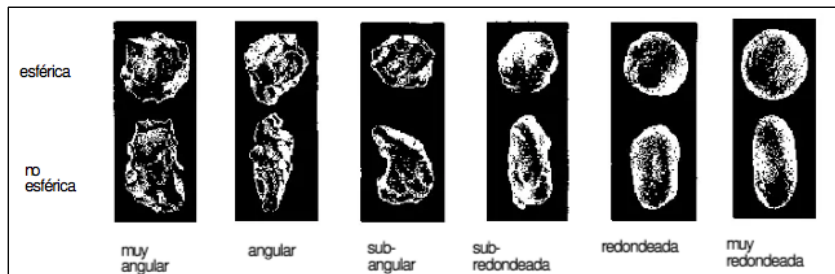


Figura 6. Términos de grado de redondeamiento y esfericidad de las partículas según Powers 1953, en Comptón 1962.

2.2.4 Contacto entre las partículas

Esta propiedad indica el grado de esfuerzo o enterramiento al que se ha sometido una roca. A medida que aumenta la compresión, los contactos van pasando sucesivamente de puntuales a cóncavo – convexos y saturados. Basado en esta característica de las partículas, podemos determinar su historia o ambiente de deposición. En la figura 7 se pueden identificar los tipos de contactos: flotante, puntual, longitudinal, cóncavo convexo o suturado (Boggs, 2006).

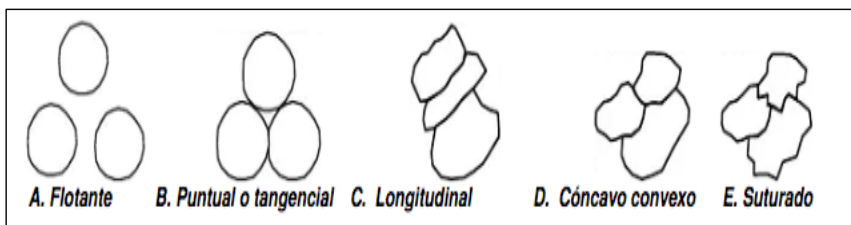


Figura 7. Tipos de contactos entre partículas en los sedimentos y en las rocas sedimentarias (Boggs, 2006).

2.3 Fabrica de las rocas sedimentarias

2.3.1 Armazón

El armazón corresponde a los materiales constituyentes de la roca, que funcionan como soporte, y generalmente representan las partículas de mayor tamaño. Este determina si la roca presenta fabrica: grano soportada (areno soportada, gravo soportada o arena gravo soportada), lodo soportada, intermedia o biosoportada si presenta restos de fragmentos esqueléticos (Cruz et al., 2007).

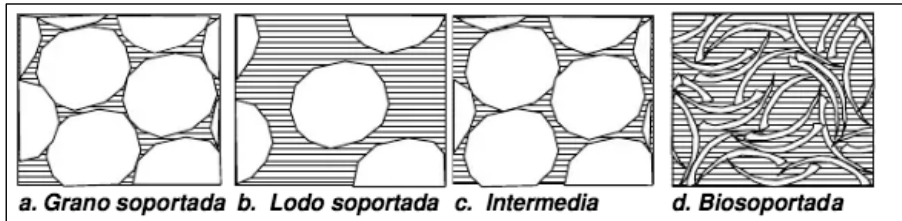


Figura 8. Tipos de fábrica presentes en los sedimentos y en las rocas sedimentarias. Tomado de (Cruz, Álvarez, & Caballero, 2007).

2.3.2 Matriz

La matriz representan el material de menor tamaño, que se apila en los intersticios dejados por el armazón, excluyéndose en esta consideración las rocas que están compuestas predominantemente de lodo. Esta presenta una división en la que puede ser combinada en tres formas: lodosa (común en areniscas y conglomerados de gránulos y guijos), areno lodosa (generalmente en conglomerados de gránulos y guijos), y gravo areno lodosa (conglomerados con cantos de gran tamaño).

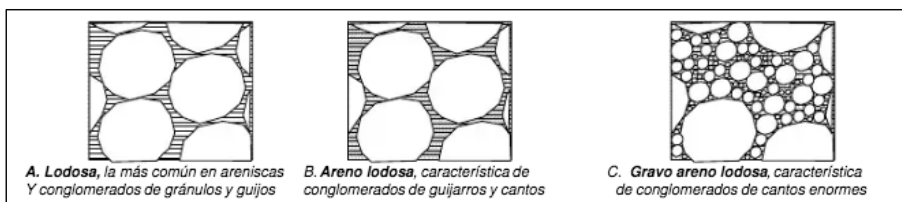


Figura 9. Tipos de matriz presentes en los sedimentos y en las rocas sedimentarias. (Cruz et al., 2007).

2.3.4 Cemento

El cemento es el material precipitado químicamente en los intersticios dejados por el armazón, se caracteriza por ser de tipo cristalino y ejercer una fuerte unión entre las partículas, evitando que estas se separen con facilidad (Cruz et al., 2007). Este puede ser de tipo calcáreo, compuesto por calcita, mientras que el otro presenta un brillo vítreo.

2.3.5 Porosidad

Los poros son los espacios vacíos que se encuentran en la roca y la porosidad es la relación entre los poros vs el volumen total de la muestra. De acuerdo al origen de los poros y la porosidad, estos se pueden clasificar en porosidad primaria o secundaria. La porosidad primaria es aquella que se forma en el mismo momento de la deposición de los sedimentos, mientras que la secundaria, es la que ocurre durante los procesos posteriores a la deposición (Cruz et al., 2007).

2.4 Estratigrafía

La raíz etimológica de este término, introducido por d'Orbigny, proviene del latín *stratum* y del griego *graphia*. Esta se define, como la rama de la geología que trata del estudio, interpretación, identificación, descripción, clasificación, relaciones cronológicas, distribución, composición litológica, contenido fósil, propiedades geoquímicas y geofísicas, es decir todas las características de las rocas como estratos, y además de la interpretación de su ambiente de formación o modo de origen y de su historia geológica (Vera, 1994). Algunas de sus aplicaciones principales son, el estudio de la reconstrucción tectónica de placas, movimientos terrestres y

marítimos de las costas oceánicas, aumento y caída del nivel del mar con relación al tiempo, sismología y paleomagnetismo (Boggs, 2006).

2.4.1 Estrato

Termino introducido por Steno en el siglo XVII, el que denomina a una capa de roca limitada por superficies horizontales con continuidad lateral, que equivale a una unidad de tiempo de depósito. Este presenta dos enfoques, el geométrico según Campbell (1967) definido “como un nivel de roca o sedimento más o menos distinguible de forma visual o física, separado de los niveles superiores e inferiores por superficies denominadas superficies de estratificación”, y por otro lado el genético según Otto (1983) definido “como una unidad de sedimentación que se ha depositado esencialmente bajo condiciones físicas constantes”.

2.4.2 Facies

La palabra facies, que etimológicamente proviene del latín *facia*, alude al aspecto general de las rocas. Desde el siglo XVIII, donde se realizaron algunas de las primeras descripciones o estudios de rocas sedimentarias, ya se observaba que estas presentaban propiedades tales como geometría, composición litológica y contenido fósiles, lo que permitía agruparlas en grupos de características semejantes. Este término, fue introducido en la nomenclatura geológica por Gressly en (1938), definiéndola como el conjunto de características litológicas y faunísticas de una unidad estratigráfica, lo que permite distinguirla de las adyacentes. El concepto ha sido generador de numerosas discusiones, introduciéndose cierto grado de confusión, ya que no especifica las

características algunas características que engloban el significado (Vera, 1994). Por otro lado, Selley (1970), la definió como el conjunto de rocas sedimentarias que puede ser definido y separado de otros, por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, distribución de paleo corrientes y contenido fósil.

Eliminado: lado

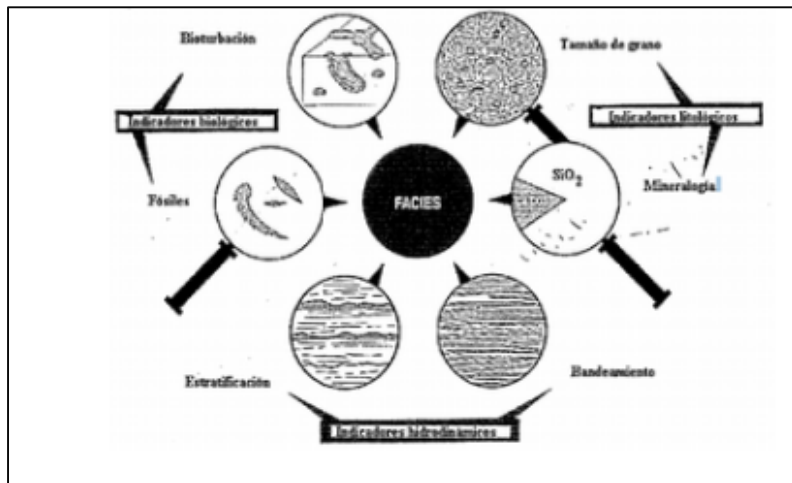


Figura 10. Características principales de los constituyentes de una facies.

La determinación de facies está basada en la combinación de observaciones descritas en campo y la descripción en laboratorio de las muestras recolectadas. Es necesario utilizar ambos datos, ya que en campo podemos observar características diferentes, a cuando estamos describiendo la muestra de mano. Las facies presentan una subdivisión, dependiendo de su escala de observación (micro facies) o de sus propiedades (litofacies, biofacies y tectofacies).

- **Litofacies.** Termino restringido únicamente para aludir a las características comunes de la composición litológicas de un conjunto de estratos en una unidad estratigráfica específica, y para las condiciones fisicoquímicas, presentes durante el depósito, dentro de una región dada (Vera, 1994).
- **Biofacies.** Termino complementario que hace referencia a los aspectos paleontológicos y a las condiciones biológicas dominantes durante el depósito (Vera, 1994). Según Walker (2006), hace alusión al termino como los materiales caracterizados por los restos de distintos organismos, diferenciados de los adyacentes, que aportan datos para llegar al medio sedimentario en el cual se depositó.
- **Tectofacies.** Termino definido por Krumbein & Sloss (1951) como, el aspecto tectónico lateralmente variable de una unidad estratigráfica.
- **Micro facies.** Termino introducido en la geología, por el área petrolero, el cual denomina al conjunto de características litológicas y paleontológicas que se pueden observar en un microscopio en lamina delgada, y a las condiciones que controlan su depósito (Vera, 1994). Estas presentan gran importancia, gracias a la posibilidad para comparar materiales atravesados en un sondeo y los que afloran en superficie, facilitando el reconocimiento de elementos tales como: pellets, o microfósiles.

2.4.3 Asociación de facies

La asociación de facies se caracteriza por ser la herramienta fundamental para la caracterización de ambientes de formación de las rocas, es decir que se define como la distribución ordenada de varias facies elementales o individuales, que presentan una génesis común y se interpretan como producto de un medio (Vera, 1994). Esta agrupación de facies, debe de cumplir con dos condiciones elementales, la primera es que las facies que la componen se presenten juntas, y la segunda que estén genéticamente relacionadas entre sí o que se hallan depositado en un mismo ambiente de formación (Vera, 1994). Cuando hablamos de la descripción de una secuencia estratigráfica detallada, las agrupaciones de facies se reconocen por de su expresión vertical, la que consiste en un conjunto conformado por la superposición vertical de dos o más facies que se repiten periódicamente.

3. Marco Geológico

El margen noroccidental Colombiano, se desarrolló a partir de una historia que involucra: depósitos de sedimentos pelágicos y hemipelágictos en ambientes marinos profundos; enterramiento profundo de los depósitos anteriores bajo turbiditas; deformación provocada por intrusiones diapíricas de depósitos pelágicos dentro de las turbiditas, que causo el desarrollo de estructuras anticlinales estrechas y pendientes, y sinclinales amplios; otro evento de enterramiento posterior, bajo los nuevos sedimentos del margen continental, que son depositados en ambientes someros como resultado del levantamiento; emergencia parcial de los depósitos fluviales y lacustres en cuencas activas (Duque-Caro, 1984).

Visto desde un enfoque estructural la cuña de acreción del Sinú – San Jacinto, se extiende a lo largo del margen Caribe, desde el Urabá hasta Venezuela. Las áreas externas del [prisma](#) se localizan al oeste e involucran las rocas más jóvenes representadas por el cinturón del Sinú, por otro lado su parte interna está compuesta por rocas de edades más antiguas, donde hacia el este están expuestos los estratos Cretácicos y Paleoceno (deformados) del cinturón de San Jacinto (Flinch, 2003).

El cinturón del Sinú, abarca un área de más de 500 km de longitud y hasta 130 km de ancho, en su extremidad meridional mantiene un tren estructural paralelo al cinturón de San Jacinto, mientras que en el área de Cartagena – Barranquilla voltea hacia el noreste siguiendo la línea de costa (Duque-Caro, 1980). Su registro estratigráfico comprende edades desde el Oligoceno-Mioceno medio para los depósitos marinos profundos, y Plioceno tardío - Holoceno para depósitos marinos profundos. Las facies litológicas del área se clasifican de acuerdo a su ambiente de depositación: depósitos marinos profundos (pelágicas, hemipelágicas y turbiditas), depósitos marinos someros (sedimentos marinos terrígenos y hemipelágicas), y por último depósitos terrestres (sedimentos fluviales y lacustres) (Duque-Caro, 1984). Los procesos diapíricos registrados en durante el Plioceno sobre el flanco oeste del fallamiento del Sinú, son el resultado del gran aporte de material durante el evento de la orogenia hacia la cuenca Caribe Colombiana, durante un periodo relativamente corto (Reyes et al., 2004).

Según Barrero et al (2007), esta cuenca se dividió en dos sectores, una al oeste correspondiente a la zona del offshore, y al este el área continental correspondiente al

Eliminado: prima

onshore. Los límites son: la falla de Oca al noreste, el frente de deformación del Caribe sur al noroeste, la actual línea de costa al suroeste, y el sistema de fallas de Uramita al suroeste. Mientras que los límites del costa adentro son: la actual línea de costa al noroeste, el sistema de fallas de Romeral al este, las rocas volcánicas y cretáceas de la Cordillera Occidental al sur, y el sistema de fallas de Uramita al suroccidente.

3.1 Evolución Geológica

La cuña es representada por los sedimentos del cinturón del Sinú, correspondientes al resultado de periodos de acrecimiento progresivos, eventos de deformación y emergencia durante las fases del Cenozoico inferior pre-Andina, y Cenozoico superior Andina, de la orogenia andina (Duque-Caro, 1979). En su etapa inicial como suelo oceánico profundo, y al pasar millones de años y procesos tectono-sedimentarios ocurridos en el área, se terminó transformando a una cuña sedimentaria de aguas someras (Duque-Caro, 1984).

3.1.1 Cretácico tardío – Paleoceno (89. 8 – 66 M.a) (Cansoniense Temprano)

La subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana generó un arco volcánico como resultado de esta interacción, en Colombia es correspondiente a las primeras fases de desarrollo de la Cordillera Central, cuya sutura se representa por el sistema de fallas de Romeral (Reyes et al., 2004). La paleogeografía regional en este intervalo de tiempo, estaba separada en dos provincias geológicas (Figura 11), al oriente del surco de Romeral se hallaban las áreas de afinidad oceánica supra yacente por turbiditas y sedimentos pelágicos y sedimentación marina

profunda, mientras que al occidente las áreas de afinidad continental, como la plataforma, la cordillera Central y la Sierra de Santa Marta, las que estaban sujetas a erosión. El surco de romeral limitaba el área emergida al este, extendiéndose desde la costa noroccidental hasta el escudo de Guayaquil, siempre paralelo al margen occidental de la Cordillera Central. En la zona sumergida al este, la sedimentación pelágica con abundante micro fauna planctónica, y de turbiditas constituidas por secuencias de arcillas, arenas y conglomerados de aportes terrígeno, que en el área de Tukurá superaban los 2.000m de espesor, y supra yacente una formación de cherts correspondientes al horizonte sísmico B (Duque-Caro, 1980).

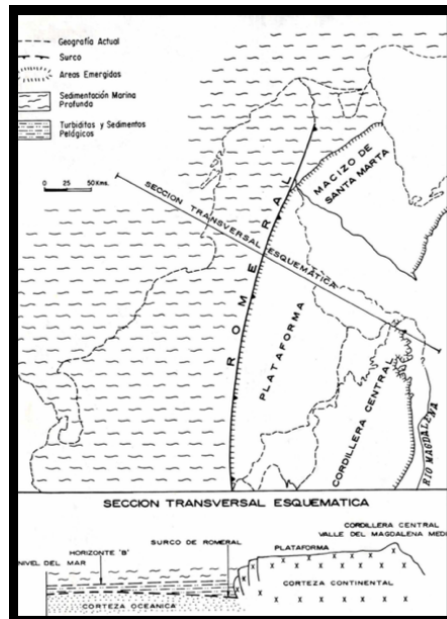


Figura 11. Mapa paleo geográfico del Cretácico Tardío - Paleoceno. Tomado de Duque – Caro (1980).

3.1.2 Paleoceno – Eoceno Medio (66 – 45 M.a) (Cansoniense medio-tardío).

En el comienzo del Paleógeno la placa Caribe se abre espacio entre las placas Suramericana y Norteamericana, acumulándose sobre la fosa de subducción grandes espesores de sedimentos (Reyes et al., 2004). El surco de romeral sufrió un hundimiento pronunciado, a causa de los esfuerzos compresivos normales al margen de la plataforma, reflejándose en un ambiente marino con profundidades de aguas superiores a los 4.000m.s.n.m (Duque-Caro, 1972, 1975). Las áreas al oriente de la sutura continuaron emergidas, mientras que al occidente de la falla de Bolívar se depositaron los sedimentos silíceos, que caracterizan el horizonte A, en las áreas de San Antero y San Onofre. Se desarrolló un volcanismo marginal a la plataforma, generando una serie de conos volcánicos submarinos, correspondientes a la fase inicial del levantamiento del cinturón de San Jacinto (Duque-Caro, 1980).

3.1.3 Eoceno Medio (Orogenia Pre Andina) 45 M.A

Durante la orogenia Pre Andina, los esfuerzos compresivos laterales alcanzaron un pico, teniendo como resultado el plutonismo tonalítico de Chalan, junto con un metamorfismo de bajo grado a lo largo de la zona Romeral (Van Der Hammen, 1958; Irving, 1971). También se produjo el primer evento de levantamiento relevante en el cinturón de San Jacinto, alcanzando alturas de los 5.000 m.s.n.m, según los cálculos de profundidad de compensación del carbonato de calcio (Duque-Caro, 1972, 1973), dejando emergidas las áreas de San Antero, San Onofre y la Cordillera Occidental (Figura 12).

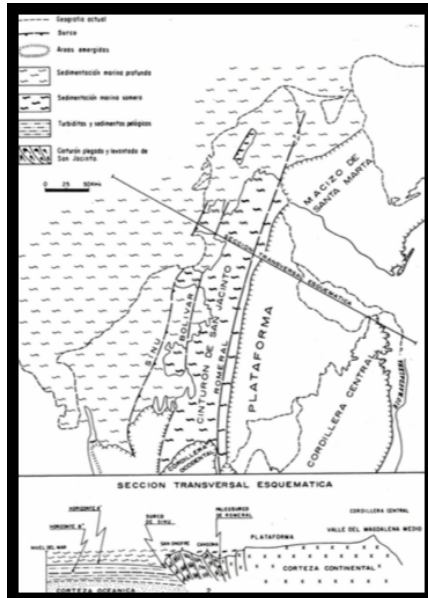


Figura 12. Mapa paleo geográfico del noroccidente colombiano inmediatamente después de la orogenia pre andina. Tomado de Duque – Caro (1980).

