

**MODELO GEOLOGICO 3-D Y DEFINICION DEL AMBIENTE DEPOSITACIONAL
USANDO DESCRIPCION DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRIMARIAS Y
BIOGENICAS DE LA PARTE MEDIA DE LA FORMACION CIENAGA DE ORO
EN LA SECCION EL ARENAL. TUCHIN – CORDOBA.**

**GINA MARCELA RINCÓN RAMÍREZ
GABRIEL ANDRES MENDOZA RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2012

**MODELO GEOLOGICO 3-D Y DEFINICION DEL AMBIENTE DEPOSITACIONAL
USANDO DESCRIPCION DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRIMARIAS Y
BIOGENICAS DE LA PARTE MEDIA DE LA FORMACION CIENAGA DE ORO
EN LA SECCION EL ARENAL. TUCHIN – CORDOBA.**

**GINA MARCELA RINCÓN RAMÍREZ
GABRIEL ANDRES MENDOZA RODRIGUEZ**

Trabajo de grado para optar al título de Geólogo

**Director:
FREDDY MAURICIO NIÑO RODRÍGUEZ
Geólogo ICP-ECOPETROL S.A**

**Co- Director
SAIT KHURAMA VELASQUEZ
Universidad Nacional de Colombia**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

“Aprendí que no se puede dar marcha atrás, que la esencia de la vida es ir hacia adelante. La vida, en realidad, es una calle de sentido único.”

Agatha Christie

Gina Marcela Rincón dedica este trabajo:

A Dios por bendecirme con cada una de las cosas que tengo y que me rodean.

A mis padres Gustavo y Martha por su total apoyo amor y confianza.

A mis hermanos Erika, Gustavo y Germán por su compañía, amistad y consejos.

A mis ángeles en el cielo y en la tierra por su protección.

DEDICATORIA

***¿Qué te daré Dios por las Bendiciones que ha derramado sobre mí?
Levantare en Alto la Copa de la Salvación, un Brindis para Dios! (Salmo 116)***

Gabriel Mendoza dedica este trabajo:

***Gracias Señor por su infinito amor, fuerza, guía constante, múltiples bendiciones y
por permitirme terminar este trabajo a cabalidad.***

***A mis padres por su amor, entrega total y confianza.
A mis hermanos por ser mis alegrías, amigos y sabios consejeros.
Y a mi nona por su apoyo incondicional y gestar este logro.***

AGRADECIMIENTOS

- A don José Gabriel Mendoza y doña Martha Cecilia Rodríguez V, por ser unos padres ejemplares, por la buena crianza, los constantes consejos y sobre todo por su diario ejemplo de vida honesta, honrada y alegre.
- A mis hermanos Edgar Fabián Mendoza R, que en algún momento me hablo acerca de esta hermosa carrera, y José Ignacio Mendoza R, amigos, parceros y compañeros durante este importante tramo de mi vida.
- A mi nonita Cecilia, por su total confianza, cariño, y apoyo desde pequeño, pero sobre todo por ser una de las patrocinadoras de este proyecto universitario, (por su puntual pago nonita).
- A toda mi familia en general.
- A mi querida Universidad Industrial de Santander y mi escuela de Geología, porque era un anhelo estudiar allí. A mis profesores de carrera y profesionales que en ella me fui encontrando: Hugo García, Jorge Luis Rubiano, Luis Carlos Mantilla, Ricardo Mier, Juan Diego Colegial, Eduardo Castro, Alberto Ortiz, Eliecer Uribe, Victor Caballero, Luis Eduardo Moreno Jairo Clavijo, Sait Khurama, Iván Olaya y Darío Barrero, porque durante todo este tiempo hicieron que mi amor por esta profesión creciera aún más.
- A mis amigos y compinches de toda la carrera, porque se pasó muy bueno, muchas risas y alegrías, gracias a todos los que ya sabemos.
- A Johannita, por llenarme de alegría, cariño y buena compañía durante esta importante etapa.

Gabriel Mendoza

AGRADECIMIENTOS

- A todos los que en algún momento les interesó este proyecto.
- A mi Familia: Doña María (ejemplo de emprendimiento), Tíos y primos por sus consejos, compañía y admiración. Orgullosa de hacer parte de tan hermosa Familia.
- Mi mayor gratitud a aquellos profesores que durante mi carrera me inculcaron el amor por esta profesión, en sus diferentes campos de acción: Jorge Rubiano, Jairo Clavijo, Ricardo Mier, Carlos García, Víctor Caballero, Luis Carlos Mantilla.
- A los “gamines” y a las “niñas” por tantas sonrisas, por unas rabetas, por los abrazos, por la compañía, en fin, por hacer de mi vida universitaria una experiencia tan placentera. Por regalarme los mejores recuerdos de mi vida infinitas gracias.
- A Mónica Fuentes por tantos años de amistad incondicional.
- A mis amigos del JEP por su sincera amistad, palabras de aliento respeto y admiración.
- Al grupo de Estratigrafía: Frente de trampa y Frente de Offshore, por tantas cosas compartidas, sonrisas, geología en fin por tantos buenos momentos.
- A mi compañero Gabriel Mendoza por algunos consejos, un montón de paciencia, un par de rabetas. Dios nos tiene aquí para cosas muy grandes.
- Por último pero no menos importante a Rafael Leal por llegar en un momento clave en mi vida, para llenarme de buena energía y tranquilidad; por su cariño y compañía: Gracias.

Gina Marcela Rincón.

Los autores Gabriel Mendoza y Gina Rincón agradecen:

- Al Director del proyecto, Freddy Mauricio Niño, Por su tiempo, su paciencia, su entrega, confianza y todo su apoyo con nosotros. Por vincularnos a este proyecto.
- A Pedro David Gómez, por todos los consejos, las palabras de aliento, por su conocimiento, y por dedicarle tiempo a este proyecto. Muchísimas gracias.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	25
1. OBJETIVOS	26
1.1 OBJETIVO GENERAL	26
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
1.3 LOCALIZACIÓN	26
1.4 METODOLOGÍA	28
2. MARCO TEORICO	30
2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	30
2.2 MARCO GEOLÓGICO CINTURÓN DE SAN JACINTO	30
2.3 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL FORMACIÓN CIÉNAGA DE ORO	34
2.4 MARCO TEÓRICO ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO	36
2.4.1 Facies	37
2.4.2 Paleocorrientes	59
2.4.3 Icnofacies.	65
2.4.4 Ambientes.	90
3. ANÁLISIS FACIAL AFLORAMIENTO FORMACIÓN CIÉNAGA DE ORO	96
3.1 ASOCIACIÓN DE FACIES	96
3.1.1 Asociación de Foreshore.	96
3.1.2 Asociación de Shoreface Superior	97
3.1.3 Asociación de Barras Arenosas.	98
3.1.4 Asociación de Lagoons (Detrás de Barrera) y Ambientes Evaporíticos	99
4. CORRELACIÓN DE COLUMNAS LEVANTADAS	102
5. MODELO SEDIMENTOLOGICO	109
5.1 INTERPRETACIÓN AMBIENTAL MODELO SEDIMENTOLÓGICO	111
5.1.1 Zona 14 Columnas 1 2 3 (capa inferior- media).	112

5.1.2 Zona 13 Columnas 1, 2 y 3 (capa media-superior)	113
5.1.3 Zona 11 Columnas 4, 5 y 6 (capa inferior y media).	114
5.1.4 Zona 10 columnas 4, 5 y 6. (capa inferior y media).	115
5.1.5 Zona 9 Columnas 4, 5, 6, 7 y 8 (capas superior 4 5 6, inferior 7 8).	116
5.1.6 Zona 8, 7, 6 y 5 Columnas 7 y 8 (parte inferior a superior) y Columna 9.	117
5.1.7 Zona 3 Columnas de la 10 a la 18 Parte Inferior a Media.	119
5.1.8 Zona 2 y 1 Columnas de la 10 a la 18 Parte Media a Superior	121
CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	125
BIBLIOGRAFIA	126
ANEXOS	130

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización General del Área de Estudio. Imágenes tomadas de Google Earth 2012	27
Figura 2. Rasgos Estructurales de la Cuencas del Valle Inferior del Magdalena – Sinú – San Jacinto. Tomado de ECOPEPETROL 2002.	33
Figura 3. Correlaciones Estratigráficas en el Cinturón de San Jacinto y las Subcuencas de Plato y San Jorge. Tomado de Ingeominas, 1995.	35
Figura 4. Localización de las columnas estratigráficas levantadas. Imagen tomada de Google Earth 2012.	40
Figura 5. A: Arenisca con laminación plana paralela de la columna 1. B: areniscas rojizas de grano medio con laminación plana paralela columna 4. C: contacto entre las capas de arenisca column5.	42
Figura 6. A: Capas de arenisca con laminación inclinada perteneciente a la columna 3. B: Arenisca de grano medio con laminación inclinada, perteneciente a la columna 2.	43
Figura 7. A: Arenisca de grano medio con estratificación cruzada en artesa, columna 9. B: areniscas de grano fino con estratificación cruzada en artesa, perteneciente a la columna 7.	43
Figura 8. A: Limolita de color gris amarillento con laminación plana paralela fuertemente bioturbada, columna 17. B: limolita de color gris con laminación plana paralela perteneciente a la columna 6.	44
Figura 9. A: Arenisca de grano medio, no se observa estructura interna, perteneciente a la columna 13. B: arenisca de grano fino masiva, perteneciente a la columna 3.	45
Figura 10. A y B. Arenisca conglomerática. Detalle de granos de cuarzo y líticos redondeados (escala moneda). Anexo columna 19.	46

Figura 11. A y B. Intercalación de areniscas de grano fino con limolitas de color marrón rojizo, pertenecientes a la columna 9.	46
Figura 12. A: Arenisca lodosa con lentes de arena de color marrón oscuro	47
Figura 13. A: Detalle de lente de yeso en arenisca con laminación ondulosa.	
Columna 9. B: Arenisca con laminación ondulada, perteneciente a la columna 9.	48
Figura 14. A: Detalle de lentes de yeso, se encuentra en la misma dirección de la laminación. B: capas de arenisca de grano fino intercalada con limolita de color marrón en la columna 9.	48
Figura 15. A: Capa bioturbada en el techo, perteneciente a la columna 10. B: capa bioturbada por trazas de Thalassinoides, en la columna 13. C: Alto grado de bioturbación (epirelieve) columna 16. D: Detalle de Thalassinoides, cubiertos por areniscas ferruginosas.	49
Figura 16. A: Detalle de capa con laminación inclinada y la orientación de los gránulos de cuarzo. B: Capa muy gruesa de arenisca de grano medio a grueso, mal calibrada con laminación inclinada, perteneciente a la columna 14.	50
Figura 17. A: Arenisca bien cementada (ferruginosa) de color rojizo. Esta facies es particular en todas las columnas, y por lo general son láminas gruesas o capas muy finas y finas.	50
Figura 18. A: Capa con laminación plana paralela continua y discontinua, columna 1. B: Detalle de laminación plana en la columna 6.	54
Figura 19. A: Capa con laminación inclinada de bajo ángulo. Columna 2. B: Detalle de laminación inclinada en la columna 2.	54
Figura 20. A: Capa con laminación cruzada en artesa. Columna 4. B: Detalle de laminación cruzada en artesa columna 9.	55
Figura 21. A: Estructura masiva con granos de diferentes tamaños, reflejando una depositación en un ambiente de alta energía. Columna 18. B: Capa de estructura masiva perteneciente a la columna 15.	56
Figura 22. A: Detalle de ondulitas asimétricas y crestas sinuosas. B: detalle de crestas mostrando el sentido de la corriente. C: Ondulas asimétricas, pertenecientes a la columna 7.	57

- Figura 23. A y B: Lentes de yeso de aproximadamente 4 a 5cm de longitud y 0,4 cm de ancho. Se encuentran en medio de unas facies heterolíticas y en la misma dirección de la laminación, reflejando que su formación es sin genética a la roca huésped. 58
- Figura 24. A: Capa gruesa con laminación inclinada de alto ángulo perteneciente a la Columna 14. B: Detalle de clastos de cuarzo redondeado indicando un régimen de flujo alto. 58
- Figura 25. En la columna 2 en la capa 2 se observa la laminación inclinada donde se hizo la toma de medidas de paleocorrientes. 60
- Figura 26. Diagrama de rosetas de las columna 2 en las cuatro capas. A. diagrama correspondiente a la capa 2. Donde se observa que la dirección de la paleocorriente es NW. B. diagrama correspondiente a la capa 3 su dirección de paleocorriente es N-S. C. Diagrama correspondiente a la capa su dirección es SW. D. Diagrama correspondiente a la capa 1 su dirección de paleocorriente es SE. 60
- Figura 27. A: Columna 5 capa 11, se observa la laminación cruzada de bajo ángulo. B: Columna 5 capa 7, se observa laminación cruzada en artesa. 61
- Figura 28. Diagrama de rosetas de las columna 5 en las dos capas. A: Diagrama correspondiente a la capa 7, tomada en estratificación cruzada en artesa. La dirección es SE. B: Diagrama correspondiente a la capa 11, tomada en estratificación inclinada. La dirección es SE. 62
- Figura 29. Columna 7 capa 31, se observa laminación cruzada en artesa 63
- Figura 30. Diagrama de rosetas de la columna 7 capa 31 donde se observa la dirección de paleocorriente hacia el SW. 63
- Figura 31. Detalle capa 1 de la columna 14 donde se observa la laminación inclinada de ángulo alto. Los granos de cuarzo muestran la orientación. 64
- Figura 32. Diagrama de roseta mostrando la dirección de la paleocorriente capa 1 columna 14. Dirección de paleocorriente NE. 64
- Figura 33. Representación de las Diferentes Estructuras en los Diferentes Tipos de Sustratos. Tomado de Buatois, L; 2010. 68

- Figura 34. Bloquediagrama Esquemático de las Características de las Icnofacies Skolithos. Tomado de Buatois, L; 2010. 70
- Figura 35. Estructuras de Excavaciones Arenicolites. A: Vista en planta (epirelieve) de un Arenicolite en la columna número 19. B: Arenicolite viste en full relieve en una capa predominantemente arenosa de grano fino a muy grueso, columna 19. C: Arenicolite de aproximadamente 10cm de longitud visto en full relieve, perteneciente a una capa arenosa donde no se observa estructura interna, columna 20. D: Arenicolite de aproximadamente 45cm de longitud en la vertical vista en full relieve. 72
- Figura 36. Estructuras de Excavaciones Diplocraterion. A: Diplocraterion vista en full relieve de aproximadamente 6 cm de largo y 1cm de ancho, descrito en la columna 19, en una capa gruesa de arenisca mal seleccionada sin estructura interna, mostrando un nivel de alta energía. B: Diplocraterion en vista de full relieve donde se alcanza a observar sus dos tubos cilíndricos paralelos en las esquinas de la estructura. 73
- Figura 37. Estructuras de excavaciones de ophiomorphas. A-B: Aperturas de ophiomorphas con la pared externe recubierta de arenisca ferruginosa, y su interior relleno de sedimento arcilloso. Se encuentran en la columna cuatro en una capa gruesa de arenisca mal seleccionada sin estructura interna reflejando un nivel de alta energía. C-D-E: Ophiomorphas preservadas en full relieve de la columna trece, en una capa muy gruesa de areniscas muy mal seleccionadas con laminación inclinada. F: Grado de bioturbación dos Ophiomorpha no bifurcadas. G: Ophiomorpha identificada en la columna diecinueve en una capa gruesa de arenisca de grano fino a medio donde no se observa estructura interna. 75
- Figura 38. Estructuras de Palaeophycus. A: Palaeophycus de aproximadamente 4cm de longitud y 1,5 de ancho. B: En el tope de la columna número nueve se identifican trazas horizontales de Palaeophycus donde el relleno de la estructura es el mismo de la capa donde se encuentra, también se encuentran algunos Skolithos con un grado de bioturbación de 2. C-D: Al tope de la columna 20 y de toda la secuencia en general, se identificó una estructura horizontal de

aproximadamente 3,60m de longitud 2cm de diámetro, de geometría cilíndrica, lisa, no anillada de relleno similar al de la roca huésped, correspondiente a una traza de *Palaeophycus*. 78

Figura 39. Estructuras verticales de *Skolithos*. A: Icnofacies de *Skolithos* de aproximadamente 1cm de diámetro, sobresaliendo sobre la capa 1cm, en una arenisca mal calibrada donde no se observa estructura interna. B: *Skolithos* formando relieve positivo (epirelieve) en la columna trece. C: Grado de bioturbación tres de trazas de *Skolithos* en el epirelieve de una capa arenosas de la columna tres, el color rojizo corresponde a un relleno ferruginoso. D: Icnofacies de *Glossifungites*. *Skolithos* en una capa litificada de limolita con relleno en la estructura de arena perteneciente a la capa suprayacente (ver columna 16). E: Trazas positivas de *Skolithos* en una capa de arenisca ferruginosa (columna 9). 80

Figura 40. Trazas de *Thalassinoides*. A: Trazas horizontales de *Thalassinoides* en el techo de una capa arenosa de la columna 18. B: Facies de *Thalassinoides* sobre areniscas ferruginosas ubicada en la columna diez, once principalmente y características en otras partes del afloramiento. C: Las principales trazas horizontales se ubican en el epirelieve o techo de las capas. D: Vista lateral de un *Thalassinoides* cubierto por arenisca ferruginosa, ubicado en la columna número 10. E y F: Trazas de *Thalassinoides* bifurcadas en full relieve, ubicados en las columnas 19 y 20. 81

Figura 41. Relación entre las Icnofacies y los diferentes tipos de sustratos, y su restricción en ambientes marinos. (Bromley et al., 1984 en Pemberton G., 1992). 84

Figura 42. Correlación de la icnofacies *Glossifungites* entre las columnas 16, 17 y 18. 86

Figura 43. Icnofacies *Glossifungites*. A: capa de 50cm de espesor, compuesta por limolitas y limolitas arenosas de color gris verdoso, la suprayacen e infrayacen capas de areniscas de tamaño arena fina a media y de estructura masiva. B: Índice de bioturbación grado 3, donde se identifican trazas de *Skolithos* y *Thalassinoides*. C: Plano colonizado por organismos formadores de trazas

verticales. Relieve positivo. D: Excavación vertical correspondiente a una traza de Skolithos de aproximadamente 5cm de longitud y 1,5cm de diámetro. La estructura se encuentra rellena de sedimento arenosos correspondiente a la capa arenosa que la suprayace.	87
Figura 44. Formación de la icnofacies Glossifungites. Tomado de Buatois, L., 2010.	88
Figura 45. Caracterización de Ambientes Marinos Según sus Icnofacies y Estructuras Sedimentarias. Tomado de Buatois, L., 2010.	91
Figura 46. Ambiente de depositación. Tomado de Walker, R., 1992.	94
Figura 47. Zonación Según el Tipo de Ondulas. A: Ondulas asimétricas tomadas en el tope de la columna 7. B: Crestas sinusoidales al tope de la columna 5 y 6. C: Zonación según el tipo de ondulas. Tomado de Catuneanu, o., 2006.	95
Figura 48. Asociación de facies de foreshore identificadas en las columnas 2 y 3 respectivamente.	98
Figura 49. Asociación de Facies de Shoreface Superior.	99
Figura 50. Asociación de Facies de Barras Arenosas Bioturbadas.	100
Figura 51. Asociación de Facies de Ambientes Evaporíticos Ejemplo Base Columna 9.	101
Figura 52. Correlación Estratigráfica y Facies de las Columnas 1, 2,3 y 4, 5,6 Respectivamente.	102
Figura 53. Correlación de facies entre las columnas 7 y 8	105
Figura 54. Correlación de Facies de las Columnas 10, 11, 12, 13, 14 y 15.	106
Figura 55. Correlación de facies de las columnas 16, 17 y 18.	108
Figura 56. Flujo de trabajo para realizar el modelo Geológico 3D.	109
Figura 57. Puntos LIDAR cargados en el programa. En él se observa la forma del afloramiento, y la ubicación de las columnas levantadas en campo.	110
Figura 58. Zona 14 Modelo Sedimentológico columnas 1, 2 y 3. Parte inferior y media.	112
Figura 59. Zona 13 Modelo sedimentológico columnas 1, 2 y 3. Parte media y superior.	113

Figura 60. Zona 11 Modelo sedimentológico columnas 4, 5 y 6. Parte inferior y media	114
Figura 61. Zona 10 Modelo sedimentológico columnas 4, 5 y 6. Parte media y superior.	116
Figura 62. Zona 9 modelo sedimentológico columnas 4, 5 y 6. Parte superior y columnas 7 y 8 parte inferior.	117
Figura 63. Zonas 8, 7, 6 y 5 modelo sedimentológico columnas 7, 8 y 9.	119
Figura 64. Zona 3 modelo sedimentológico columnas de la 10 a la 18.	119
Figura 65. Zona 2 y 1 modelo sedimentológico columnas de la 10 a la 18.	121
Figura 66. Corresponde al bloquediagrama del modelo terminado. A. Modelo visto desde el occidente. B. Modelo visto desde el oriente.	122

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Nomenclatura facies.	38
Tabla 2. Descripción de las facies con su respectiva litología, icnofacies y estructuras sedimentarias.	51
Tabla 3. Resultados de las direcciones de paleocorrientes, números de medidas, promedios de dirección y dirección de las paleocorrientes.	65
Tabla 4. Clasificación de los Fósiles Traza Identificados en la Sección el Arenal.	82

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Descripción Sedimentológica y Estratigráfica	131

RESUMEN

TITULO: MODELO GEOLOGICO 3-D Y DEFINICION DEL AMBIENTE DEPOSITACIONAL USANDO DESCRIPCION DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRIMARIAS Y BIOGENICAS DE LA PARTE MEDIA DE LA FORMACION CIENAGA DE ORO EN LA SECCION EL ARENAL. TUCHIN – CORDOBA.

AUTORES: Gina M. Rincón**
Gabriel A. Mendoza

PALABRAS CLAVE: Formación Ciénaga de Oro, Icnología, Estructuras Sedimentarias Primarias, Modelo Sedimentológico.

Las trazas fósiles son estructuras biológicas que comprenden excavaciones, pistas, huellas, perforaciones y otras estructuras de locomoción, alimentación o vivienda que registran el comportamiento de los organismos productores en respuesta a las condiciones ambientales dominantes, estas proporcionan información complementaria para el análisis del registro estratigráfico en el momento de la determinación de ambientes de depositación junto con las estructuras sedimentarias primarias generadas simultáneamente al depósito de los sedimentos.

En este estudio se realiza un análisis facial, proponiéndose un modelo sedimentológico para un sector de la parte media de la Formación Ciénaga de Oro del Cinturón de San Jacinto en una sección del departamento de Córdoba, a partir de la descripción detallada de 20 columnas estratigráficas (escala 1:10) levantadas en la sección el Arenal. La Formación Ciénaga de Oro en este afloramiento es predominantemente arenosa y presenta una alternancia de areniscas de grano fino a conglomeráticas, limolitas intensamente bioturbadas, shales grises y carbonosos de edad Oligoceno – Mioceno temprano, las asociaciones faciales documentan ambientes que van desde shoreface superior a foreshore.

Los resultados de los análisis sedimentológicos y estratigráficos se muestran en un modelo 3D el cual es una herramienta importante en el estudio de estos sedimentos como roca reservorio de importancia en el norte de Colombia.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director. FREDDY MAURICIO NIÑO RODRÍGUEZ, Geólogo ICP-ECOPETROL S.A. Codirectora: SAIT KHURAMA VELASQUEZ, Universidad Nacional de Colombia

ABSTRACT

TITLE: SEDIMENTOLOGICAL MODEL OF THE CIENAGA DE ORO FORMATION, ICHNOLOGY AND SEDIMENTARY STRUCTURES APPLIED TO FACIES ANALYSIS AND DEFINITION OF DEPOSITIONAL ENVIROMENTS*

AUTHORS: *Gina M. Rincón***
Gabriel A. Mendoza

KEY WORDS: Ciénaga de Oro Formation, Ichnology, Primary Sedimentary Structures, Sedimentological Model.

In ichnology trace fossils are structures that include excavation, tracks, footprints, drillings and other structures of locomotion, food or housing that record the behavior of the organism producing in response to the prevailing environment conditions, providing information for the analysis of stratigraphic record, facies analysis and like possible tools to determinate depositional environments with primary sedimentary structures, generated simultaneously with the reservoir allowing the interpretation of the forming environment of the unit.

This study proposes the facies analysis and the creation of a sedimentological model for the middle part of the Ciénaga Formation of the San Jacinto Belt in a section of Cordoba department, using the detailed description of 9 stratigraphic columns (scale 1:10) raised in section Arenal, analyzing sedimentological and biogenic parts to define the depositional environment for this part of the Ciénaga de Oro Formation predominantly sandy, with an alteration of fine grained sandstones to conglomeratic, intensely bioturbated siltstones, carbonaceous grey shales Oligocene Early-Mioceno. Once characterized the facies, is generated described and interpreted the surface geology generating 3D sedimentological models as a tool for determining the training environment.

The integration of the data described in field and the application the study of trace fossil for a widely bioturbated section recognized an ichnofacies model, the ichnofabric approach, and the responses to environmental parameters. This traces in conjunction with description of primary structures, allows us to specify the interpretation of depositional environment for Ciénaga de Oro Formation being key because this is one of reservoir rocks in the basin of San Jacinto Belt.

* Graduation Project

** Physicochemical Engineering Faculty. School of Geology. Director. FREDDY RODRIGUEZ CHILD MAURICE. ICP-Ecopetrol SA Geologist. Co-director. SAIT KHURAMA VELASQUEZ, National University of Colombia

INTRODUCCIÓN

Como proyecto de grado y complemento a los trabajos de investigación del grupo de offshore del Instituto Colombiano del Petróleo, se realizó un estudio de Geología de superficie en el área de Tuchín Córdoba (Cinturón de San Jacinto) con el fin de interpretar el ambiente de depósito para la parte media de la Formación Ciénaga de Oro en esta sección y generar un modelo sedimentológico 3d.

Se describieron secciones estratigráficas a escala 1:10 con el objetivo de captar el mejor detalle y hacer énfasis en las estructuras sedimentarias presentes y en los fósiles traza, teniendo en cuenta que el afloramiento permite la clara descripción de estas estructuras. Se levantaron aproximadamente 200 metros de columnas estratigráficas se ilustra la caracterización facial e icnofacies, un análisis paleoambiental, la aplicación que tienen ciertos fósiles traza en la estratigrafía de secuencias y se realizan correlaciones para generar posteriormente el modelo sedimentológico 3d.

La sección el Arenal se escoge después de realizar un scouting por el Valle Inferior del Magdalena y los Cinturones de San Jacinto y Sinú, siendo esta zona de gran interés exploratorio en la industria petrolera.