3.1.4 Eoceno Tardío – Oligoceno (41.2 – 33.9 M.a) (Carmeniense Temprano)

En este intervalo de tiempo, dado que como consecuencia del evento de diastrofismo inmediatamente anterior, la geografía regional queda moldeada, de manera que el mar comienza el proceso de transgresión marina, desde el norte y occidente a la cuenca de San Jorge. La invasión del mar dio inicio desde el noroccidente con sedimentación de facies de carbonatos en el norte, con conglomerados, areniscas y shales, lo mismo que calizas arrénciales, cambiando en el sur a facies deltaicas en el área de ciénaga de oro. Por otro lado, al oriente se dio inicio a un nuevo ciclo sedimentario denominado el Carmeniense, generado por

3.1.5 Diastrofismo Oligoceno – Mioceno (33.9 – 32.3 M.a).

Denominada de esta manera según Stainforth (1968) y corresponde a la fase proto Andina de Van Der Hammen (1958), se caracteriza por presentar otro aumento en los esfuerzos compresivos existentes sobre los márgenes de plataforma, generando un basculamiento hacia el occidente de la plataforma y un nuevo levantamiento del cinturón de San Jacinto. Las consecuencias del basculamiento fueron cambios bruscos en la paleobatimetría con profundización de la cénca, y asociada con una transgresión que cubrió por completo el área de la plataforma (Duque-Caro, 1975).

3.1.6 Mioceno Temprano a Medio (32.3 – 15.97 M.a) (Carmeniense Medio)

Durante este período, se inició un nuevo ciclo sedimentario denominado el Carmeniense medio, en la cuenca de San Jorge. La trasgresión continuó hacia el sur, hasta las estribaciones septentrionales de la cordillera Occidental, y hacia el oriente sobre los altos del Cicuco y el Difícil. La sedimentación consistió en secuencias de facies de carbonatos, similares a la iniciada en el Eoceno Tardío (Figura 14).

Al occidente del surco del Sinú continuo la sedimentación pelágica característica del Eoceno tardío – Oligoceno (Carmeniense Temprano), mientras que la paleografía del flanco occidental del cinturón del San Jacinto, únicamente la emergencia de las partes sumergidas hasta el Mioceno Temprano (Duque-Caro, 1980).

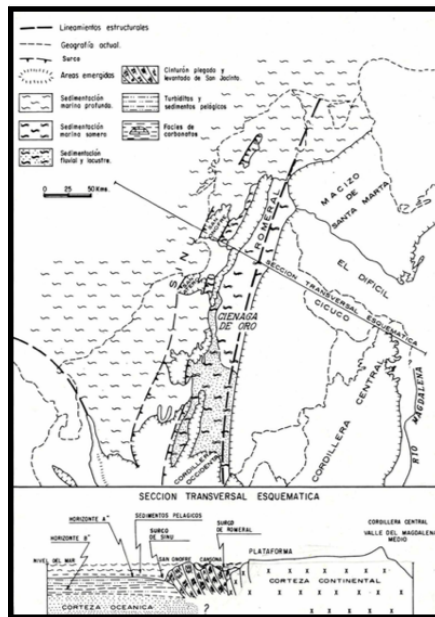


Figura 14. Mapa paleo geográfico de Colombia durante el Mioceno Temprano – Mioceno medio. Período Carmeniense medio. Tomado de Duque – Caro (1980).

3.1.7 Mioceno Tardío – Plioceno (15.97 – 5.333 M.a) (Carmeniense Tardío)

Este intervalo se caracteriza por presentar una mayor estabilidad tectónica en la región noroccidental Colombiana, a causa del incremento en los esfuerzos compresivos laterales, dejando como consecuencia la separación relativa de la sierra de Santa Marta de la Cordillera Central a lo largo de la falla de San Jorge, y la formación de la depresión tectónica de Sucre y la geo fractura de Plato. El río Magdalena, cambio de curso hacia el noreste, en la cuenca de Maracaibo, dirigiendo sus aguas a la geo fractura de plato y la depresión de Sucre, que a partir de ese momento empezaron a comportarse como cañones submarinos. La sedimentación presentaba derrumbes y deslizamientos, de alta energía, con gran aporte sedimentario incrementado por el levantamiento de las áreas adyacentes (Figura 15).

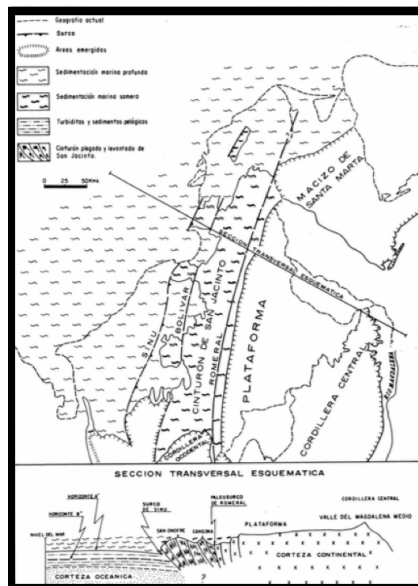


Figura 15. Mapa paleogeográfico del noroccidente de Colombia durante el Mioceno Tardío - Plioceno. Período Carmeniense Tardío. Tomado de Duque - Caro (1980).

3.1.8 Orogenia Andina (5.333 – 2.58 M.a) (Plioceno - Pleistoceno)

El evento de orogenia Andina, se extendió hasta el noroccidente Colombiano, a causa de los esfuerzos compresivos laterales sobre la plataforma, que controlan la evolución tectónica y sedimentaria del Caribe Colombiano (Figura 16). Estos esfuerzos dieron como resultado el levantamiento, plegamiento y fallas normales al esfuerzo principal, además de una tectónica varia conformada por: fallas transcurrentes y flexiones paralelas a los trenes estructurales mayores, generada por el progreso de crecimiento continental sobre los márgenes que bordean la cuenca Colombia, desarrollando una reducción de espacio en la zona que se produjeron los esfuerzos, causando variaciones en las fases diastrofias anteriores. Esta etapa se caracteriza por presentar volcanismo y plutonismo de lodo dentro de la pila de sedimentos del cinturón del Sinú, levantándolo y deformándolo, causando un cambio drástico en la batimetría (Duque-Caro, 1975), y la formación del surco Colombia a lo largo del margen occidental (nuevo proceso de migración de surco al occidente del surco original Romeral), además de estrechamiento y flexión estructural del Sinú en su zona media, y también el levantamiento y plegamiento completos del San Jacinto.

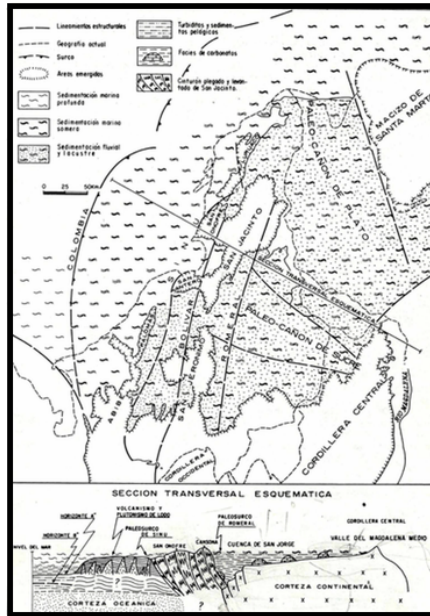


Figura 16. Mapa paleo geográfico del noroccidente de Colombia inmediatamente después de la Orogenia Andina (Plioceno - Pleistoceno). Tomado de Duque - Caro (1980).

3.1.9 Pleistoceno - Holoceno (2.58 – 0.0117 M.a) (Tubariense)

Según Duque-Caro (1972, 1975) se da inicio al ciclo sedimentario de Tubara, compuesto por una secuencia de sedimentación marina en las porciones sumergidas del cinturón del Sinú, que está conformada por facies de carbonatos, arenas, calizas de arrecife, shales y algunos pocos conglomerados, depositados en ambientes neríticos hasta de 200 de profundidad. De manera análoga, en la cuenca de San Jorge imperaba una sedimentación fluvial y deltaica a lo largo de los canales remanentes del río, abandonados por los paleo cañones de Plato y Sucre,

alcanzando espesores de hasta 4.000m en el paleocanal del Sucre. Las zonas adyacentes a los drenajes mayores presentaron características de sedimentación lacustre.

El cinturón del Sinú continuo con su levantamiento, a causa de la compresión lateral y de la alta presión almacenada dentro del cinturón (shales de alta presión), generando así la actividad del fenómeno de volcanismo y plutonismo de lodo. Las islas generadas por las continuas erupciones volcánicas explosivas a lo largo del cinturón, están recubiertas por facies de carbonatos hacia sus flancos (Duque-Caro, 1980).

3.2 Unidades Litoestratigráficas (Estratigráfica)

La estratigrafía de la cuenca Sinú onshore, está fuertemente influenciada por la evolución tectónica del margen activo (Duque-Caro, 1979), este prisma de acreción se caracteriza por presentar principalmente secuencias de materiales imbricados del Eoceno y Oligoceno, que están superpuestos por cuencas piggyback del Mioceno (Flinch, 2003). La secuencia sedimentaria está conformada en su mayoría por turbiditas monótonas de sedimentos finos (Mioceno tardío-Plioceno), que alcanzan los 5.000 m de espesor, y según análisis paleo batimétricos de foraminíferos corresponden a ambientes acuáticos entre 1.000 y 2.000 m de profundidad (Duque-Caro, 1975). Sobre esta secuencia, encontramos facies carbonatadas del Pleistoceno-Holoceno, compuestas por shales, calizas de arrecife, areniscas y conglomerados, de ambientes poco profundos con 1.000 m de espesor. Las lutitas sufren un efecto de sobrepresión que es causado por la sobrecarga, en efecto la sobrepresión se libera a lo largo de fallas o fracturas, que cortan las unidades de sobre empuje. Estas contienen bloques de unidades aloctonas consolidadas se

elevan a lo largo de zonas frágiles como diapiros de lutitas, y el escape de agua, petróleo y gas construyen los volcanes de lodo de la superficie (Laverde et al, 1986).

3.2.1. Formación Chert de Candelaria (E_{2c}).

La unidad está constituida por litologías silíceas, esencialmente porcelanitas que varían a limolitas y arcillolitas, las que en algunos lugares se observan inter estratificadas con lutitas de tonos azulosos a gris verdoso claro; con laminación paralela; fractura nodular y dispuesta en láminas a capas medianas. Las rocas silíceas presentan un color blanco amarillento, con desarrollo de patinas de óxidos amarillos rojizos, dispuestas en capas delgadas a gruesas, donde se observan algunos fragmentos de chert gris, negro, pardo, verde. Su espesor puede variar en una decenas de metros, puesto que en dos canteras de exposición se observan entre 50-30m; en la cantera Nuevo Holanda se observa un posible contacto estratigráfico con rocas de la unidad Manantial; su contenido fosilífero presenta Radiolarios y algunos foraminíferos, mal preservados, de la zona *Podocytris ampla* característica del Eoceno Medio, por lo que su edad se presume corresponde al Eoceno inferior alto al Eoceno medio; su ambiente de deposición presenta profundidades batiales a neríticas externas, de baja energía, con aporte de cenizas volcánicas (Geotec, 2003).

3.2.2 Formación La Risa o pre Manantial (E_{2lr}).

La unidad presenta una división en A y B, donde la subunidad A esta constituida por una secuencia correspondiente a un 75-85% de margas intercaladas con calizas de tipo

bioesparítico, en sectores muy bioturbados (ostras, equinodermos y remanentes de algas), en capas delgadas a gruesas en contactos gradacionales o netos ondulados, localmente arenosas o conglomeradas en un 20% y lutitas de color gris verdoso o gris amarillento, presentadas en láminas gruesas a capas delgadas, representan el 5% restante; su edad basada en el estudio de nannoplankton fue establecida para el Eoceno medio-Eoceno tardío, mientras que la subunidad B presenta calizas blancas, gris amarillenta a gris oliva, de estratificación maciza, porosidad nula, compuesta por fósiles (nummulites, orbitoides, foraminíferos, ostras y equinodermos en posición de vida, corales solitarios, briozoos y restos fosfáticos) y fragmentos de algas (biolíticos y oncolitos), localmente con gran abundancia de *thalassinoides*; varían en la horizontal como en la vertical gradualmente a calizas terrígenas, arenitas calcáreas fosilíferas y arenitas escasamente fosilíferas; de edad probable Eoceno medio a tardío, datadas con referencia a *Nummulites*, *pellets de glauconita* o *fosfatos*, *Acarinina* cf. *Pentacamerata* y *Cibicoides* sp. Su ambiente es característico de plataforma lodoso calcárea, con energía medio a baja, permitiendo precipitación química y actividad orgánica, posiblemente la zona externa de un arrecife para la subunidad A y un ambiente de plataforma muy somera de cinturón de arrecife para la subunidad B (Geotec, 2003).

3.2.3 Formación Resbalosa o Manantial (E_{2r}).

Se presenta formando parte de estructuras con forma de domos, a manera de cordoncillos o grandes bloques alóctonos. Está compuesta por una secuencia grano decreciente, que hacia la base incluye conglomerados arenosos de color naranja y gris a blanco; areniscas conglomeráticas color amarillo grisáceo; areniscas finas a gruesas, en capas medianas a muy gruesas hasta lutitas

color gris amarillento verdoso con abundante bioturbación (70%), conformada por madrigueras de formas tabulares, oblicuas a la estratificación y otras similares a *ophiomorfa* (Guzmán, Gómez, & Serrano, 2004). Según Haffer & Beattie (1959) esta unidad corresponde al Eoceno superior-Oligoceno temprano, representada por un depósito cercano a la línea de costa, relacionado con una posible transgresión.

3.2.4 Formación Maralú (E₂E₃ma)

Esta unidad está dividida en dos sub unidades A y B, en donde la subunidad A corresponde a margas de color blanco a blanco amarillento, generalmente blandas por la meteorización con abundantes foraminíferos, en algunas zonas intercaladas con arenitas líticas con capas delgadas, de grano fino a muy fino; su edad corresponde al Eoceno tardío-Mioceno temprano, y la subunidad B está compuesta por una secuencia de lutitas de color gris claro a blanco amarillento en muestras meteorizadas y gris medio a gris verdoso claro en muestras frescas, localmente son ligeramente limosas o carbonosas, con fractura nodular o irregular; su edad corresponde al Eoceno superior-Mioceno inferior. Su ambiente de depositario son medios marinos tranquilos y someros, posiblemente en una plataforma subsidente, con sedimentación química al oeste, localmente contaminada de vulcanismo submarino, al este esencialmente de tipo terrígeno (Geotec, 2003).

3.2.5 Formaciones Pavo Inferior (N₁pi) y Pavo Superior (N₁ps).

Según GEOTEC (1997), esta unidad se divide en un miembro superior lutítico (B) y inferior arenoso (A). Su ambiente de depositario corresponde a un episodio deltaico de facies finas y depósitos de un delta activamente progradante. La parte central se depositó durante el Mioceno temprano-medio, mientras que la zona inferior lo hizo en el Mioceno superior-Plioceno inferior hacia el oeste; se estima que su espesor total alcanza los 4.000m (Geotec, 2003).

- **Superior (B).** Compuesta por una secuencia predominantemente lutítica (70-80%) de tonos marrón claro, donde son frecuentes algunos niveles arenosos, que se caracterizan por la presencia del yeso y Jarosita en las fracturas de rocas o en planos de estratificación. La edad de deposición presuntamente corresponde al Mioceno temprano-medio en la parte central y Mioceno superior-Plioceno inferior hacia el oeste; se estima que su espesor total alcanza los 4.000m, y su ambiente de deposición corresponde a un episodio deltaico de facies finas y depósitos de un delta activamente progradante (Geotec, 2003).
- **Inferior (A).** Constituida por arenitas líticas a sublíticas de tonos gris azulosas a gris medio, de grano medio, cemento calcáreo y selección moderada, inter estratificada con capas delgadas a medianas de lutitas (30-40%), que varían en la base 70-30% y al techo 50-50%, respectivamente. Las arenitas aumentan de tamaño de grano y conforman lentejones de conglomerados arenosos de guijos, donde se observa estratificación cruzadas de pequeña a gran escala, laminación ondulosa discontinua de escamas de carbón o asfalto, acanalamiento, turboglifos; además de bioturbación e icnofosiles de variadas formas y abundancia (Geotec, 2003).

3.2.6 Formación Campano (N1ca).

Está compuesta por una serie de secuencia grano decrecientes de arenitas de color rojo a pardos amarillentos en muestra meteorizada, gris amarillento o anaranjado rojizo en muestra fresca, intercalados con lutitas de iguales tonos o verdes olivas. La disposición de capas medianas-gruesas de arenitas, característica de una secuencia grano decreciente, se encuentra en la sección tipo, donde hacia la base, en algunos sectores llega a ser guijosa, y decrecen a grano fino y capas delgadas de lutitas. Frecuentemente se observan concreciones calcáreas de hasta 70 cm de diámetro, ocasionalmente dientes de peces y fragmentos de foraminíferos. Su espesor supera los 300m, a pesar de presentarse frecuentemente replegada, y se depositó durante el Mioceno inferior-medio en sistema fluvial con depósitos de barras de canal y depósitos de llanuras de inundación (Geotec, 2003).

3.2.7 Formación Floresanto (N1f).

La formación presenta hacia la base, arenitas grano decrecientes en el espesor de las capas y en tamaño de grano, ligeramente calcáreas, y hacia el techo capas delgadas a muy gruesas de lutitas intercaladas con limolitas calcáreas y arenitas líticas (Guzmán et al., 2004). Según GEOTEC (1997), se compone de lutitas color marrón interestratificadas con limolitas y arenitas líticas calcáreas, de grano fino a medio, con presencia de restos de plantas, carbón y conchas de Bivalvos; se depositó en un ambiente marino batial superior a nerítico durante el Mioceno temprano-superior.

3.2.8. Formaciones Pajuil Inferior (N_{1pai}) y Superior (N_{1pas}).

Según GEOTEC (1997) la formación Pajuil, presenta una subdivisión en inferior y superior, además de un espesor promedio de hasta 2.000m en sectores como Floresanto-Loma verde. Su ambiente de depositario corresponde a un medio marino, con profundidades batiales superiores a neríticas, en una zona de plataforma; su edad corresponde al Mioceno medio para la inferior y Mioceno superior para la superior.

- **Inferior.** Está compuesta por una secuencia de arenitas calcáreas, color oliva grisáceo, intercaladas con lutitas y limolitas grises, con presencia de restos vegetales (Guzmán et al., 2004).
- **Superior.** Está compuesta por una secuencia predominantemente de lutitas, con presencia espontánea de areniscas, restos de plantas y conchas de moluscos (Guzmán et al., 2004).

3.2.9 Formación Moñitos (N_{1mn}).

GEOTEC (1997), divide esta unidad en tres subunidades, A, B y C:

- **Subunidad A.** Constituida por una secuencia lutítica, dispuestas en capas delgadas a muy gruesas con laminación plana paralela, ligeramente rizada o en cuerpos macizos, la que presenta intercalaciones de arenitas y limolitas a calizas terrígenas. Las arenitas presentan capas delgadas a medianas en intercalaciones rítmicas con lutitas o en capas muy gruesas de

aspecto macizo, mientras que las limolitas calcáreas varían gradualmente a micritas terrígenas finos de cuarzo. En la quebrada Trinidad, cerca al pueblo Tragedia alcanza los 1200m de espesor; su edad corresponde al Mioceno medio-superior; depositados en un medio de ambiente tranquilo, más allá de la costa donde desembocan algunos tributarios (Geotec, 2003)

- **Subunidad B.** Cercanías al caserío José Manuel se encuentran conglomerados, arenitas conglomeráticas y limolitas, inter estratificadas con lutitas (Geotec, 2003)
- **Subunidad C.** Compuesta por una sucesión lutítica (80-85%), intercalada con limolitas (10-15%) y arenitas (5 %); su espesor medido en el area del rio Broqueles supera los 800m; su edad basada en nanoplankton corresponde al Mioceno superior; depositada en un episodio regresivo, que finaliza en una marea lodosa (Geotec, 2003).

3.2.10 Formación Morrocroy- El Pantano (N_{1mp}).

Esta formación está constituida por las subunidades A, B, C, y D, que se encuentran bien representadas en el flanco oriental del sinclinal el Pantano. Su ambiente de formación se caracteriza por inicialmente ser un ambiente marino de poca profundidad, baja energía, con condiciones aptas para los organismos, con periódicos retrocesos del mar, formando lagoon, donde se instalaron canales fluviales, y finalizando con un evento deltaico que deposita materiales de sub ambiente delta topset (Geotec, 1997).

- **Subunidad A.** Hacia la base está constituida por una secuencia de arenitas líticas friables a localmente calcáreas que gradan a limolitas, lodolitas y arcillolitas en láminas gruesas, a capas delgadas a medianas. Las arenitas calcáreas son de grano fino a mediano y presentan fósiles bien conservados de bivalvos, gasterópodos, ostrácodos, corales, vertebras de peces y otros. En algunas zonas, la concentración y el tamaño de fósiles a la base de las capas origina conglomerados arenosos fosilíferos que decrecen en tamaño y contenido hacia el techo. En los materiales más finos se observan troncos, hojas bien conservados, y gasterópodos bien preservados. Las concreciones ferruginosas se observan a lo largo del segmento, mientras que estratificación cruzada en artesa se observa al inferior de la secuencia. En la cuchilla, a la base se presenta un conglomerado arenoso constituido por guijos y gujarros, de matriz mediana a muy gruesa, y cemento calcáreo. Esta unidad está compuesta por un 5-10% de conglomerados arenosos fosilíferos, 25-30% de arenitas, 10-15% limolitas y 45-60% de lutitas. Su espesor medido en la quebrada Morrocoy es de 430, y puede alcanzar en total más de 380m. Su edad se basa en asociación de moluscos y pocos foraminíferos, del Mioceno tardío. Plioceno temprano (Geotec, 2003).
- **Subunidad B.** Compuesta por capas delgadas a muy gruesas de arenitas (30-40%) con estratificación gradada normal y cruzada en artesa, color pardo amarillento claro, que se intercalan o gradan a lutitas gris marrón a gris oscuro (60%). Las arenitas líticas son de grano fino a mediano, friables a localmente calcáreas, de contactos netos ondulado a gradaciones, y hacia la base presentan bioturbación de *Skolitos* y restos de plantas, además de algunos moluscos y gasterópodos (Geotec, 2003).

- **Subunidad C.** Compuesta por conglomerados arenosos bioclásticos de color amarillo pardo a gris claro, dispuestos en capas gruesas a muy gruesas, que varían lateralmente y verticalmente a capas medianas hasta muy gruesas de arenitas líticas, de color gris amarillento a pardo amarillento; estas a su vez se inter estratifica con capas delgadas a muy gruesas de limolitas fosilíferas verde oliva a gris amarillento y lutitas gris oscuras a amarillentas (Guzmán et al., 2004). Los conglomerados arenosos bioclásticos consisten en conchas fragmentadas o mal preservadas de gasterópodos, lamelibranquios, ostrácodos, vertebras de peces, guijos de limolita calcárea, embebidos en una matriz arenosa que no supera el 40%, y que varía transicionalmente hasta convertirse en arenitas de grano fino a mediano. Las limolitas fosilíferas presentan bioclastos pequeños, y localmente hacia la base desarrolla un conglomerado arenoso lítico gris amarillento, conformado por guijos y guijarros embebida en una matriz de arena de grano fino a mediano. En esta unidad se observó, estratificación gradada inversa, en menor proporción gradada normal, además de superficie de erosión; su espesor en la cuchilla el limón es mayor a 300m (Geotec, 2003).
- **Subunidad D.** Está conformada por una intercalación de capas delgadas a gruesas de lutitas gris amarillenta a marrón rojizas y capas delgadas a medianas de arenitas líticas de color gris amarillo a claro. Las arenitas son de grano fino, bien seleccionadas, y localmente con moluscos de hasta 2cm de tamaño, bien conservados, y las lutitas presentan restos de vegetales diseminados y moluscos bien conservados (Guzmán et al., 2004).

3.2.11 Formación Arenas Monas (N_{1am}).

Según GEOTEC (2003), esta formación consiste en una secuencia rítmica grano decreciente, que incluyen hacia la base, conglomerados arenosos de guijos (5%) que varían a arenitas conglomeráticas (80%), arenitas y lutitas grises al techo (15%). Los conglomerados presentan guijos hasta de 6cm embebidos en una matriz de arenita de grano medio a grueso, localmente cementados por carbonatos. Las arenitas conglomeráticas son de grano fino a gruesos y guijos pequeños, dispuestos en capas gruesas a muy gruesas, con desarrollo de estratificación cruzada plana; de contactos gradaciones entre arenitas y arenitas conglomeráticas. Las lutitas son de color gris verdoso, generalmente calcáreas y micáceas. Su ambiente de depositario corresponde a depósitos resultantes de una fase tectónica, sedimentado cíclicamente por corrientes de alta energía al inicio, y finalizando con materiales finos de zonas inter distributivas; además de presentar un espesor aproximado de 900m (Guzmán et al., 2004).

3.2.12 Formación Broqueles (N₂b).

Esta unidad lito estratigráfica se divide en tres miembros (A, B y C), gracias a sus variaciones litológicas, en donde el miembro A se le asigna una edad de Plioceno temprano y el miembro B del Plioceno medio-tardío. En todos los miembros se puede observar la presencia de fósiles, como los pelecípodos y gasterópodos tipo *Turritella sp.* Su ambiente de depositario corresponde a marino somero, con buena oxigenación, que permite el desarrollo de canales distributivos o depósitos de tormenta; la parte lutítica pudo depositarse en zonas más alejadas del área fuente, en un medio nerítico externo de baja energía (Geotec, 1997).

- **Miembro limolítico (A).** Predominantemente compuesto por limolitas de color gris azulado medio a gris pardo en muestra fresca, dispuestas en capas que fluctúan entre 30cm-6m, y además desarrolla lentes limolíticos o ferrosos de 30cm, concreciones ferruginosas, calcáreas y capas lenticulares de arenisca muy fina con guijos; con abundante contenido de minerales micáceos. En algunos sectores se observan estructuras de estratificación cruzada, a la que se le superpone la bioturbación, y ocasionalmente grada a arenisca muy fina-limosa; con un espesor aproximado de 1.100m (Geotec, 2003).
- **Miembro lutítico superior (B).** La secuencia consiste en lodolitas que gradan parcialmente a arcillolitas de color gris azulado en muestra fresca y de gris claro a pardo en mezcla meteorizada, de aspecto nodular; con presencia de fragmentos de plantas y baja abundancia de materiales ferruginosos; su espesor aproximado es de 400m (Geotec, 2003).
- **Miembro limolítico-lutítico (C).** Hacia la base presentan un paquete de arenitas a calizas terrígenas fosilíferas intercaladas con arenitas friables de grano fino, con baja porosidad y permeabilidad, distinguidas geomorfológicamente por presentarse en relieves de pendientes elevadas; su espesor es de aproximadamente 1.000m (Geotec, 2003).

3.2.13 Formación Corpa (N2Q1) (Corpa superior y inferior).

Esta formación presenta una subdivisión en dos unidades, la primera corresponde a la unidad inferior que está compuesta por una secuencia de conglomerados arenosos polimicticos, que varían a arenitas ligeramente conglomeráticas, cuarzosas y líticas; con presencia de superficies

de acanalamiento y estratificación cruzada ondulada en los intervalos arenosos, y algunas veces gradando normal e inversa, por otro lado la unidad inferior está constituida por una sucesión de arenitas a arenitas conglomeráticas, de grano fino a muy grueso; compuestas por cuarzo lechoso, chert negro, fragmentos de sedimentitos, moscovitas y limonita, además de bioturbación truncando la estratificación. Se reconoce un ambiente continental de conos aluviales proximales o medios, con influencia de actividad tectónica del Neógeno, para la inferior, mientras que la superior probablemente corresponda a un ambiente continental de corrientes fluviales (Guzmán et al., 2004). Su edad relativa fue asignada post discordancia del intra-Plioceno, y su espesor es menor a los 100m de la superior y mayor a los 700m para la inferior (Geotec, 1997).

La formación Corpa podría corresponder a la formación Jaraguay de Oppenheim (1957), quien reporta una sucesión conglomerática intercalada con areniscas y arcillas arenosas.

3.3 Geología Estructural

La zona noroccidental colombiana se divide en dos elementos geotectónicos principales, correspondientes a una región estable o de plataforma que subyace a una corteza continental (no plegada), y una región inestable o geosinclinal que subyace a una corteza oceánica (plegada), que comprende el área costera occidental adyacente a la plataforma, conformada por grandes espesores de sedimentos. El geosinclinal se divide en dos elementos estructurales: el cinturón fragmentado de San Jacinto y el cinturón del Sinú, en este último es que nos enfocaremos durante el desarrollo del proyecto.

La cuenca del Sinú, estructuralmente presenta anticlinales estrechos muy pronunciados, con ejes más o menos paralelos a los márgenes orientales y occidentales, los que están separados por sinclinales amplios y de pendientes suaves, característicos de la zona de afectación del diarismo de lodo. Hacia el sur, se logra evidenciar mayor densidad estructural, representada por el impacto de las fallas normales, de cabalgamiento y transcurrentés, sin un patrón definido y de carácter complejo, presentando un estrechamiento estructural, relacionado con la interacción tectónica de los lineamientos N-S de la Cordillera Oriental y NW-SE del Darién, durante el evento registrado en el Plioceno-Pleistoceno, más conocido como la orogenia Andina, interpretada como la época con mayor levantamiento y deformación (Duque-Caro, 1980).

El fenómeno de mayor relevancia en la zona es el volcanismo y plutonismo de lodo, procesos que están directamente relacionados con el levantamiento y deformación del cinturón del Sinú (Higgins & Saunders, 1974). En el área podemos apreciar las expresiones superficiales del fenómeno, observando islas (Tierra bomba y Barú) que bordean el margen costero y volcanes de lodo de diferentes tamaños. Según Higgins & Saunders (1974) el material extruido por los volcanes de lodos presentes en la zona continental, es de origen pelágico, con un alto contenido en agua, con una mezcla heterogénea de fauna fósiles, y una densidad baja. Su composición esta principalmente conformada por clorita y montmorillonita en un 50% de la fracción arcilla. Según Duque-Caro (1980) la procedencia del lodo se relaciona con los shales de alta presión, ubicados infra yacente a las turbiditas del Mioceno, lográndose observar a través de los registros sísmicos con un aspecto transparente que permite su identificación, y determinando su edad gracias al

estudio de los foraminíferos, correspondiendo al Oligoceno tardío – Mioceno temprano. Por otro lado cada episodio de diapirismo intenso está relacionado con la sedimentación oceánica profunda, que fue seguido por un levantamiento con bajos niveles de deformación, los que están relacionados con sedimentación marina somera y terrestre, y además se logró reconocer una inconformidad mayor, haciendo referencia al Mioceno medio alto – Plioceno superior del cinturón del Sinú (Duque-Caro, 1984).

Según Case (1974), se discuten tres posibles orígenes del fenómeno: 1) deslizamientos gravitacionales, 2) tectónica compresiva relacionada con el flujo lento de la placa caribe hacia el sur, y 3) tectónica de cizallamiento regional amplio, dextro lateral, entre una placa caribe en dirección oriente y Suramericana que se mueve hacia el occidente. Este vulcanismo y plutonismo de lodo, se generó como respuesta a esfuerzos compresivos laterales (compresión orogénica), que han actuado desde el Cretáceo tardío y son la causa de la deformación regional en el noroccidente Colombiano (Case & Holcombe, 1974).

Por otro lado, una diferente propuesta al fenómeno característico de esta zona, es más conocido como el diapirismo, que se puede definir como el proceso en el que materiales corticales profundos, ascienden discordantemente adentrándose en los estratos de niveles superiores (O'Brien, 1968). El material cortical está compuesto por lodos pelágicos y hemipelágicos, que constituyen la parte basal de la secuencia sedimentaria, los que penetran las secuencias turbidíticas inferiores. Una posible explicación al origen de este proceso, es que el peso gravitacional, el que es producido por el gran peso de varios kilómetros de turbiditas, causando una inversión gravitatoria y sobrepresión en las capas pelágicas infrayacentes para iniciar su ascenso. El importante hallazgo de areniscas y conglomerados de tipo wildfish suprayacente a

los sedimentos pelágicos, corresponden a los sectores con topografías más elevadas del cinturón, sugiriendo la posibilidad de que los diapiros se levantaron de los ejes de cuenca turbidíticas, donde ejercían un peso máximo (Duque-Caro, 1979).

Existen cuatro principales estructuras que se han visto involucradas directamente con la deformación del cinturón del Sinú: Lineamiento de Romeral, lineamiento de Bolívar, lineamiento del Sinú y Lineamiento de Colombia.

3.3.1 Lineamiento de Romeral

Según Barrero et al. (1969), se definió el nombre de falla fundamental de Romeral, a la zona de falla que va del sur a norte a lo largo del oeste Colombiano, hasta el área de Montelibano, separando las cordilleras Central y Occidental. Su longitud supera los 800 Km y presenta un buzamiento hacia el este. La clasificación de este accidente, se queda un poco corta al definirlo como una falla o zona de falla, ya que también presenta rasgos estructurales, tectónicas y petrológico-sedimentarias indicativas de un contacto con un rango mayor estructural entre las cortezas continental y oceánica (Duque-Caro, 1980). Durante su etapa inicial, se desarrolló como un surco de gran profundidad y pendientes muy pronunciadas en el talud continental, puesto que está constituido por sedimentos abisales pelágicos y turbiditas (Cretáceo tardío – Eoceno medio) al occidente, mientras que al oriente no se halla ningún registro de litologías con edades similares (Duque-Caro, 1980). Según Cediel, Shaw & Cáceres (2003), el límite de la cuenca llamado sistema de Falla de Romeral ha sido modificado a sistema de Falla de San Jacinto, ya que en el

Caribe Romeral no se comporta como una sutura que separe claramente la cortea oceanica de la continenta, a diferencia del sur del pais donde esto si ocurre.

3.3.2 Lineamiento de Bolívar

Según Irving (1971), eesta estructura corresponde a una zona de falla inversa, con un buzamiento orientado hacia el este, que se extiende de forma paralela al lineamiento de Romeral, y es muy sobresaliente dentro de las turbiditas (Terciario inferior) del cinturón de San Jacinto. Su expresión morfológica en superficie se evidencia por medio de anticlinales, que generan grandes bloques de brechas tectónicas en San Jacinto y San Jerónimo, y además su trazo superficial que es terminado contra los depósitos cuaternarios del canal del Dique, al norte del anticlinal de San Jacinto (Duque-Caro, 1980).

3.3.3 Lineamiento del Sinú

Según Hubach (1930), hacia el Sur del área correspondiente al Alto del Sinú, se identifica como una falla de cabalgamiento que buza hacia el oriente y pone en contacto rocas del cretáceo superior con rocas del Plioceno-Pleistoceno, mientras que hacia el norte se expresa en superficie cubierta por terrenos planos y cenagosos cuaternarios suprayacentes. Esta se caracteriza por corresponder al limite oriental de separación entre el cinturón del Sinú y el cinturón de San Jacinto, marcando el cambio de estilo estructural entre ellos, además de presentar volcanismo y

plutonismo de lodo común al occidente del Sinú. Al igual que Romeral, durante su etapa inicial se conformó como un surco marginal al cinturón de San Jacinto, puesto que está constituido por sedimentos pelágicos y turbiditas abisales hacia el occidente (Oligoceno tardío a Mioceno tardío - Plioceno), y facies de carbonatos de poca profundidad con la misma edad al oriente (Duque-Caro, 1980). Su línea de trazo sigue el río Sinú, con dirección N20E, y su continuación al sur coincide con el trazo de la falla Sinú y su terminación al norte con la falla de San Jacinto o de nuevo Agrado (Barrera, 2011), la que funciona de límite a la altura de San Antero.

3.3.4 Lineamiento de Colombia

Se localiza hacia la zona occidental, separando el cinturón del Sinú de la llanura abisal, caracterizado por marcar el cambio entre el estilo estructural (plegado) del cinturón del Sinú al oriente y el sencillo (no plegado) del plano abisal al occidente. Su topografía, es de tipo submarina, y coincide con el cambio batimétrico entre el talud del cinturón del Sinú y la llanura abisal (Duque-Caro, 1980). Según Case & Holcombe (1974), durante su etapa inicial de evolución, se interpretó como un surco marginal al cinturón del Sinú, que separa los sedimentos pelágicos y turbidíticos al occidente, de las facies de carbonatos al oriente, características de la plataforma del cinturón del Sinú y de las llanuras costeras. Esta estructura marca el límite oriental del diapirismo de lodo, sobre el Mioceno tardío-Pleistoceno, y en algunas zonas se logran observar domos alargados relacionados con bloques aloctonos facoidales del Eoceno a través de sedimentos más jóvenes (Laverde, Sp).

4. Metodología

Se presenta un esquema metodológico en el cual se observan las fases desarrolladas del presente trabajo:

- **Fase 1.** Revisión bibliográfica.
- **Fase 2.** Trabajo de laboratorio.
- **Fase 3.** Análisis e interpretación de datos.
- **Fase 4.** Informe final

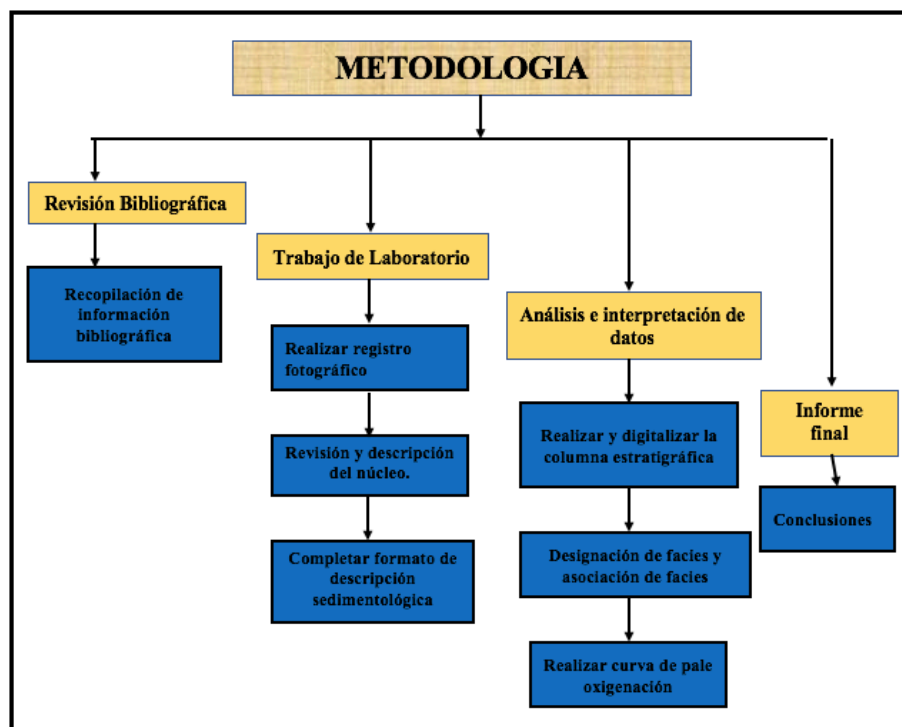


Figura 17. Marco conceptual de la metodología a realizarse en el proyecto de investigación.

4.1 Fase 1. Revisión bibliográfica

Esta etapa representa la primera fase de desarrollo en este trabajo, que, en primera instancia, se inicia realizando una búsqueda y recolección de material bibliográfico (Libros, artículos, compilaciones, anexos, informes, trabajos, tesis de grados) disponible en las diversas bases de datos geológicas existentes en las redes de información digital o físicas. El material consultado será enfocado en la contextualización de la geología general de la cuenca del Sinú y la información referente al pozo en estudio, además de informes sedimentológicos y estratigráficos. La información revisada y compilada se analizará durante esta etapa, para posteriormente seleccionar los datos de mayor importancia y relevancia.