El presente trabajo permite realizar una evaluación detallada de esta sección, en donde las condiciones del afloramiento permitieron levantar 20 columnas y una vez finalizado el trabajo de campo se realiza una fase de interpretación, análisis y carga de datos en el software con el objetivo de poder modelar las columnas levantadas, correlacionarlas y poder visualizar en 3 dimensiones el cambio lateral y vertical de facies.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis detallado sedimentológico y biogénico que permita determinar el ambiente de depositación de la Formación Ciénaga de Oro en la sección el Arenal Municipio de Tuchín departamento de Córdoba.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un levantamiento estratigráfico a escala 1:10 por medio de columnas realizadas en diferentes ubicaciones a lo largo del afloramiento.
- Describir detalladamente e interpretar las estructuras sedimentarias físicas, estructuras sedimentarias biogénicas (icnofósiles) y determinar los patrones de bioturbación e icnofacies.
- Analizar las facies e icnofacies presentes en la Formación Ciénaga de Oro, e interpretar las asociaciones de facies, para determinar ambientes y sub-ambientes de depositación.
- Cargar los datos obtenidos en campo e interpretar en el software PETREL con el fin de desarrollar el modelo geológico 3D.

1.3 LOCALIZACIÓN

La sección del Arenal hace parte del Cinturón de San Jacinto en el Valle Inferior del Magdalena (VIM) en el departamento de Córdoba. Se encuentra aproximadamente a 4 km de distancia sobre la carretera que conduce del municipio de San Andrés de Sotavento al municipio de Tuchín. Ubicado en la plancha número 52 de INGEOMINAS la sección del Arenal consta de rocas del oligoceno pertenecientes a la Formación Ciénaga

de Oro y las coordenadas aproximadas donde se ubica este afloramiento son las siguientes: X=1.505.426, Y= 839.488 (Figura 1).

Figura 1. Localización General del Área de Estudio. Imágenes tomadas de Google Earth 2012



1.4 METODOLOGÍA

Para realizar el modelo sedimentológico de una manera más detallada, se realizaron tres fases. La sección fue seleccionada después de realizar un scouting en los cinturones de San Jacinto y Sinú siendo esta la mejor conservada, manteniendo las estructuras sedimentarias Primarias, biogénicas y una buena continuidad de las capas. Las fases fueron las siguientes:

Fase de pre-campo:

Para la ejecución de este trabajo se realizó inicialmente una revisión bibliográfica y consulta de información existente en el Centro de Investigación Técnica (CIT) ICP ECOPEPETROL, Ingeominas, base de datos de la AAPG y en la Universidad Industrial de Santander. La información consistente en informes de cartografía geológica, estratigrafía, mapas geológicos, trabajos relacionados con estructuras sedimentarias, biogénicas y sedimentología.

Posterior a la fase de recopilación se lleva a cabo un entrenamiento en descripción de estructuras Biogénicas donde se realizó el curso Icnología Aplicada al Análisis de Facies y Estratigrafía de Secuencias dictado por el Dr. Luis Buatois (Full Professor, Department of Geological Sciences, University of Saskatchewan, Canada). Se estableció la medida de Paleocorrientes mediante la metodología de (Potter, et al., 1979), también se llevó a cabo un entrenamiento en medida de paleocorrientes por el M.Sc. Jorge Luis Rubiano, documentándose con literatura sobre el mismo. En conjunto se tomaron clases básicas en el manejo del software PETREL, carga de datos e interpretación de datos geológicos.

Básicamente lo que se establece en esta fase, es adquirir conocimiento en el manejo de herramientas que serán usadas en campo y posteriormente en la interpretación de estos mismos datos.

Fase de campo:

Se lleva a cabo la salida a la sección El Arenal la cual se encuentra ubicada en la vía que comunica a los municipios de San Andrés de Sotavento y Tuchín en el departamento de Córdoba, donde afloran rocas de la Formación Ciénaga de Oro la cual es el interés de este trabajo.

Se realiza un levantamiento estratigráfico que consta de un grupo de columnas (en total 20) que son levantadas a escala 1:10 con el uso de la cinta métrica y el bastón de Jacob, para el espesor de los estratos se utilizó la escala propuesta por (Ingram 1957). La naturaleza de los contactos se describió según (Bouma 1963). También se determinó la continuidad, uniformidad y forma de las capas.

Fase de interpretación:

Teniendo en cuenta el recorrido que se ha realizado en las anteriores fases, esta se considera de vital importancia, ya que es donde se realiza la interpretación de las facies y sus asociaciones, se realiza el procesamiento de los datos y se emiten las conclusiones de este trabajo e interpretación ambiental y creación del modelo sedimentológico.

Se elaboraron las columnas estratigráficas en el programa COREL DRAW. Posteriormente se cargaron estos datos al software PETREL, donde se elaboró el modelo 3D.

2. MARCO TEORICO

2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El Valle Inferior del Magdalena se encuentra en el noroccidente de Colombia, limitado al este por la Sierra Nevada de Santa Marta y la falla de Bucaramanga – Santa Marta, al sur por las estribaciones más septentrionales de las cordilleras Central y Occidental de los Andes Colombianos y al norte y oeste por la Cuenca de Colombia.

Los principales rasgos geológicos de la cuenca del Valle Inferior del Magdalena (figura 2) son la falla de Santa Marta – Bucaramanga, los sistemas de fallas de Cansona, Sinú, Uramita, Oca, Palestina, Mojana, Sucre y Turbaco. La cuenca ha sido dividida en las Subcuencas del Caribe, Barranquilla, Sinú, Plato, San Jorge, el Cinturón Plegado de San Jacinto y los Altos de Magangué y El Difícil. (Geología de Superficies en el Valle Inferior del Magdalena Tomo I Ortiz, A et al 1998).

2.2 MARCO GEOLÓGICO CINTURÓN DE SAN JACINTO

Según (Dueñas 1986), la historia geológica se inicia en el Cretáceo Superior, para esta época el “Surco Romeral” separaba dos ambientes geológicos diferentes, al oeste se presentaba una ambiente oceánico en el que se desarrolló una secuencia ofiolítica consistente en peridotitas, basaltos y cherts, y al este una plataforma continental conformada por un complejo ígneo – metamórfico con predominio de rocas granodioríticas.

Durante el Paleoceno y Eoceno medio ocurren esfuerzos compresionales por interacción de las cortezas oceánicas y continentales, ocasionando profundización de la Cuenca Oceánica. Este período de inestabilidad originó el depósito de

turbiditas de la Formación San Cayetano. Durante este período la Corteza continental permanecía emergida siendo área de aporte de las turbiditas.

Durante el Eoceno medio se produce la Orogenia Pre – Andina que pone en contacto directo rocas de la Corteza oceánica con rocas de la Corteza Continental y a su vez origina una cuenca sobre la que se depositan los sedimentos de la Formación de Ciénaga de Oro en lo que hoy se conoce como Anticlinorio de San Jerónimo y la Cuenca de San Jorge. Al finalizar el depósito de la Formación Ciénaga de Oro (Mioceno Inferior) se produce un hundimiento paulatino de la cuenca, lo que origina el depósito de los sedimentos arcillosos de la Formación Porquero. El depósito de la Formación Porquero finaliza debido a un nuevo período orogénico que produce una somerización de la cuenca. Durante este período de somerización se depositaron los sedimentos de la Formación Cerrito, con ambiente marino somero y continental hacia el tope. Durante este período de inestabilidad (Orogenia Andina) se levantan, pliegan y fallan los sedimentos depositados. También se produce una reactivación del Paleosurco Romeral y una tectónica de bloques en la cuenca de San Jorge.

Al finalizar la Orogenia Andina se produce el retiro de los mares y se produce la sedimentación de un grueso período continental.

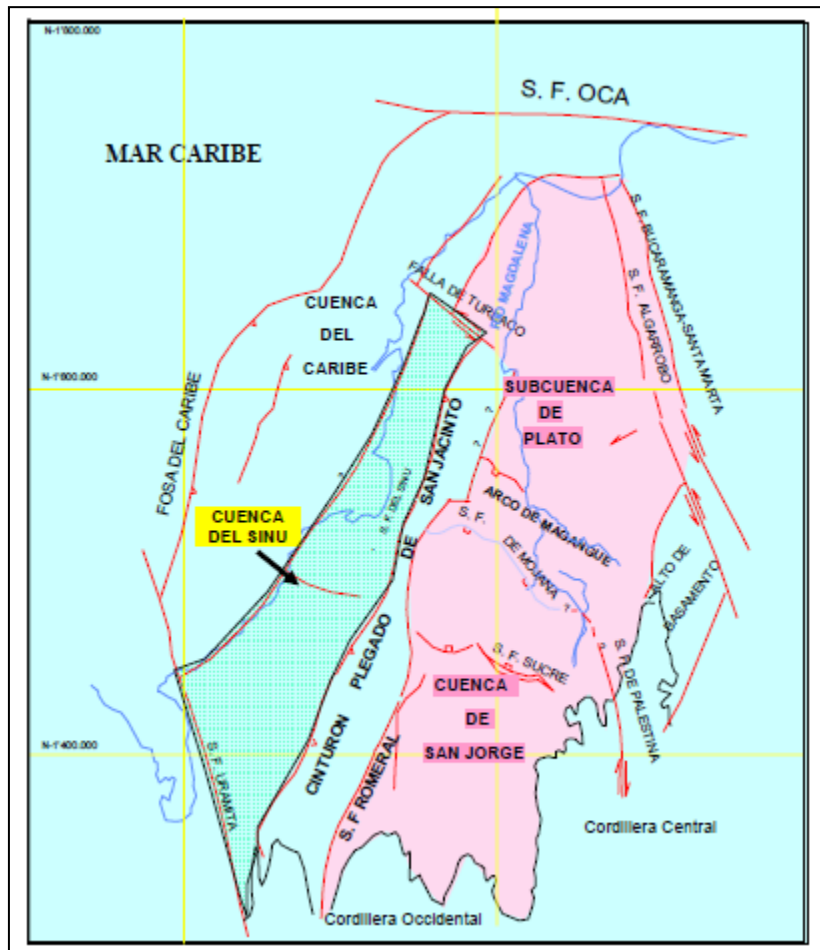
La cuenca sedimentaria del Cinturón Plegado de San Jacinto se localiza en el sector noroccidental del país y pertenece a la cuenca sedimentaria del Valle Inferior del Magdalena. La interacción de las placas Caribe, Cocos y Suramericana las cuales han estado interactuando desde el Cretáceo (Niño, H 1998) reflejan características de una tectónica de margen continental activo.

El sistema de fallas de Romeral eleva los diferentes bloques sedimentarios conformando el Cinturón Plegado de San Jacinto actuando como separación con las subcuencas de San Jorge y Plato al oriente (figura 2).

El Cinturón Plegado de San Jacinto presenta un tren estructural de dirección N.E, sin observarse hacia el norte de la cuenca y limitados por el sistema de fallas de Turbaco, el cual se define como un sistema de transformación que sirve de límite a la zona de subducción, desarrollándose en este sector, posiblemente, a partir del Paleoceno (Martínez, F, et al, 1994 en Niño, H 1998).

Durante el Cretáceo tardío, y debido al desplazamiento sufrido por la placa Caribe, se da origen a una zona de subducción a lo largo del lineamiento de Romeral, y las rocas que actualmente forman el Cinturón Plegado de San Jacinto se constituyen en un frente de deformación que se desplaza hacia el Nor-Occidente. La fosa de subducción da lugar a la protocuenca Sinú – San Jacinto y durante esta edad se depositan sedimentos batiales a neríticos, al oeste de dicho lineamiento. Durante el Paleoceno – Eoceno inferior, las subcuencas de Plato y San Jorge, se presentan como altos para la época, pronunciándose la zona de subducción y se depositan sedimentos clásticos que son transportados por corrientes de turbidez y sedimentos más finos (pelágicos y hemipelágicos) que van hacia zonas distales de offshore. De esta manera empieza a formarse el Cinturón Plegado de San Jacinto comportándose como un prisma acrecional.

Figura 2. Rasgos Estructurales de la Cuencas del Valle Inferior del Magdalena – Sinú – San Jacinto. Tomado de ECOPETROL 2002.



Como respuesta a los movimientos de la placa Caribe, la cual traía un movimiento ascendente en dirección noreste, chocando con la placa norteamericana y obligada a desplazarse aún más hacia el este, se da origen al evento orogénico que formaría el Cinturón Plegado de San Jacinto.

Hacia el Mioceno Tardío – Plioceno los eventos compresionales originados por la Orogenia Andina consolidan el levantamiento del Cinturón del Sinú – San Jacinto alcanzando la expresión topográfica que actualmente posee.

2.3 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL FORMACIÓN CIÉNAGA DE ORO

Se le conoció según informes de la INTERCOL como “Pintura Formation”, término que en la actualidad se encuentra en desuso. El nombre de Formación Ciénaga de Oro fue asignado por Duque Caro 1973, para una secuencia de Areniscas y Shale descrita en la sección tipo de la carretera que de Montería conduce a Planeta Rica en el departamento de Córdoba.

Esta unidad aflora al sur del departamento de Córdoba, en el área del Alto de San Jorge, tanto en el Norte como al Occidente pero al Oriente no lo hace por efectos tectónicos, (INGEOMINAS 1986). Esta unidad yace discordante sobre la Formación San Cayetano e infrayace en paraconformidad con la Formación El Carmen. Se encuentra disconforme con las unidades que la infrayacen o suprayacen (Cáceres 1978). En cuanto a la edad la parte basal es datada por (Dueñas 1986) como del Oligoceno Inferior; mientras que la parte superior está entre el Eoceno superior- Oligoceno y Mioceno inferior (Dueñas 1986). Esta unidad es correlacionable con la Formación Tolú Viejo (figura 3).

Los estudios sobre esta formación han sido reportados por: Duque-Caro 1973, Dueñas y Duque-Caro 1981, Dueñas 1986, Duque Caro y Guzmán 1991 Clavijo y Barrera 1999. Ecopetrol 2000. La referencia cartográfica del INGEOMINAS es la plancha 1:100000 numero 52.

Las secciones de referencia: carretera San Andrés- Tuchín: levantamiento hecho por (Clavijo y Barrea 1999) e informe (VIM Ecopetrol 2000). En general este afloramiento consta de una alternancia de Areniscas con limolitas intensamente bioturbadas, donde se reportan madrigueras de Cangrejos (*Thalassinoides*). El ambiente de depositación es interpretado como deltaico (Dueñas 1986) en la plancha 52, Clavijo y Barrera apuntan a un ambiente claramente transgresivo somero.

Mientras que el informe de Ecopetrol en el 2000 indica que la Formación Ciénaga de Oro en La sección de Tuchín sugiere un ambiente de depósito de *shoreface* inferior. La sección termina con una arenisca gruesa con *Ophiomorpha*, *Skolithos*, y *Thalassinoides*. Las características texturales, además de las estructuras biogénicas y físicas indican un depósito de *shoreface* superior a medio.

La diferencia facial entre las Secciones de Ciénaga de Oro - La Yé y Tuchín indican diferentes ambientes de depositación para diferentes edades en la formación (la Sección Ciénaga de Oro - La Yé es de edad Oligoceno Superior y la Sección Tuchín es de edad Oligoceno).

Figura 3. Correlaciones Estratigráficas en el Cinturón de San Jacinto y las Subcuencas de Plato y San Jorge. Tomado de Ingeominas, 1995.

PERIODOS	REGION		EDAD millones de años	CINTURON DE SAN JACINTO				Cuenca de Plato San Jorge	
	EPOCA	REGION		SUR	BLOQUE DE BINCELEJO	BLOQUE DEL CARMEN	BLOQUE DEL LURUACO		SUBCUENCA DE PLATO
CUATERNARIO	HOLOCENO		0.07						
				PLISTOCENO					
T E R C I A R I O	NEOGENO	S	1.6	Fm. Cerito	Fm. Cerito				
			1.0				Formación Tubará	Formación Tubará	
	MIOCENO	M	16.3				Formación Hibachero	Formación Mezclarone	
			21.	Fm. Carmen	Fm. Carmen	Fm. Carmen			
	PALEOGENO	OLIGOCENO	S	23.					
				29.	Fm. Ciénaga de Oro		Mz. Arenas de Oro	Fm. Peribos	Fm. Ciénaga de Oro
		EOCENO	M	38.		Fm. Tolú Viejo	Fm. Carmen		
				50.	Fm. La Tampa		Fm. Tolú Viejo	Fm. Arroyo de Piedra	
	PALEOCENO	S	58.			Fm. San Cayetano			
			60.	Fm. San Cayetano	Fm. San Cayetano	Fm. San Cayetano	Fm. San Cayetano		
65.									
CRETACEO SUPERIOR	CAMPAÑANO		74.0	Fm. Cansona	Fm. Cansona	Fm. Cansona	?		
		83.0							

2.4 MARCO TEÓRICO ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO

Las rocas sedimentarias son formadas sobre la superficie de la tierra por procesos de baja presión y temperatura, donde los sedimentos son depositados por agentes de transporte gravitatorios, agua, aire, hielo, o por agentes químicos o biológicos (Nichols, G., 2009). Estas rocas están conformadas por materiales terrígenos derivadas del intemperismo y procesos erosivos en las rocas ya preexistentes.

Existen rocas sedimentarias clásticas (terrígenas), químicas y residuales las cuales se forman in situ. Las rocas sedimentarias terrígenas son integradas por más del 50% de materiales terrígenos, las cuales son las predominantes en el estudio de esta sección.

Los procesos de transporte y de depositación generan una amplia variedad de rocas sedimentarias, cada una con características distintiva y propiedades físicas como la textura, composición y estructuras sedimentarias entre las más importantes.

La descripción se hizo en base a estas tres últimas características teniendo en cuenta el tamaño, la forma de los granos, el armazón, la matriz y el cemento. Todas ellas hacen parte de la descripción textural.

La composición contempla la composición mineralógica y el tipo de partículas, (anexo columnas). La descripción de la composición se realizó en campo.

Las estructuras sedimentarias son parte fundamental de este trabajo por ser una pista clara en la interpretación ambiental, refleja características como la estratificación, espesor de las capas, geometría de las capas, planos de estratificación, la laminación y estructuras de corriente entre otras. Las estructuras

primarias son formadas en el mismo momento de la depositación, y son respuestas a las condiciones del medio de depositación.

Las características texturales, como la composición y las estructuras reflejan la naturaleza de los procesos sedimentarios y son clave en la ayuda a la interpretación de los ambientes sedimentarios.

2.4.1 Facies. En este capítulo se describen las diferentes litofacies identificadas en la sección. El levantamiento consistió en la descripción de 20 columnas a escala 1:10, correspondiente a 222m de espesor estratigráfico, (figura 4).

Se identificaron 13 litofacies con base esencialmente en las características litológica, texturales, estructura interna y bioturbación. Las facies se determinaron según la definición dada por (Midleton, 1978), el cual afirma que las facies pueden tener una descripción informal, es decir, se pueden denominar *Facies 1*, o una breve descripción: *facies de arenisca con laminación plano paralela*. Acompañado de la denominación *Facies 1*, se encuentran las letras que identifican el tipo de litología seguida por una letra que denomina la estructura interna, como por ejemplo si es planar, masiva o bioturbada, (tabla 1).

Tabla 1. Nomenclatura facies.

Tipo de toca	Estructura principal
C: conglomerado	m: macizo
Sc: arenisca conglomerática	I: laminación inclinada
S: arenisca	i: imbricación
L: lutitas	h: laminación horizontal
I: intercalaciones	p: laminación cruzada planar
Bioturbación	t: laminación en artesa
(t): thalassinoides	b: bioturbación
(p): Planolites	w: laminación ondulada
(pa): palaeophycus	r: ripples
(a): arenicolites	y: lentes de yeso
(s): skolithos	nod: nodulos
(o): ophiomorfa	

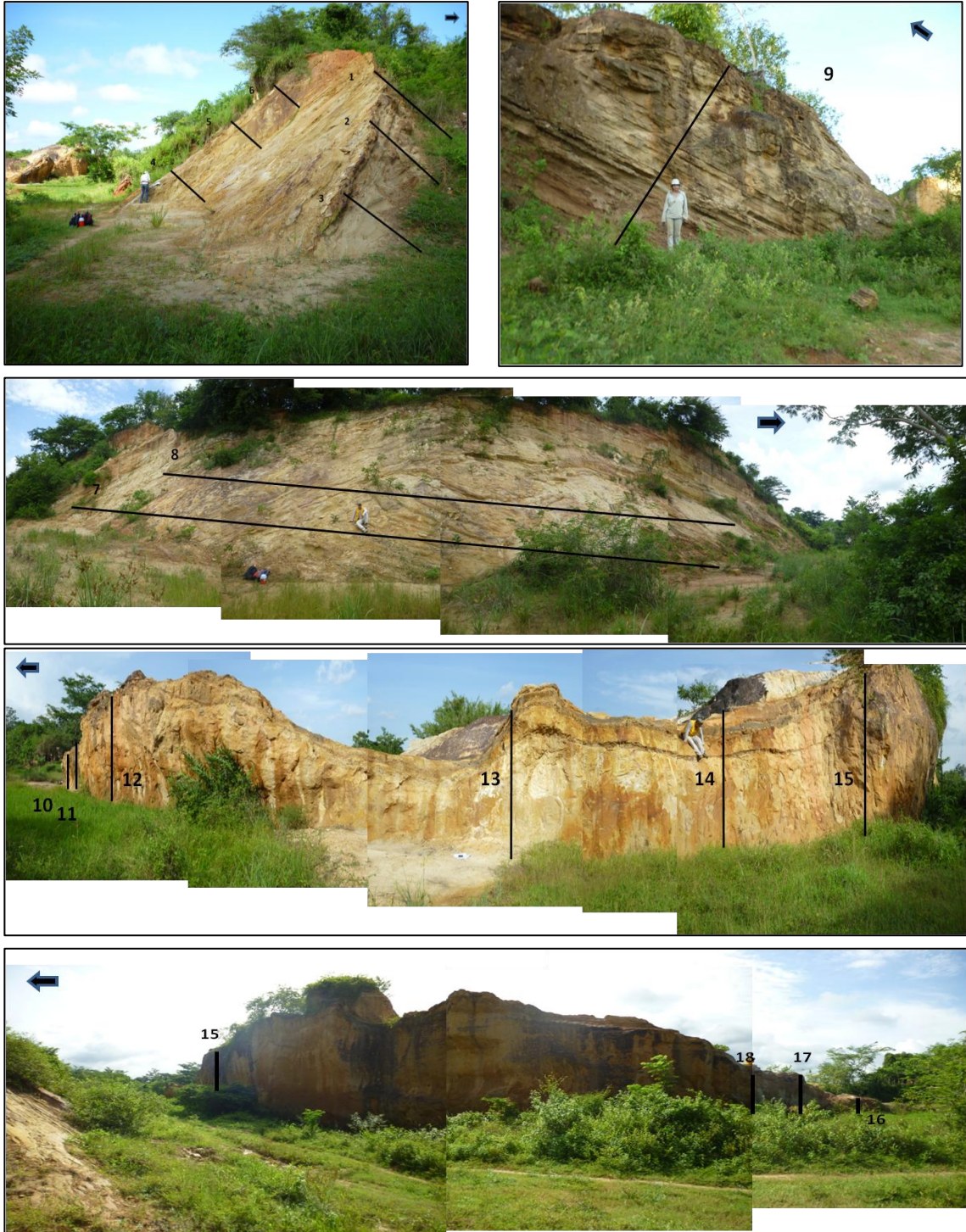
2.4.1.1 Litofacies: Las facies descritas en el afloramiento corresponden en su mayoría a areniscas, limolitas e intercalaciones. Existe gran variedad de estructuras sedimentarias conservadas, entre las que se cuentan laminación plana no paralela, laminación cruzada y laminación cruzada en artesa. En algunas de las capas no se observa estructuras, debido a la bioturbación y en algunos casos a la rápida sedimentación de la zona. Para esta descripción se tomaron 13 facies descritas de la siguiente manera:

Facies 1 (Shb): Arenisca con laminación horizontal plana no paralela, paralela continua difusa, bioturbada por trazas de *skolithos*, *palaeophycus*, *thalassinoides* y *ophiomorphas*. Las capas asociadas a esta facies se describen como areniscas

que van desde el grano fino hasta el grueso como característica principal su laminación horizontal plana no paralela tanto continua como difusa, (figura 5). En la mayoría de capas la laminación no se observa haciéndose discontinua.

Facies 2 (S1b): Arenisca con laminación inclinada de bajo ángulo continúa, bioturbada por trazas de *skolithos*. Las capas asociadas a esta facies son areniscas que van desde el grano fino al grano grueso, su característica principal es la laminación inclinada que es de bajo ángulo que en algunos casos oscila de 5 a 10° (figura 6).

Figura 4. Localización de las columnas estratigráficas levantadas. Imagen tomada de Google Earth 2012.



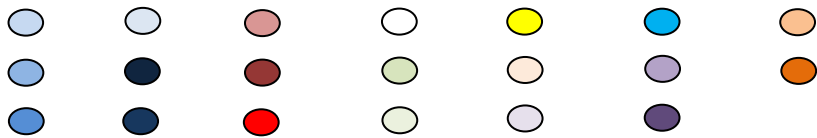
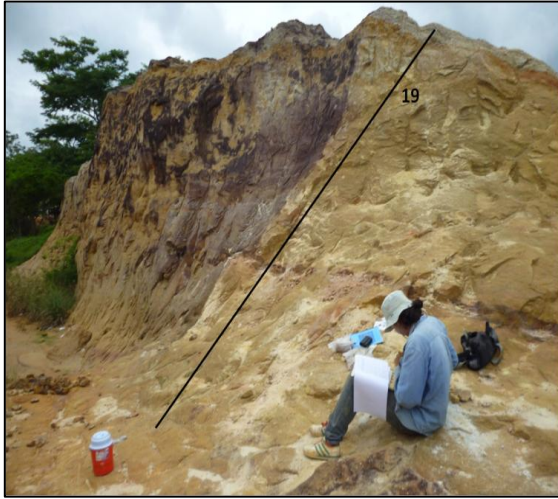


Figura 5. A: Arenisca con laminación plana paralela de la columna 1. B: areniscas rojizas de grano medio con laminación plana paralela columna 4. C: contacto entre las capas de arenisca column5.



Facies 3 (Stb): Arenisca con laminación cruzada en artesa, bioturbada por trazas verticales de skolithos. Las capas asociadas a esta facies se encuentran solo en la parte norte del afloramiento de las columnas 1 a la 9 (figura 7). Las areniscas van de grano fino a grueso. En su mayoría observa canibalismo de las láminas lo cual indica poco espacio de acomodación y una sedimentación rápida, para que estas estructuras se conserven. En algunas secciones del afloramiento se observan trazas *Skolithos* de tamaños entre 0.5 a 2 cm de altura, en general la bioturbación es escasa.

Figura 6. A: Capas de arenisca con laminación inclinada perteneciente a la columna 3. B: Arenisca de grano medio con laminación inclinada, perteneciente a la columna 2.