Eliminado: ra

4.2 Fase 2. Trabajo de laboratorio

Esta fase se realiza con la ayuda de la litoteca nacional del Servicio Geológico Colombiano, localizada en Piedecuesta, Santander. La entidad ayudara a la solicitud de préstamo del pozo correspondiente al P-28 Finca villa hermosa que pertenece a la ANH, ya que representa información valiosa referente a la zona caribe colombiana, por lo que su acceso no es de carácter público. El núcleo se almacena en la bodega de la ludoteca, por lo que de hallarse aprobada la petición, se realizara la solicitud para utilizar el servicio de tendido de las cajas que contienen los corazones sobre una banda transportadora en una de las salas de consulta pública del lugar.

Eliminado: rá



Figura 18. Imagen de las salas de consulta pública de la litoteca nacional.

Posterior a la aprobación de los tramites de las solicitudes, con el núcleo ya extendido en la sala, se inicia con el proceso de análisis del núcleo. Se realizará tomando un segmento de 3 pies de la caja, que está compuesta por tres segmentos de tres pies, y ubicándolo de forma horizontal sobre unas bases creadas con icopor, que funcionan como soportes, brindándole equilibrio y consistencia al núcleo. Después, bajo la ayuda del estéreo microscopio y la lámpara de luz UV se procede a iniciar con la observación del segmento, teniendo en cuenta la aplicación de alcohol a la roca, para limpiar restos del lodo de perforación y mejorar su visualización. Para la descripción sedimentológica, se utilizará un formato de descripción para muestras de mano, pie a pie desde 1657 Ft hasta los 1166 Ft, compuesto por: litología, tamaño de grano, contenido fósil, estructuras sedimentarias, contenido aloquímicos, distribución microfósil, color, grado de bioturbación, grosor laminación, espesor de capa, % de matriz, calibrado, % de composición, minerales accesorios y facies.

Eliminado: rá

La descripción sedimentológica de las rocas terrígenas de baso en el manual de descripción y clasificación de rocas terrígenas por su textura de Cruz y Caballero (2007), que se compone de diferentes clasificaciones, por lo que vamos a nombrar algunas:

1. La clasificación textural en la escala granulométrica de WENTWORTH (1922) e imágenes comparativas de tamaño de grano MIALL (1990).
2. La clasificación composicional de las rocas terrígenas basada en FOLK (1980).
3. Clasificación composicional de las rocas calcáreas FOLK (1980) y textural a DUNHAM (1962).
4. Términos de grado de redondeamiento y esfericidad de las partículas según POWERS (1953).
5. Tipo de la selección de las partículas tomado de PETTIJOHN ET AL (1973).
6. Tipo de diagrama esquemático para estimar el grado de bioturbación tomado y modificado de DROSER AND BOTTJER (1986, 1989, 1991).
7. Clasificación del espesor de los estratos y láminas tomado y modificado de MCKEE & WEIR (1953).

4.3 Fase 3. Análisis e interpretación de datos

Durante esta instancia, siendo una de las más importantes del proyecto, se llevará a cabo la realización de la columna estratigráfica en formato digital, a una escala 1:30.048, a partir de la información completada en el formato de descripción sedimentológica de muestra de mano. Con la ayuda de la columna estratigráfica, nos disponemos a realizar una designación de facies, definidas por Miall (2000) para rocas con litología, composición, tamaño de grano, estratificación y estructuras sedimentarias distintivas. Las facies se nombrarán por medio de códigos compuestos por letras en mayúscula y minúscula, que definen las características de la roca. Posteriormente realizaremos la asociación de las facies, en grupos con características similares, con el objetivo de realizar una posible y correcta interpretación ambiental. Además, se realizará la construcción de una curva de pale oxigenación, basándonos en los niveles con mayor y menor grado de bioturbación, con el fin de brindar características REDOX del ambiente. Con base en la información geológica obtenida en las etapas anteriores, se llevará a cabo una posible correlación litológica, con una formación que presente características similares en la zona de estudio.

4.4 Fase 4. Informe final

En esta etapa se realizará la organización de la recopilación de los resultados obtenidos en el desarrollo de las fases anteriores y se documentará en un informe escrito. Los resultados serán debidamente corroborados y discutidos, con el fin de evaluar el cumplimiento del objetivo

general, y finalmente llegar a generar las conclusiones del trabajo de investigación entregado en la Escuela de Geología UIS.

5. Resultados

5.1 Litologías

Las litologías descritas en el pozo de perforación P-28 Finca Villa Hermosa son: limolitas arenosas, areniscas y conglomerado, siendo nombradas de mayor a menor ocurrencia en el núcleo.

Limolitas arenosas. En muestra fresca, se caracterizan por presentar colores amarillo pálido (2.5Y 7/4), y en muestra bioturbada marrón claro amarillento (2.5Y 6/4), según (Munsell, 1994). Las capas o estratos estudiadas, varían de tamaños desde ½ Ft hasta potentes secuencias de 26 Ft. Se observa un aspecto no fisil y compacta, y en algunos sectores se identifica la acción de por organismos que generan madrigueras verticales, horizontales y ovaladas, las cuales están rellenas de material más fino con tonalidades grisáceas. La presencia esporádica de fragmentos fósiles, con tamaños no mayores a grano medio, se evidencian con poca frecuencia, al igual que los intraclastos lodosos y calcáreos (alcanzando tamaños de hasta 4x2 cm), que presentan formas sub redondeadas y de baja esfericidad. Los contactos entre las limolitas y areniscas, son de tipo gradacionales irregular, como lo podemos observar en la figura 19 A. El estado del núcleo se relaciona directamente proporcional con la cantidad de oxígeno presente en el ambiente, ya que, si existen altos niveles oxigenados, los organismos pueden vivir y producir alteraciones en el

sedimento por la actividad de los seres vivos. En la figura 19 B, observamos un segmento de 1 Ft de una limolita con alto grado de bioturbación, mientras que en la figura 19 C, observamos una intensidad media de bioturbación, con madrigueras rellenas de material grisáceo, con tamaños de 4 cm largo x 1 cm de ancho.

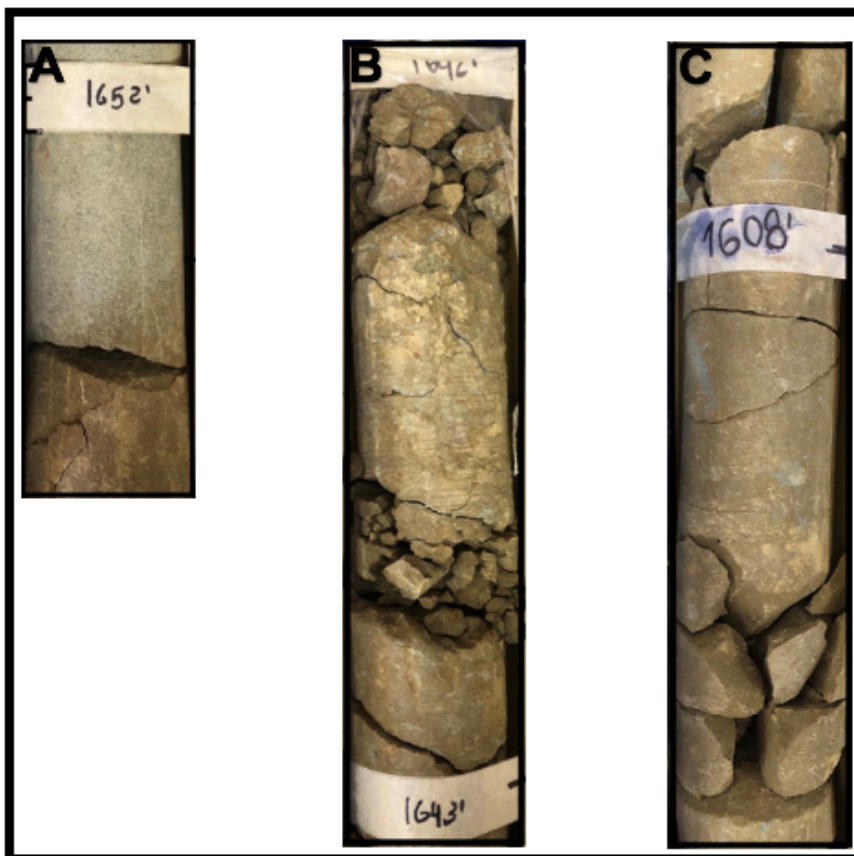


Figura 19. Fotografías de núcleos del pozo P-2 Finca Villa hermosa. A) Fotografía de contacto entre limolita arenosa y arenisca. B) Fotografía de limolita arenosa bioturbación alta. C) Fotografía de limolita arenosa con madrigueras verticales y bioturbación moderada.

Areniscas. Las areniscas en muestra fresca, presentan tonalidades amarillo pálido (2.5Y 8/3) y blanco (2.5Y 8/1) (Figura 20 A), y marrón oliva claro en muestra meteorizada (2.5Y 5/6) (Figura 20 B). Aunque cuando los niveles de bioturbación son altos, la roca exhibe coloración grisácea, como se observa en la figura 20 C, donde presenta la variación de color como respuesta al rastro del organismo de nombre *Phycocifon*. Estas se disponen en estratos medios a muy gruesos a lo largo del pozo, presentando características texturales particulares, y composicionales similares. Los tamaños de grano varían de muy fino a medio, siendo predominantemente el muy fino-fino, la selección oscila entre moderada a buena, con porcentajes de matriz inferiores a los 9%, y buena cohesión entre las partículas. Texturalmente, la mayoría presentan un armazón arenoso portado, una matriz lodosa y un cemento silíceo, aunque en algunos sectores se observan cementos carbonatados. Composicionalmente las areniscas se caracterizan por presentar valores correspondientes al rango de la sub lito arenita, y presenta como mineral accesorio más frecuente la moscovita. Los líticos son de color negro, no son magnéticos, no presentan oxidación y ocasionalmente se observan de un tamaño mayor al del tamaño general de la roca.



Figura 20. Fotografías del núcleo P-2 Finca Villa Hermosa. A) Fotografía de litoarenita en muestra fresca, con trazas de bioclastos. B) Fotografía de arenisca con moderado grado de bioturbación, la que contiene un fragmento de caparazón de gasterópodo diluida. C) Fotografía de una lito arenita con alto grado de bioturbación, causado por el Phycocifon?.

Las estructuras sedimentarias son producto del efecto de la interacción entre las condiciones físicas, químicas y biológicas que regulan la sedimentación durante la deposición de los materiales terrígenos. La estratificación se diferencia de la laminación, principalmente por su espesor que es superior al centímetro y se define como una división de orden letárgico mayor que presenta un techo y un muro definido. La visualización de las estructuras sedimentarias está estrechamente relacionada con la intensidad de bioturbación, ya que esta genera que desaparezcan por la acción de organismos sobre el sustrato.

En la figura 20 A, se observa la laminación plano paralelas bien definidas, aunque en algunos sectores se evidencian relictos de estas (figura 21 A). En la figura 21 B, se visualizan estructuras de laminaciones cruzadas inclinadas, que reflejan la dirección del flujo de la corriente que depositaron los sedimentos, además de presentar un contacto irregular entre las areniscas con laminación cruzada inclinadas y las areniscas con intraclastos lodosos y calcáreos. En la figura 21 C, se observan areniscas con granulométrica finas y laminación inclinada tangencial, también se evidencia un contacto irregular gradaciones, entre las anteriormente nombradas y arenisca con granulometría media.

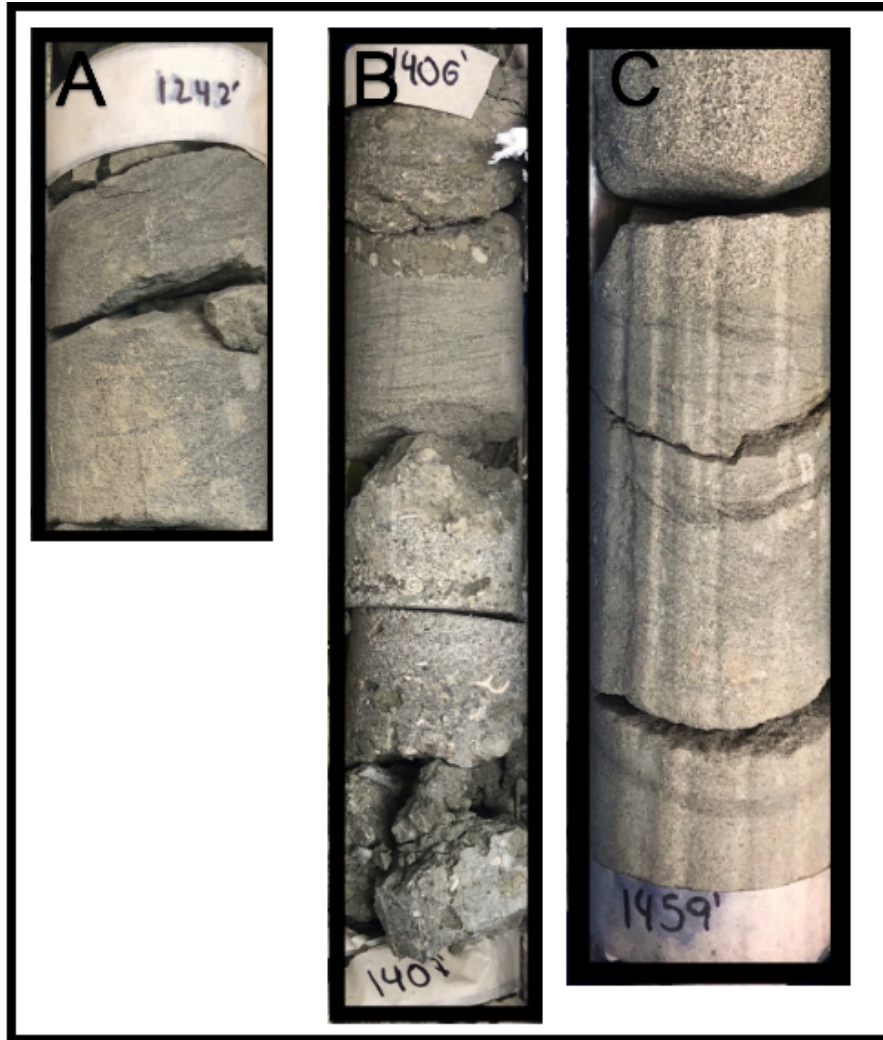


Figura 21. Fotografías del núcleo P-2 Finca Villa Hermosa. A) Arenisca con laminación cruzada inclinada. B) Fotografía de un contacto inferior irregular entre arenisca biosoportada y lito arenisca con laminación cruzada inclinada, mientras que el contacto superior entre las areniscas con laminación cruzada inclinadas y areniscas con intraclastos lodosos y calcáreos es de tipo irregular neto. C) Lito arenisca con laminación cruzada en espina de pescado.

Las concreciones ferruginosas se observan a lo largo de las secciones arenosas, presentándose con tonalidades amarillentas, naranjas y negras causadas por el contenido de materia orgánica. Estas pueden estar dispuestas en laminaciones plano paralelas (figura 22 B), las que se diferencian unas de otras, por presentar diferente coloración y espesor de las láminas, o como concreciones, dentro de una arenisca sublítica de tamaño de grano fino (figura 22 C).



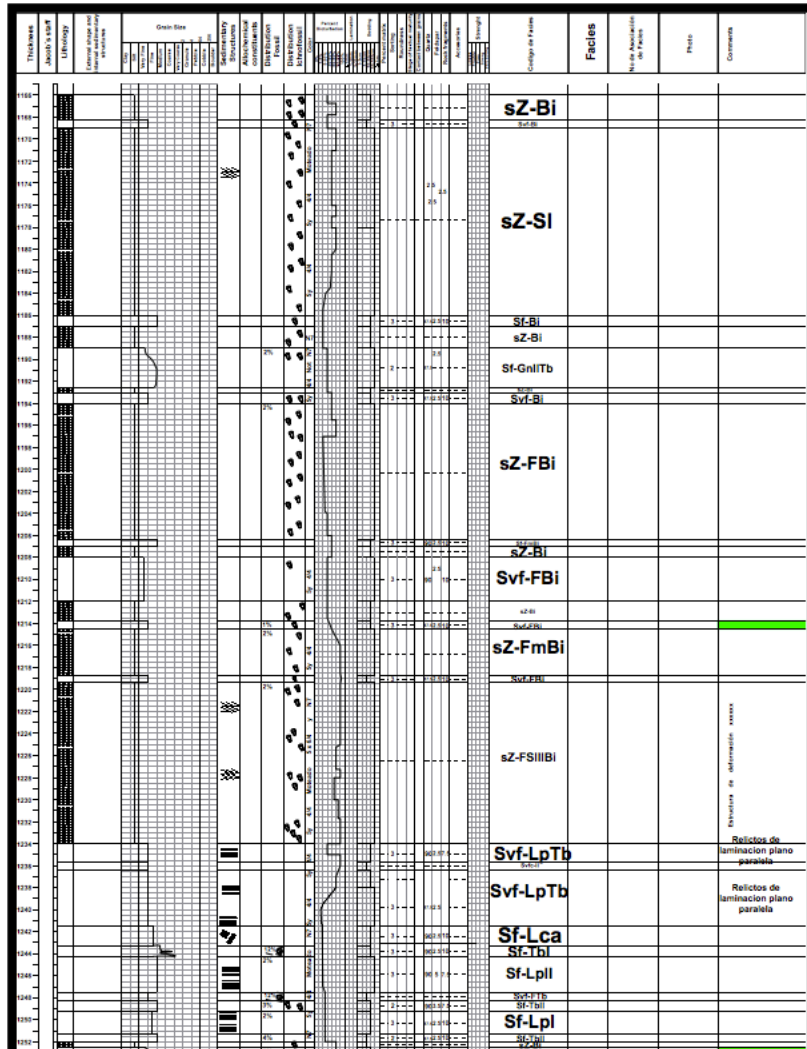
Figura 22. Fotografías del núcleo P-28 Finca Villa Hermosa. A) Fotografía de concreciones ferruginosas de gran espesor. B) Fotografías de concreciones ferruginosas dispuestas en laminación plano paralela continua. C) Fotografía de concreciones ferruginosas dispuestas de forma irregular.