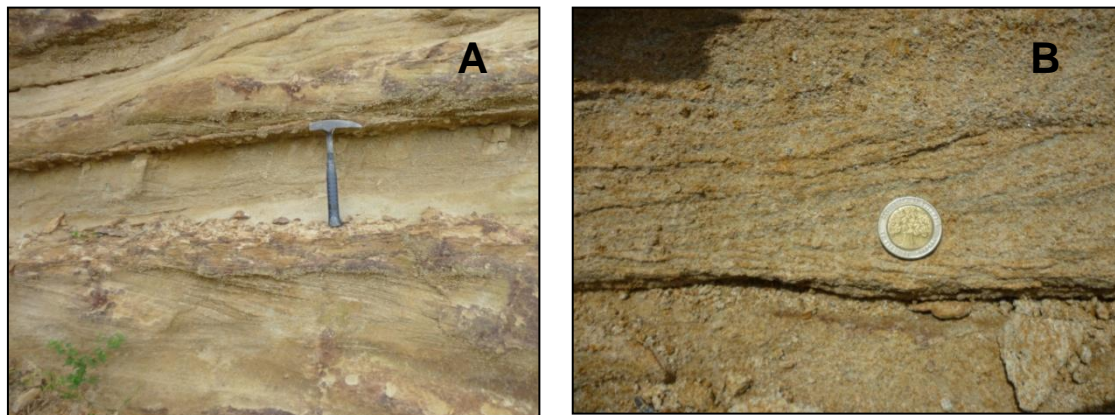
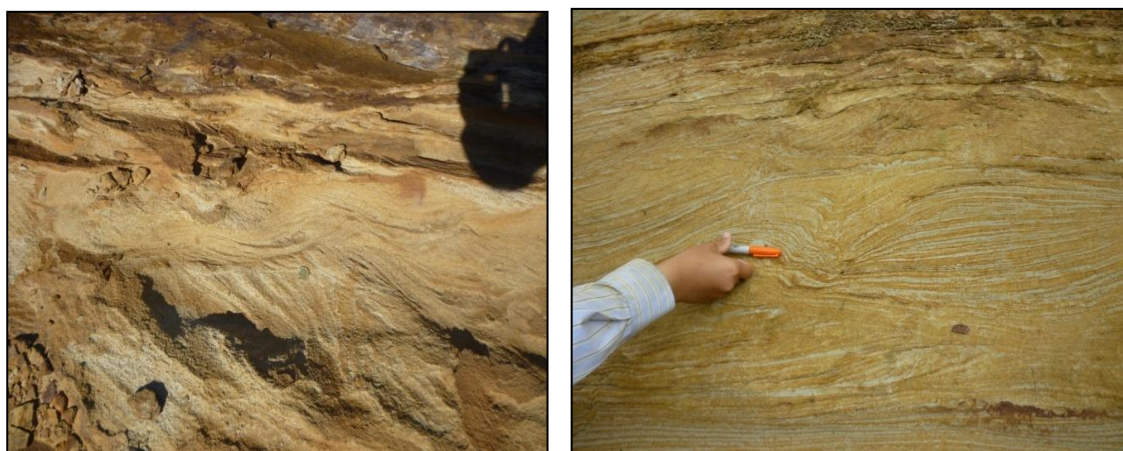


Figura 7. A: Arenisca de grano medio con estratificación cruzada en artesa, columna 9. B: areniscas de grano fino con estratificación cruzada en artesa, perteneciente a la columna 7.



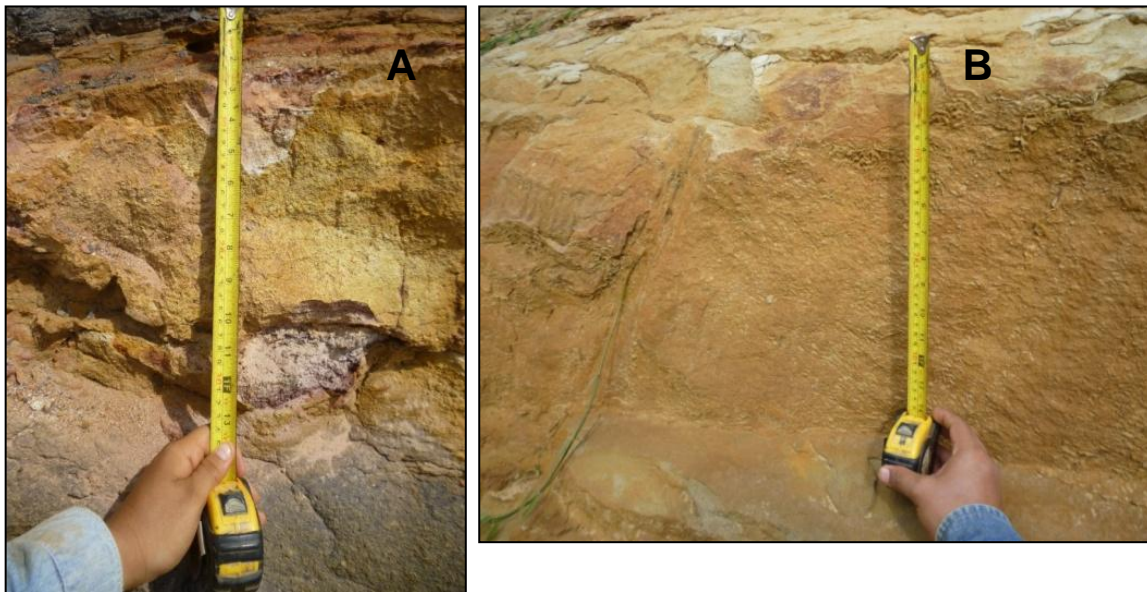
Facies 4 (Lhb): Limolita, arcillolita con laminación plana paralela – ondulosa paralela. Las capas asociadas a esta facies son de poco espesor, por lo general oscilan entre los 0,5 y los 2cm de espesor, entre las cuales se encuentran algunas capas de limolita arenosa y arcillolita de color gris, morada; el rasgo característico de esta facies es que en la mayoría de capas se encuentra laminación ondulosa paralela y plana paralela (figura 8). A estas facies finas se encuentra asociada las icnofacies de *Glossifungites* (*palaeophycus*, *thalassinoides* y *skolithos*).

Figura 8. A: Limolita de color gris amarillento con laminación plana paralela fuertemente bioturbada, columna 17. **B:** limolita de color gris con laminación plana paralela perteneciente a la columna 6.



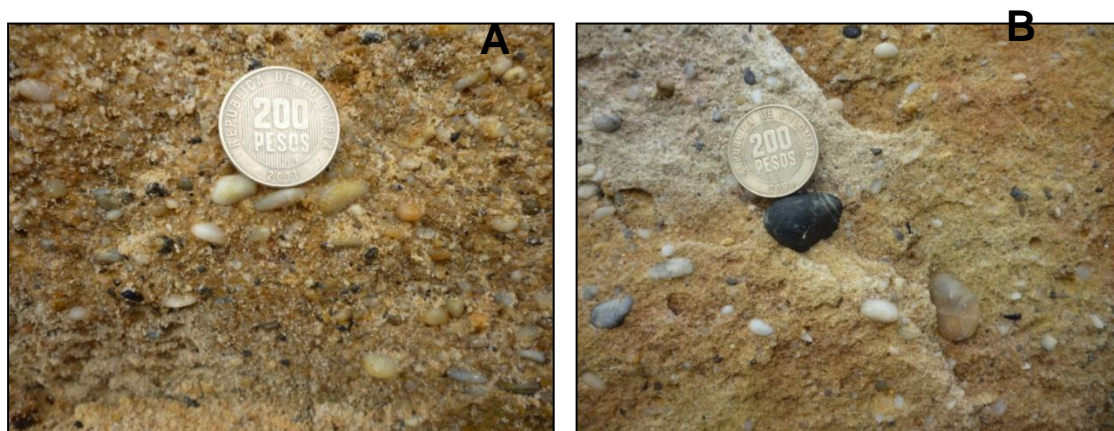
Facies 5 (Smb): Arenisca de estructura masiva bioturbada. Las capas asociadas a esta facies no se observa laminación ni estructura interna, por lo tanto se les da una descripción de estructura masiva (figura 9). Corresponde a areniscas de grano fino a grueso. Capas tabulares de espesores que varían de 3 a 6 cm de espesor. En la mayoría de los casos la causa de la estructura masiva se debe a la rápida sedimentación. En algunos sectores esta bioturbada por trazas de *Skolithos*

Figura 9. A: Arenisca de grano medio, no se observa estructura interna, perteneciente a la columna 13. B: arenisca de grano fino masiva, perteneciente a la columna 3.



Facies 6 (Scmb): Arenisca conglomerática de estructura masiva bioturbada con trazas robustas de *skolithos*, *ophiomorphas*, *arenicolites* y *thalassinoides*. Las capas asociadas a esta facies son areniscas de grano fino a medio, no se observa laminación interna, pero presenta unos granos de cuarzo redondeados, algunos alcanzan el tamaño guijo. Los granos de cuarzo no presentan ningún tipo de orientación (figura 10).

Figura 10. A y B. Arenisca conglomerática. Detalle de granos de cuarzo y líticos redondeados (escala moneda). Anexo columna 19.



Facies 7 (lwh): Intercalación de arenisca con limolitas con laminación ondulosa paralela y plana paralela. Esta facies es heterolítica, está asociada en su mayoría a la columna 9. Se observan capas tabulares, con una intercalación de areniscas de grano fino a medio con limolitas marrones con laminación ondulosa (figura 11).

Figura 11. A y B. Intercalación de areniscas de grano fino con limolitas de color marrón rojizo, pertenecientes a la columna 9.



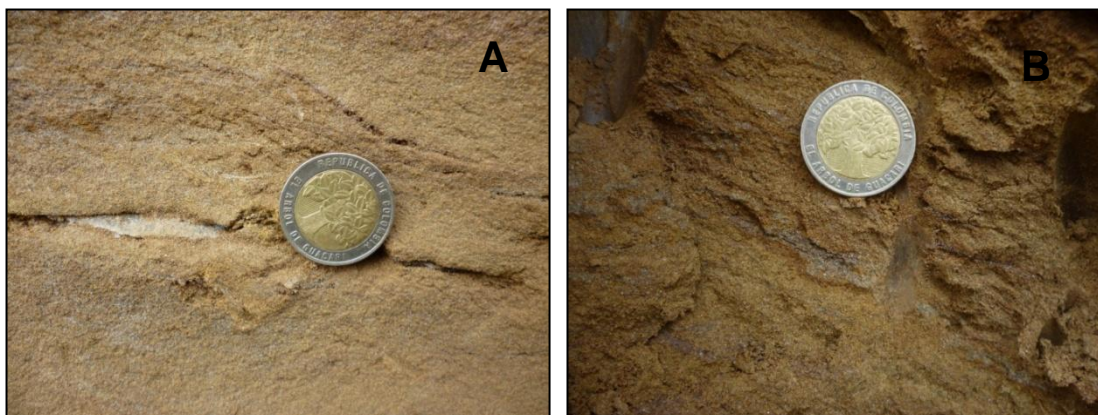
Facies 8 (Swle): Arenisca lodosa con laminación ondulosa no paralela y presencia de lentes de arena. Esta facies asociada a la columna 7. Es areniscas de grano fino con mayor contenido de limos y arcillas por lo que se considera arenisca lodosa, presenta laminación ondulosa y en algunas partes se observan pequeños lentes de arena de grano fino a medio, (figura 12)

Figura 12. A: Arenisca lodosa con lentes de arena de color marrón oscuro



Facies 9 (Swy): Arenisca con laminación ondulada y lentes de yeso. Esta facies aparece en algunas capas de la columna 9, su rasgo más particular es la aparición de lentes de yeso singenético, es decir estos aparecen en la misma dirección de laminación, la cual es ondulosa (Figura 13).

Figura13. A: Detalle de lente de yeso en arenisca con laminación ondulosa. Columna 9. B: Arenisca con laminación ondulada, perteneciente a la columna 9.



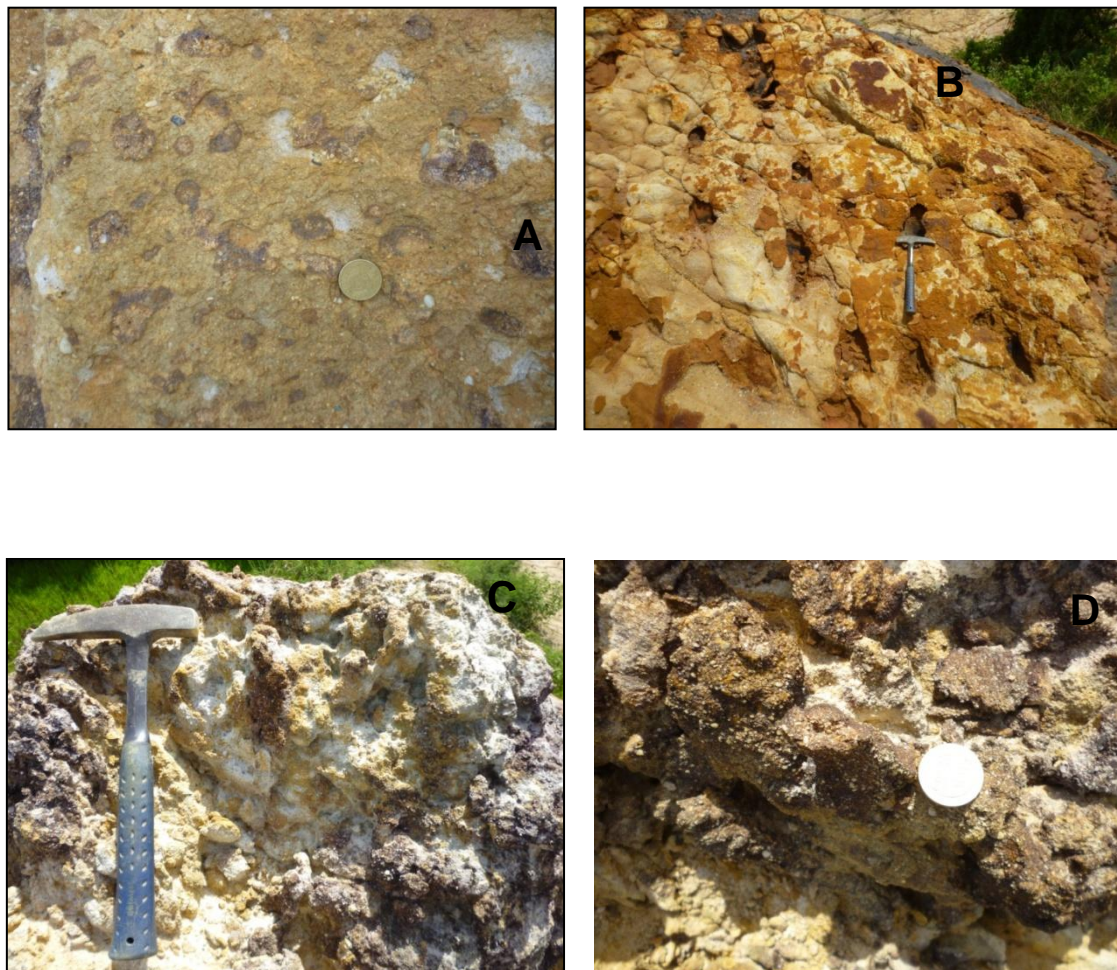
Facies 10 (lhy): Intercalación de areniscas con limolitas laminación plana paralela y lentes de yeso. Esta facies es heterolítica, consta de intercalación de areniscas de grano muy fino a fino con laminación plana paralela y limolitas de color morado, rojizo y entre la laminación se encuentran lentes de yeso, (figura 14).

Figura 14. A: Detalle de lentes de yeso, se encuentra en la misma dirección de la laminación. B: capas de arenisca de grano fino intercalada con limolita de color marrón en la columna 9.



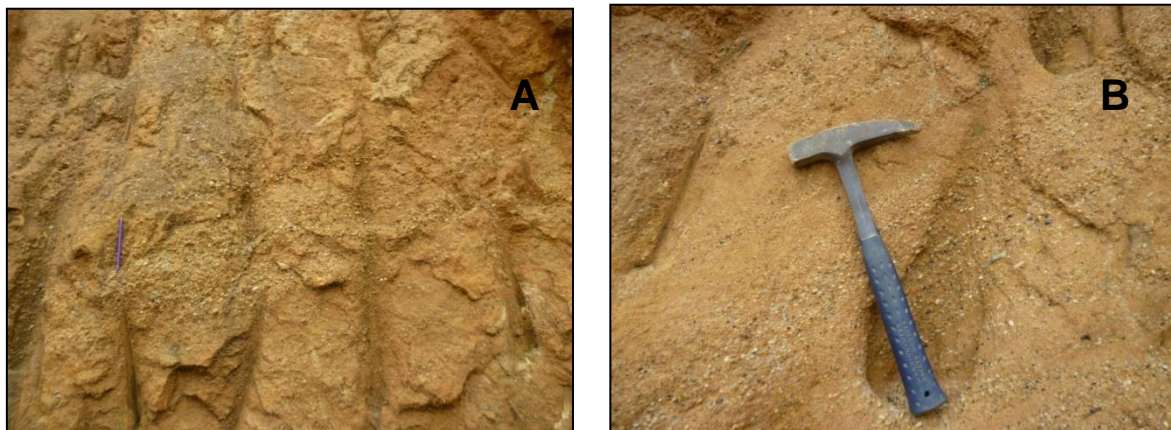
Facies 11 (Smb): Arenisca ferruginosa de grano medio a grueso, bioturbada con trazas de *thalassinoides*, *skolithos* y *palaeophycus*. Presenta oxidación, de color rojizo, no se observa laminación interna producto de la bioturbación (figura 15).

Figura 15. A: Capa bioturbada en el techo, perteneciente a la columna 10. **B:** capa bioturbada por trazas de *Thalassinoides*, en la columna 13. **C:** Alto grado de bioturbación (epirelieve) columna 16. **D:** Detalle de *Thalassinoides*, cubiertos por areniscas ferruginosas.



Facies 12 (Sc1b): Arenisca conglomerática con laminación inclinada, bioturbada. Esta facies corresponde a una arenisca conglomerática, con granos de cuarzo redondeados alargados tamaño guijo, inclinada de ángulo medio., algunos granos se presentan siguiendo los planos de laminación (figura 16). En esta Facies se observa Trazas *Ophiomorpha* y algunos *Skolithos* bien desarrollados de tamaños considerables, también se observan trazas de *Arenicolites*, *Ophiomorpha*, *Skolithos* y *Palaeophycus*.

Figura 16. A: Detalle de capa con laminación inclinada y la orientación de los gránulos de cuarzo. B: Capa muy gruesa de arenisca de grano medio a grueso, mal calibrada con laminación inclinada, perteneciente a la columna 14.



Facies 13 (Smf): Arenisca con estructura masiva bien cementada (cemento ferruginoso). Las capas asociadas a esta facies tienen como características que se presentan en capas muy delgadas con espesores inferiores a 1 cm, son areniscas de grano medio a grueso, con cemento ferruginoso (figura 15).

Figura 17. A: Arenisca bien cementada (ferruginosa) de color rojizo. Esta facies es particular en todas las columnas, y por lo general son láminas gruesas o capas muy finas y finas.



Facies 14 (Icnofacies Skolithos): La icnofacies para esta sección es Skolithos, característica por tener estructuras de tipo domichnia (habitación), equilibrichnia con variedad de icnoformas (*skolithos*, *arenicolites*, *ophiomorphas*, *diplocraterion*,

thalassinoides y *palaeophycus*), pero baja densidad de icnodiversidad y abundancia variable. Los organismos formadores de estas estructuras son filtradores y se alimentan de los detritos orgánicos que se encuentran suspendidos y se desarrollan en un ambiente de energía media a alta, (ver capítulo Icnofacies).

En general se identificaron trece litofacies. La tabla a continuación describe las asociaciones de facies, su litología, icnofacies, geometría de las capas y la estructura sedimentaria predominante (tabla 2).

Tabla 2. Descripción de las facies con su respectiva litología, icnofacies y estructuras sedimentarias.

Asociación de facies	Litología e icnofacies	Forma y espesor de las capas	Estructura sedimentaria
Sh: Arenisca con laminación horizontal plana no paralela, paralela discontinua	Areniscas de grano fino a grueso de color rojizo. Por lo general no aparecen bioturbadas	Capas tabulares de contacto en su mayoría ondulado neto, espesor variable alcanza máx. 5 cm	Laminación horizontal, plana no paralela y paralela discontinua.
Sl: Arenisca con laminación inclinada de bajo ángulo continua.	Arenisca de grano fino a grueso de color marrón rojizo amarillento. Algunas capas ligeramente bioturbadas con trazas <i>Skholitos</i>	Capas tabulares en su mayoría contacto ondulado neto, espesor variable alcanza un máx. de 6 cm.	Laminación inclinada de bajo ángulo
St: Arenisca con laminación cruzada en artesa	Areniscas de grano fino a medio de color marrón amarillento, con cemento ferruginoso. Litarenita. No presentan bioturbación.	Capas tabulares de contacto ondulado neto, espesor variable con un máx. 8 cm	Laminación cruzada en artesa.
Lh: Limolita- Arcillolita con laminación plana paralela-ondulosa paralela.	Limolitas- Arcillolitas varicoloreadas	Capas tabulares de contacto ondulado neto, espesor variable con un máx. de 2 cm.	Laminación plana paralela.
Sm: Arenisca de estructura masiva.	Areniscas de grano fino a grueso de color amarillo grisáceo.	Capas tabulares de lineal neto, espesor variable con un máx. de 10 cm.	No se observa estructura interna.
Scm: Arenisca conglomerática de	Arenisca conglomerática, con partículas tamaño	Capas tabulares de contacto neto en base y techo.	No se observa estructura interna.

estructura masiva.	granulos y guijos. De color gris amarillento, presentan bioturbación <i>Ophiomorpha</i>	Espesor variable con un máx. de 15 cm.	
lwh: intercalación de arenisca con limolitas con laminación ondulosa paralela.	Intercalación de areniscas de grano fino con limolitas de color morado claro. No presentan bioturbación.	Capas tabulares de contacto onduloso en base y techo. Espesor variable con un máx. de 10 cm.	Laminación ondulosa paralela.
Swle: Arenisca lodosa con laminación ondulosa no paralela y presencia de lentes de arena.	Areniscas de grano muy fino lodosas, de color rojizo. No presentan bioturbación	Capas tabulares de contacto onduloso en base y techo. Espesor variable con un máx. de 5 cm.	Laminación ondulosa paralela, con presencia de lentes de arena fina de color oscuro.
Swy: Arenisca con laminación ondulada y lentes de yeso.	Arenisca de grano fino de color amarillo rojizo, no presenta bioturbación	Capas tabulares de contacto onduloso neto, de espesor variable.	Laminación ondulada continua, y aparición de lentes de yeso singenético, en la dirección de laminación.
lhy: Intercalación de areniscas con limolitas con laminación plana paralela y lentes de yeso.	Areniscas de grano fino intercalado con limolitas de color rojo. No se observa bioturbación	Capas tabulares de contacto onduloso neto, de espesor variable.	Laminación plana paralela y presencia de lentes de yeso.
Smb: Arenisca ferruginosa bioturbada, presenta <i>thalassinoides</i>	Arenisca de grano medio a muy grueso, de cemento ferruginoso, bastante oxidada y bioturbada, con trazas <i>thalassinoides</i> .	Capas tabulares de contacto neto en base y techo, de espesor variable con un máx. de 5 cm.	No se observa estructura interna.
Scl: Arenisca conglomerática con laminación inclinada de alto ángulo	Arenisca de grano medio a grueso con granulos y guijos de cuarzo redondeado, presenta bioturbación con <i>Arenicolites</i> , y <i>ophimorpha</i> .	Capas tabulares de contacto neto en techo, el contacto con la base es inferido.	Laminación inclinada de alto ángulo.
Smf: Arenisca con estructura masiva bien cementada (cemento ferruginoso)	Arenisca de grano fino a grueso,	Capas tabulares de contacto onduloso neto, de espesor variable	No se observa estructura interna.

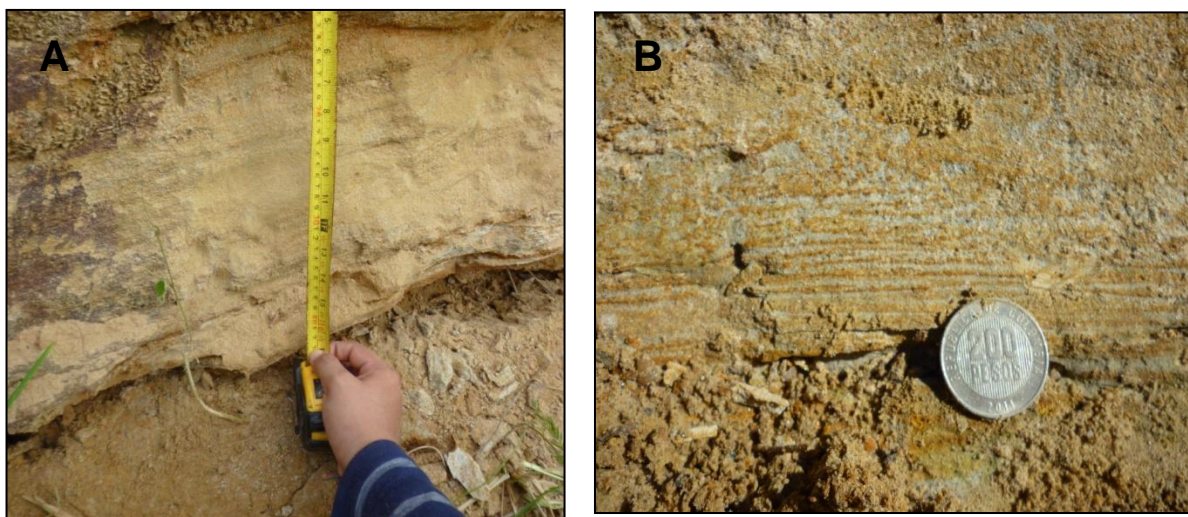
2.4.1.2 Estructuras Sedimentarias Primarias: Las estructuras sedimentarias es la disposición geométrica que constituye un sedimento, originada por procesos físicos, químicos y biológicos dentro de un ambiente sedimentario determinado.

Las estructuras dependen del medio, del modo de transporte y de la energía. En particular esta última es el resultado de la velocidad del flujo, la turbulencia y la profundidad del agua (Boggs, S., 2009).

Gracias a la buena exposición en el afloramiento el Arenal se observa un buen número de estructuras sedimentarias entre las que se cuentan contactos entre las capas, laminaciones, lentes de yeso entre otras. Estas son de gran ayuda para determinar ambientes de depositación, para determinar direcciones de flujo, ambientes y acomodación de los sedimentos.