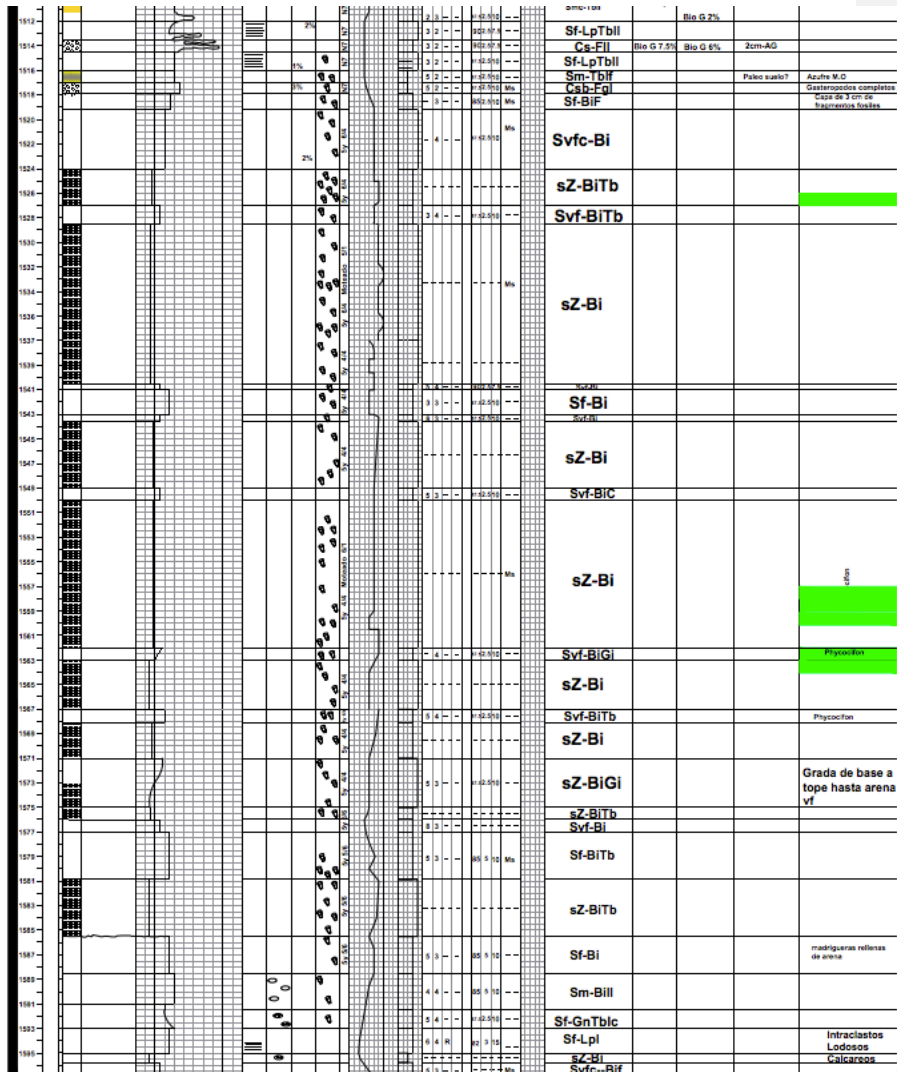
Conglomerados. Los conglomerados se presentan en menor porcentaje de la secuencia, ocupando un 5-10% de esta. En la figura 23 A-B, se observa un conglomerado arenoso bioclástico, el que presenta un armazón biosoportada, embebidos en una matriz arenosa que no supera el 35% el que varía hasta convertirse en una arenisca de grano fino a medio. Estos consisten en conchas fragmentadas de gasterópodos, ostrácodos, gránulos y guijas de limonita calcárea. En la figura 23 C, se observa una brecha arenosa lítica, compuesta por un armazón gravo soportado, con una matriz areno lodosa (mediana a muy gruesa), con cemento calcáreo. La brecha está compuesta por guijos y guijarros de color naranja, amarillo pálido y algunos líticos grisáceos, al igual que se observan fragmentos de conchas. En la figura 23 D, observamos un conglomerado arenoso bioclástico, con presencia de gasterópodos bien preservados de tamaños menores a los 2 cm.



Figura 23. Fotografías del núcleo P-28 Finca Villa Hermosa. A) Fotografía de un conglomerado arenoso bioclástico. B) Fotografía de un contacto de areniscas con laminación plano paralela y un conglomerado arenoso fosilífero. C) Fotografía de una brecha arenosa lítica. D) Fotografía de gasterópodos bien preservados de hasta 2 cm en un conglomerado arenoso lítica.

5.2 Columna estratigráfica a escala 1:30.480 (cm).





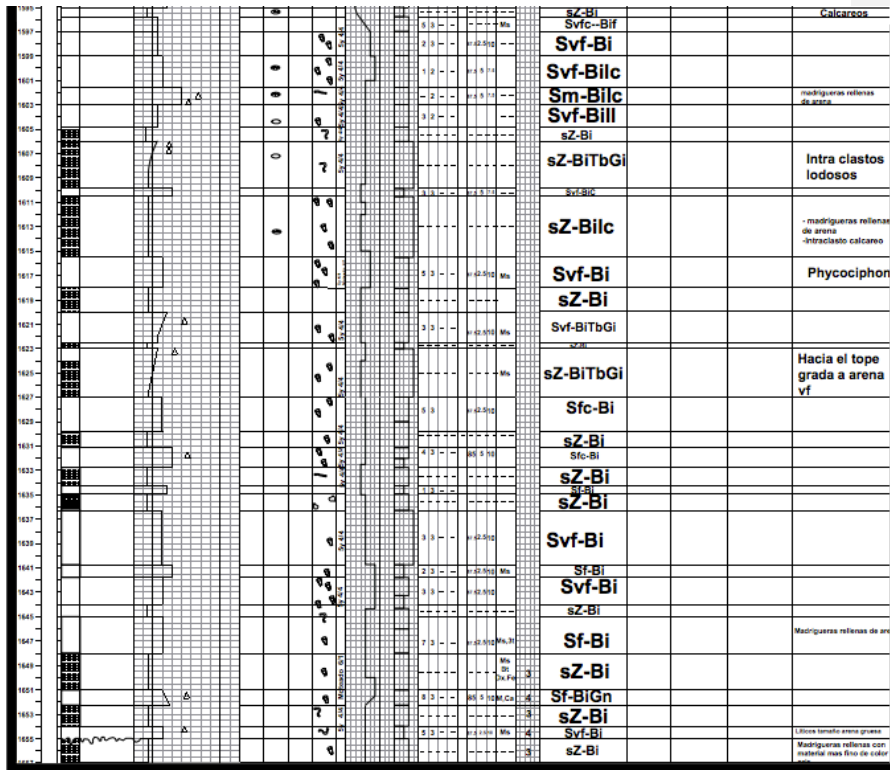


Figura 24. Columna estratigráfica digitalizada del pozo P-2 Finca Villa Hermosa.

Mediante observaciones megascópicas realizadas, y con la ayuda de herramientas como: lupa, martillo, ácido clorhídrico (diluido al 10%) y navaja. Se describe: textura, fabrica, color, densidad, dureza, brillo, morfología, exfoliación (fracturamiento), tipos de minerales, etc. (Álvarez Caballero, 2004).

- **Segmento 1657-1648 ft.** Secuencia de 2.74 metros de longitud, compuesto por estratos gruesos (Boggs, 1995) de limolita arenosa de color amarillo en muestra fresca (2.5Y 8/6) y marrón oliva a marrón oliva claro en muestra meteorizada (2.5Y 4/4 – 2.5Y 5/6), intercalado con capas gruesas de arenisca de color amarillo pálido (2.5Y 8/3) en muestra fresca y marrón oliva claro en muestra meteorizada (2.5Y 5/6). Texturalmente la arenisca presenta tamaño de grano muy fino a fino, con 9%> de matriz lodosa, buena selección y composicionalmente se ajusta al rango de una lito arenita: 87,5 % Q, 2,5 % F y 10% L (Folk,1974). La intensidad de bioturbación es alta, generando madrigueras, representadas por un moteado de colores gris o amarillo pálido, con espesores de 0.5 - 1 cm, semiverticales, irregulares, y rellenas de material de menor tamaño. En las lito arenitas se describieron líticos de tamaño grueso y color negro. Los contactos entre las limolitas y areniscas son de tipo gradaciones e irregular.
- **Segmento 1648 - 1636.2 ft.** Secuencia de 3.6 metros de longitud, constituido por estratos de areniscas dispuestos en capas medianas a muy gruesas (Boggs, 1995), de tonalidades amarillo pálido (2.5Y 8/4) y blanco (2.5Y 8/1), intercalada hacia los 1642 ft con una capa gruesa de limolita arenosa, de color amarillo (2.5Y 7/6). Texturalmente las areniscas presentan tamaños de grano fino, selección buena, y composicionalmente coincide con las características de una lito arenita: 87,5 % Q, 2,5 % F y 10% L (Folk,1974). En las lito arenitas se observa contenido de Moscovita como mineral accesorio, líticos negros con tamaño de grano grueso, y esporádicamente gradaciones inversas. La intensidad de bioturbación varía entre los rangos de alta a intensamente afectada, siendo claro ejemplo las madrigueras (10mm> X y 50-60m), sema verticales, irregulares, rellenas de un material con menor tamaño de grano.

- **Segmento 1636.2-1604.8 ft.** Sección de 9.50 metros de longitud, compuesto por limolita arenosa (limo 65%, arena 35%), ordenada en estratos medios a muy gruesos (Boggs, 1995), de color marrón amarillento claro (2.5Y 6/4) y amarillo pálido (2.5Y 8/4), intercalado con capas medianas a gruesas de arenisca, de color amarillo pálido (2.5Y 8/4), y esporádicamente grisácea (2.5Y 5/1) cuando la bioturbación es alta. Texturalmente las areniscas presentan tamaño de grano muy fino a fino, con 5% > de matriz lodosa, una selección buena y composicionalmente se clasifica como una lito arenita: 85-87,5 % Q, 2,5-5 % F y 10% L (Folk,1974), con presencia de moscovita como mineral accesorio. El intervalo se caracteriza por presentar alta a intensa bioturbación, evidenciándose en algunos sectores donde se observa el rastro del *Phycocifon?*, además de madrigueras de 0.2 – 0.5 cm de espesor, semi verticales - horizontales, irregulares, rellenas de material de menor tamaño de grano. Las areniscas presentan material de mayor tamaño como los líticos negros de tamaño muy grueso, además de que en algunas capas de observa gradación inversa. Los intraclastos lodosos y calcáreos, que varían de tamaño grueso a muy grueso, se observan a lo largo de las limolitas arenosas.
- **Segmento 1604.8-1585.6 ft.** Secuencia de areniscas de 5.5 metros de longitud, compuesto por capas tabulares de tamaño mediano a gruesas (Boggs, 1995), con tonalidades amarillo pálido (2.5Y 8/2) en muestra fresca y amarillo (2.5Y 7/6) en muestra meteorizada, intercalada con lentes ocasionales de limolita arenosa bioturbada de color marrón oliva (2.5Y 5/6). Texturalmente las areniscas presentan tamaños de grano muy fino, fino y medio, con 6% > de matriz lodosa, una selección buena (muy fino - fino) moderada (medio) y

composicionalmente corresponde a la clasificación de una lito arenita: 85% Q, 5% F y 10% L (Folk,1974), con presencia ocasional de líticos de tamaño gruesos. La bioturbación inicia hacia la base con una intensidad moderada, disminuyendo a tal punto que se observan estructuras de laminación plano paralela continua en las areniscas de la zona media, mientras que en el tope aumenta a alta donde se observan mayores rastros de madrigueras horizontales y verticales, rellenos de un material de menor tamaño de grano, con una tonalidad grisácea. La presencia ocasional de intraclastos lodosos y calcáreos de tamaño de grano grueso a muy gruesos.

- **Segmento 1585.6-1524.** Secuencia de 18.77 metros de longitud, compuesto por capas gruesas a muy gruesas de hasta 4m (Boggs, 1995) de limolita arenosa, de color amarillo oliva en muestra fresca (2.5Y 6/6) y marrón oliva en muestra meteorizada (2.5Y 4/4), intercalada con capas medianas de areniscas, de color amarillo pálido (2.5Y 8/2) en muestra fresca y marrón oliva claro en muestra meteorizada (2.5Y 5/6). Texturalmente las areniscas presentan tamaños de grano muy fino a fino, presentando porcentajes de matriz inferiores a 6%, una selección muy buena, y composicionalmente se clasifica como una lito arenita: 85% Q, 5% F y 10% L (Folk,1974). El intervalo se caracteriza por presentar oscilaciones en la intensidad de bioturbación entre niveles altos a intensamente alto, evidenciando esto en algunos sectores se observa el rastro del *Phycocifon?* generando una coloración grisácea y poca cohesión del material, además de madrigueras irregulares rellenas de material más fino. A lo largo del intervalo se observaron trazas de bioclastos.

- **Segmento 1524-1508 ft.** Secuencia de 4.8 metros de longitud, compuesta por capas medianas a muy gruesas (Boggs, 1995) de areniscas con tamaño de grano muy fino a grueso, de color amarillo pálido (2.5Y 8/2) en muestra fresca y marrón oliva claro en muestra meteorizada (2.5Y 5/6), intercalada con capas gruesas conglomeradas, con tamaños de granos que varían de gránulos a guijarros, mala selección, redondeados, no esféricos; un armazón arenoso soportado, con matriz lodosa y cemento calcáreo. La intensidad de bioturbación varía entre un porcentaje alto y bajo, por lo que en algunas capas de arenisca en donde los niveles alcanzan a ser < 35%, se logran observar estructuras de laminación plano paralela continua. Los fósiles se encuentran como trazas de bioclastos (2%) en la mayoría del segmento, aunque en una arenisca se observó una capa externa o un cascarón (0.3 mm de espesor y 0.3 Ft de longitud), con alto contenido fósil (75% >), compuesto por fragmentos de bivalvos y gasterópodos que no presentan ninguna orientación definida, por otro lado en algunas capas de arenisca media con baja cohesión y intraclastos lodosos, se encontraron gasterópodos de buena preservación (completos), de hasta 3 cm de longitud, mientras que en las capas conglomeradas se observan valvas desarticuladas de bivalvos de pequeños tamaños (5 mm) y gasterópodos. Los intraclastos lodosos y calcáreos son recurrentes en estas capas conglomeradas. Los contactos entre los conglomerados y las areniscas son de tipo irregular y sinuoso. Este intervalo se caracteriza por presentar segmentos de 40cm de alto contenido de materia orgánica, compuesto por una arenisca color amarillo anaranjado y negro, de grano fino-grueso, sub redondeado, de mala selección y composición de óxido de hierro intercalada con areniscas de grano muy fino a fino, con contenido de bioclastos de tamaño de grano muy grueso a gránulos. En el pie 1.518 se observa una capa de aproximadamente 5cm de espesor, con una capa exterior de abundantes restos de fragmentos

esqueletales carbonatados, en posiciones aleatorias y desfragmentados, además de presentar restos de materia orgánica y óxidos de Fe en las zonas internas.

- **Segmento 1508-1465.5 ft.** Secuencia de 129.54 metros de longitud, constituida por capas medianas a muy gruesas de areniscas con tamaño de grano muy fino a fino, de color amarillo pálido (2.5Y 8/2) en muestra fresca y marrón oliva claro en muestra meteorizada (2.5Y 5/6), intercalada con capas medianas a muy gruesas de limolita arenosa, color amarillo oliva en muestra fresca (2.5Y 6/6) y marrón oliva a marrón oliva claro (2.5Y 4/4 – 2.5Y 5/6) en muestra meteorizada. Texturalmente las areniscas presentan porcentajes de matriz inferiores a los 7% >, muy buena a buena selección, y composicionalmente corresponde a una lito arenita: 85% Q, 5% F y 10% L (Folk,1974). La bioturbación presenta una intensidad moderada con algunos picos a alta, y es en el aumento cuando observamos el rastro del *Phycocifon?*, que afecta fuertemente las areniscas generando un moteado de color gris. Los intraclastos se observan de forma esporádica a lo largo del segmento, con tamaños de arena media y las trazas de fósiles en las limolitas de igual proporción (2%).
- **Segmento 1465.5-1443 ft.** Secuencia de 7.7 metros de longitud, constituida por capas medianas a muy gruesas de areniscas con tamaño de grano muy fino a medio, de color gris claro (2.5Y 8/1) en muestra fresca y amarillo pálido en muestra meteorizada (2.5Y 8/3). Texturalmente las areniscas presentan porcentajes de matriz inferiores a los 5% >, una selección que varía entre moderada para los tamaños medios y muy buenas para muy finos, y composicionalmente corresponde a una lito arenita: 85% Q, 5% F y 10% L (Folk,1974). La intensidad de bioturbación oscila entre moderado y alto, por lo que en zonas se observa la estratificación plano paralela continua, y en una capa estratificación de espina de pez. Las

areniscas presentan patrones de gradación normal, que van desde tamaños grueso a muy grueso hasta fino o medio, además de observarse capas con presencia de material de tonalidades amarillas, naranjas y negras, las que contienen vestigios de materia orgánica. A lo largo del segmento resalta la presencia de intraclastos lodosos y calcáreos, al igual que trazas de bioclastos en proporciones bajas.

- **Segmento 1443 – 1413,5.** Secuencia de 9 metros de longitud, compuesto por capas gruesas a muy gruesas de hasta 6.2m (Boggs, 1995) de limolita arenosa (limo 70%, arena 30), de color amarillo oliva en muestra fresca (2.5Y 6/6) y marrón oliva a marrón oliva claro en muestra meteorizada (2.5Y 4/4 – 2.5Y 5/6), intercalada con capas medianas de areniscas, con tamaño de grano muy fino, de color amarillo pálido (2.5Y 8/2) en muestra fresca y marrón oliva claro en muestra meteorizada (2.5Y 5/6). Texturalmente las areniscas presentan porcentajes de matriz inferiores a 6%, una selección muy buena, y composicionalmente se clasifica como una lito arenita: 85% Q, 5% F y 10% L (Folk,1974). El intervalo se caracteriza por presentar oscilaciones en la intensidad de bioturbación entre niveles altos a intensamente alto, evidenciando esto en algunos sectores se observa el rastro del *Phycocifon?* generando una coloración grisácea y poca cohesión del material, además de madrigueras irregulares rellenas de material más fino. A lo largo del intervalo se observaron trazas de bioclastos.
- **Segmento 1413,5 – 1393.** Secuencia de 6.24 metros de longitud, constituida por capas medianas a muy gruesas de areniscas con tamaño de grano fino a medio, de color gris claro (2.5Y 8/1) en muestra fresca y amarillo pálido (2.5Y 8/3). Texturalmente las areniscas están

compuestas por % menores al 5% de matriz, presentando un buen a muy buen calibrado y contenido de bioclastos. Se describe la presencia de una capa de arenisca biosoportada (Fragmentos de bivalvos, gasterópodos), con contenido de intraclastos lodos de gran tamaño, y calcáreos de menor. En una zona se observan estructuras de deformación slumps. Tres pies del segmento están conformados por un material ordenado en capas plano paralelas, pero afectado por la falta de cohesión, lo que causa la disgregación e inestabilidad de las capas. Los colores característicos son similares a los representativos de óxidos de hierro, con tonalidades negras (materia orgánica), amarillos pálidos y naranjas rojizos, con un ligero olor a azufre. La intensidad de bioturbación oscila de niveles altos a bajos, por lo que en algunas zonas observamos el material muy disturbado, y en algunas otras relictos de laminación plano paralela y laminación cruzada inclinada.

- **Segmento 1393 – 1332.5.** Secuencia de 9 metros de longitud, compuesto por capas gruesas a muy gruesas de hasta 6.2m (Boggs, 1995) de limolita arenosa (limo 70%, arena 30), de color amarillo oliva en muestra fresca (2.5Y 6/6) y marrón oliva a marrón oliva claro en muestra meteorizada (2.5Y 4/4 – 2.5Y 5/6), intercalada con capas medianas de areniscas, con tamaño de grano muy fino, de color amarillo pálido (2.5Y 8/2) en muestra fresca y marrón oliva claro en muestra meteorizada (2.5Y 5/6). Texturalmente las areniscas presentan porcentajes de matriz inferiores a 6%, una selección muy buena, y composicionalmente se clasifica como una lito arenita: 85% Q, 5% F y 10% L (Folk,1974). El intervalo se caracteriza por presentar oscilaciones en la intensidad de bioturbación entre niveles altos a intensamente alto, evidenciando esto en algunos sectores se observa el rastro del *Phycocifon?* generando una coloración grisácea y poca cohesión del material, además de madrigueras

irregulares rellenas de material más fino. A lo largo del intervalo se observaron trazas de bioclastos.

- **Segmento 1332.5 – 1315.** Intervalo de 6.3 metros de longitud de areniscas, compuesta por estratos de tamaños medios, gruesos y muy gruesos (Boggs, 1995). El color gris claro (2.5Y 7/1) y blanco (2.5Y 8/1) caracterizan las tonalidades de muestra fresca en la litología predominante (arenisca), aunque se observan segmentos conformados por un material tamaño arena, muy afectado, con poca cohesión, con contenido de materia orgánica y olor a azufre?, el que se observa dispuesto plano paralelo, con tonalidades: amarillo rojizo (7.5Y 7/6), amarillo pálido (2.5Y 8/4), gris (2.5Y 6/1) y negro (2.5Y/1). Texturalmente las areniscas presentan tamaños de grano que varían de fino a medio, una selección entre media-buena, con porcentajes de matriz menores al 6% >, y hacia la base, en algunas capas se describen intraclastos lodosos y calcáreos que alcanzan tamaños gruesos a muy grueso. Una capa de aproximadamente 0.3 ft, resalta por su alto contenido fosilífero, teniendo una apariencia de ser clasificada como una arenisca biosoportada, compuesta por valvas de bivalvos y gasterópodos fragmentados, con contenido de intraclastos lodosos redondeados. La intensidad de bioturbación presenta oscilaciones entre los niveles moderado-altamente, dejando al descubierto en un pequeño segmento la laminación plano paralela continua.
- **Segmento 1315 – 1252.** Esta conformado por 19.20 metros de una intercalación de areniscas y limolita arenosa, con esporádicos lentes de arcilla. Las limolitas representan el 85% del intervalo, y se disponen en estratos medios a muy gruesos de hasta 3m, por otra parte, la arenisca se halla en menor proporción 13%, dispuestas en estratos medios a gruesos (Boggs, 1995) (menores a 0,7m), y la arcillolita en 2%. Las areniscas presentan tonalidades

grisáceas (5Y 7/1), mientras que las limolitas arenosas en muestra fresca son amarillo pálido (2.5Y 7/4) y marrón claro amarillento (2.5Y 6/4) en meteorizada, finalmente las arcillas gris oliva (5Y 4/2). Texturalmente las areniscas tienen tamaño de grano muy fino, una muy buena selección, bajo contenido de matriz, además contienen intraclastos con tonalidades características de óxidos de Fe y trazas de bioclastos. Se presentan oscilaciones en la intensidad de bioturbación, entre niveles altos a intensamente alto, evidenciándose un rastro similar al del *Phycosifon?*, el que genera un moteado gris y pérdida en la cohesión del material, por otro lado, las madrigueras irregulares, rellenas de material más fino, aparecen a lo largo de la sucesión.

- **Segmento 1252 – 1234.** Sucesión de 5.5 metros de areniscas, compuesta por estratos de tamaños medios, gruesos y muy gruesos (Boggs, 1995). Algunas capas presentan gradaciones normales hacia la base, presentando intraclastos lodosos y calcáreos de tamaño de hasta 4x2 ms. La roca fresca se observa en tonos grises claro (2.5Y 7/1) y blanco (2.5Y 8/1). Texturalmente las areniscas presentan tamaños de grano que varían desde muy fino hasta medio, una selección entre media-buena, con porcentajes de matriz menores al 6% >. Las trazas de bioclastos y las estructuras de laminación plano paralela continua se observan a lo largo del intervalo, mientras que la laminación cruzada plana se reduce a un sector. La intensidad de bioturbación presenta oscilaciones entre los niveles moderado a alto.
- **Segmento 1234 – 1166.** La secuencia final está conformada por 20.7 m de intercalación de areniscas y limolita arenosa, con esporádicos lentes de arcilla. Las limolitas representan el 70% del intervalo, y se disponen en estratos medios a muy gruesos de hasta 4.5m, por otra

parte, la arenisca se halla en menor proporción 30%, dispuestas en estratos medios a gruesos (Boggs, 1995). Las areniscas presentan tonalidades grisáceas (5Y 7/1), mientras que las limolitas arenosas en muestra fresca son amarillo pálido (2.5Y 7/4) y marrón claro amarillento (2.5Y 6/4) en meteorizada. Texturalmente las areniscas tienen tamaño de grano muy fino, una muy buena selección, bajo contenido de matriz, además contienen trazas de bioclastos. Se observan estructuras de deformación slumps. La intensidad de bioturbación varía entre niveles altos a intensamente alto, evidenciándose un rastro similar al del *Phycocifon?*, el que genera un moteado gris y pérdida en la cohesión del material.

5.3 Identificación de facies y asociación de facies.

En este trabajo la clasificación de las facies se enfoca en las características a pequeña escala de las rocas, individualizándolas y caracterizándolas con base en la litología, textura, estructuras sedimentarias, contenido fósil y bioturbación. Para asignar los nombres de cada facie se usaron los códigos iniciando con su tamaño de grano, siguiendo con las características más representativas de cada capa.

Tabla 1.
Código de facies

Código	Definición
Z	Limolita
sZ	Limolita arenosa
Svf	Arenisca muy fina
Sf	Arenisca fina
Sfc	Arenisca fina calcárea
Sm	Arenisca media
Csb	Conglomerado arenoso bioclástico
Cs	Brecha arenosa lítica
F	Fragmentos fósiles
Bi	Bioturbación
I	Intraclastos lodosos y calcáreos
Il	Intraclastos lodosos
Ic	Intraclastos calcáreos
If	Intraclasto ferruginoso
Gn	Gradación normal
Gi	Gradación inversa
Lp	Laminación plano paralela
Tb	Trazas de bioclastos
Lc	Laminación cruzada inclinada
Sl	Estructuras de deformación Slumps
Mo	Materia orgánica

Tabla 2.
Descripción de facies

Litofacies	Nombre	Descripción
sZ-Bi	Limolita arenosa bioturbada.	Colores marrón claro amarillo (2.5Y 6/4), con moteado amarillo pálido (2.5Y 7/4), y niveles no menores a 30% de bioturbación.
sZ-FBi	Limolita arenosa con fragmentos de fósiles, bioturbada.	Colores marrón claro amarillo (2.5Y 6/4), con moteado amarillo pálido (2.5Y 7/4), < 30% de bioturbación, esporádicos fragmentos.

sZ-BiTb	Limolita arenosa bioturbada con trazas de bioclastos.	Colores marrón claro amarillo (2.5Y 6/4), con moteado amarillo pálido (2.5Y 7/4), < 30% de bioturbación, trazas tamaños < arena media.
sZ-SI	Limolita arenosa con estructuras de deformación slumps.	Colores marrón claro amarillo (2.5Y 6/4), con moteado amarillo pálido (2.5Y 7/4), con presencia de estructuras de deformación slumps.
sZ- FSI	Limolita con fragmentos de fósiles y estructuras de deformación slumps.	Colores marrón claro amarillo (2.5Y 6/4), con moteado amarillo pálido (2.5Y 7/4), con presencia de estructuras de deformación slumps.
sZ-Mo	Limolita arenosa con materia orgánica.	Colores negros (2.5Y /1) y gris muy oscuro (2.5Y 3/1), con alto contenido de materia orgánica.
sZ-BiGi	Limolita arenosa con gradación inversa.	Colores marrón claro amarillo (2.5Y 6/4), con moteado amarillo pálido (2.5Y 7/4), hacia la base limolita gradando a arena muy fina.
sZ-BiIc	Limolita arenosa con intraclastos calcáreos.	Colores marrón claro amarillo (2.5Y 6/4), con moteado amarillo pálido (2.5Y 7/4), con presencia de intraclastos calcáreos de tamaño < arena media.
sZ-BiGill	Limolita arenosa con gradación inversa y intraclastos lodosos.	Colores marrón claro amarillo (2.5Y 6/4), con moteado amarillo pálido (2.5Y 7/4), hacia la base limolita gradando a arena muy fina, con contenido de intraclastos lodosos color grisáceos y calcáreos.
sZ-BiTbGi	Limolita arenosa con trazas de bioclastos y gradación inversa.	Colores marrón claro amarillo (2.5Y 6/4), con moteado amarillo pálido (2.5Y 7/4), hacia la base limolita gradando a arena muy fina, con presencia de trazas de bioclastos.
sZ-BiFGi	Limolita arenosa con fragmentos de molestos y gradación inversa.	Colores marrón claro amarillo (2.5Y 6/4), con moteado amarillo pálido (2.5Y 7/4), hacia la base limolita gradando a arena muy fina, con presencia de fragmentos de moluscos.
sZ-FSIIIbI	Limolita arenosa con fragmentos de fósiles, slumps, intraclastos lodosos y bioturbación.	Colores marrón claro amarillo (2.5Y 6/4), con moteado amarillo pálido (2.5Y 7/4), con esporádicas estructuras de deformación slumps, intraclastos lodosos y fragmentos de moluscos.
Svf-Bi	Arenisca muy fina con bioturbación.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), aspecto masivo, muy buen calibrado, grano soportada, de matriz lodosa no mayor al 5%, presencia de líticos tamaño arena media.
Svf-BiI	Arenisca muy fina con intraclastos lodosos y calcáreos.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), aspecto masivo, muy buen calibrado, grano soportada, con intraclastos redondeados, lodosos (grises) y calcáreos (blancos).

Svf-BiII	Arenisca muy fina con bioturbación, y intraclastos lodosos.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), aspecto masivo, muy buen calibrado, grano soportada, matriz lodosa, con contenido de intraclastos grisáceos y redondeados.
Svf-BiF	Arenisca muy fina con bioturbación y fragmentos fósiles.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), aspecto masivo, buen calibrado, contenido de fragmentos fósiles como conchas de bivalvos y gasterópodos desarticuladas.
Svf-BiTb	Arenisca muy fina con bioturbación, y trazas de bioclastos.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), aspecto masivo, muy buen calibrado, con trazas de bioclastos.
Svf-BiGi	Arenisca muy fina con gradación inversa y bioturbación.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), aspecto masivo, muy buen calibrado, grano soportada, de grano muy fino a fino con gradación inversa.
Svf-BiTbGi	Arenisca muy fina con bioturbación, trazas de bioclastos, y gradación inversa.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), de grano muy fino a fino con gradación inversa, y presencia de trazas de bioclastos.
Svf-BiGnII	Arenisca muy fina con bioturbación, gradación normal y intraclastos lodosos.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), de grano medio a muy fino con gradación normal, y presencia de trazas de intraclastos lodosos.
Svf-BiC	Arenisca muy fina con bioturbación, ligeramente calcárea.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), aspecto masivo, muy buen calibrado, grano soportada, matriz lodosa calcárea.
Svf-BiC	Arenisca muy fina, con bioturbación y intraclasto calcáreo.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), aspecto masivo, muy buen calibrado, grano soportada, matriz lodosa, con contenido de intraclastos grisáceos y redondeados.
Svf-F	Arenisca muy fina con fragmentos fósiles.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), aspecto masivo, muy buen calibrado, grano soportada, matriz lodosa, con contenido de fragmentos fósiles.
Svf-FI	Arenisca muy fina con fragmentos fósiles, intraclastos lodosos y calcáreos.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), aspecto masivo, muy buen calibrado, con fragmentos fósiles, intraclastos lodosos y calcáreos.
Svf-Fbi	Arenisca muy fina con fragmentos fósiles y bioturbación.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), intensa bioturbación, contenido de fragmentos fósiles.

Svf-FTb	Arenisca muy fina con fragmentos fósiles y trazas de bioclastos.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), con fragmentos fósiles y trazas de bioclastos.
Svf-LpTb	Arenisca muy fina con laminación plano paralela y trazas de bioclastos.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), laminación plano paralela continua, muy buen calibrado, matriz lodosa, contenido de trazas de bioclastos redondeadas.
Svf-LcTb	Arenisca muy fina con laminación cruzada y trazas de bioclastos.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3), laminación cruzada inclinada, trazas de bioclastos, muy buen calibrado, grano soportada, matriz lodosa.
Svf-Sl	Arenisca muy fina con estructuras slumps.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3) y marrón oliva claro (2.5Y 5/6), aspecto masivo, muy buen calibrado, grano soportada, matriz lodosa, con contenido de intraclastos grisáceos y redondeados.
Sfc-Bi	Arenisca fina calcárea con bioturbación.	Color amarillo (2.5Y 7/6) y marrón oliva (2.5Y 4/6) por la bioturbación, buen calibrado, grano soportado, matriz lodosa.
Sf-F	Arenisca fina con fragmentos fósiles.	Color amarillo (2.5Y 7/6), buen calibrado, grano soportado, matriz lodosa, 3 cm de acumulación de fragmentos de gasterópodos y valvas de bivalvos.
Sf-FTb	Arenisca fina con fragmentos fósiles, y trazas de bioclastos.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3), buen calibrado, grano soportada, matriz lodosa, fragmentos fósiles, y trazas de bioclastos.
Sf-Fil	Arenisca fina con abundantes fragmentos fósiles y intraclastos lodosos.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3), buen calibrado, matriz lodosa, abundantes fósiles 30%, y intraclastos lodosos redondeados de gran tamaño.
Sf-SITb	Arenisca fina con estructuras slumps y trazos de bioclastos.	Color amarillo pálido (2.5Y 7/4), estructuras de deformación slumps, trazos de bioclastos y líticos tamaño arena media.
Sf-BIF	Arenisca fina con bioturbación, y fragmentos fósiles.	Color amarillo (2.5Y 7/6) y grisáceo claro (2.5Y 7/1) por la bioturbación, fragmentos fósiles tamaño arena fina y media, líticos tamaño arena media.
Sf-BII	Arenisca fina con bioturbación, y intraclastos.	Color amarillo (2.5Y 7/6) y grisáceo claro (2.5Y 7/1) por la bioturbación, intraclastos lodosos y calcáreos, y líticos tamaño arena media.
Sf-BiTb	Arenisca fina con bioturbación, y trazas de bioclastos.	Color amarillo (2.5Y 7/6), y grisáceo claro (2.5Y 7/1) por la bioturbación, trazas redondeadas de bioclastos, y líticos tamaño arena media.
Sf-TbIs	Arenisca fina con bioturbación, trazas de	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3), con intraclastos en

	bioclastos y intraclastos.	dirección a la estratificación, con colores anaranjados y amarillentos (aspecto azufre), trazas de bioclastos y materia orgánica.
Sf-TbIl	Arenisca fina con trazas de bioclastos, y intraclastos lodosos.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3), grano soportado, traza de bioclastos y intraclastos lodosos redondeados.
Sf-BiIc	Arenisca fina con bioturbación, y intraclastos calcáreos.	Color marrón oliva (2.5Y 4/6) por la bioturbación, buen calibrado, madrigueras ovaladas, intraclastos calcáreos redondeados.
Sf-BiGi	Arenisca fina con bioturbación, y gradación inversa.	Color amarillo oliva (2.5Y 6/6), moteado grisáceo por la intensa bioturbación, gradación inversa de grano muy fino a fino.
Sf-BiGn	Arenisca fina con bioturbación, y gradación normal.	Color blanco (fresca) y amarillo oliva (meteorizado) (2.5Y 7/6), con gradación normal de grano fino a muy fino, y líticos negros tamaño arena muy gruesa.
Sf-LcIl	Arenisca fina con laminación cruzada inclinada, y intraclastos lodosos.	Color gris claro (2.5Y 7/1), buen calibrado, matriz lodosa, laminación cruzada inclinada, y intraclastos lodosos.
Sf-LpI	Arenisca fina con laminación plano paralela continua, y intraclastos.	Color gris claro (2.5Y 7/1) y amarillo pálido (2.5Y 8/4), buen calibrado, matriz lodosa, laminación plano paralela continua, y intraclastos lodosos redondeados con tamaños de arena media.
Sf-LpTb	Arenisca fina con laminación plano paralela, y trazas de bioclastos.	Color gris claro (2.5Y 7/1), grano soportada, matriz lodosa, buen calibrado, líticos tamaño arena media, trazas de bioclastos, laminación plano paralela continua.
Sf-LpIf	Arenisca con laminación plano paralela, trazas de bioclastos y intraclastos ferruginosos. ¿Paleosuelo?	Color amarillo pálido (2.5Y 8/3), laminación plano paralela, intraclastos con colores naranjas y amarillos (aspecto azufre), trazas de bioclastos y materia orgánica.
Sf-GiLpIl	Arenisca con gradación inversa, laminación plano paralela y intraclastos lodosos.	Color amarillo oliva (2.5Y 6/6), grano soportada, matriz lodosa, hacia la base intraclastos tamaño arena muy gruesa, gradación inversa de tamaño de grano muy fino a fino.
Sf-GiLpIcF	Arenisca fina con gradación inversa, laminación plano paralela, intraclastos calcáreos y fósiles.	Color amarillo oliva (2.5Y 6/6), grano soportada, matriz lodosa, hacia la base intraclastos tamaño arena muy gruesa, gradación inversa de tamaño de grano muy fino a fino, fósiles.
Sf-GnIIb	Arenisca fina con gradación normal, intraclastos lodosos y trazas de bioclastos.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/2), grano soportada,

		matriz lodosa, gradación normal de tamaño fino a muy fino, intraclastos lodosos y trazas de bioclastos.
Sf-GnLpII	Arenisca fina con gradación normal, laminación plano paralela y intraclastos lodosos.	Color amarillo pálido (2.5Y 8/2), gradación normal de tamaño medio a fino, grano soportada, matriz lodosa, laminación plano paralela continua, intraclastos lodosos.
Sf-GnTbIc	Arenisca fina con gradación normal, trazas de bioclastos y intraclastos calcáreos.	Color amarillo oliva (2.5Y 6/6) y amarillo pálido (2.5Y 7/4), buen calibrado, gradación normal de tamaño medio a fino, trazas de bioclastos y intraclastos calcáreos.
Sm-Bi	Arenisca media con bioturbación.	Color amarillo pálido (2.5Y 7/4) y gris claro (2.5Y 7/1) por la bioturbación, areno soportada, matriz lodosa, buen calibrado.
Sm-BIc	Arenisca media con bioturbación, y intraclastos calcáreos.	Color amarillo pálido (2.5Y 7/4) y gris claro (2.5Y 7/1) por la bioturbación, areno soportada, matriz lodosa, buen calibrado y contenido de intraclastos calcáreos.
Sm-BII	Arenisca media con bioturbación y intraclastos lodosos	Color amarillo pálido (2.5Y 7/4), areno soportado, matriz lodosa, buen calibrado, fragmentos de fósiles, intraclastos lodosos y calcáreos.
Sm-FI	Arenisca media con bioturbación, intraclastos lodosos y calcáreos.	Color amarillo (2.5Y 8/8), negro (2.5Y/1) y amarillo rojizo (5YR 6/8), areno soportada, matriz arenosa, intraclastos ferruginosos
Sm- Tblf	Arenisca media con trazas de bioclastos, intraclastos ferruginosos.	Color gris claro (2.5Y 7/1), areno soportada, matriz lodosa, cemento calcáreo, intraclastos lodosos y calcáreos.
Sm-TbI	Arenisca media con trazas de bioclastos, intraclastos lodosos y calcáreos.	Color gris claro (2.5Y 7/1), areno soportada, matriz lodosa, con contenido de intraclastos lodosos y calcáreos.
Sm-II	Arenisca media con intraclastos lodosos y calcáreos.	Color amarillo (2.5Y 8/8), negro (2.5Y/1) y amarillo rojizo (5YR 6/8), areno soportada, matriz arenosa, intraclastos ferruginosos.
Sm-If	Arenisca media con intraclastos ferruginosos y alto contenido de materia orgánica.	Color gris claro (2.5Y 7/1), areno soportada, matriz lodosa, con contenido de intraclastos lodosos.
Sm-TbII	Arenisca medica con trazas de bioclastos y intraclastos lodosos	Color gris claro (2.5Y 7/1), areno soportada, matriz lodosa, fragmentos fósiles, intraclastos lodosos.
Sm-FII	Arenisca media con fragmentos fósiles, intraclastos lodosos.	Color gris claro (2.5Y 7/1), presenta un armazón biosoportado, embebidos en una matriz arenosa, con

Csb-FgI	Conglomerado arenoso bioclástico con fósiles (gasterópodos), intraclastos lodosos y calcáreos.	fósiles de gasterópodos bien preservados, intraclastos lodosos y calcáreos. Color gris claro (2.5Y 7/1), presenta un armazón gravo soportado de guijos y guijarros de color naranja, amarillo pálido y algunos líticos negros, con contenido de fragmentos fósiles.
---------	--	--

Asociación de facies 1: De base a tope: sZ-Bi, Svf-Bi, sZ-Bi, Sf-BiGn, sZ-Bi.

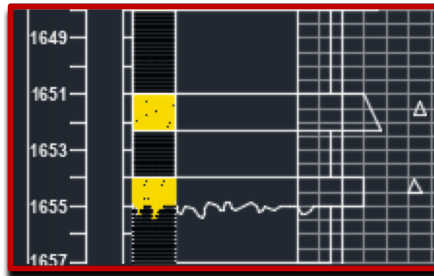


Figura 25. Asociación de facies AF1, asimétrica positiva.