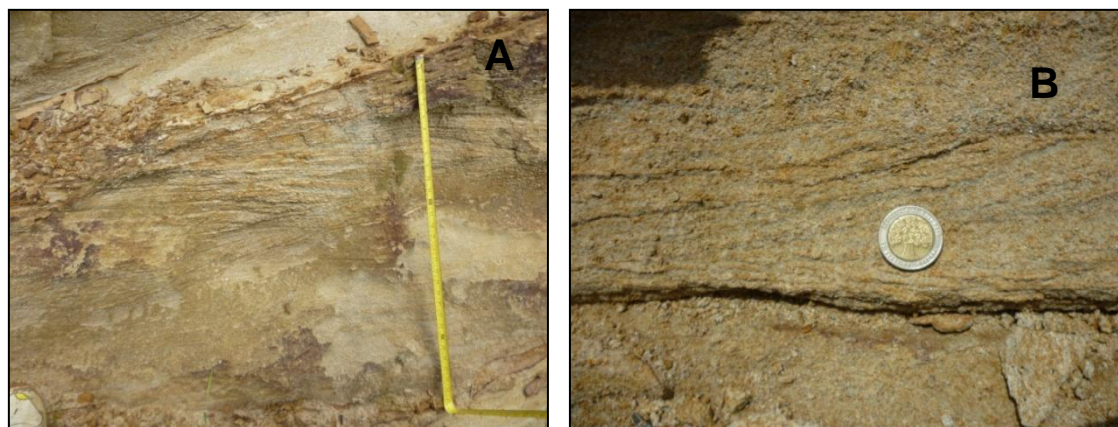
- **Laminación Plana Paralela:** Se presenta de manera homogénea en todas las columnas del afloramiento, estas se dan en areniscas y en limolitas. Las facies características con esta laminación son **Sh, Lh, lhy** (ver Litofacies). Este tipo de laminación aparece ligada a sedimentos arenosos de grano fino a medio, en general corresponden a un régimen hidráulico bajo a medio y puede encontrarse en multitud de ambientes sedimentarios, siempre que exista un transporte arenoso de elevada energía. Mientras que para las capas de grano más fino como la limolita la laminación horizontal se hace por decantación. Se presenta en ambientes de shoreface en corrientes fuertes, producida por cambios en la granulometría.

Figura 18. A: Capa con laminación plana paralela continua y discontinua, columna 1. B: Detalle de laminación plana en la columna 6.



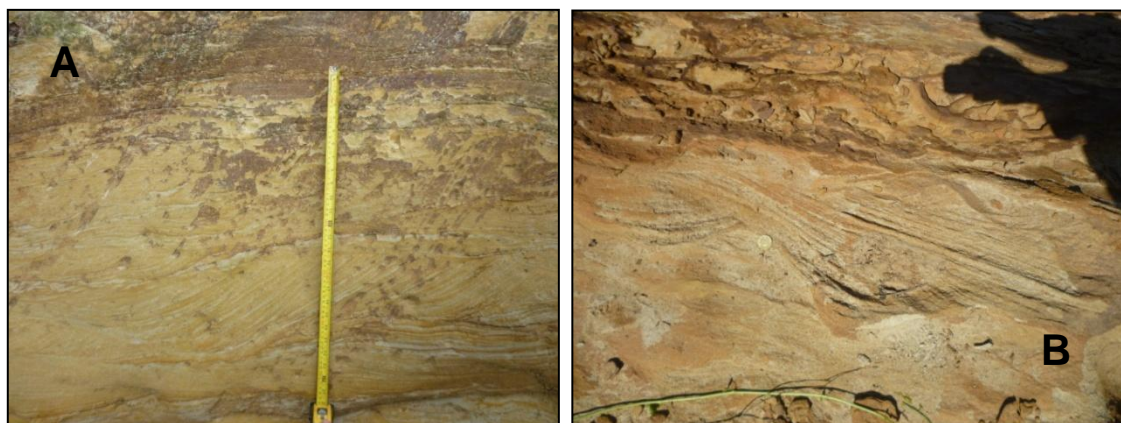
- Laminación Inclinada de Bajo Ángulo:** Se presenta en las primeras columnas del afloramiento (columnas 1,2 y3), se presentan en areniscas de grano fino a medio. La facies que tiene esta laminación es **SI** (ver litofacies). Este tipo de laminación aparece asociado a materiales de grano fino a medio y se asocia a un régimen de flujo hidráulico moderado a bajo, la mayoría de veces se presenta a manera de ondulas, pero en este caso el afloramiento no permitió mirar la otra cara de la estratificación.

Figura 19. A: Capa con laminación inclinada de bajo ángulo. Columna 2. B: Detalle de laminación inclinada en la columna 2.



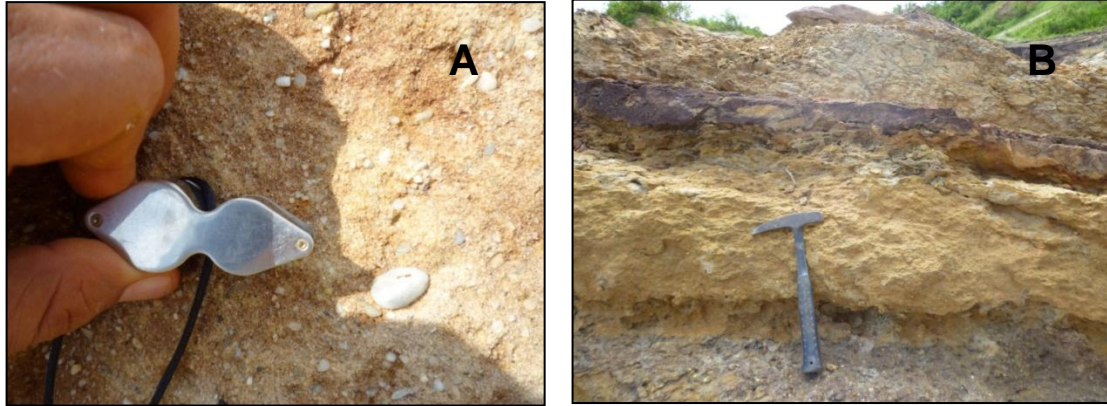
- **Laminación Cruzada en Artesa:** Esta laminación es característica en las columnas que se encuentran en la sección oeste del I afloramiento (columnas 4, 7 y 9 principalmente). Se presenta en areniscas de grano medio a grueso. La facies que tiene esta laminación **St** (ver litofacies). La creación y preservación de la laminación cruzada se produce por la migración de ondas de arena, son indicadores de rápida sedimentación. Formada en condiciones de régimen de flujo bajos, migración de pequeños ripples de corriente.

Figura 20. A: Capa con laminación cruzada en artesa. Columna 4. B: Detalle de laminación cruzada en artesa columna 9.



- **Estructura Masiva:** Se observa en la mayoría de las columnas del afloramiento, en areniscas de grano fino a grueso. La facies que tienen esta laminación es **Sm** y **Smf** (ver litofacies). No se observa estructura debido en algunos casos a la rápida sedimentación o a la bioturbación.

Figura 21. A: Estructura masiva con granos de diferentes tamaños, reflejando una depositación en un ambiente de alta energía. Columna 18. B: Capa de estructura masiva perteneciente a la columna 15.



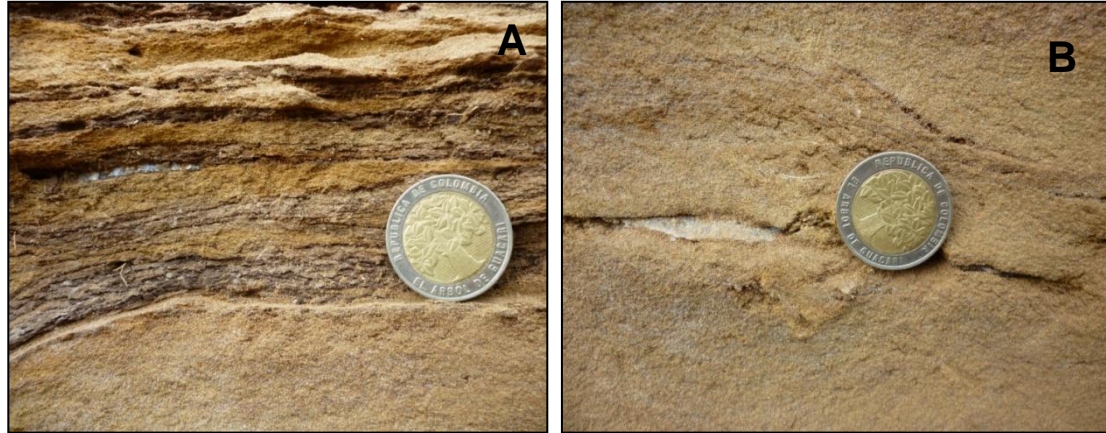
- **Ondulitas:** Se observa ondulitas asimétricas con crestas sinuosas, generadas por corrientes de agua, indicando el sentido de la corriente, y la energía del flujo que en este caso sería de moderada a alta.

Figura 22. A: Detalle de ondulitas asimétricas y crestas sinuosas. B: detalle de crestas mostrando el sentido de la corriente. C: Ondulas asimétricas, pertenecientes a la columna 7.



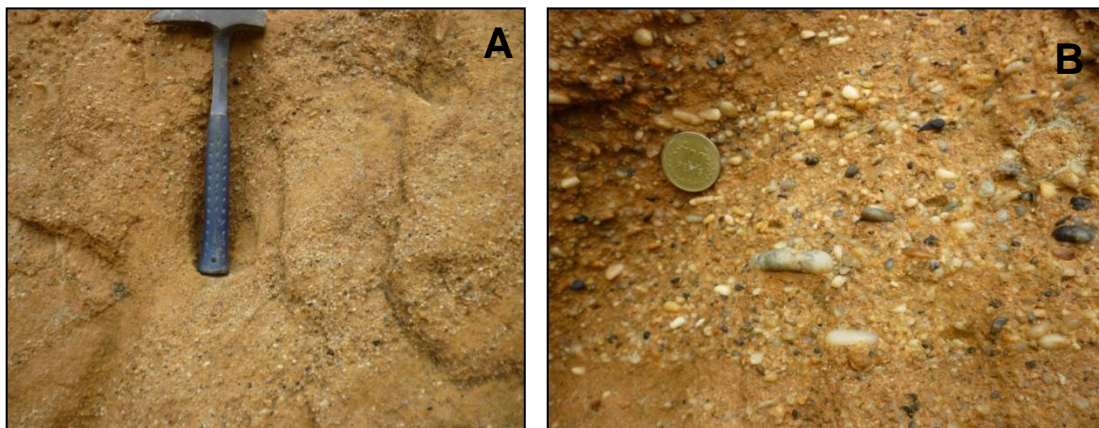
- **Lentes de Yeso:** Esta estructura de lentes de yeso, identificados en la columna 9 (facies **Swy**) en medio de unas facies heterolítica y en capas de limolitas, ubicados en la misma dirección de la laminación indicando alguna pequeña planicie salina (ver capítulo de interpretación de ambientes de depósito).

Figura 23. A y B: Lentes de yeso de aproximadamente 4 a 5cm de longitud y 0,4 cm de ancho. Se encuentran en medio de unas facies heterolíticas y en la misma dirección de la laminación, reflejando que su formación es sin genética a la roca huésped.



- **Arenisca Conglomerática con Laminación Inclinada:** Estas estructuras descritas en las facies **Scl**, se identifican en la parte oriental del afloramiento en las columnas 13, 14 y 15 principalmente. Se encuentran en una capa gruesa de arenisca de tamaño medio a guijos muy mal seleccionada y con inclinación reflejando la dirección del flujo.

Figura 24. A: Capa gruesa con laminación inclinada de alto ángulo perteneciente a la Columna 14. B: Detalle de clastos de cuarzo redondeado indicando un régimen de flujo alto.



2.4.2 Paleocorrientes

PALEOCORRIENTES

Para la determinación de las direcciones de paleocorrientes en la sección el Arenal de Tuchín Córdoba, en la parte media de la Formación Ciénaga de Oro, se tomaron 106 medidas directamente en campo en 4 diferentes columnas. Las mediciones se tomaron según la metodología de (*Pettijohn et al. 1987*). Se tomaron medidas en capas que tuvieran estratificación inclinada, y estratificación cruzada en artesa. El tratamiento de los datos fue en el programa *Stereonet*, donde se graficaron como diagramas de rosetas.

Metodología:

En campo se seleccionan la mejor exposición de las estructuras en este caso solo se tomaron estratificaciones inclinadas y cruzadas en artesa; en los datos se toma medidas de rumbo y buzamiento de la estratificación y rumbo y buzamiento de la paleocorriente (esto para hacer la corrección en *stereonet*).

Resultados:

A continuación se mostraran los datos tomados en las columnas 2, 5, 7 y 14 respectivamente:

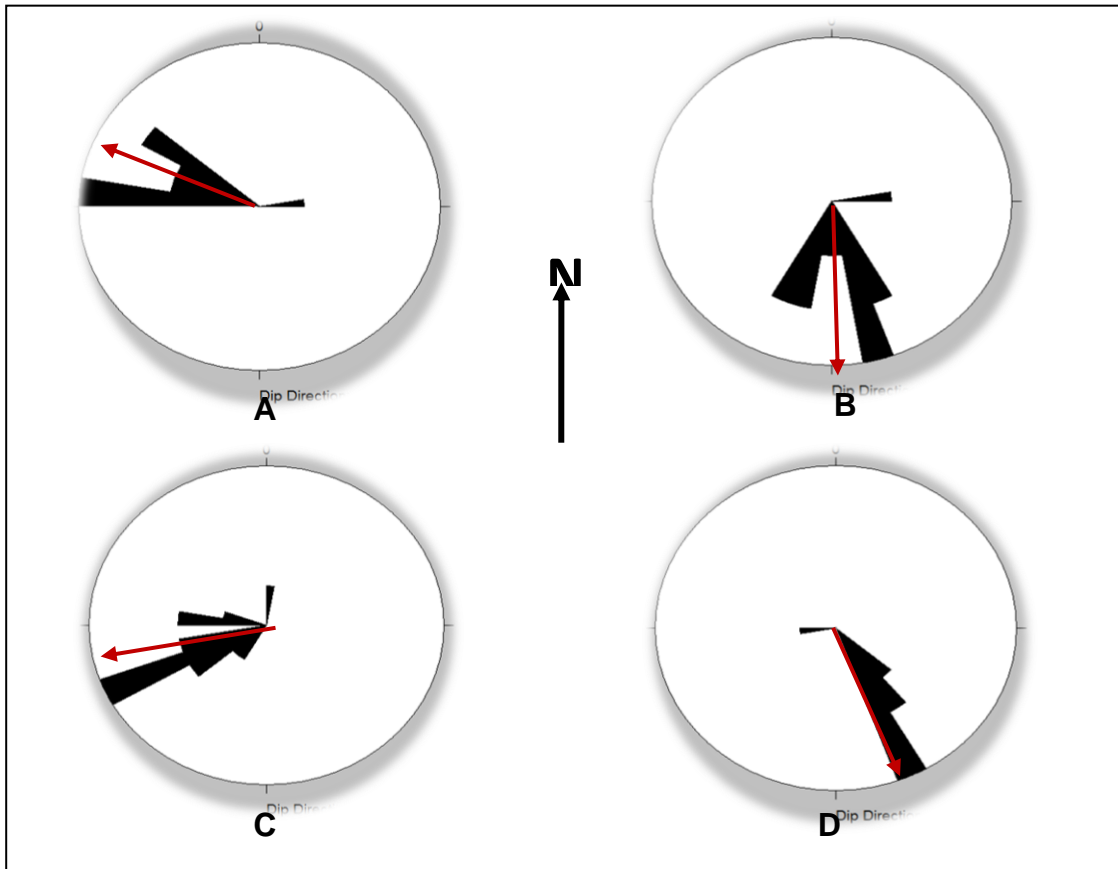
Columna 2

En esta columna se realizaron medidas en 4 capas (vera anexos columna 2) donde su estratificación estaba inclinada (Fig 25). Se pudo observar en esta columna que su variación en cambios de flujos en espacios pequeños obedece en parte a la aparición de pequeños flujos o vertientes.

Figura 25. En la columna 2 en la capa 2 se observa la laminación inclinada donde se hizo la toma de medidas de paleocorrientes.



Figura 26. Diagrama de rosetas de las columna 2 en las cuatro capas. A. diagrama correspondiente a la capa 2. Donde se observa que la dirección de la paleocorriente es NW. B. diagrama correspondiente a la capa 3 su dirección de paleocorriente es N-S. C. Diagrama correspondiente a la capa su dirección es SW. D. Diagrama correspondiente a la capa 1 su dirección de paleocorriente es SE.



Columna 5.

En esta columna se tomaron datos a dos capas (anexo columna 5), laminación inclinada, y laminación cruzada en artesa (figura), con presencia de ondulitas, indicando un flujo moderado a fuerte, la dirección principal es: SE, en la capa se observa canibalismo de las láminas debido al poco espacio de acomodación y una alta tasa de sedimentación.

Figura 27. A: Columna 5 capa 11, se observa la laminación cruzada de bajo ángulo. B: Columna 5 capa 7, se observa laminación cruzada en artesa.

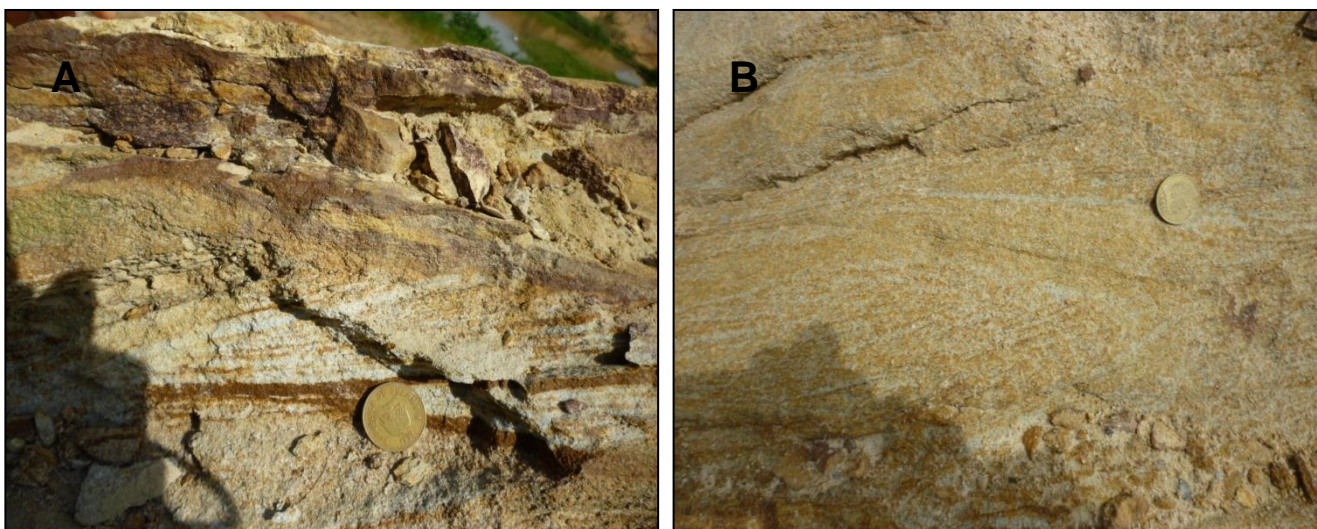
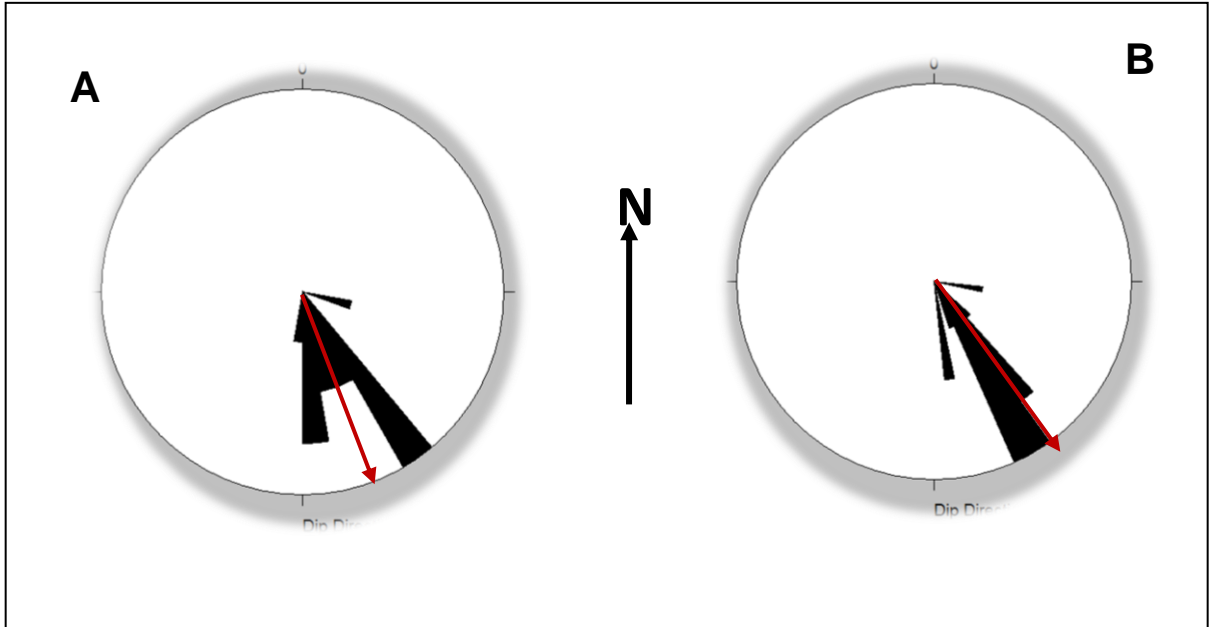


Figura 28. Diagrama de rosetas de las columna 5 en las dos capas. A: Diagrama correspondiente a la capa 7, tomada en estratificación cruzada en artesa. La dirección es SE. B: Diagrama correspondiente a la capa 11, tomada en estratificación inclinada. La dirección es SE.



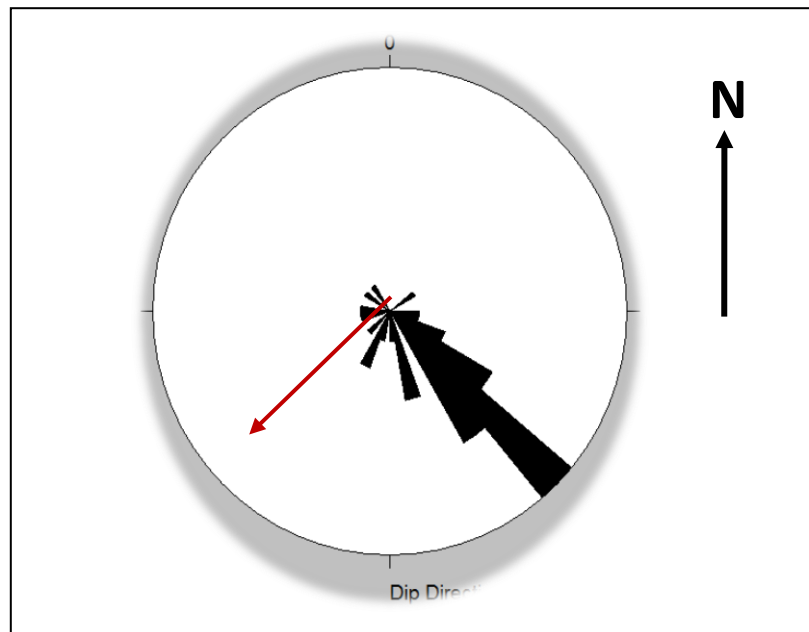
Columna 7.

En la columna 7 debido en parte a su difícil acceso para hacer mediciones se tomaron medidas en la capa 31 (anexo columna 7). Corresponde a una capa de estratificación cruzada en artesa, donde también se observa canibalismo entra las láminas evidenciando poco espacio de acomodación y rápida sedimentación (figura).

Figura 29. Columna 7 capa 31, se observa laminación cruzada en artesa



Figura 30. Diagrama de rosetas de la columna 7 capa 31 donde se observa la dirección de paleocorriente hacia el SW.



Columna 14

En la columna 14 en la capa 1, (anexo columna 14) con laminación inclinada de ángulo alto, se tomaron 15 mediciones, donde se observan clastos de cuarzos siguiendo la orientación del flujo (figura). La dirección de la paleocorriente es NE.

Figura 31. Detalle capa 1 de la columna 14 donde se observa la laminación inclinada de ángulo alto. Los granos de cuarzo muestran la orientación.



Figura 32. Diagrama de roseta mostrando la dirección de la paleocorriente capa 1 columna 14. Dirección de paleocorriente NE.

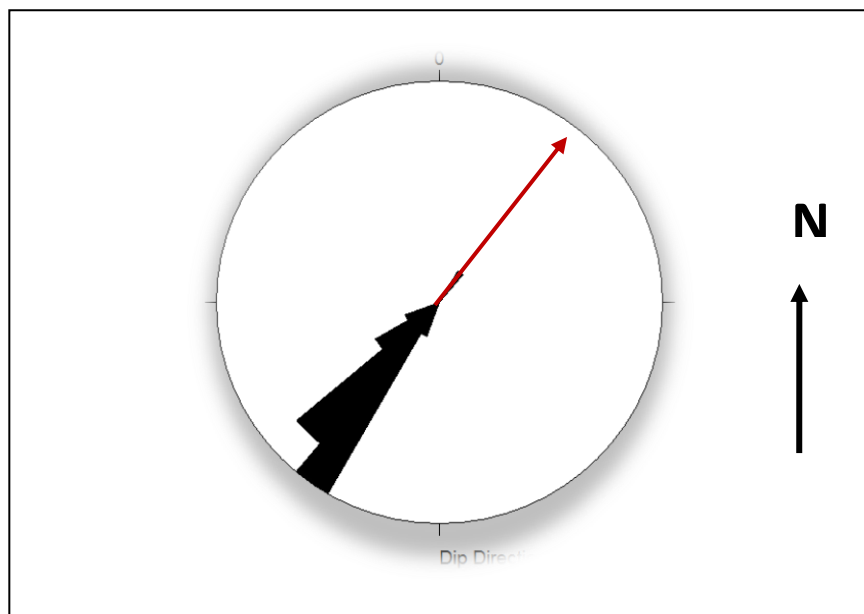


Tabla 3. Resultados de las direcciones de paleocorrientes, números de medidas, promedios de dirección y dirección de las paleocorrientes.

COLUMNA	CAPA	# MEDIDAS	promedio de Dirección	Dirección de paleocorriente
5	11	15	144/60	SE
5	7	13	165/42	SE
2	2	12	285/66	NW
2	4	12	171/48	SE
2	5	14	260/72	SW
2	6	10	150/66	SE
7	10	14	240/84	SE
14	1	16	36/60	NE

2.4.3 Icnofacies. Los fósiles traza proporcionan valiosa información para análisis estratigráficos secuenciales y de facies, siendo estas estructuras biogénicas que comprenden excavaciones, pistas, huellas y otras estructuras producidas por organismos. Estas estructuras biogénicas son el registro del comportamiento de los organismos productores en respuesta a las condiciones ambientales dominantes.