La AF1 está constituida por tres facies, sZ-Bi, Svf-Bi y Sf-BiGn, siendo la primera más dominante que las consecutivas. Se caracterizan por presentar un predominio de limolitas arenosas sobre areniscas (77%:23%); el espesor de los estratos de las areniscas y limolitas varía de delgado a grueso; las areniscas presentan contactos inferiores irregulares causados por la bioturbación de madrigueras rellenas de material grisáceo de menor tamaño; líticos negros de tamaño arena gruesa en las arenas; gradación normal de tamaño arena fina a muy fina; el espesor de los estratos es aproximadamente de 1-2 Ft.

Interpretación: La AF1 se interpreta como una zona de transición offshore, que consiste predominantemente en limolitas bioturbadas intercaladas con capas de areniscas de tormentas, donde las segundas presentan bases erosionales y gradación normal (Nichols, 2009).

Asociación de facies 2: De base a tope: SvF-Bi, sZ-Bi, SvF-Bi, Sf-Bi, SvF-Bi

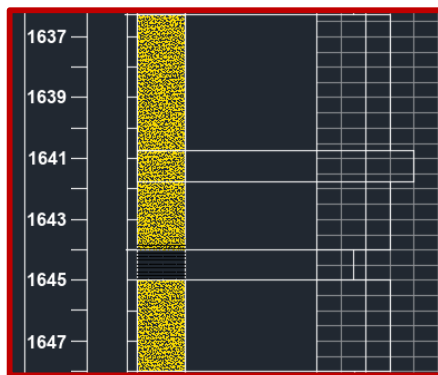


Figura 26. Asociación de facies AF2, bandeada discíclica.

La facies SvF-Bi, sZ-Bi y Sf-Bi componen la AF2. Las características principales de la AF2, son; predominio de areniscas amarillas pálidas sobre limolitas rojizas (92%:8%); el espesor de los estratos de areniscas varía de delgado a muy grueso; potentes estratos de areniscas de hasta 1.5m; alto nivel de bioturbación; rastros de madrigueras de skolithos y ophiomorfas; líticas negras de mayor tamaño en las areniscas finas grises.

Interpretación: La AF2 se interpreta como un ambiente de plataforma interna a lower shoreface, donde se observan capas de arenisca con tamaño de grano muy finas a finas, bases agudas y topes disturbados (James & Dalrymple, 2010). Las trazas fósiles consisten en madrigueras verticales, comúnmente desarrolladas por Skolithos y Ophiomorpha (Boggs, 2006).

Asociación de facies 3: De base a tope: Sfc-Bi, sZ-Bi, Sfc-Bi,

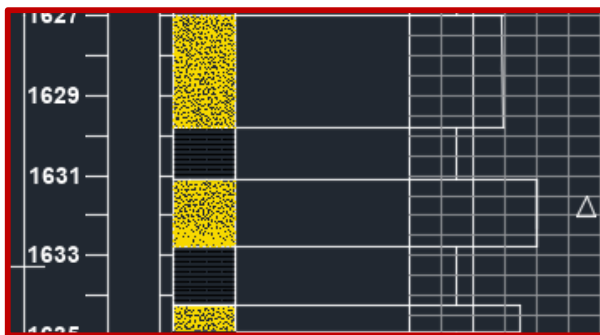


Figura 27. Asociación de facies AF3, bandeada cíclica.

Tres facies (Sfc-Bi, sZ-Bi, Sfc-Bi) componen la AF3, que se caracteriza por presentar: intercalación de areniscas de tamaño de grano fino y limolitas arenosas, mostrando un predominio de areniscas (75%:15%); el espesor de los estratos varía de delgado a grueso; líticos negros tamaño arena gruesa; areniscas líticas localmente calcáreas; limolitas altamente bioturbadas.

Interpretación: La AF3 se interpreta como un ambiente de lower shoreface dominado por olas, en condiciones estables o aumento del nivel del mar que muestra una sucesión estrato creciente - grano creciente hacia el tope, de areniscas de grano muy fino-fino intercaladas con limolitas bioturbadas (Boggs, 2006).

Asociación de facies 4: De base a tope: sZ-BiTbGi, sZ-Bi, Svfc-BiTbGi, sZ-Bi, Svfc-Bi, sZ-Bi, Svfc-Bi, sZ-BiTbGi.

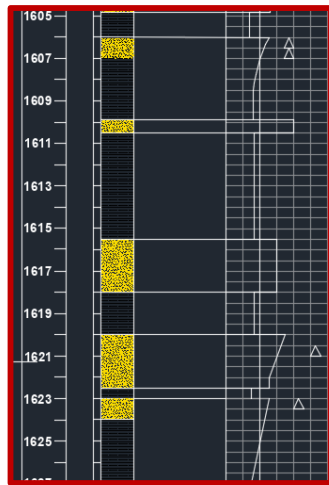


Figura 28. Asociación de facies AF4, asimétrica positiva.

La AF4 está constituida por 4 facies, sZ-BiTbGi, sZ-Bi, Svfc-BiTbGi, Svfc-BiC. Las características principales que presenta esta secuencia son: el espesor de los estratos varía de tamaño delgado a muy grueso; gradación inversa de limolita arenosa a arenisca de tamaño de grano muy fino con lóculos de granulometría mayor; gradación inversa de areniscas líticas de tamaño de grano muy fino a fino; areniscas de tamaño de grano muy fino localmente calcáreas; niveles de bioturbación altos, con rastros de madrigueras desarrolladas por *Skolithos* y *Phycosiphon*.

Interpretación: La AF4 se interpreta como un margen progradante de delta, por su sucesión grano creciente, con características de gradación inversa de tamaño limolita a arenisca muy fina. Las estructuras no se puede visualizar, a causa del alto nivel de bioturbación presente en la secuencia.

Asociación de facies 5: De base a tope: Svfc-BiF, Svfc-Bi, Svfc-BiC, Svfc-BiIc, Svfc-BiII, Svfc-BiF.

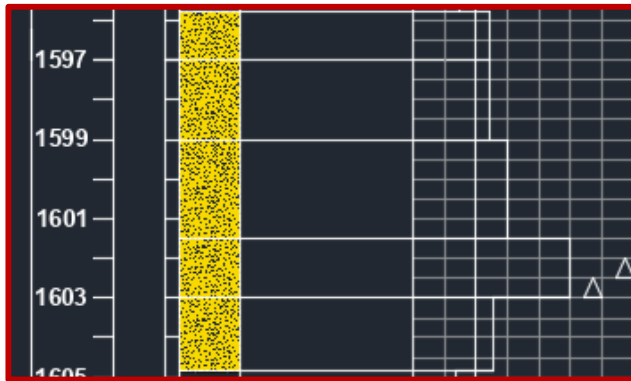


Figura 29. Asociación de facies AF5, multiepisódica.

Las características principales que presenta la AF5 compuesta únicamente por granulometría de tamaño arena son: predominancia de tamaño de grano arena muy fina; potentes estratos tabulares que varían de tamaño mediano a grueso de hasta 2 Ft; presencia de intraclastos lodosos y calcáreos; presencia de líticos de tamaño arena gruesa y muy gruesa; areniscas localmente calcáreas; altos niveles de bioturbación, con presencia de madrigueras desarrolladas por *Skolithos* y *Phycosiphon*.

Interpretación: Las facies que componen la AF5, son características de un ambiente middle offshore, donde se depositan arenas de tamaño de grano fino-medio, con estructuras de laminación cruzada, las cuales no logran preservarse por los altos niveles de bioturbación (Boggs, 2006).

Asociación de facies 6: De base a tope: Sf-Lpl, Sf-GnTbIc, Sm-BiII, Sf-Bi

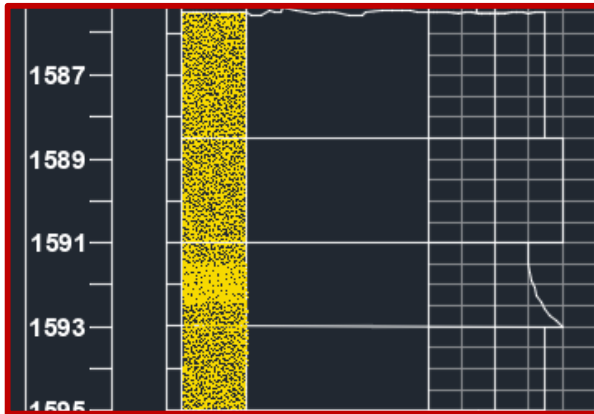


Figura 30. Asociación de facies AF6, multiepisódica.

Cuatro facies constituyen la AF6, que se caracteriza por presentar: litología de areniscas líticas, laminación plano paralela continua y relictos de estas; intraclastos lodosos y calcáreos; areniscas localmente calcáreas; contactos netos entre estas; hacia el tope se desarrolla un contacto irregular con las limolitas calcáreas de la AF7.

Interpretación: El grupo de facies representa la AF6, que se puede interpretar como un ambiente foreshore, donde se depositan areniscas de tamaño de grano fino, con estructuras de laminación plano paralela continua.

Asociación de facies 7: De base a tope: Svfc-Bi, Sf-BiF, Csb-FgI, Sm-TbIf, Sf-LpTb, Cs-FII, Sf-LpTbII, Smc-TbII, Sm-BiTbIc, Sf-BiF.

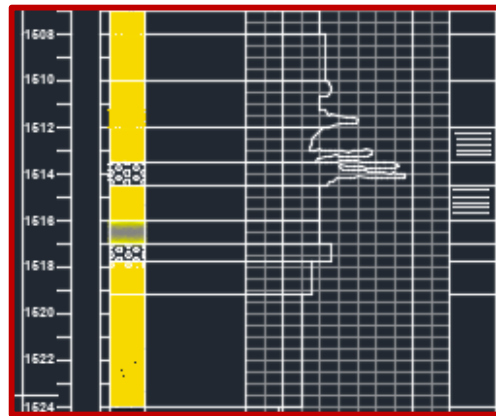


Figura 31. Asociación de facies AF7, bandeada discíclica.

La AF7 está constituida por ocho facies, de las cuales dos son conglomeráticas y seis areniscas, donde se presenta un predominio de areniscas sobre conglomerados (89%:11%). Las características principales presentadas en esta asociación son: estratos de espesor variado entre delgado a muy grueso; laminación plano paralela continua; presencia de intraclastos lodosos y calcáreos tamaño guijas; fragmentos fósiles en baja abundancia a lo largo de las areniscas; sector de 3 cm de espesor compuesto por 90% de fósiles (tormenta); areniscas de tamaño de grano medio localmente calcáreas; presencia de intraclastos ferruginosos dispuestos en laminaciones plano paralelas continuas; conglomerados bioclásticos con gasterópodos de hasta 2 cm, con una muy buena preservación; brechas arenosas líticas, con guijos y guijarros de color naranja-

marrón, presencia de fragmentos fósiles y cemento calcáreo; hacia el tope y la base se presentan niveles altos de bioturbación, mientras que en el medio se presentan niveles muy bajos.

Interpretación: La AF7 es representada por un ambiente de foreshore, en el cual se depositan areniscas de tamaño de grano fino a medio, generándose estructuras de laminación plano paralela, a causa de las corrientes de retro lavado. Estos flujos transportan sedimentos de tamaño guijarros y generan deposición de fragmentos fósiles, los cuales se depositan formando conglomerados bioclásticos.

Asociación de facies 8: De base a tope: Svfc-Bi, Sf-BiF, Sf-LpFif, Sf-Tb, Svfc-LcTb, Sf-TbII, Sf-LpI, Csb-FgI, Sf-Bilf, Svfc-Bi

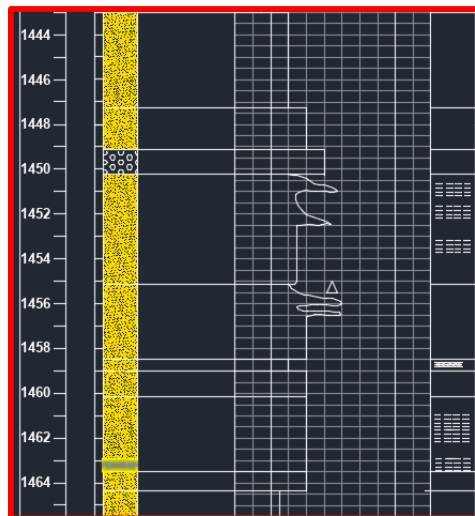


Figura 32. Asociación de facies AF8

Las características principales que componen la AF8, son: secuencia de areniscas líticas y únicamente un Ft de conglomerados; el espesor de los estratos tabulares varia de delgado a muy grueso; Areniscas de tamaño de grano muy fino localmente calcáreas; areniscas finas con laminación plano paralela continua; Areniscas muy finas con laminación cruzada en espina de pescado; intraclastos lodosos redondeados y de gran tamaño; intraclastos ferruginosos en disposición plano paralela continua; el conglomerado arenoso bioclástico presenta gránulos y guijas.

Interpretación: La AF8 se interpreta como un ambiente en la zona “swash”, que se caracteriza por presentar areniscas de tamaño de grano fino a medio, donde las olas rompen formando las corrientes de retro lavado, que transporta algunos guijos-guijarros al tope de la playa y generan laminación plano paralela, gracias a su velocidad (Boggs,2006).

Asociación de facies 9: Base a techo: sZ-Bi, SvF-Bi, sZ-Bi, SvF-Bi, sZ-Bi

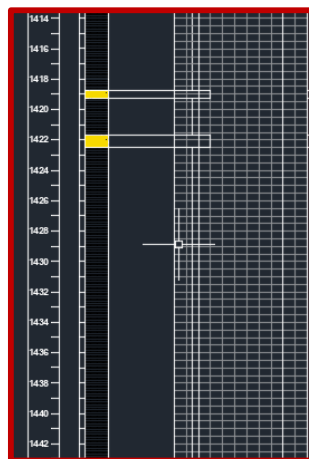


Figura 33. Asociación de facies AF9, bandeada cíclica.

Dos facies (sZ-Bi, Svf-Bi) constituyen la AF9, que se caracteriza por presentar: un predominio de limolitas arenosas sobre areniscas (93%:7%); estratos de limolitas que varían de espesores gruesos a muy gruesos, mientras que las areniscas presentan estratos delgados; los niveles de bioturbación son altos, distinguiéndose en las limolitas madrigueras generadas por *Phycosiphon* y *Ophiomorpha*.

Interpretación: El grupo de facies que representa esta asociación, se puede interpretar como un ambiente de mar profundo “offshore”, donde los sedimentos finos tienen tiempo suficiente para depositarse por medio de suspensión y algunas capas de arenisca muy fina son transportadas costa afuera por corrientes de tormentas.

Asociación de facies 10: De base a techo: Sf-SITb, Csb-Fgl, Sf-LcaII, Sf-TbII, sZ-Bi, Sf-LpI, Sm-If, Sf-LpI, Sf-Bi.

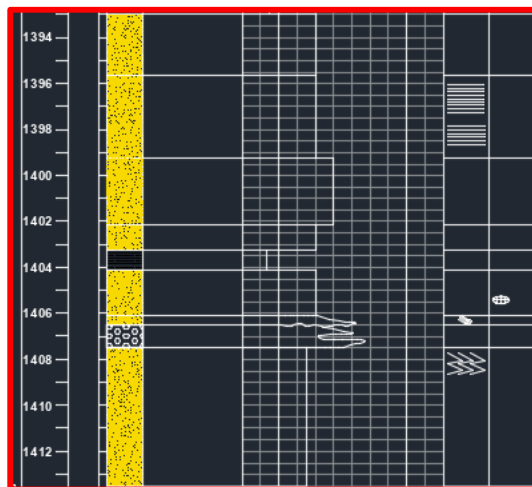


Figura 34. Asociación de facies AF10.

Dos facies (sZ-FSl, SvF-Sl) constituyen la A11, que se caracteriza por presentar: un predominio de limolitas arenosas sobre areniscas (93%:7%); estratos de limolitas que varían de espesores gruesos a muy gruesos, mientras que las areniscas presentan estratos delgados a gruesos; presencia de estructuras de deformación slumps; los niveles de bioturbación son altos, distinguiéndose en las limolitas madrigueras generadas por *Phycosiphon* y *Ophiomorpha*.

Interpretación: El grupo de facies que representa esta asociación, se puede interpretar como un ambiente de mar profundo “offshore”, donde los sedimentos finos tienen tiempo suficiente para depositarse por medio de suspensión y algunas capas de arenisca muy fina son transportadas costa afuera por corrientes de tormentas. Las estructuras Slumps, representan procesos de sedimentación por flujos de masas, los cuales se desarrollan mar afuera (Boogs, 2006).

Asociación de facies 12: De base a techo: Sf-TbII, Sf-LpI, Sf-TbII, SvF-FTb, Sf-LpII, Sf-TbI, Sf-Lca, SvF-LpTb, Svfc-II, SvF-LpTb.

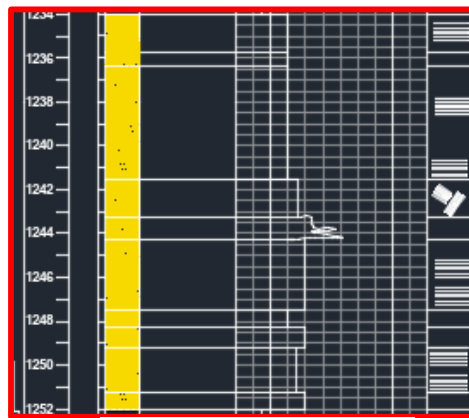
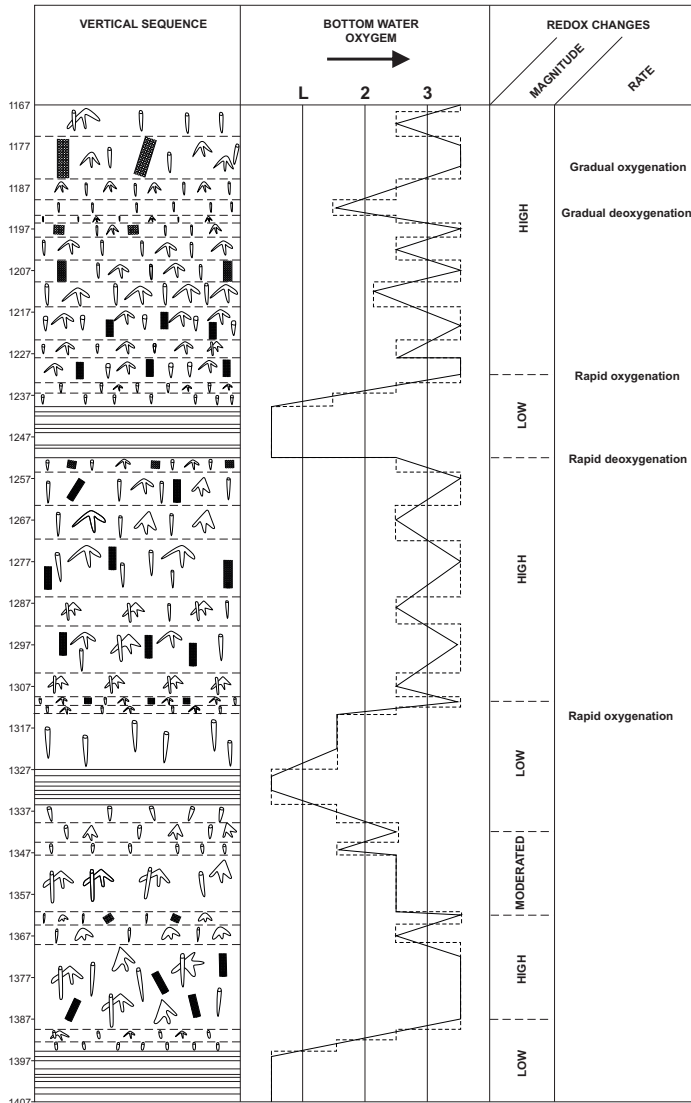


Figura 36. Asociación de facies AF12.