2.4.3.1 Conceptos Básicos: La icnología es la ciencia que se ocupa del estudio de las interacciones entre los organismos y el sustrato, enfatizando el modo en que los animales y las plantas dejan un registro de tal actividad. La icnología incluye tanto el estudio de procesos (bioturbación, biodepositación) como de los productos así generados (estructuras biogénicas), tanto fósiles como actuales, constituyen la evidencia de la actividad de los organismos en el sustrato. El énfasis en esta definición se basa en que estas estructuras reflejan el comportamiento de los organismos (*Buatois, L; 2010*).

Dentro de los términos utilizados en la icnología los más comunes y utilizados son los siguientes.

Traza

Es una estructura biogénica individualmente distintiva, especialmente aquella relacionada en forma directa con la morfología del organismo que la hizo. Bajo esta categoría se incluyen diversas estructuras tales como excavaciones, huellas, pistas y perforaciones.

Excavación (burrow)

Este término solo debe ser usado para denominar trazas generadas en sustratos no litificados, en oposición a perforación (boring) que se emplea para denominar estructuras producidas en un sustrato duro ya litificado.

Pista (trail)

Este término debe ser empleado para estructuras continuas de desplazamiento, tanto superficiales como subsuperficiales, que no muestran impresiones significativas de apéndices.

Huella (track)

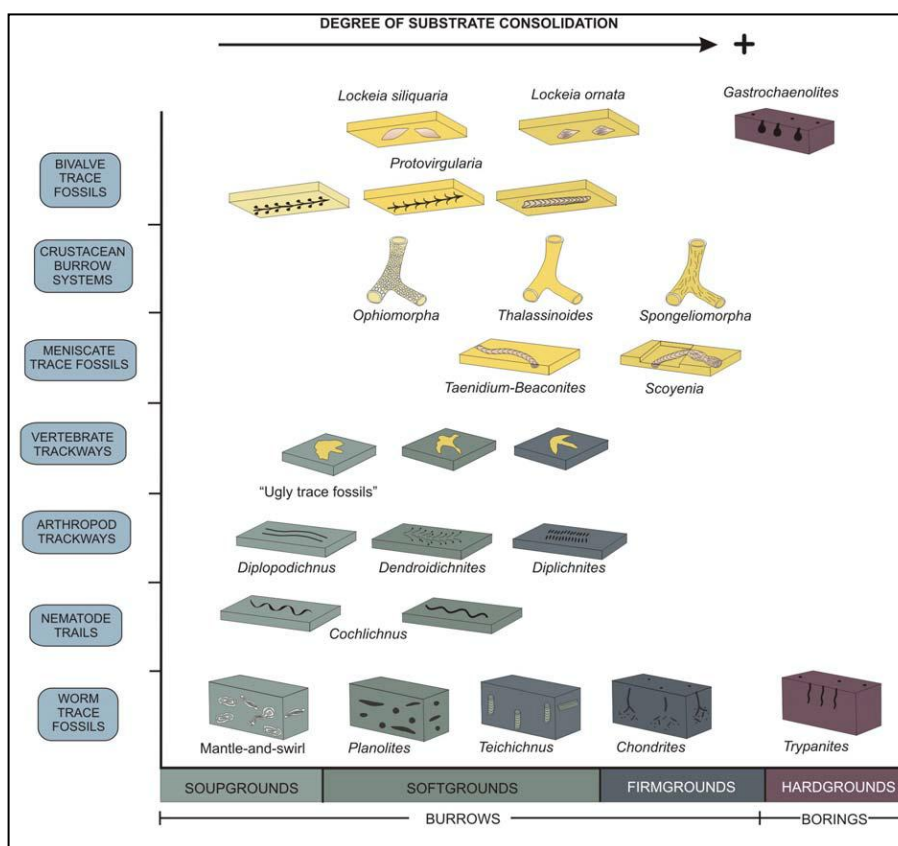
Corresponde a impresiones dejadas en el sedimento por un apéndice locomotor individual sea este de un vertebrado o invertebrado (*Frey and Pemberton; 1985*).

2.4.3.2 Características Principales de los Fósiles Traza: Los fósiles traza presentan características propias, que las diferencian de los cuerpos fósiles, siendo estas de gran importancia en disciplinas como la paleontología, sedimentología y estratigrafía.

- Las trazas fósiles representan evidencia de comportamiento. La morfología y el patrón arquitectural de los icnofósiles nos proporcionan valiosa información sobre la anatomía y etología de los productores.

- Un mismo organismo puede producir más de un icnotaxón. Como consecuencia, un organismo puede ser responsable de la generación de varias icnoespecies.
- Un mismo icnotaxón puede ser producido por diferentes organismos. No es posible establecer una correspondencia biunívoca organismo – traza.
- Múltiples arquitectos pueden producir una única estructura. Una misma estructura puede reflejar la actividad de más de un productor, ya sea trabajando simultáneamente o bien en forma sucesiva.
- Los productores comúnmente son organismos de cuerpo blando que raramente se preservan. La preservación de cuerpos fósiles corresponde en la mayoría de los casos a partes duras. Por el contrario los fósiles traza registran muy comúnmente la actividad de faunas de cuerpo blando, las cuales contribuyen sustancialmente a la biomasa.
- Las trazas fósiles comúnmente se preservan en rocas que carecen de cuerpos fósiles, esta característica tiene relación con la anterior, reflejando que los organismos de cuerpo blando tienen muy poca preservación.
- La misma estructura puede preservarse diferencialmente en distintos sustratos (ver figura 4). La naturaleza del sustrato determina la viabilidad y eficiencia del método de excavación empleado e influye en forma directa en la morfología resultante de la traza fósil.
- La mayoría de los icnofósiles tienen un amplio rango en el registro estratigráfico.
- Las trazas fósiles poseen rango facial restringido, poniendo en evidencia que las mismas son un reflejo de determinados parámetros ambientales y tienden a caracterizar ambientes de sedimentación.
- Las trazas fósiles por lo general representan el registro de actividad biológica in situ, (Seilacher, A., 2007).

Figura 33. Representación de las Diferentes Estructuras en los Diferentes Tipos de Sustratos. Tomado de Buatois, L; 2010.



2.4.3.3 Modelo de Icnofacies: Las icnofacies consisten en una asociación de trazas fósiles con unas características definidas como respuesta del comportamiento de los organismos a los diferentes parámetros ambientales. Este modelo de icnofacies propuesto en este trabajo de grado es el planteado por Adolf Seilacher el cual posibilita cuadrar una teoría explicativa basándose en la observación de las trazas y los ambientes actuales.

Las icnofacies hasta ahora reconocidas pueden agruparse en cuatro categorías: (1) icnofacies marinas de sustratos blandos, (2) icnofacies sustrato controladas, (3) icnofacies continentales de invertebrados e (4) icnofacies de vertebrados.

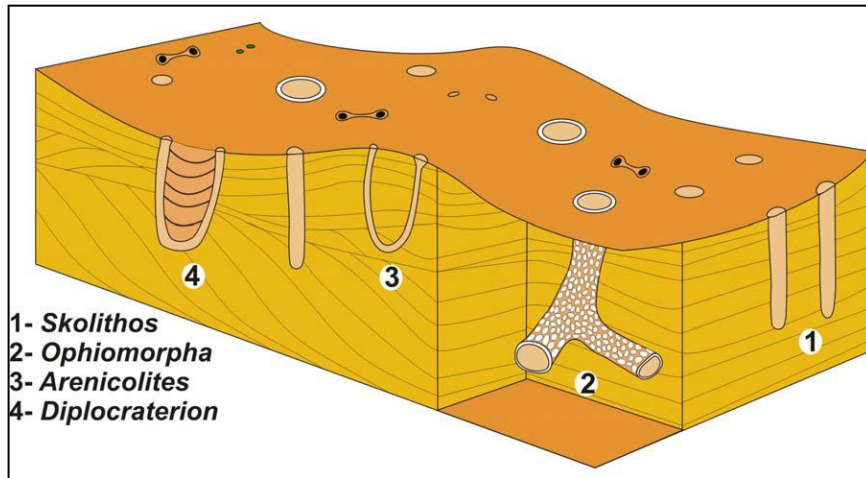
Las icnofacies observadas en la sección el arenal para la parte media de la Formación Ciénaga de Oro pertenecen al grupo de icnofacies marinas de sustratos blandos Skolithos predominado trazas verticales.

2.4.3.4 Icnofacies Skolithos: Las icnofacies de Skolithos están caracterizadas por el dominio de excavaciones verticales de organismos suspensivos demostrando la gran importancia de partículas orgánicas que se encuentran mantenidas en suspensión por corrientes de agua y olas en una tabla de agua bien oxigenada. Las excavaciones sugieren erosión intensa y un nivel de energía alto en el ambiente. La icnofacies Skolithos es típica del foreshore al shoreface alto a medio en costas dominadas por oleaje (ver figura 5).

Otras características de los Skolithos (*Buatois, L; 2010*).

- Dominio de estructuras de habitación simple, cónica o en forma de U.
- Estructuras de equilibrio y estructuras de escape.
- Abundancia de galerías tridimensionales de componente vertical.
- Escases de trazas horizontales producidas por fauna móvil.
- Icnodiversidad baja.
- Abundancia variable.
- Asociación de Macaronichnus: típica de ambientes de muy alta energía (foreshore y shoreface).

Figura 34. Bloquediagrama Esquemático de las Características de las Icnofacies Skolithos.
Tomado de Buatois, L; 2010.



2.4.3.5 Fósiles Traza Identificados en las Sección el Arenal Formación

Ciénaga de Oro: La icnofacies para esta sección es Skolithos, característica por tener estructuras de tipo domichnia (habitación), equilibrichnia con variedad de icnoformas (*skolithos*, *arenicolites*, *ophiomorphas*, *diplocraterion*, *thalassinoides* y *palaeophycus*), pero baja densidad de icnodiversidad y abundancia variable. Los organismos formadores de estas estructuras son filtradores y se alimentan de los detritos orgánicos que se encuentran suspendidos y se desarrollan en un ambiente de energía media a alta. En esta sección se describen las trazas descritas en la sección El Arenal.

Arenicolites

Descripción: Estructura vertical simple o en U, sin spreiten entre los limbos. Generalmente no contienen ornamentación y en algunos partes de la columna número 19 y 20 se observa solo un flanco (ver figura 6 y anexo columna 19,20), se encuentra preservada en full relieve aunque algunas veces se puede observar en planta como un par de círculos. Los arenicolites vistos en esta sección no son muy abundantes y su forma es robusta con un diámetro de 1.5 a 2 cm y una extensión vertical de 14 a 40 cm.

Interpretación: Los Arenicolites son interpretados como excavaciones (burrow) de anélidos o pequeños crustáceos predominantemente suspensivos (Pemberton, G; 1991).

Consideraciones Ambientales: Los Arenicolites generalmente están asociados con sustratos arenosos de ambientes de baja a media energía en el shoreface o planicies mareales. En la columna 19 y 20 se encuentran en una capa muy gruesa de arenisca de grano entre fino y medio con laminación inclinada de bajo ángulo.

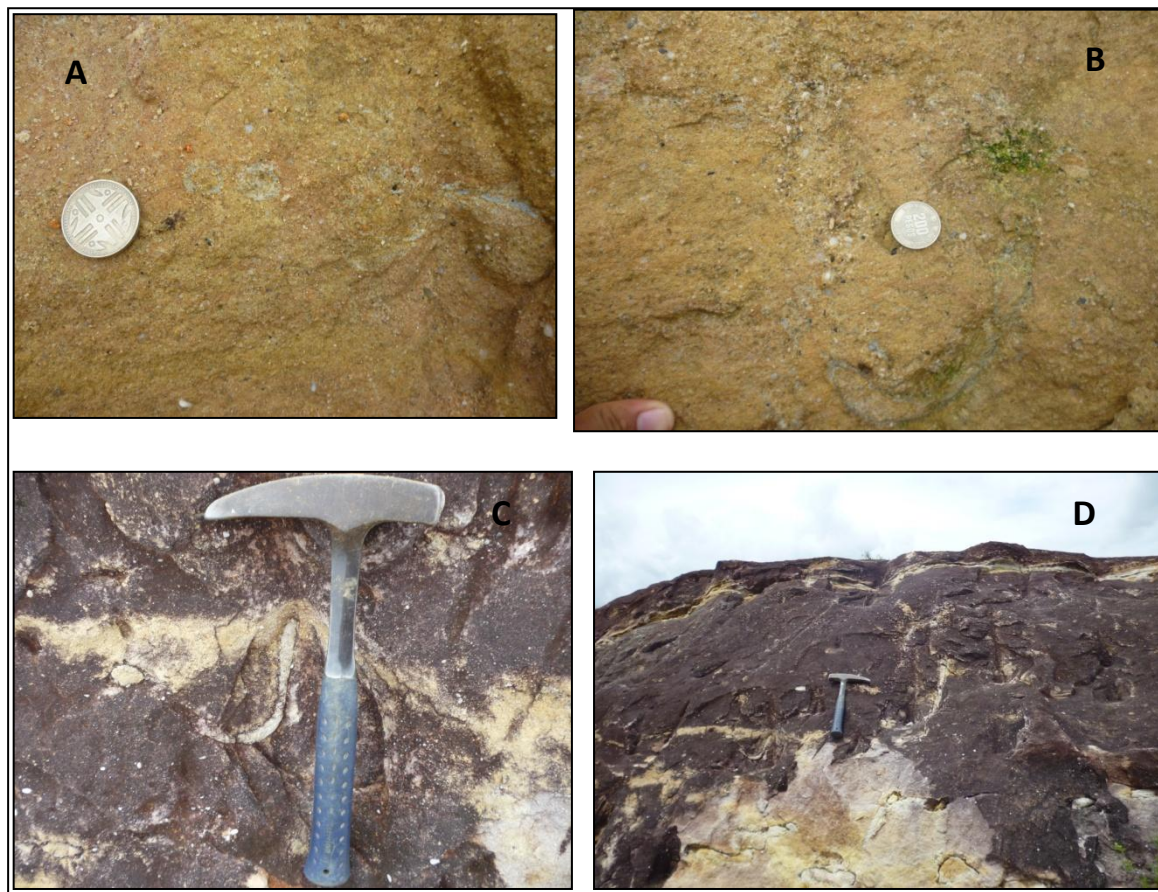
Diplocraterion

Descripción: Excavación vertical en U, con spreite que puede ser retrusivo, protusivo o una combinación de ambas, esta estructura tiene dos aperturas en forma cilíndrica en los flancos paralelos. En la parte media se observan unas estrías paralelas que reflejan el movimiento del organismo en búsqueda de una posición de equilibrio (ver figura 7).

Interpretación: El Diplocraterion es una estructura formada por organismos suspensivos, probablemente originados por polychates y crustáceos, basados en el análisis morfológico hecho por Fursich (1974) en Pemberton, G; 1991.

Consideraciones Ambientales: El Diplocraterion es un elemento común de la icnofacies Skolithos típica del shoreface medio. También es común en arenas de tidal flats y depósitos de canales estuarinos. Esta estructura se encuentra en la columna 19 en una capa gruesa de areniscas de grano fino a medio donde no se observa estructura interna.

Figura 35. Estructuras de Excavaciones Arenicolites. A: Vista en planta (epirelieve) de un Arenicolite en la columna número 19. B: Arenicolite viste en full relieve en una capa predominantemente arenosa de grano fino a muy grueso, columna 19. C: Arenicolite de aproximadamente 10cm de longitud visto en full relieve, perteneciente a una capa arenosa donde no se observa estructura interna, columna 20. D: Arenicolite de aproximadamente 45cm de longitud en la vertical vista en full relieve.



Ophiomorpha

Descripción: Es un sistema de excavaciones simple o complejo con sedimentos pelletoidales aglutinados en la parte exterior de la estructura. La excavación puede ser lisa en el interior y fuertemente nodosa o amalgamada en la parte exterior por pellets ovoidales, cónicos, bilovados o irregulares. En algunas ocasiones se encuentran bifurcados en forma de Y, (ver figura 8).

Interpretación: El origen y los rasgos morfológicos de la Ophiomorpha son discutidos en Frey, et al. (1978). Esta estructura se puede dividir en cuatro icnoespecies debido a su recubrimiento lineal, pellets y reorganización de estos mismos: *O. borneensis*, *O. irregular*, *O. nodosa* y *O. annulata*. Esta estructura se puede integrar con los Thalassinoides y representan excavaciones de crustáceos y numerosas especies de camarones.

Consideraciones Ambientales: La Ophiomorpha está comúnmente asociada con la icnofacies Skolithos y pueden ser producidas por diferentes organismos marinos en un ambiente de shoreface. Aunque también se pueden encontrar en ambientes de aguas salobres, estuarinos y tidal shoals.

Figura 36. Estructuras de Excavaciones Diplocraterion. A: Diplocraterion vista en full relieve de aproximadamente 6 cm de largo y 1cm de ancho, descrito en la columna 19, en una capa gruesa de arenisca mal seleccionada sin estructura interna, mostrando un nivel de alta energía. B: Diplocraterion en vista de full relieve donde se alcanza a observar sus dos tubos cilíndricos paralelos en las esquinas de la estructura.



Palaeophycus

Descripción: Excavación raramente ramificada, es cilíndrica horizontal y en algunas ocasiones se encuentra inclinada, generalmente esta rellena del mismo

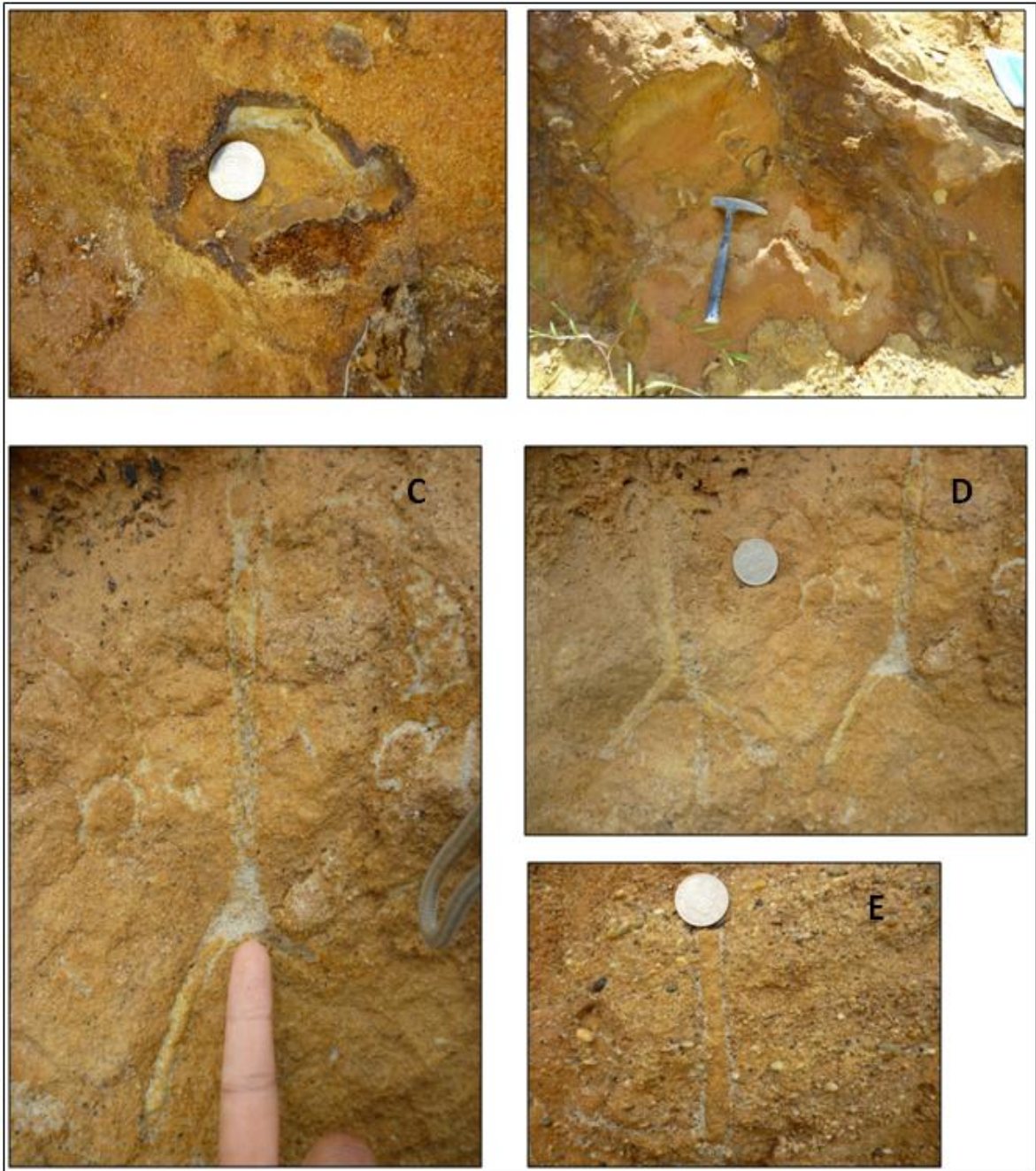
sedimento del estrato donde se encuentra. Se puede encontrar también con anillos transversales a lo largo de su longitud (ver figura 9).

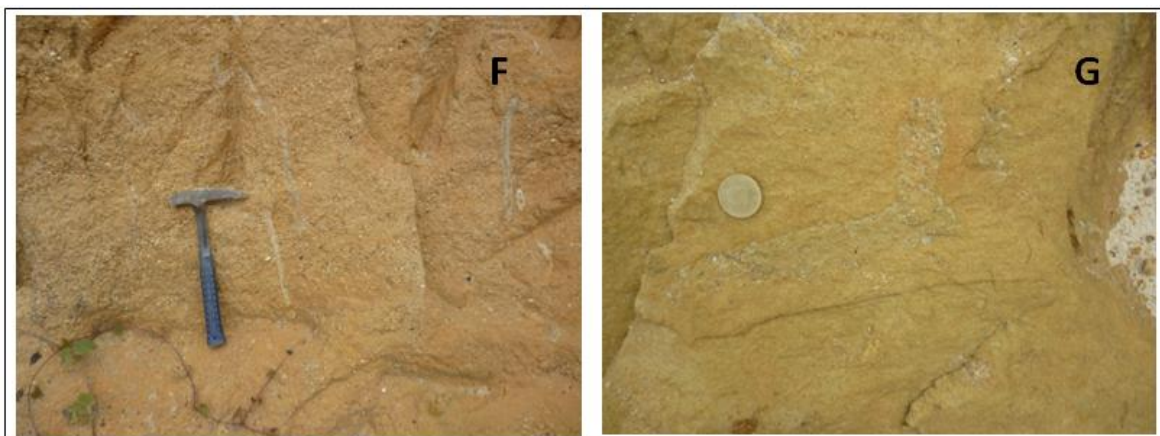
Interpretación: El Palaeophycus es distinguido por su parentesco con su similar icnogénero Planolites. Esta corresponde a una estructura de vivienda y su relleno es de manera pasiva y gravitacional. El polychete Glycera puede ser tomado como un excelente análogo del organismo Palaeophycus.

Consideraciones Ambientales: El Palaeophycus está asociado con la icnofacies Skolithos en ambas en ambientes de alta energía y baja energía en el shoreface.

Comúnmente se encuentra con Planolites y Macaronichnus. Se pueden encontrar en arenas de tormentitas y ambientes salobres.

Figura 37. Estructuras de excavaciones de ophiomorphas. A-B: Aperturas de ophiomorphas con la pared externe recubierta de arenisca ferruginosa, y su interior relleno de sedimento arcilloso. Se encuentran en la columna cuatro en una capa gruesa de arenisca mal seleccionada sin estructura interna reflejando un nivel de alta energía. C-D-E: Ophiomorphas preservadas en full relieve de la columna trece, en una capa muy gruesa de areniscas muy mal seleccionadas con laminación inclinada.





F: Grado de bioturbación dos Ophiomorpha no bifurcadas. G: Ophiomorpha identificada en la columna diecinueve en una capa gruesa de arenisca de grano fino a medio donde no se observa estructura interna.

Skolithos

Descripción: Estructura cilíndrica, subcilíndrica simple de forma curva, vertical o subvertical. Por lo general sus paredes son lisas sin tener ningún tipo de recubrimiento, en algunas ocasiones se pueden encontrar con formas anuladas (ver figura 10).

Interpretación: Etológicamente, los Skolithos representan estructuras de excavación (habitación) de organismos suspensivos, originados probablemente por los polychates: *Sabellaria*, *Arenicola* y *Onuphis*.

Consideraciones Ambientales: Generalmente los Skolithos están asociados con ambientes marinos (shoreface superior-medio y foreshore) y salobres. La traza predominante en la sección el Arenal son los Skolithos en capas arenosas y con grados de bioturbación de 1 a 3. En la columna 16 (ver anexo fotográfico y columna 16), es posible ver una superficie colonizada por organismos formadores de esta estructura, en una capa limosa litificada, donde las excavaciones se

encuentran rellenas de sedimentos arenosas pertenecientes a la capa suprayacente, lo que indica la formación de una icnofacies de Glossifungites.

Thalassinoides

Descripción: Relativamente corresponde a un sistema de excavaciones lisas o recubiertas de geometría cilíndrica.

Figura 38. Estructuras de Palaeophycus. A: Palaeophycus de aproximadamente 4cm de longitud y 1,5 de ancho. B: En el tope de la columna número nueve se identifican trazas horizontales de Palaeophycus donde el relleno de la estructura es el mismo de la capa donde se encuentra, también se encuentran algunos Skolithos con un grado de bioturbación de 2. C-D: Al tope de la columna 20 y de toda la secuencia en general, se identificó una estructura horizontal de aproximadamente 3,60m de longitud 2cm de diámetro, de geometría cilíndrica, lisa, no anillada de relleno similar al de la roca huésped, correspondiente a una traza de Palaeophycus.



Esta estructura puede tener formas ramificadas en Y o T, alargada y bifurcada. Estas excavaciones son tridimensionales y se pueden encontrar cruzadas o compuestas por más excavaciones de este tipo. Por lo general son horizontales pero irregularmente se pueden identificar algunas inclinadas (ver figura 11).

Interpretación: Los Thalassinoides son estructuras de habitación, generadas principalmente en sedimentos finos de laminación plano paralela, lo que indica un ambiente baja energía. Algunos crustáceos generan esta estructura para alimentación.

Consideraciones Ambientales: Los Thalassinoides están asociados con las icnofacies Cruziana en ambientes marinos de shoreface inferior a offshore, también se pueden encontrar en muy baja densidad en ambientes de shoreface medio y de aguas salobres.

Figura 39. Estructuras verticales de Skolithos. A: Icnofacies de Skolithos de aproximadamente 1cm de diámetro, sobresaliendo sobre la capa 1cm, en una arenisca mal calibrada donde no se observa estructura interna. B: Skolithos formando relieve positivo (epireleive) en la columna trece. C: Grado de bioturbación tres de trazas de Skolithos en el epireleive de una capa arenosas de la columna tres, el color rojizo corresponde a un relleno ferruginoso. D: Icnofacies de Glossifungites. Skolithos en una capa litificada de limolita con relleno en la estructura de arena perteneciente a la capa suprayacente (ver columna 16). E: Trazas positivas de Skolithos en una capa de arenisca ferruginosa (columna 9).



Figura 40. Trazas de Thalassinoides. A: Trazas horizontales de Thalassinoides en el techo de una capa arenosa de la columna 18. B: Facies de Thalassinoides sobre areniscas ferruginosas ubicada en la columna diez, once principalmente y características en otras partes del afloramiento. C: Las principales trazas horizontales se ubican en el epirelieve o techo de las capas. D: Vista lateral de un Thalassinoides cubierto por arenisca ferruginosa, ubicado en la columna número 10. E y F: Trazas de Thalassinoides bifurcadas en full relieve, ubicados en las columnas 19 y 20.



2.4.3.5 Etología: Las estructuras biogénicas evidencian las actividades de los organismos, reflejando señales de su comportamiento. Seilacher (1964) propone una clasificación que consta principalmente en cinco categorías, las cuales son de gran utilidad en el análisis paleoecológico y paleoambiental, las cuales permiten conocer las condiciones de sedimentación imperantes. Las cinco categorías son:

- Trazas de descanso o *Cubichnia*
- Trazas de locomoción o *Repichnia*
- Trazas de pastoreo o *Pascichnia*
- Trazas de habitación o *Domichnia*
- Trazas de alimentación o *Fodinichnia*

La tabla numero dos permite ver una clasificación de los fósiles traza identificados en las diferentes columnas de la sección el Arenal.

Tabla 4. Clasificación de los Fósiles Traza Identificados en la Sección el Arenal.

Iconogénero	Etología	Grupo Trófico	Posible Originador
Arenicolites	Domichnia	suspensívoros	anélidos y gusanos
Diplocraterion	Domichnia	suspensívoros	crustáceos
Ophiomorpha	Domichnia	suspensívoros	crustáceos
Palaeophycus	Domichnia	carnívoros	anélidos
Skolithos	Domichnia	suspensívoros	anélidos
Thalassinoides	Fodinichnia/domichnia	depositívoros	crustáceos

El comportamiento etológico predominante en la sección en domichnia o estructura de habitación, que corresponde a excavaciones verticales tridimensionales con diferentes funciones como protección, alimentación o de cría. Este comportamiento refleja un medio donde la energía es relativamente media a alta con algunos descensos donde se generan estructuras de alimentación y habitación como los Thalassinoides.

2.4.3.6 Icnofacies Glossifungites: Existen tres tipos de icnofacies sustrato controladas establecidas por (Bromley, et al., 1984): Trypanites (hardground suites), Teredolites (woodground suites) y Glossifungites (firmgrounds suites) (ver figura 12).

Las icnofacies de Glossifungites (redefinidas por Frey y Seilacher, 1980) abarca los fósiles traza asociados con sustratos semilitificados y firmes, no litificados como lodolitas deshidratadas. En sedimentos siliciclásticos, la pérdida de agua resulta del soterramiento y, si son exhumados por erosión posterior.

Las estructuras presentes en sedimentos firmes (firmgrounds) suelen ser fáciles de reconocer, por lo general están dominados por estructuras de excavación como Diplocraterion, Skolithos, Arenicolites y Pylonichnus, aunque también son comunes estructuras de organismos depositívoros como Thalassinoides, Spongeliomorpha y Rhizocoralliun (Pemberton, G. et al., 1992).

Figura 41. Relación entre las Icnofacies y los diferentes tipos de sustratos, y su restricción en ambientes marinos. (Bromley et al., 1984 en Pemberton G., 1992).

Woodground	Hardground	Firmground	Softground	
<i>Teredolites</i>	<i>Trypanites</i>	<i>Glossifungites</i>	<i>Scoyenia</i> <i>Psilonichnus</i> <i>Skolithos</i> <i>Cruziana</i> <i>Zoophycos</i> <i>Nereites</i>	Freshwater High Energy Medium Energy Low Energy
				} Marine

Las icnofacies *Glossifungites* en la sección el Arenal se encuentran identificadas en las columnas 16, 17 y 18 en las capas dos y seis respectivamente (ver figura 13).

La dominancia de estructuras verticales pertenecientes a las icnofacies *Skolithos* de aproximadamente cuatro a seis centímetros de longitud y un a dos centímetros de diámetro representa un ambiente de depositación con condiciones de alta energía, también se encuentran trazas de *Thalassinoides* en menor proporción. La capa que alberga estas trazas (suite), se trata de una limolita gruesa de 50cm de espesor de color gris verdoso donde la bioturbación es intensa, con un grado de bioturbación de 3 a 4, donde las estructuras sedimentarias primarias no se observan. El alto índice de bioturbación refleja un hiato depositacional donde los diferentes organismos pudieron realizar una colonización, anterior a este periodo existe un episodio de enterramiento, exhumación y erosión, y posteriormente al hiato depositacional vemos un periodo de depositación y relleno, reflejado en el relleno de las trazas de características arenosas pertenecientes a la capa suprayacente constituida por areniscas finas a media donde no se observa estructura interna (ver figura 14). Esta capa característica por ser indicadora de discontinuidades erosivas solo es correlacionables en las columnas 16, 17 y 18

pertenecientes al afloramiento ubicado en la parte oriental de la sección (ver figura 1), en las demás columnas pertenecientes a esta sección en el afloramiento no se reconocieron icnofacies de *Glossifungites*.

2.4.3.7 Estratigrafía de Secuencias Aplicación de las Icnofacies

***Glossifungites*:** Las icnofacies sustrato – controladas son de vital importancia en el reconocimiento de superficies de discontinuidades estratigráficas, y de las tres ya mencionadas las icnofacies *Glossifungites* es la que más se ha empleado en estratigrafía secuencial.

Las icnofacies de *Glossifungites* es generalmente fácil de interpretar, ya que generalmente se dispone en interfaces litológicas, típicamente limolitas suprayacidas por areniscas o conglomerados, observándose estructuras verticales (excavaciones) sin revestimiento, que se disponen en el sedimento fino, y que son rellenadas de forma pasiva por el sedimento grueso de la unidad suprayacente (ver figura 15).

La exhumación erosiva puede ocurrir por migración lateral de canales fluviales o mareales, incisión de valles fluvio – estuarinos, incisión de cañones submarinos y desplazamiento erosivo del shoreface hacia el continente durante transgresiones y hacia el mar durante regresiones forzadas. En sistemas depositacionales siliciclásticos, las variaciones del nivel del mar son el mecanismo más común por el cual se generan superficies con las icnofacies de *Glossifungites* (Buatois, L., 2010).

Figura 42. Correlación de la icnofacies Glossifungites entre las columnas 16, 17 y 18.

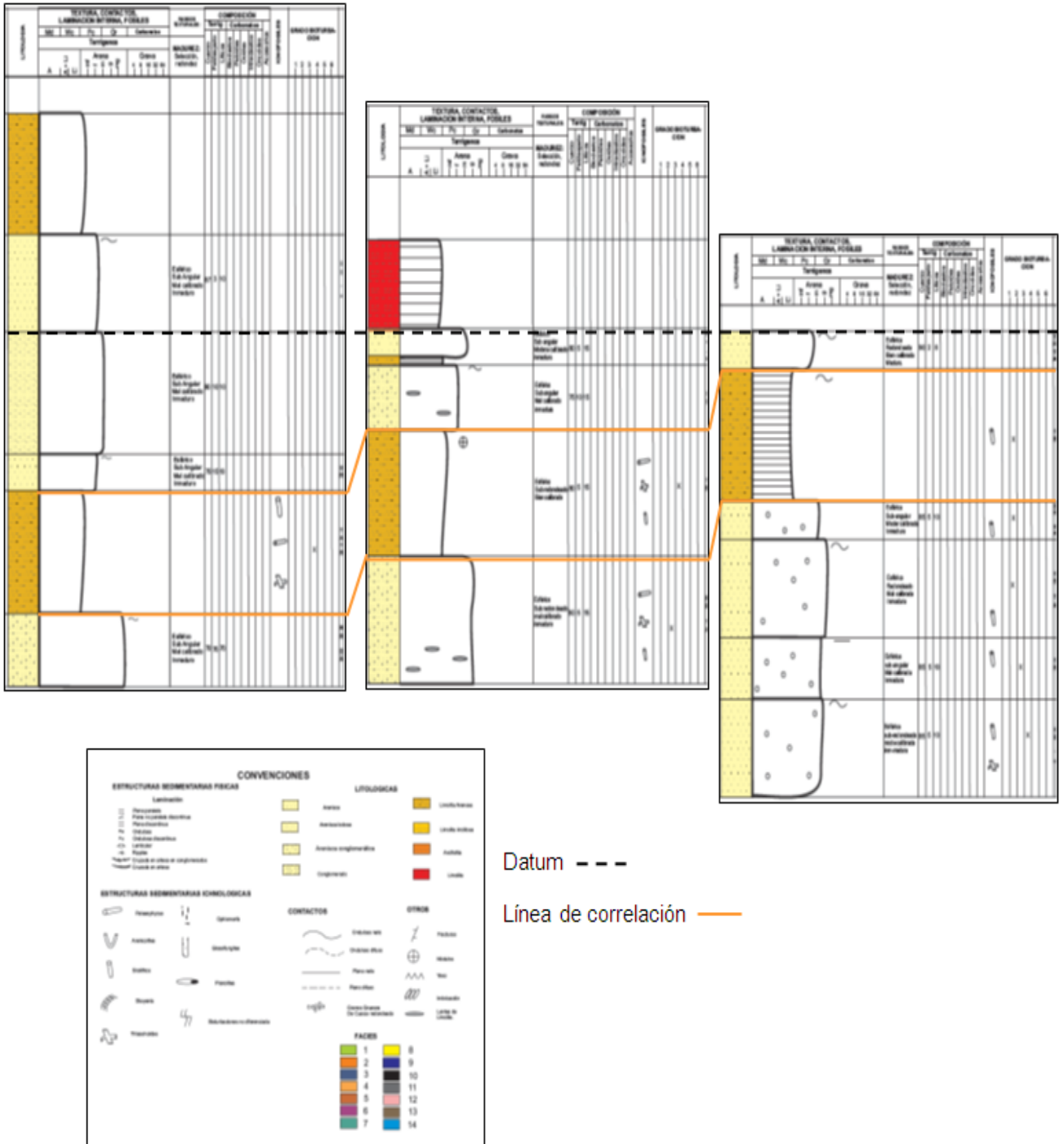


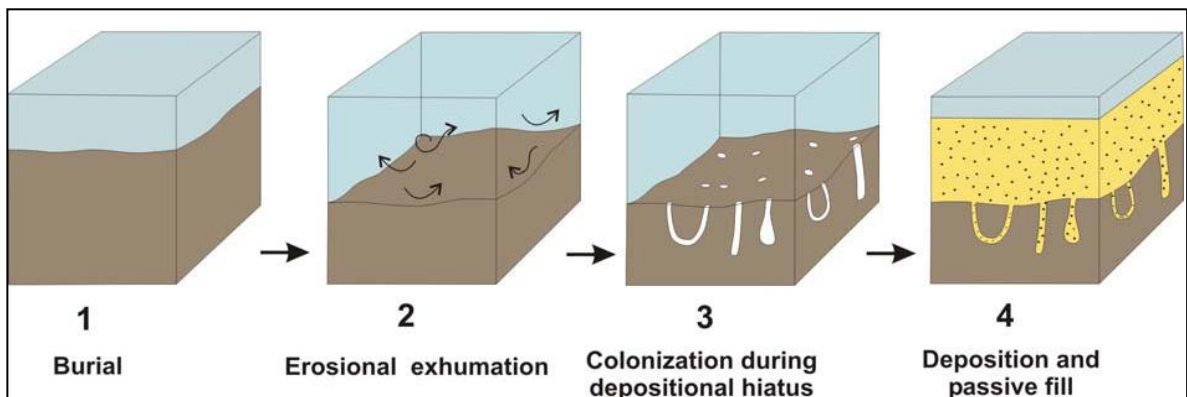
Figura 43. Icnofacies Glossifungites. A: capa de 50cm de espesor, compuesta por limolitas y limolitas arenosas de color gris verdoso, la suprayacen e infrayacen capas de areniscas de tamaño arena fina a media y de estructura masiva. **B:** Índice de bioturbación grado 3, donde se identifican trazas de Skolithos y Thalassinoides. **C:** Plano colonizado por organismos formadores de trazas verticales. Relieve positivo. **D:** Excavación vertical correspondiente a una traza de Skolithos de aproximadamente 5cm de longitud y 1,5cm de diámetro. La estructura se encuentra rellena de sedimento arenosos correspondiente a la capa arenosa que la suprayace.



2.4.3.9 Discontinuidades Erosivas: La icnofacies de *Glossifungites*, perteneciente a la categoría de sustrato controlado, es clave indicadora en el registro de la roca de discontinuidades erosivas. Este tipo de superficies se subdividen en (MacEachern, J et al., en Pemberton, G., 1992):

- Superficies regresivas de erosión marina
- Discordancias de bajo nivel del mar
- Superficies transgresivas de erosión
- Superficies de erosión de bajo nivel y transgresión amalgamada (límites de secuencia/superficies de inundación; LS/SI) (superficies co-planares).

Figura 44. Formación de la icnofacies *Glossifungites*. Tomado de Buatois, L., 2010.



El análisis de facies e icnofacies de esta sección realizado en este trabajo, junto con la lectura de la descripción litológica de la Formación Ciénaga de Oro, recordando que en este trabajo se describe una sección correspondiente a la parte media de la Formación, permite determinar que la discontinuidad erosiva identificada es la de superficie regresiva de erosión debido a las siguientes características.

- Las icnofacies sustrato controladas básicamente *Glossifungites* están comúnmente presentes en la base del shoreface, para esta sección se

concluyó que el ambiente de depositación es de shoreface superior (ver capítulo de interpretación ambiental).

- Los shoreface de nivel del mar bajo están relacionados a ventanas de colonización bajas. La identificación de esta superficie en solo tres columnas en una amplia sección demuestra una baja ventana de colonización.
- La presencia de icnofaunas proximales por encima de asociaciones distales. La icnofacies predominante es *Skolithos*, y la presencia de trazas horizontales pertenecientes a la icnofacies cruziana es mínima, siendo esta la icnofauna distal.
- Debido a la continua caída del nivel del mar la exposición subaérea de los shoreface de regresión forzada, permite que se genere una canibalización de estos depósitos. También la continua aparición de capas de areniscas ferruginosas y algunos lentes de yeso (columna nueve), permiten precisas en esta afirmación (ver capítulo de Facies).
- El no tener icnofacies *Coprinisphaera*, trazas de raíces y valles incisos submarinos permite descartar por el momento superficies de nivel bajo del mar, al igual que una amplia ventana de colonización y predominancia de sedimentos finos y presencia de icnofacies de Teredolites y Trypanites, descartan una superficie transgresiva de erosión.

Características como estas basadas en información descrita en campo, nos ayuda a acercarnos a una más clara definición sobre lo que es una discontinuidad de regresión forzada, aunque aún queda abierta la ventana de investigación en lo que se trata al estudio de las icnofacies y su aplicación a la estratigrafía de secuencias y poder complementar aún mas esta idea.

2.4.3.10 Caracterización de parasecuencias: En ambientes clásticos marinos someros se usan dos tipos de parasecuencias (Buatois, L., 2010), siendo estas dos situaciones distintas dependiendo del proceso de depositación predominante: costas dominadas por el oleaje y costas dominadas por mareas.

La sección muestra un registro, teniendo en cuenta lo ya visto estructuras primarias y estructuras biogénicas, un proceso de depositación dominado por oleaje, donde el tamaño de grano y los estratos son crecientes (ver columnas anexas), reflejando una progradación de la línea de costa. La distribución de las trazas está ligada a ciertos parámetros ambientales, y al identificar icnofacies de *Skolithos* que demuestran que el comportamiento de los organismos eran suspensívoros (ver tabla 2), indica que hay un crecimiento vertical de la energía hidrodinámica y la cantidad de partículas orgánicas en suspensión.

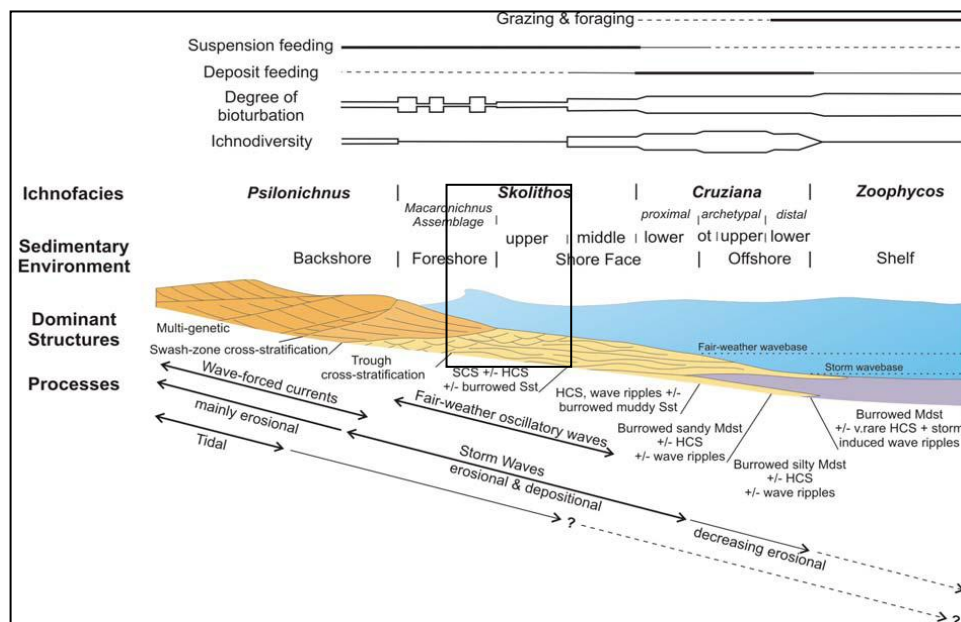
Una parasecuencia idealizada, aunque este no es el caso porque no todos los subambientes están representados en cada parasecuencia, pasa gradualmente de base a tope, desde la icnofacies de *Cruziana* distal, proximal a la icnofacies de *Skolithos* del shoreface inferior, medio, superior y foreshore, y la icnofacies de *Psilonichnus* a lo largo del backshore.

2.4.4 Ambientes. El ambiente general de depósito de la secuencia descrita corresponde a un ambiente predominantemente de shoreface superior con un sistema de barras arenosas, el cual se caracteriza por el desarrollo de capas arenosas con laminaciones e icnofacies típicas de ambientes marinos someros (figura 45).

La integración de datos icnológicos y sedimentológicos ha resultado en un modelo paleoambiental detallado que permite delimitar tendencias de proximidad entre el foreshore y el shoreface superior, la predominancia de capas arenosas en

comparación con la relación arena – lodolitas indican que el ambiente es dominado por oleaje representado en costas arenosas. La distribución de estructuras biogénicas en este caso está también controlada por el aporte de alimentos. Los ambientes proximales típicamente poseen partículas orgánicas que son mantenidas en suspensión en la columna de agua por el oleaje y las corrientes, por esos es típico encontrar icnofacies *Skolithos*, mientras que en los ambientes distales están caracterizados por detritos orgánicos en el sedimento (icnofacies Cruziana). El contenido de oxígeno usualmente no es factor limitante en aguas someras agitadas por el oleaje.

Figura 45. Caracterización de Ambientes Marinos Según sus Icnofacies y Estructuras Sedimentarias. Tomado de Buatois, L., 2010.



2.4.4.1 Análisis e Interpretación: La parte media de la Formación Ciénaga de Oro en la sección el Arenal presenta varias características faciales que sugieren un ambiente marino somero influenciado por el oleaje de foreshore a shoreface superior. Entre ellas se encuentran se encuentran oocurrencia de estratificación inclinada de bajo ángulo, laminación inclinada en artesas, capas delgadas de areniscas ferruginosas interpretadas como caídas relativas del nivel del mar, laminación plano paralela,

areniscas de estructuras masivas mal calibradas e intercalación de facies heterolíticas (limolitas – areniscas limosas), la presencia de estructuras biogénicas con índices de bioturbación bajos y pertenecientes a la icnofacies de *Skolithos*, la ocurrencia general de estructuras estratocrecientes, granocrecientes y la presencia de ondulas asimétricas sinusoidales.

La asociación de facies **Sh** y **Sl** de capas medias de areniscas bien seleccionadas de tamaño de grano muy fino, fino y medio, con laminación inclinada de bajo ángulo y laminación plano horizontal paralela, y bioturbación con un índice de 3 con trazas de skolithos y thalassinoides de baja icnodiversidad de organismos colonizadores suspensivos, indican un ambiente sedimentario de foreshore.

Para la asociación de facies **St**, **Sl** y **Sh**, de capas medias a gruesas de areniscas bien a moderadamente calibradas, de grano fino, medio y gruesos con laminación inclinada, plana paralela y predominantemente inclinada en artesa con presencia de trazas de Skolithos, Ophiomorphas y Thalassinoides con un índice de bioturbación 2 de poca icnodiversidad y baja bioturbación generada por organismos suspensivos, indican un ambiente de depositación de shoreface superior.

Las asociaciones de facies en general indican que el ambiente de depósito es de shoreface superior, con índices característicos de foreshore hacia la base del afloramiento y subambientes de barras arenosas con algunos lagoons o albuferas formados entre las barras registrados por la sedimentación de limolitas. Todo esto enmarcado en un ambiente de shoreface superior (figura 46).

La secuencia de barras arenosas identificadas en las columnas 10, 11, 12, 13, 14,15, 16, 17 y 18 asociadas en las facies **Sm**, **Scm**, y **Scl** definidas como capas gruesas y muy gruesas de areniscas moderada a mal calibradas de estructura masiva e inclinada de granulometría de arenas tamaño grueso , muy grueso y

conglomeraticas, con índices de bioturbación grado 2 con trazas de Ophiomorphas, Skolithos, Arenicolites y Diplocraterion de gran tamaño aproximadamente 30cm de longitud y de 2 a 3 cm de diámetro pertenecientes a la icnofacies Skolithos con estructuras de habitación, equilibrio y de escape, indican un ambiente de alta energía donde pocos organismos toleran estas circunstancias. Estas características indican un ambiente de alta energía generado en un sistema de barras arenosas donde el embate del oleaje es de alta energía.

La asociación de facies **Scl, Swle, lwh, Lh, Lhy**, definidas para sedimentos finos lodosos con algunas intercalaciones de areniscas limosas y presencias de shale negro carbonoso, se encuentran generalmente después de la sucesión de facies de barras de arena interpretándose como ambientes de lagoon de baja energía donde los sedimentos se precipitan por suspensión y la bioturbación es de índice 2 de trazas horizontales (poca bioturbación y diversidad). Hacia la columna nueve se identifican facies heterolíticas con presencia de lentes de yeso ubicados en la misma dirección de la laminación, interpretándose como ambientes no estrictamente evaporíticos pero si un ambiente donde el nivel del mar es bajo y la evaporación se hace presente.

La continua presencia de las facies **Smf** de capas delgadas de areniscas ferruginosas de color rojizo (hematita), indican un posible nivel bajo del mar.

Respecto a la zonación por parte del tipo de ondulaciones presentes, podemos interpretar una zonación de shoaling wave zone, y breaker zone, (Catuneanu, O., 2006) donde los sedimentos son arrastrados hacia el continente que hacia el mar, y la acción de las olas rompen hacia el continente en un ambiente de alta energía, esta queda reflejado por el tipo de ondula asimétrica y crestas sinusoidales (figura 47).

Figura 46. Ambiente de depositación. Tomado de Walker, R., 1992.

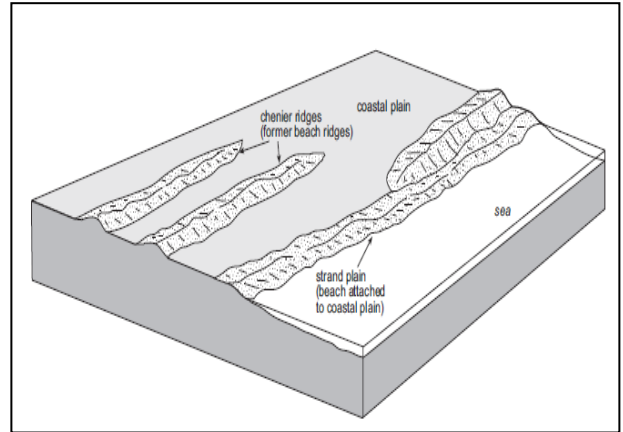
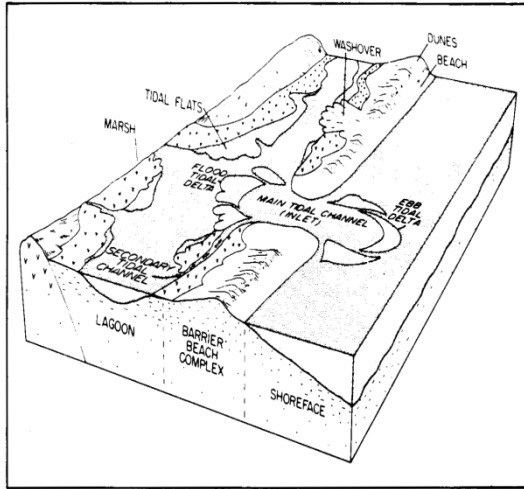
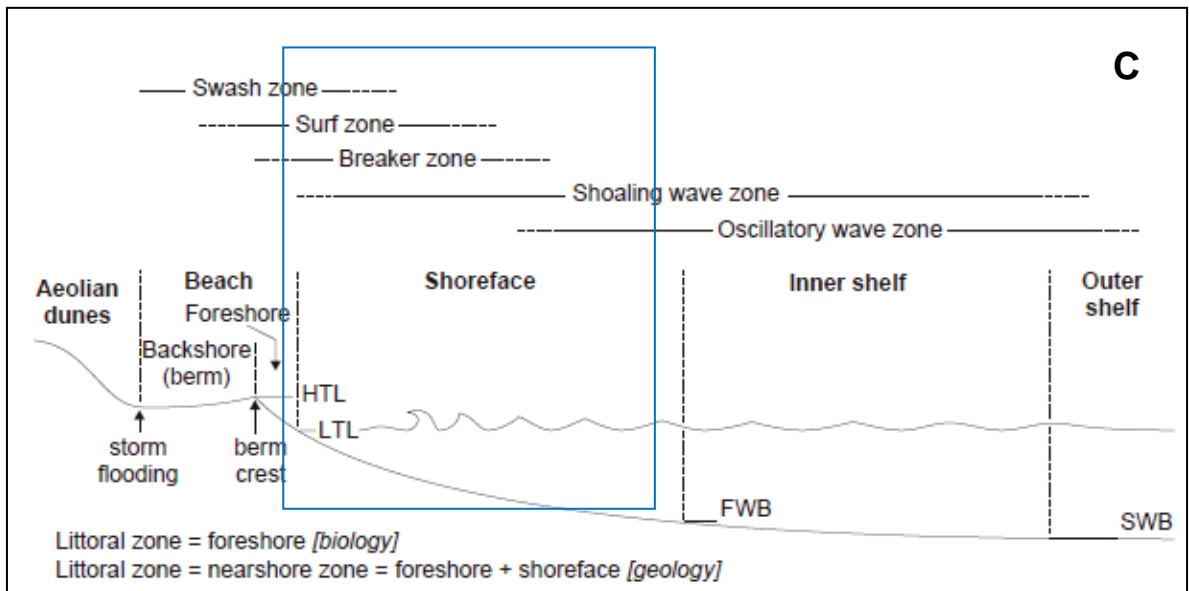


Figura 47. Zonación Según el Tipo de Ondulas. A: Ondulas asimétricas tomadas en el tope de la columna 7. B: Crestas sinusoidales al tope de la columna 5 y 6. C: Zonación según el tipo de ondulas. Tomado de Catuneanu, o., 2006.