La AF12 está constituida por 7 facies, compuestas por areniscas líticas que varían en su granulometría de muy fino a fino. Las características principales que presenta la secuencia de areniscas son: variaciones en los espesores de los estratos tabulares de delgados a muy gruesos; laminación plano paralela continua; laminación cruzada en artesa; intraclastos lodosos redondeados de gran tamaño; trazas de bioclastos a lo largo de la secuencia; niveles de bioturbación bajos.

Interpretación: La AF12 se interpreta como un ambiente foreshore (The swash zone), que se caracteriza por presentar areniscas de tamaño de grano fino a medio, con estructuras de laminación plano paralela, formada por el flujo de retro lavado de las olas rompientes (Boogs, 2006).

5.4 Curva de pale oxigenación relativa



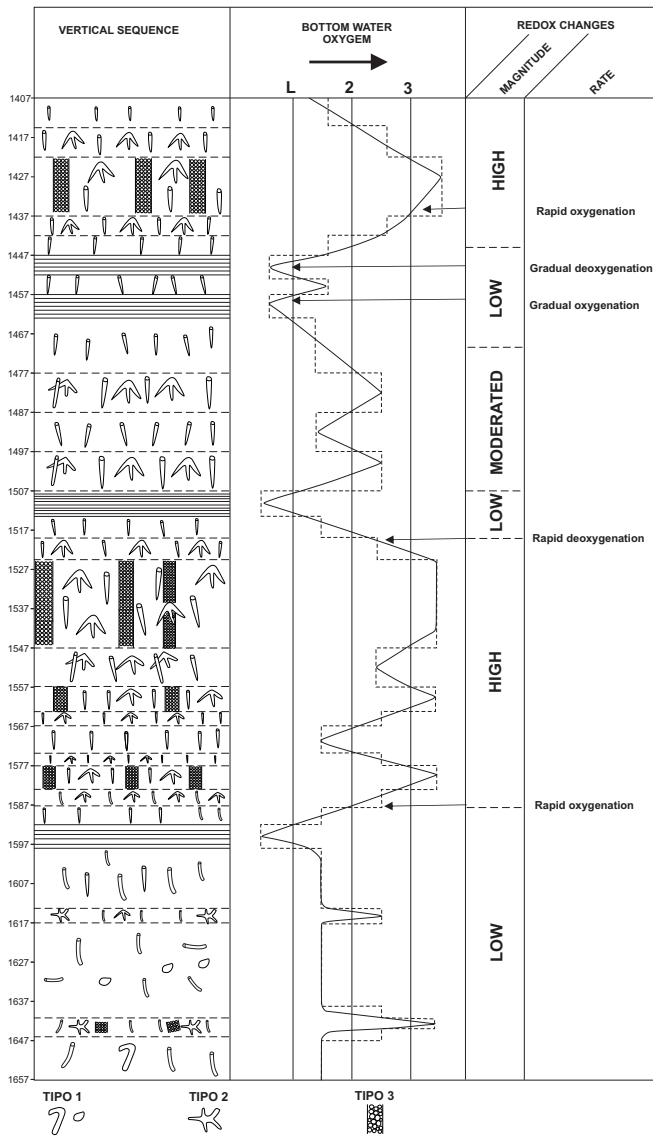


Figura 37. En la columna inferior de oxigenación del agua, L representa el límite umbral de condiciones anaeróbicas donde por debajo de este, se conservan las estructuras primarias y por encima donde pueden sobrevivir el organismo tipo 1. 2 y 3 representan los niveles umbral requeridos para permitir la presencia de productores de traza tipo 2 y 3 respectivamente.

La curva de pale oxigenación relativa se construyó mediante un análisis detallado de los niveles de oxigenación sobre una secuencia vertical de 491 Ft del pozo P-28 Villa Hermosa. Esta curva describe un modelo de secuencias, en donde se relacionan la oxigenación del agua de fondo, los estilos de productores trazas y los grados de bioturbación que afectan el sustrato. Las variaciones en la curva pueden presentar tres tipos de magnitud, entre los que se diferencian: alta, moderada y baja. Por otro lado se observa en la figura 38, específicamente en la columna de velocidad, los cambios en la tasa de sedimentación, donde la oxigenación o desoxigenación pueden clasificarse como gradual o rápido, dependiendo del cambio de la curva en un corto periodo de tiempo.

Este trabajo se inició generando una diferenciación entre ambientes anaeróbicos y aeróbicos, siendo la primera, característica de presentar concentraciones de oxígeno disueltos menores a 0.1 ml/L, donde las estructuras pueden conservarse bajo este rango, contribuyendo a la preservación de estructuras primarias, a raíz de la ausencia de macrofósiles que destruyen el tejido primario del sedimento. Por otro lado los ambientes aeróbicos presentan concentraciones mayores a 0.1 ml/L, aptas para permitir la ocupación de organismos productores de trazas, dependiendo de su capacidad oxigenada para sobrevivir en estas condiciones.

La línea de referencia L representa las condiciones máximas de oxigenación, para que primen las condiciones de ambientes anaeróbicos, y por encima de las cuales pueden sobrevivir los organismos productores de trazas tipo 1. Las trazas tipo 1 se relacionan con el icnogeno Skolithos, que es más versátil que los organismos tipo 2 y 3, ya que demandan menores concentraciones de oxígeno para sobrevivir en ambientes aeróbicos, requiriendo concentraciones > 0.1 ml/L. Los icnoespecie tipo 2 (Phycosiphon) y 3 (Ophiomorpha), precisan

de superar los niveles umbrales de los límites 2 y 3, respectivamente, para poder subsistir las capas del fondo marino. Según Rhoads (1975), la concentración de oxígeno disuelto es directamente proporcional al tamaño de las estructuras biogénicas, por lo que al llegar a la línea de referencia 3, se pueden observar rastros de organismos tipo 1 y 2 de mayor tamaño, y en algunos sectores superponiéndose a las madrigueras desarrolladas por tipo el 3. Por otro lado, según Savrda et al 1984, la profundidad es inversamente proporcional al diámetro de las estructuras, por lo que al acercarse a la línea de referencia L, las madrigueras o rastros comenzaran a disminuir su tamaño hasta desaparecer, cuando superen el umbral de L.

6. Discusión

El interés geológico presente en la zona de estudio, ha generado distintos tipos de investigaciones en el Cinturón de deformación del Sinú, a través de los cuales distintos autores, definen las unidades lito estratigráficas de la zona, describiendo las características sedimentológicas y ambientales. En general, el análisis de las formaciones presentes en la plancha 50 Puerto Escondido, se resume al trabajo realizado por GEOTEC (2003). Considerando las descripciones detalladas registradas en este informe, en el que se incluyen datos importantes sobre las rocas sedimentarias presentes en el Sinclinal El Pantano, se tuvieron en cuenta ciertos parámetros: la escala, trabajo de cartografía geológica, análisis petrográfico, muestreo de campo y los diferentes métodos utilizados para la recopilación de los datos de investigación, se concluye que existen muchas similitudes entre este trabajo realizado a escala 1:30.480 y el Geotec a escala 1:100.000, a pesar de que manejen diferente escala.

Las principales litologías descritas sobre el núcleo estudiado son: limolitas arenosas; areniscas sublíticas, las que presentan variaciones de tamaños de grano entre muy fino a medio y diferentes estructuras primarias; conglomerados bioclásticos y brechas líticas, comúnmente reportadas en las descripciones con referencia a la formación Morrocoy – El Pantano. Según GEOTEC (2003), la unidad está constituida por cuatro subunidades, divididas alfabéticamente entre: a, b, c y d. Estas forman parte de los materiales depositados durante el Mioceno tardío - Plioceno temprano, que actualmente conforman las unidades que componen las planchas 50 Puerto del SGC Escondido y 60 Canaletes.

Según Geotec (2003), la sub unidad a esta compuesta de: Conglomerados arenosos fosilíferos 5-10%, arenitas 25- 30%, limolitas 10-15% y lutitas 45-60%. Las areniscas líticas friables con tamaño de grano fino a mediano, son de color amarillo grisáceo en muestra fresca y amarillo pardo en muestra meteorizada, dispuestas en capas gruesas a muy gruesas, localmente calcáreas, las que presentan fósiles de bivalvos y gasterópodos bien conservados; frecuentemente gradan a limolitas, lodolitas y arcillolitas. A lo largo de las areniscas, se observan concreciones ferruginosas o calcáreas, intraclastos de lutitas grisáceas, estratificación cruzada en artesa. Hacia la base se desarrollan conglomerados fosilíferos que decrecen en tamaño hacia el techo. Esta definición presenta muchas similitudes a la asociación de facies 8, que presenta conglomerados arenosos bioclásticos con gasterópodos bien preservados, areniscas sub líticas a localmente calcáreas con laminación plano paralela continua – laminación cruzada tangencial, presencia de intraclastos lodosos y calcáreas, al igual que concreciones ferruginosas, fragmentos fósiles. La

que fue depositada en un ambiente de foreshore, correspondiente a la zona “swash”, donde la corriente de retro lavado crea las estructuras presentes en la secuencia, además de transportar materiales de tamaños guijarros y generar el transporte de los fósiles (Boogs, 2006).

La sub unidad b está constituida por: predominio de lutitas macizas sobre areniscas líticas de grano fino a mediano (70%:30%), de contactos gradacionales, observándose una estratificación gradada normal y cruzada en artesa; pocos niveles con contenido fosilífero y bioturbación tipo Skolithos (GEOTEC, 2003). Según el presente estudio estas características se asemejan las descritas para la AF1, compuesta por un predominio de limolitas arenosas sobre areniscas sub líticas de tamaño de grano fina a muy fina (77%:23%); presentando contactos irregulares causados por la bioturbación y gradación normal que varía de arena fina a muy fina; con madrigueras tipo Skolithos rellenas de material más fino. Se le incluiría a la descripción el alto nivel de bioturbación generado por los icnogeneros Skolithos y Phycosiphon.

Según Geotec (2003), la sub unidad c está compuesta de: 30% de lutitas, un 40% de limolitas y un 30% de arenitas y conglomerados. Areniscas líticas inter estratificadas con limolitas fosilíferas. Las areniscas presentan estratificación gradada inversa y en las limolitas bioclóstos de menores dimensiones. Estas características se pueden asociar a la AF4, presentando similitudes como la intercalación de limolitas fosilíferas, contenido de bioclóstos y areniscas con estratificación gradada inversa, aunque también presenta disimilitudes como la ausencia de conglomerados y lutitas.

La sub unidad d, se compone de una intercalación de capas delgadas a gruesas de lutitas gris a parda rojiza y capas delgadas a medianas de arenitas líticas de tamaño de grano muy fino, con

buena selección, de color gris amarillento a amarillo claro, en donde las lutitas presentan restos vegetales y en las areniscas laminación plano paralela. Estas características son correlacionales por las presentadas en la asociación de facies 3, que corresponden a intercalación de areniscas sub líticas, de tamaño de grano fino – muy fino, con limolitas bioturbadas, donde las estructuras primarias no se alcanzan a observar a causa del desarrollo de altos niveles de bioturbación en el segmento.

7.Conclusiones

La formación Morrocoy – El Pantano, corresponde a una secuencia grano creciente-estrato creciente de limolitas arenosas bioturbadas intercaladas con areniscas sub líticas a localmente calcáreas, y a medida que se acerca al techo se observa una reducción en la cantidad de limolitas presentes, predominando los sedimentos tamaño arena, con laminaciones plano paralelas – cruzadas tangenciales, presencia de fósiles de bivalvos y gasterópodos, concreciones ferruginosas y calcáreas, y algunas capas conglomeráticas arenosas bioclásticas que gradan hasta llegar a arena media calcárea.

Las facies reconocidas en la secuencia sedimentaria, son principalmente de tipo marino somero (Shoreface) dominado por olas – tormentas, presentando variaciones en la línea de costa, donde se depositaron algunos sedimentos en ambientes mar afuera y foreshore.

En general, la sucesión correspondiente a 491 Ft, presenta predominio de ambientes aeróbicos sobre anaeróbicos, donde priman los niveles de bioturbación altos – bajos, mostrando cambios de oxigenación - desoxigenación rápidos cuando la concentración de oxígeno varía de la línea 3 a L.

Se reconocieron tres tipos de icnogéneros, siendo las trazas tipo 1 generadas por Skolithos, tipo 2 Phycosiphon y tipo 3 Ophiomorpha, mostrando predominio en la sucesión vertical por las madrigueras desarrolladas por el Skolithos, mostrando variaciones en tamaño relacionadas directamente proporcional con la disponibilidad de oxígeno en el medio.

La unidad lito estratigráfica descrita en el núcleo, puede correlacionarse litológicamente con la formación Morrocoy – El Pantano, ya que presenta características muy similares a las cuatro subunidades correspondientes, pudiéndose comparar las similitudes de la subunidad a con la AF8, subunidad b con la AF1, sub unidad c con la AF4 y por último subunidad d con la AF3.

Referencias Bibliográficas

Aguilera, R. (2011). *Sinú and San Jacinto Basins*. Medellín: Fondo editorial universidad EAFIT.

Barrera, R. (1999). *Geología de la plancha 43-43 bis San Antero - San Bernardo del Viento*. Cartagena: INGEOMINAS.

Boggs, S., Jr., 1992, *Petrology of sedimentary rocks*: Macmillan Pub. Co., New York, 707 p.

Boggs, S. J. (2006). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy* (Vol. 4 edición). New Jersey, Estados Unidos de América: Pearson.

Campbell, C. V., 1967, Lamina, laminaset, bed and bedset: *Sedimentology*, v. 8, p. 7-26.

Campbell, C. J., 1968, The Santa Marta wrench fault and its regional setting: *Transactions*, 4 Caribbean Geological Conference, Port-of-Spain, Trinidad, p. 247-261.

Case, J. E., & Holcombe, T. L. (1974). Major basin along continental margin of northern South America. 733-741.

Cruz, L., & Caballero, V. (2007). *Petrología Sedimentaria, Guías de laboratorios*. Bucaramanga: Escuela de Geología.

Con formato

Droser, M.L. & Bottjer, D.J. (1986) A semiquantitative field classification of ichnofabric.

Journal of Sedimentary Research, 56, 558–559.

Con formato

Duque-Caro, H. (1975). Los Foraminíferos planctónicos y el Terciario marino de Colombia.

Micropaleontología de Madrid, 403-427.

Duque-Caro, H. (1975). Ciclos tectónicos y sedimentarios en el norte de Colombia y sus relaciones con la paleoecología. *Boletín geológico Colombiano*, 1-23.

Duque-Caro, H. (1979). Major Structural Element and Evolution of Northwestern Colombia.

AAPG memoir 29, 329-351.

Duque-Caro, H. (1980). Geotectónica y Evolución de la Región Noroccidental Colombiana.

Boletín Geológico Ingeominas, vol 23, 4-37.

Duque-Caro, H. (1984). Estilo Estructural, Diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno

Sinú-San Jacinto. *Boletín Geológico*, 1-28.

Dunham, R.J. (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In:

Classification of Carbonate Rocks (Ed. Ham, W.E.). Memoir 1, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK; 108–121.

Flinch, J. (2003). Structural Evolution of the Sinu-Lower Magdalena Area (Northern Colombia).
AAPG Bulletin.

Folk, R.L. (1974) Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill, Austin, Texas.

Folk, R.L. (1980). Petrology of Sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company

Folk, R.L. (1980). Petrology of Sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company.

GEOTEC LTDA (1997). Cartografía geológica de la Región del Sinú (Noroeste de Colombia),
Planchas 50, 51, 59, 60, 61, 69, 70, 71, 79 y 80. 3 volúmenes. Bogotá.

Gressly, A. (1838): Observations géologiques sur le Jura Soleurois. *N.Denk. allg. Schweiz. Ges.
ges. Naturz.*, 2: 1-112.

Geotec. (2003). *Geología de los cinturones Sini-San Jacinto*. Bogotá.

Higgins, G. E., & Saunders, J. B. (1974). Mud volcanoes - their nature and origin, in contribution
to the geology of the caribbean and adjacent areas. *Naturf. Ges. Basel, Band 84, No. 1*,
101-152.

Hubach, E., 1930, Informe geológico de Uraba: Bol. Min. Petrol., v. 4, no. 19-20, p. 26-136.

- Hedberg, H.D. (editor) (1976): *International stratigraphic guide*. John Wiley & Sons, Nueva York, 220 pags. (Traducción en español: *Guía Estratigráfica Internacional*, Reverte, Barcelona, 205 pags, 1980).
- Irving, E. (1971). La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia. *Boletín geológico*, 1-89.
- Krumbein, W.C. & Sloss, L.L. (1951) *Stratigraphy and Sedimentation*. Freeman, San Francisco, 497 pp.
- Laverde, F. (Sp). The Caribbean basin of Colombia, a composite Cenozoic accretionary wedge with under-explored hydrocarbon potential.
- Lozano, E., & Zamora, N. (2014). *Anexo K Compilación de la cuenca de Sinú - San Jacinto*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Miall, A. D., 1990, *Principles of sedimentary basin analysis*, 2nd ed.: Springer-Verlag, New York, 66p.
- Nichols, G., 2009, *Sedimentology and Stratigraphy*, 2nd ed.: Wiley-Blackwell, Oxford, United Kingdom.

Otto, G. H., 1938, The sedimentation unit and its use in field sampling: Jour. Geology, v.46, p. 569-582.

O'Brien, G. D. (1968). Survey of diapirs and diapirism, in Brausein. *AAPG*, 1-9.

Powers, M. C., 1953, A new roundness scale for sedimentary particles: Jour. Sed. Petrology, v. 23, p. 117-119.

Pellijohn, F.J. (1975): *Sedimentary rocks* (3ª edición), Harper & Row, Nueva York, 718 pags.

Quintero, W. (2016). Informe preliminar de áreas de interés regional para encontrar yacimientos de hidrocarburos no convencionales (shale gas) a partir de información geofísica (magnetometría y gravimetría) en la cuenca Sinú-San Jacinto. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Reyes, H., Montenegro, B., & Gomez, P. (2004). Tectonoestratigrafía y evolución geológica del valle inferior del Magdalena. *Boletín de geología*, 1-38.

Reyes Santos, J., & Mantilla Monsalve, M. (2000). Regiones tectono sedimentarias del valle inferior del Magdalena Colombia. 24.

Reyes, H., Montenegro, B., & Gómez, P. (2004). Tectonoestratigrafía y evolución geológica del Valle Inferior Del Magdalena. *Boletín Geológico*, 20.

Reading, H. G., and Collinson, J. D. (1996). Clastic coasts. *In Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy 3rd Edn.*, (H. G. Reading, Ed.), pp. 154–231.

Blackwell Science.

Con formato: Inglés (americano)

Rhoads, D.C., 1975, The paleoecological and environmental significance of trace fossils, *in* Frey, R.W., ed., *The study of trace fossils*: New York, Springer-Verlag, p. 147-160.

Savrda, C.E., Bottjer, D.J., and Gorsline, D.S., 1984, Development of a comprehensive oxygen-deficient marine biofacies model: Evidence from Santa Monica, San Pedro, and Santa Barbara Basins, California continental borderland: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 68, p. 1179-1192.

Selley, R.C. (1978): *Ancient sedimentary environments* (2ª edición), Chapman and Hall, Londres, 287 pags.

Stainforth, R. M., 1968. Mid-Tertiary diastrophism in northern South America. In: *Trans. Fourth Carib. Geol. Conf.*, Port Spain, Trinidad and Tobago, 1965, pp. 159-174.

Udden, J. A., 1898, *Mechanical composition of wind deposits*: Augustana Library Pub. 1, 69 p.

Van der Hammen, T., 1958, Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogenesis de los Andes Colombianos: Bol. Geol. Ingeominas, v. 6, no. 1-3, p. 67-128.

Vera, J. (1994). *Estratigrafía principios y métodos*. Madrid: Rueda.

Walker, R.G. (2006) Facies models revisited: introduction. In: *Facies Models Revisited* (Eds Walker, R.G. & Posamentier, H.). Special Publication 84, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, OK; 1–17.

Wadell, H., 1932, Volume, shape and roundness of rock particles: Jour. Geology, v. 40, p. 443-451.

Wentworth, C.K. (1922) A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377–394.