3. ANÁLISIS FACIAL AFLORAMIENTO FORMACIÓN CIÉNAGA DE ORO

3.1 ASOCIACIÓN DE FACIES

En el sentido interpretativo las Facies pueden ser combinadas o agrupadas en asociaciones ya que representan varios tipos de eventos depositacionales que frecuentemente ocurren juntos en el mismo ambiente de depósito. Las Facies se asocian para reconstruir los procesos depositacionales específicos y llegar a definir el ambiente. Este término fue definido por Potter (1959): “Como una colección de atributos sedimentarios asociados por tener algo en común, incluyendo geometría, continuidad y forma de las unidades litológicas, tipos de rocas, estructuras sedimentarias y fauna”.

La siguiente es una descripción litológica y de las estructuras sedimentarias primarias y biogénicas asociadas para determinar su respectivo ambiente, estas facies asociadas indicaran los diferentes ambientes de depósito.

3.1.1 Asociación de Foreshore.

Descripción: Areniscas limpias de moderada a bien calibradas de grano muy fino, fino con laminación horizontal plano paralela e inclinada de bajo ángulo, poco bioturbada con trazas de *Skolithos* y *Thalassinoides*. Las facies asociadas son **Sh** y **SI**, descritas como areniscas de grano fino con laminación horizontal plana paralela y arenisca de grano fino con laminación inclinada de bajo ángulo, respectivamente (figura 45). Esta asociación es identificada en las columnas 1, 2 y 3 donde lateralmente cambian de facies en sentido oeste – este (figura 48) cambiando de facies de laminación plano paralela a inclinada de bajo ángulo.

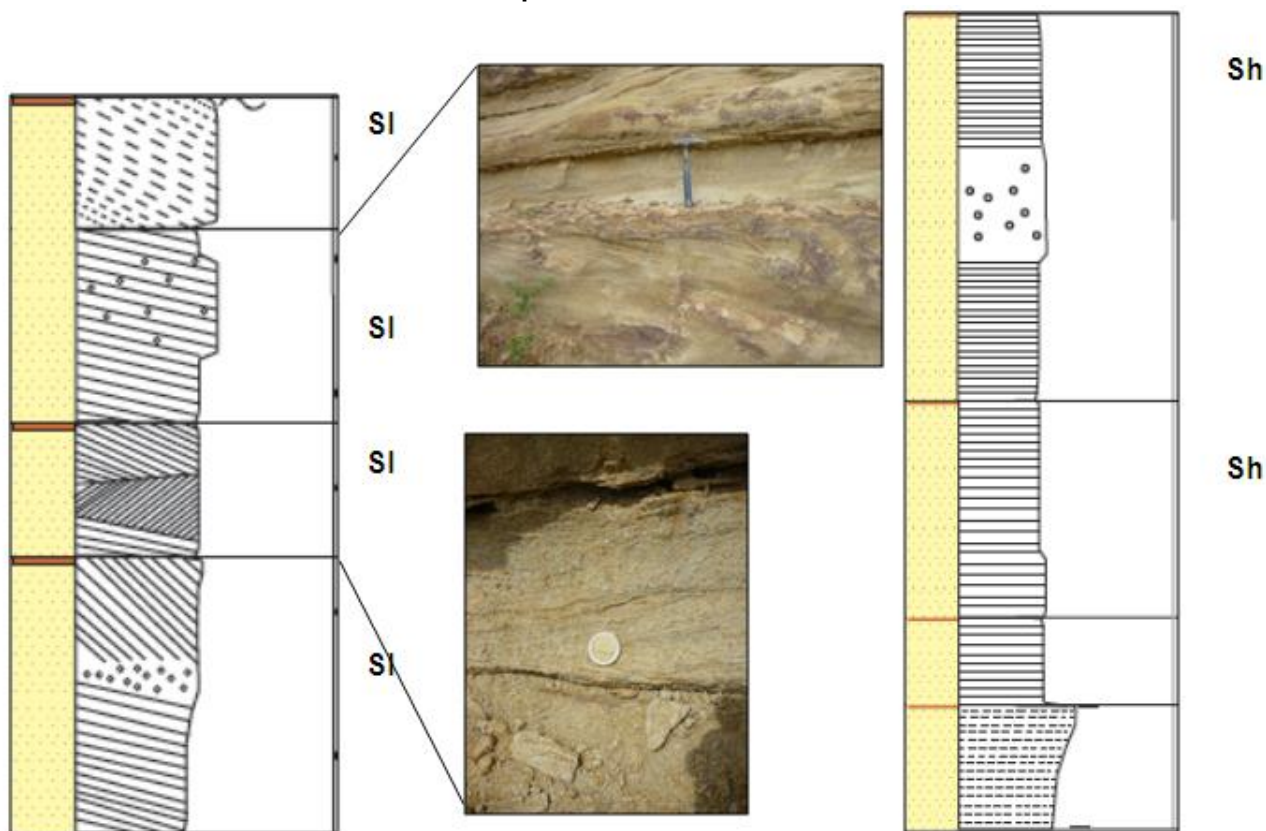
Interpretación: El ambiente de foreshore es de menor energía comparado con el ambiente de shoreface superior, el resultado es una depositación de granos más finos comparados con los granos más gruesos y mayor presencia de bioturbación en el shore face superior. La laminación está limitada a laminación plana e inclinada con algunas pocas capas con laminación festoneada en artesa.

3.1.2 Asociación de Shoreface Superior

Descripción: Areniscas de grano fino a grueso, moderadamente a bien calibradas con laminación inclinada en artesas (festoneada), raramente se encuentran estructuras de ripples, (figura 49). Las icnofacies presentes son trazas de Skolithos, Ophiomorphas con un índice de bioturbación de 1 a 2. Las facies asociadas son **St**, **Sl** y **Sh**, definidas como laminación inclinada en artesa y laminación plano paralela bioturbadas con trazas de skolithos y ophiomorphas con baja diversidad.

Interpretación: La laminación inclinada en artesa es producto de la acción del oleaje y producto de la amalgamación de barras cerca a la costa. Pocos organismos pueden tolerar este ambiente de alta energía y por lo general generan estructuras de escape y habitación.

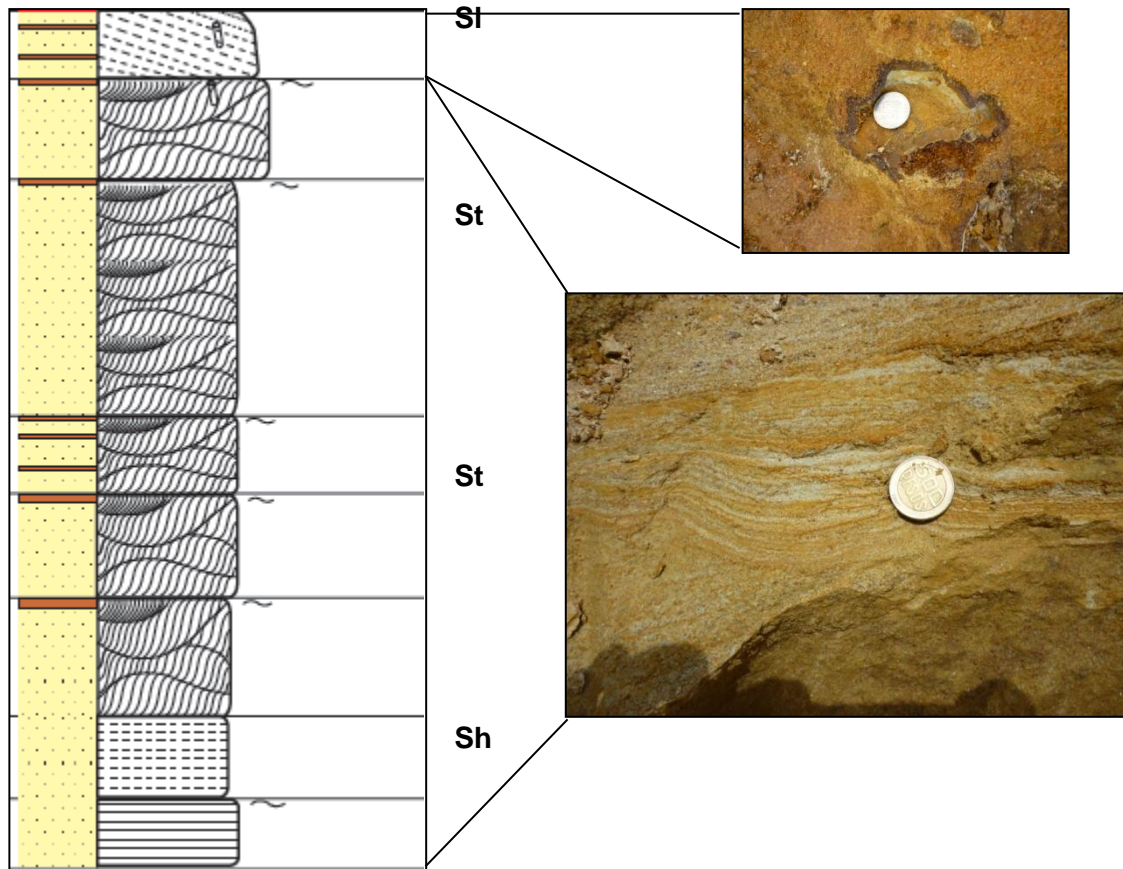
Figura 48. Asociación de facies de foreshore identificadas en las columnas 2 y 3 respectivamente.



3.1.3 Asociación de Barras Arenosas.

Descripción: Se ha reconocido una secuencia de barras arenosas, (figura 50) que son cuerpos relativamente tabulares y de gran continuidad lateral, compuestos por areniscas mal calibradas de tamaño de grano fino a tamaño grava, con laminación inclinada y bioturbadas por trazas robustas de *Ophiomorphas*, *Skolithos*, *Arenicolites* y *Palaeophycus*. Las facies asociadas son **Smb**, **Scmb** y **Sclb** descritas como areniscas masivas, areniscas conglomeraticas masivas y areniscas conglomeraticas de laminación inclinada bioturbadas con baja diversidad.

Figura 49. Asociación de Facies de Shoreface Superior.



Interpretación: Pocos organismos toleran un ambiente de alta energía como las barras arenosas ubicadas en el shoreface superior. La forma robusta de estas trazas y su gran longitud demuestran sin duda el alto nivel de energía, esto junto con el tamaño grueso de la granulometría y su mal calibración.

3.1.4 Asociación de Lagoons (Detrás de Barrera) y Ambientes Evaporíticos

Descripción: Se asocian facies de limolitas de laminación plano paralela y ondulosa con algunas limolitas arenosas, shales negro carbonoso, y facies heterolíticas con lentes de yeso en la dirección de la laminación **Scl**, **Swle**, **lwh**,

Lh, Lhy. La bioturbación está constituida por trazas de *Thalassinoides* principalmente.

Interpretación: Este ambiente refleja un ambiente bajo de energía donde las depositación se lleva a cabo por procesos de precipitación y el contenido de materia orgánica es abundante.

Figura 50. Asociación de Facies de Barras Arenosas Bioturbadas.

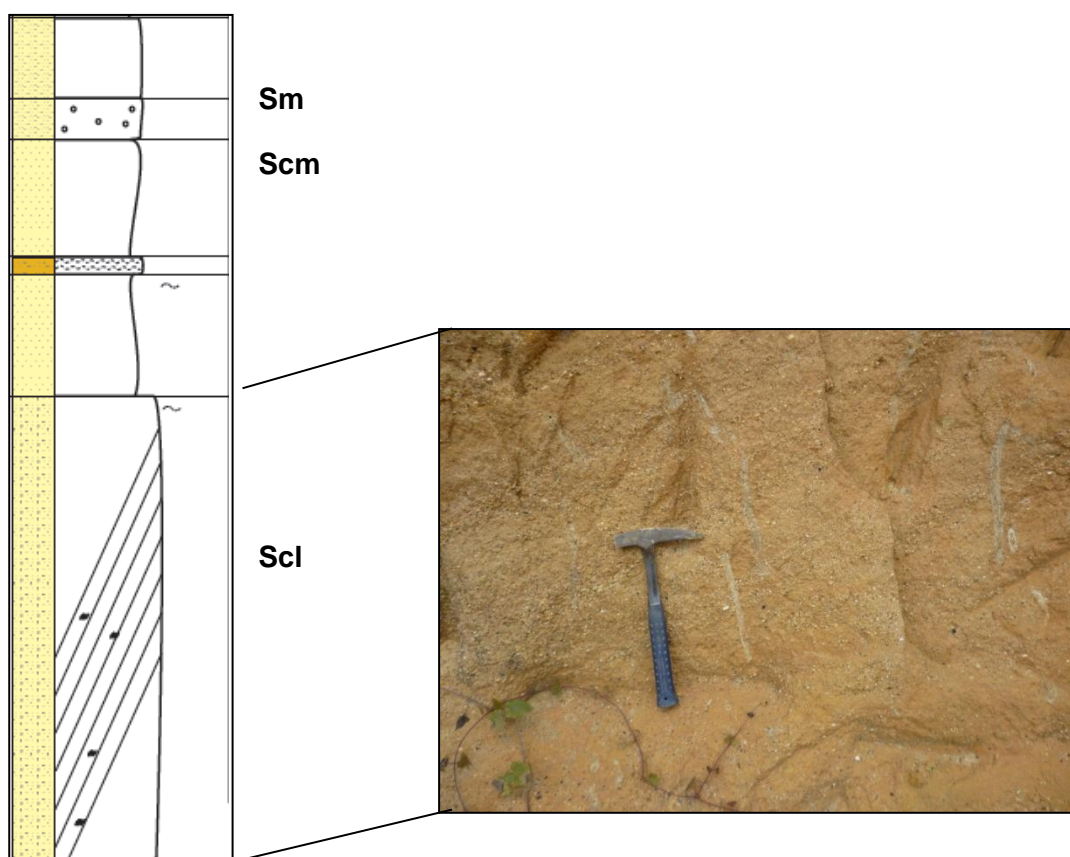
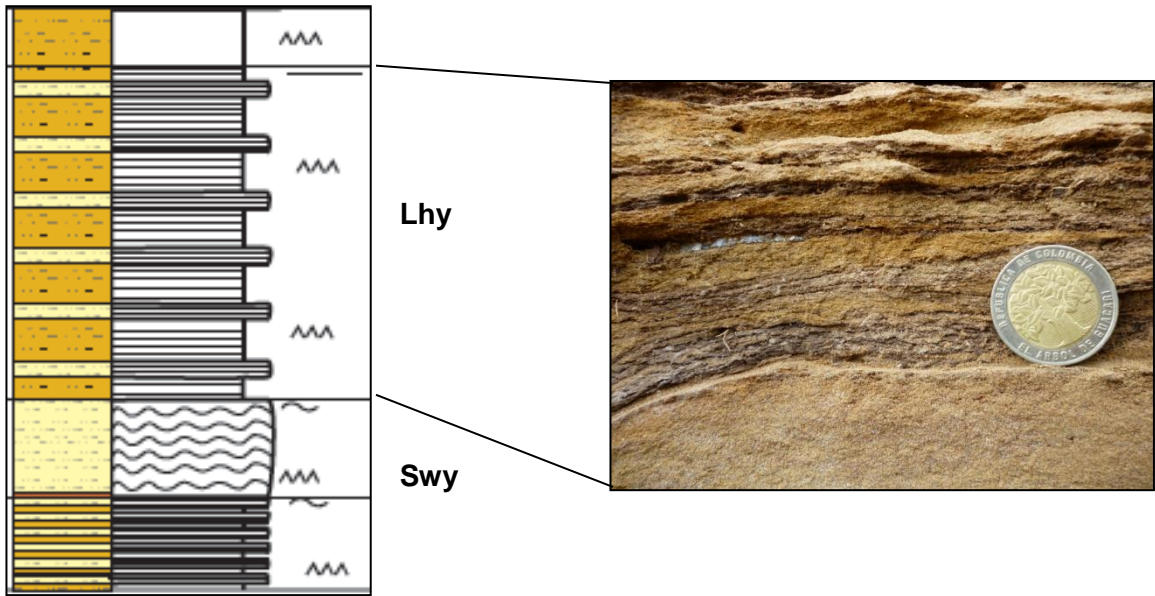


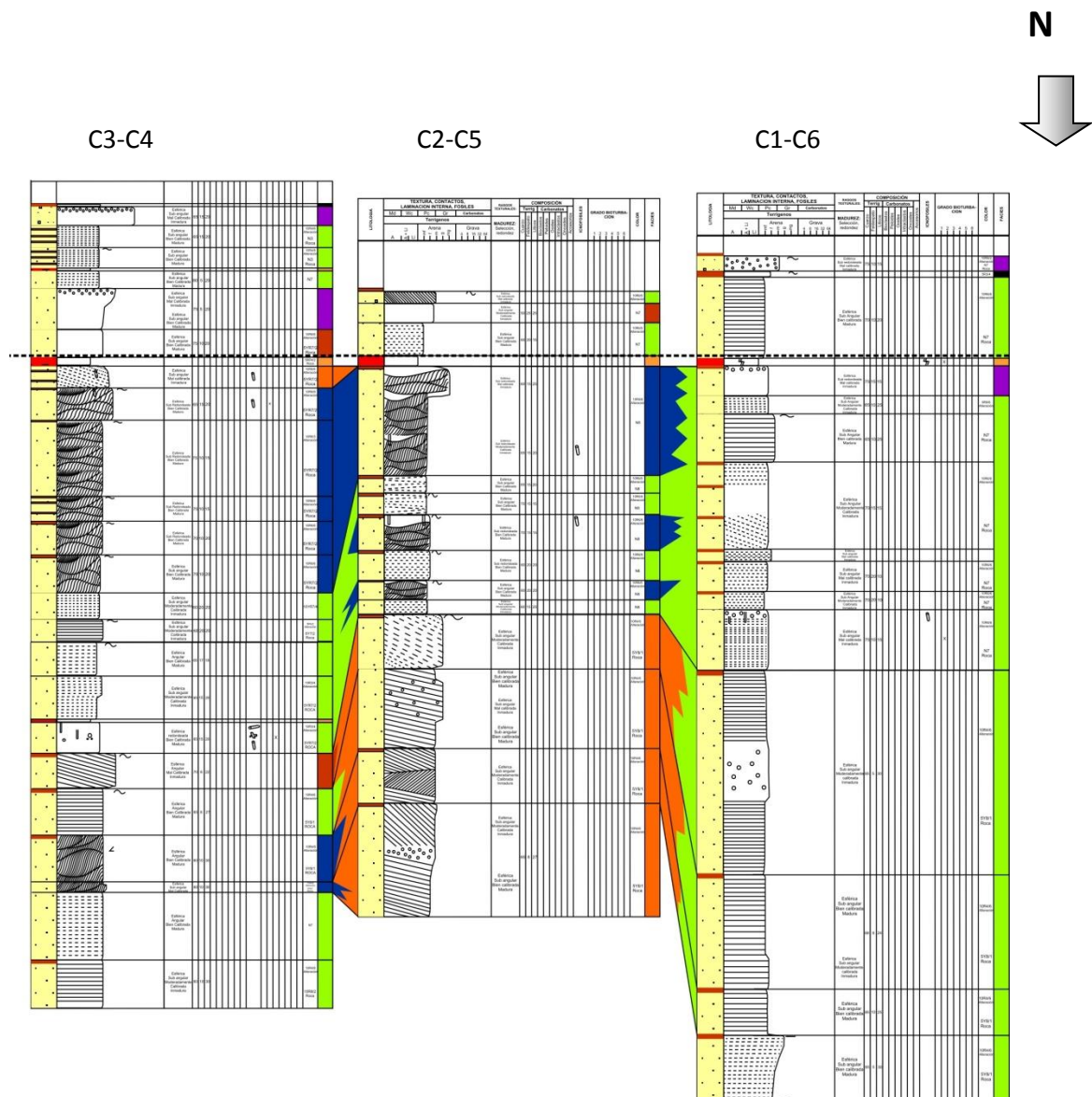
Figura 51. Asociación de Facies de Ambientes Evaporíticos Ejemplo Base Columna 9.



4. CORRELACIÓN DE COLUMNAS LEVANTADAS

Las columnas 1, 2 y 3 se correlacionan entre si mostrando algunos cambios laterales de facies, las columnas 4,5 y 6 son la continuación de las columnas 1,2 y 3 respectivamente (figura 52).

Figura 52. Correlación Estratigráfica y Facies de las Columnas 1, 2,3 y 4, 5,6 Respectivamente.



Las columnas 1,2 y3 infrayacen a las columnas 6,5 y 4 respectivamente. La columna numero 3 presenta facies predominantemente arenosas con laminación plana no paralela y continua difusa, estas facies se identificaron en las capas 1, 2, 5, 7,9 y 10 de la columna respectiva, en las capas 3 y 4 (ver columnas anexas), se identifican facies de arenisca con laminación cruzada en artesa, y en la capa 6 se describen facies de areniscas de estructura masiva. Las facies cambian lateralmente de este a oeste identificándose en la columna 2 facies de areniscas de grano fino con laminación inclinada de bajo ángulo (columna 2), hacia la columna 1, dirección occidente las facies cambien lateralmente nuevamente a facies de areniscas con laminación plano paralela, difusa, identificada en todas las capas de la columna 1.

En la columna 4 (continuación de la columna 3), se identifican facies que van desde facies de areniscas de laminación plano paralela, areniscas con laminación festoneada en artesa a facies heterolíticas.

El datum para esta correlación es una delgada capa de 15 cm de espesor de limolita bioturbada presente en todas las 3 capas (4, 5, y 6). Hacia el tope de esta columna se identifican facies de areniscas conglomeraticas de estructura masiva y facies heterolítica de areniscas con limolitas con presencia de lentes de yeso.

Las facies de la columna 5 son muy similares a las de la columna 4, presentando facies de areniscas con laminación plano paralela, y areniscas con laminación plano paralela en artesa, (figura 52)

A medida que se avanza hacia el occidente del afloramiento, las facies varían lateralmente a facies de areniscas con laminación plano paralela difusa, descritas en la columna 6.

La columna 7 presenta facies de areniscas con laminación plano paralela difusa o continua, en las capas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, y 11, generalmente hacia la base y la parte media de la columna. Hacia la parte media de la columna se identifican facies de areniscas de estructura masiva y areniscas conglomeraticas masivas, el datum corresponde a una intercalación de limolitas con lentes de yeso y areniscas de grano muy fino con laminación ondulada. De la parte media hacia el tope se identifican facies de areniscas de estructura masiva y areniscas con laminación inclinada en artesa hacia el tope.

En la columna 8 se identifican facies de areniscas con laminación plano paralela, areniscas de estructura masiva e intercalaciones de limolitas con areniscas de grano fino con laminación ondulada hacia el techo.

Figura 53. Correlación de facies entre las columnas 7 y 8

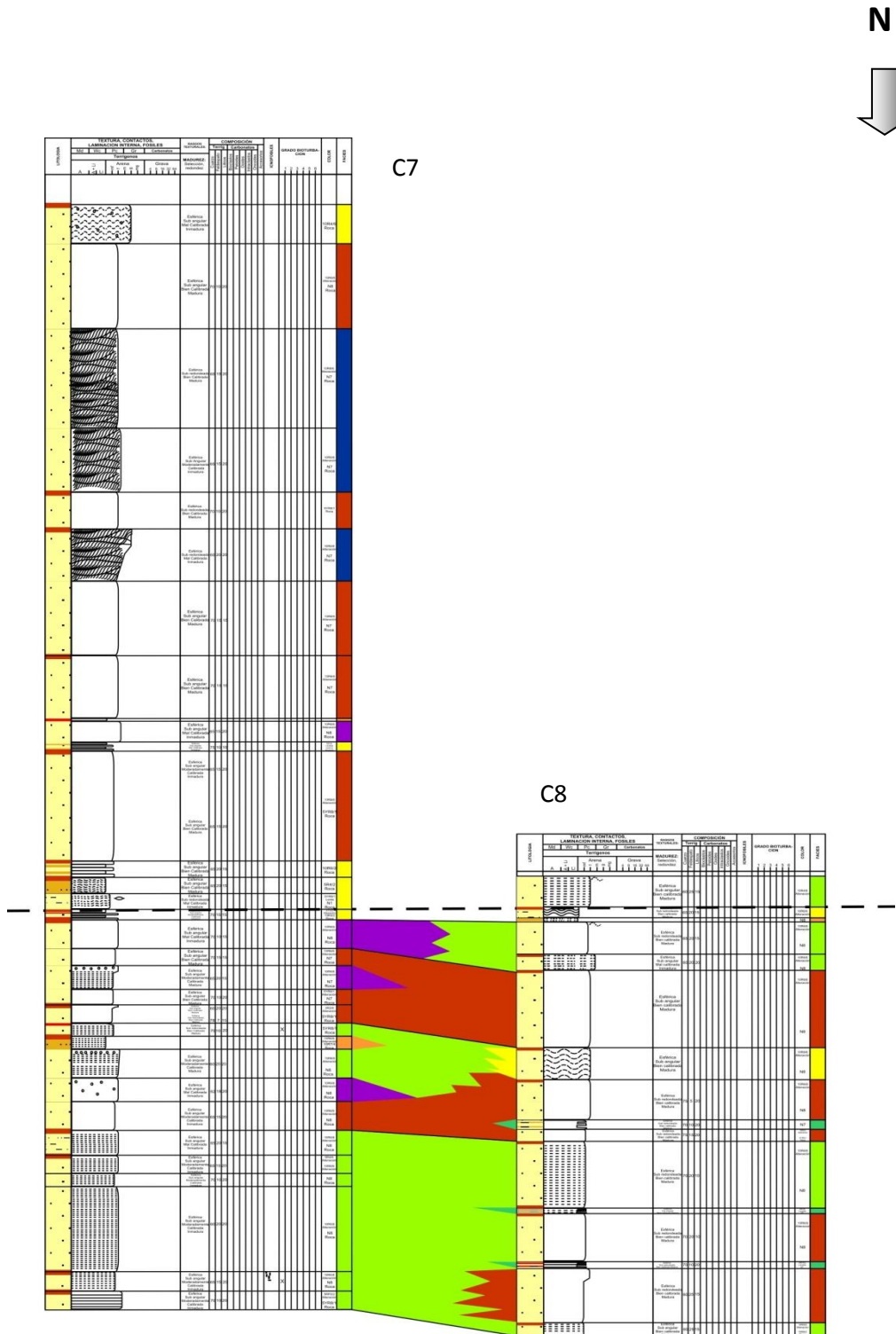
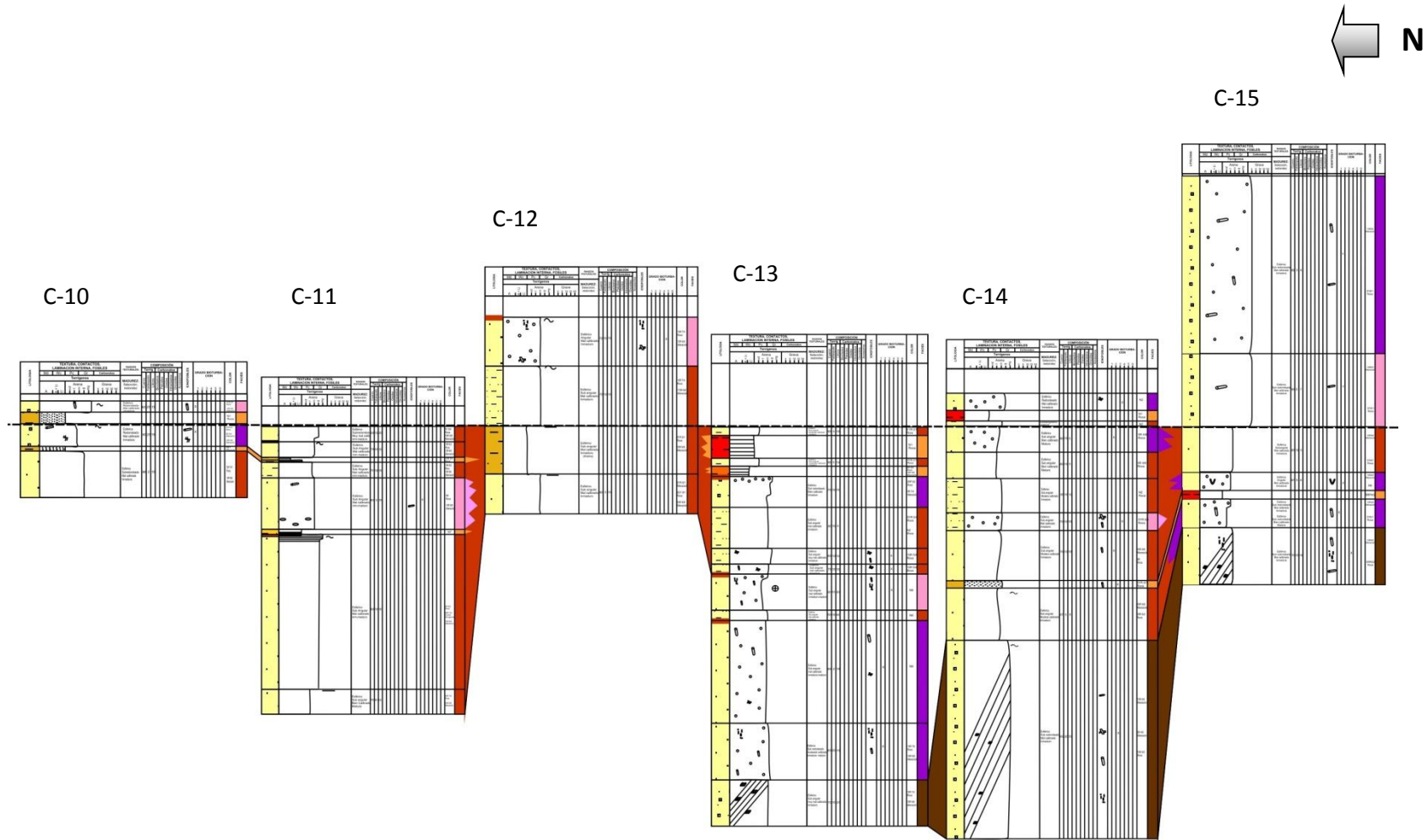


Figura 54. Correlación de Facies de las Columnas 10, 11, 12, 13, 14 y 15.



El afloramiento de la parte oriental está constituido por las columna 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20, en la figura 47 se observa la correlación entre las columnas 10, 11, 12, 13, 14 y 15 las columnas 19 y 20 son la continuación de las columnas 12 y 13. El datum para esta correlación corresponde a una capa de areniscas ferruginosas bien cementadas con un alto grado de bioturbación con trazas de *Thalassinoides* y *Skolithos*. La característica principal de estas facies es el aumento del tamaño de grano y la presencia de trazas robustas de *Ophiomorphas*, *Arenicolites* y *Skolithos*, reflejando así un ambiente de depositación de alta energía hacia la base.

En las columnas 10, 11, 12 se observan facies de areniscas de grano gruesos con clastos de cuarzo redondeados de estructura masiva hacia la base, pero a medida que se desplaza hacia el sur las facies varían lateralmente a facies de areniscas de tamaño grueso a muy grueso mal seleccionadas con estructura inclinada y presencia de trazas robustas de *Skolithos* y *Ophiomorphas*.

Hacia la parte media se encuentran facies de areniscas limosas carbonosas y shale de color negro con alto contenido de materia orgánica, indicando un cambio en el ambiente, pasando de alta energía a un ambiente de baja energía (ver capítulo de ambientes). Hacia la parte superior se encuentran facies de areniscas de grano muy grueso con presencia de clastos de cuarzo tamaño grava mal calibrados en capas muy gruesas de estructura masiva y con trazas robustas de *Arenicolites*, *Skolithos*, *Thalassinoides* y *Palaeophycus*, demostrando un incremento en la energía.

Las columnas 16, 17 y 18 se caracterizan por tener facies de areniscas de grano gruesos a muy grueso de estructura masiva hacia la base, suprayacidas por una capa media de limolitas grises bioturbada con trazas de *Skolithos* y *Thalassinoides* pertenecientes a las icnofacies de *Glossifungites*, las icnofacies de *Glossifungites* solo se identificaron en estas tres columnas y su continuidad no se encuentra en las columnas 15, 14, 13, 12, 11 y 10. La capa de limolitas bioturbadas la suprayace una capa media de areniscas de grano fino a medio de estructura masiva, hacia el techo se identificó facies de shale negro carbonoso, (siendo este el datum para la correlación de estas columnas) y areniscas limosas cuya continuidad se extiende hasta la columna 13.

5. MODELO SEDIMENTOLOGICO

Este modelo sedimentológico se generó mediante el Software PETREL, en este se cargaron los datos LIDAR y la información de las facies para construir el ambiente de depositación. Se hace indispensable que para realizar este modelo sedimentológico se tenga una idea de la estratigrafía de la región, datos de rumbo y buzamiento; para conocer la orientación e inclinación de las capas, y hacer un modelo interpretativo previo para la carga de datos en el programa, ya que este modelo es netamente interpretativo, es decir, que el modelo se genera mediante análisis estadístico de las facies previamente cargadas.

La fase de crear el modelo sedimentológico comienza con la carga de información como los datos LIDAR en archivo .dat en el software, datos de 20 columnas (coordenadas e imágenes de las columnas previamente digitalizadas). (Figura. 56)

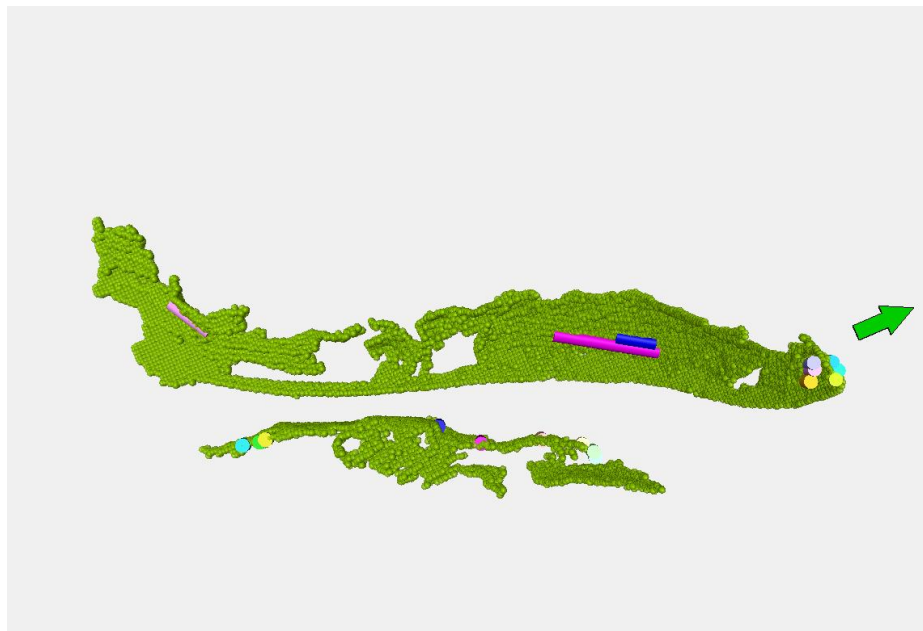
Figura 56. Flujo de trabajo para realizar el modelo Geológico 3D.



El LIDAR es un método moderno que proporciona una imagen 3D detallada y precisa de la superficie de un afloramiento. El LIDAR no es invasivo y por lo tanto no refleja ningún dato de volumen. Es en general similar a un Radar, la distancia a un objeto se puede determinar midiendo el tiempo que tarda un rayo emitido, en ir y volver, los escáneres usan luz visible (un haz de luz de un láser).

Al escanear el rayo láser vertical y horizontalmente un objeto se puede dar una imagen muy detallada de la superficie de objetos 3D; el escáner mide la X, Y, Z posición de los objetos, además de la intensidad del haz de láser que devuelve desde cada punto del objeto (es decir, los datos en bruto es monocromo o escala de grises); Los datos usados en este proyecto fueron georeferenciados a UTM, con GPS de mano, esto significa que la precisión de estos datos es bastante alta (aproximadamente en cm); cabe resaltar que estos datos tenían un datum diferente al Colombiano, y fue preciso sumarle una componente para que fuesen consistentes con las columnas y los datos tomados en campo. El LIDAR es un instrumento muy adecuado para ayudar a la caracterización de afloramientos (Figura.57).

Figura 57. Puntos LIDAR cargados en el programa. En él se observa la forma del afloramiento, y la ubicación de las columnas levantadas en campo.



Son varias las ventajas de esta técnica, como por ejemplo: la adquisición es muy rápida y se genera sin mayor problema una copia digital muy detallada de la superficie del afloramiento, así mismo la geometría cuantitativa es precisa y esta permite un análisis geoespacial. Se integra muy bien con los datos, medidas y observaciones obtenidas en campo por el Geólogo, dando así una mejor visualización y comprensión del afloramiento.

Por otra parte entre sus desventajas se cuenta que esta es una imagen de superficie, es decir que esta no genera un volumen, el conjunto de datos es gran y puede pesar ente 1 a 10 Gb. Mientras que este nos brinda una buena perspectiva del afloramiento, la interpretación geológica se sigue generando de manera habitual siguiendo la exploración en campo.

La metodología usada para la creación del modelo fue estadística, mediante el cálculo de la frecuencia y la proporción con la que aparece una facies determinada en una columna y a su vez en su respectiva zona. Este 3D muestra la continuidad de capas y facies, y la geometría de las mismas; dando así una perspectiva de la variación de facies, en cada una de las superficies generadas que corresponden a los horizontes trazados, para este caso debido al tamaño del afloramiento y a la densidad de datos, se trabajó usando los horizontes inferiores, superior y medio.

5.1 INTERPRETACIÓN AMBIENTAL MODELO SEDIMENTOLÓGICO

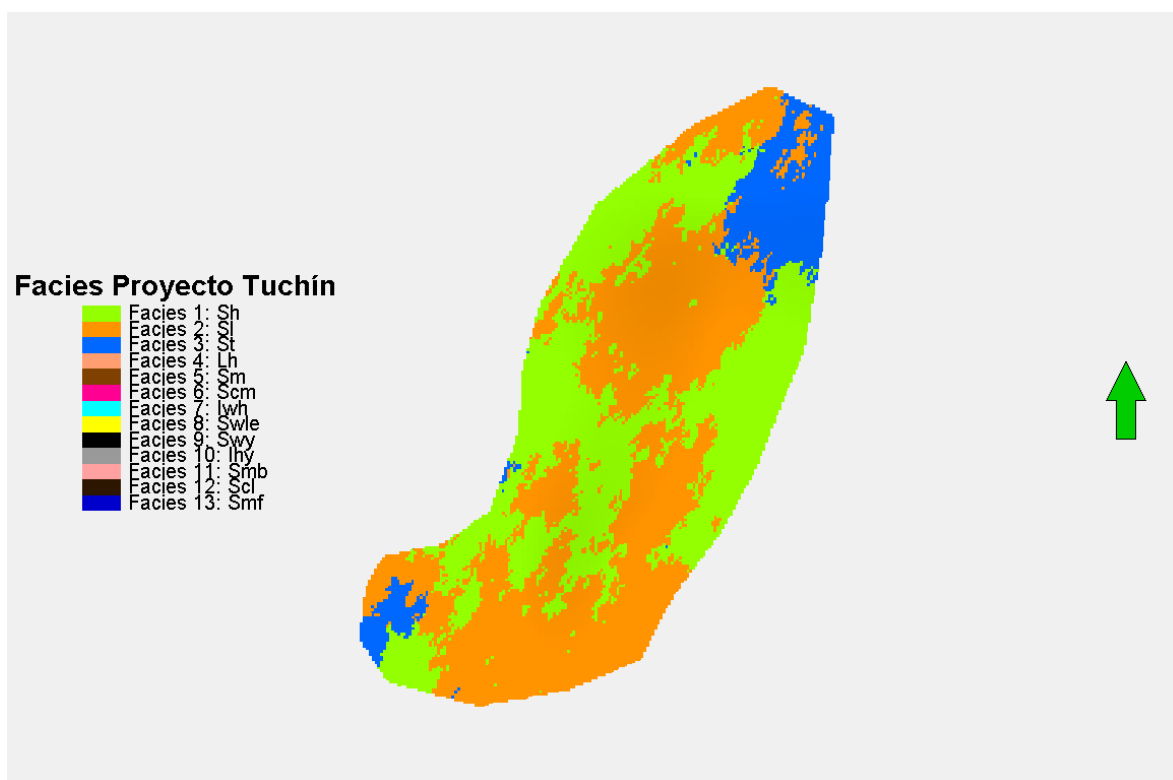
Definidas las zonas en el modelo correspondiente a la correlación de las columnas descritas en campo, se interpreta el ambiente de depósito según cada zona indicada teniendo en cuenta las asociaciones de facies descritas.

A continuación se indica cada zona y a que columnas y partes de las columnas (inferior, media, superior) corresponde cada zona y su interpretación según el

análisis de las asociaciones de facies. Las zonas inician desde la base al tope del modelo.

5.1.1 Zona 14 Columnas 1 2 3 (capa inferior- media).

Figura 58. Zona 14 Modelo Sedimentológico columnas 1, 2 y 3. Parte inferior y media.

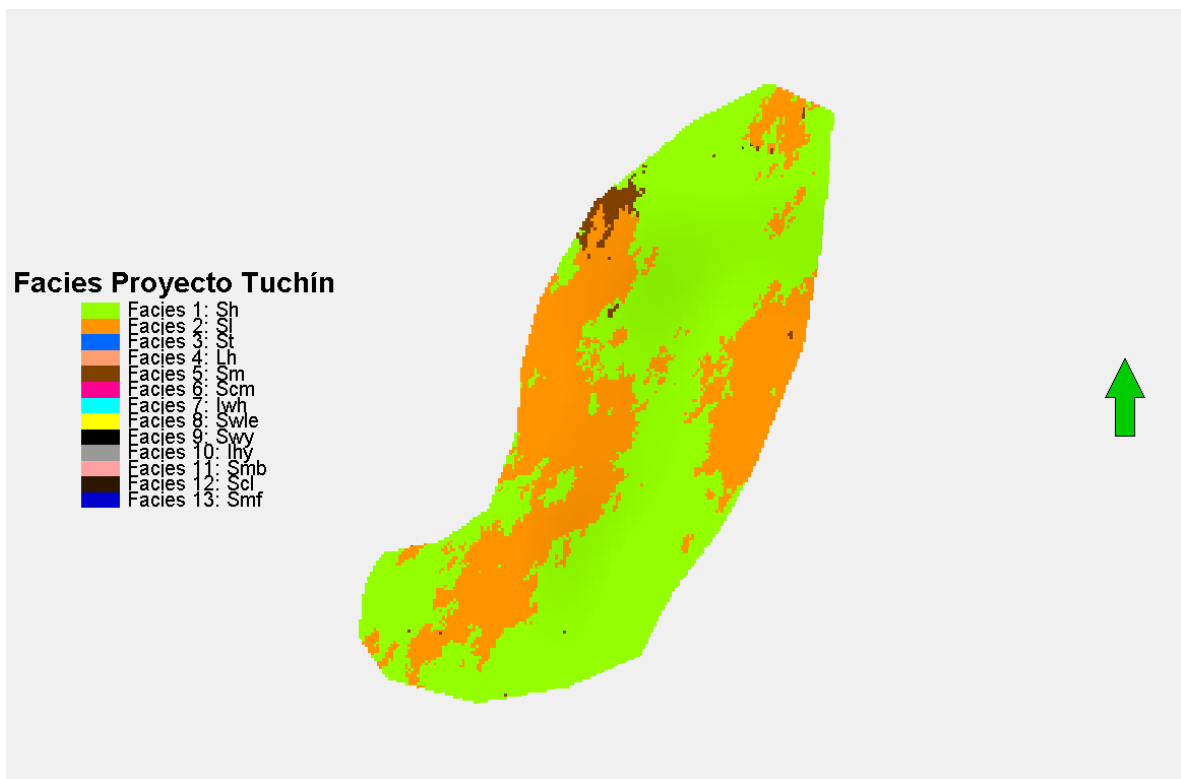


En esta zona se identifican las facies 1, 2 y 3 descritas como areniscas limpias de moderada a bien calibradas de grano muy fino, fino con laminación horizontal plano paralela e inclinada de bajo ángulo, poco bioturbada con trazas de *Skolithos* y *Thalassinoides*. Las facies asociadas son Shb y Slb, descritas como areniscas de grano fino con laminación horizontal plana paralela y arenisca de grano fino con laminación inclinada de bajo ángulo, respectivamente. Esta asociación es identificada en las columnas 1, 2 y 3 donde lateralmente cambian de facies en sentido este - oeste cambiando de facies de laminación plano paralela a inclinada

de bajo ángulo. Teniendo en cuenta que la dirección de la depositación para este periodo geológico es sur – este y con la información de las facies y su asociación concluimos que el ambiente es Marino somero correspondiente a foreshore siendo este de menor energía comparado con el ambiente de shoreface superior, el resultado es una depositación de granos más finos comparados con los granos más gruesos y mayor presencia de bioturbación en el shoreface superior. La laminación está limitada a laminación plana e inclinada con algunas pocas capas con laminación festoneada en artesa, predominando las facies 1 y 2 de areniscas de granos finos muy finos de laminación plana paralela e inclinada de bajo ángulo con presencia de bioturbación pero con un índice bajo (figura 58).

5.1.2 Zona 13 Columnas 1, 2 y 3 (capa media-superior)

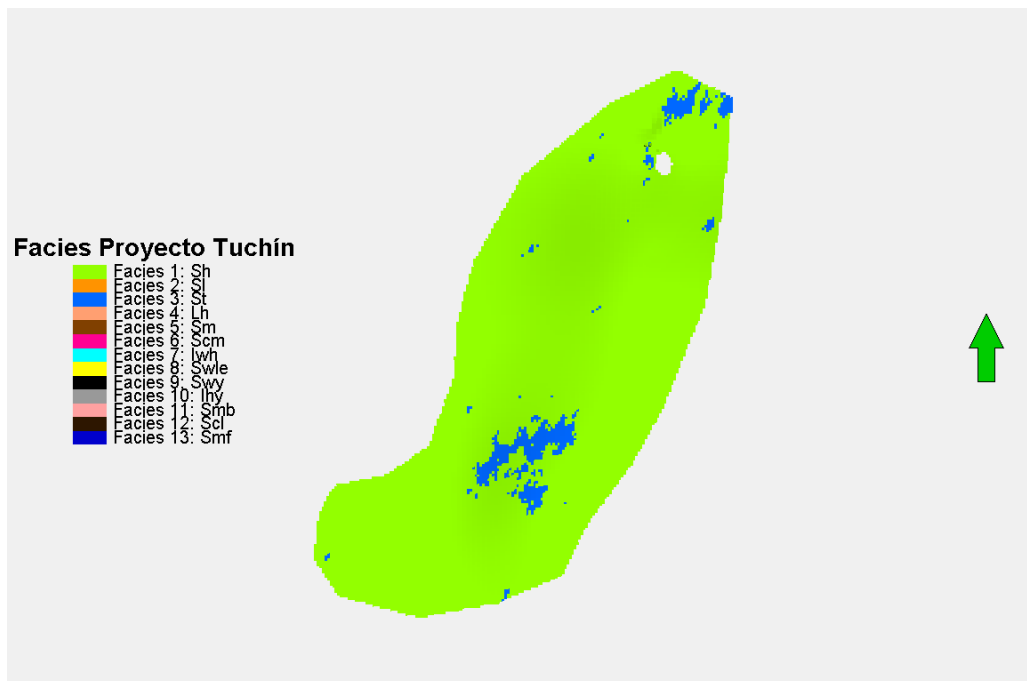
Figura 59. Zona 13 Modelo sedimentológico columnas 1, 2 y 3. Parte media y superior.



Las facies asociadas a la zona 13 son Shb y Slb, ya descritas en la anterior zona. Como se puede observar las facies 1 Shb predomina siendo estas arenas de grano fino laminadas plano paralela y en la parte media varia a laminación inclinada, lo cual conlleva a ratificar el ambiente de depósito de foreshore, (figura 59).

5.1.3 Zona 11 Columnas 4, 5 y 6 (capa inferior y media). En la zona 11 predominan las facies 1 Shb y en menor porcentaje las facies 3 Stb de arenisca fina con laminación cruzada en artesa. Esta asociación de facies Sh y Stb de capas medias de areniscas bien seleccionadas de tamaño de grano muy fino, fino y medio, con laminación plano horizontal paralela, y festoneada bioturbadas con un índice de 2 con trazas de skolithos y thalassinoides de baja icnodiversidad de organismos colonizadores suspensivos, indican un ambiente sedimentario de foreshore, (figura 60).

Figura 60. Zona 11 Modelo sedimentológico columnas 4, 5 y 6. Parte inferior y media

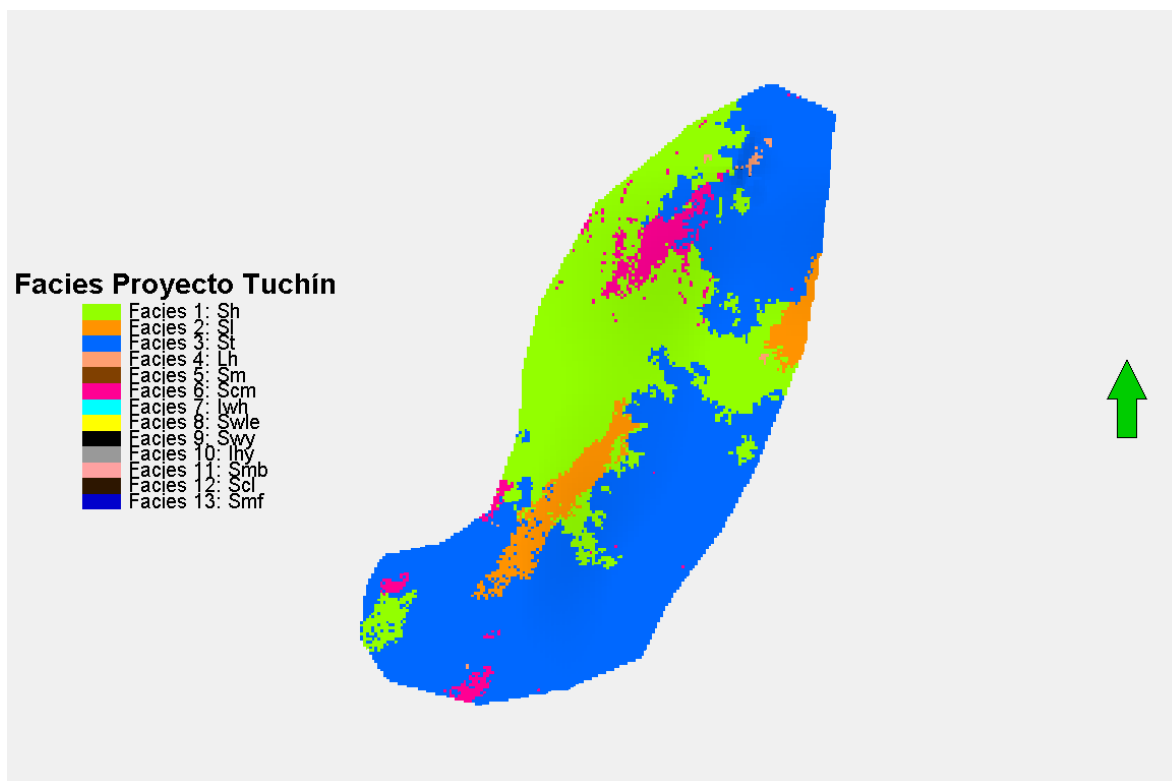


5.1.4 Zona 10 columnas 4, 5 y 6. (capa inferior y media). Esta zona está representada por las facies 3, 2, 1 predominantemente, es decir las facies ya vistas Shb, Stb y Slb, estas capas generalmente son medias a gruesas de areniscas bien a moderadamente calibradas, de grano fino, medio y gruesos con laminación inclinada, plana paralela y predominantemente inclinada en artesa con presencia de trazas de Skolithos, Ophiomorphas y Thalassinoides con un índice de bioturbación 2 de poca icnodiversidad y baja bioturbación generada por organismos suspensivos, indican un ambiente de deposición de shoreface superior.

En esta superficie se puede observar un incremento en la energía lo cual genera este tipo de laminación inclinada en artesa o festoneada, reflejando un aumento de energía y una variación ambiental de foreshore a shoreface superior donde variamos de areniscas de grano fino con laminación inclinada y plano paralela a areniscas de grano fino a grueso son moderadamente a bien calibradas con laminación inclinada en artesas con icnofacies representadas por trazas de Skolithos, Ophiomorphas con un índice de bioturbación de 1 a 2.

La laminación inclinada en artesa es producto de la acción del oleaje y producto de la amalgamación de barras cerca a la costa. Pocos organismos pueden tolerar este ambiente de alta energía y por lo general generan estructuras de escape y habitación.

Figura 61. Zona 10 Modelo sedimentológico columnas 4, 5 y 6. Parte media y superior.



5.1.5 Zona 9 Columnas 4, 5, 6, 7 y 8 (capas superior 4 5 6, inferior 7 8). El tope de la zona 5 en la zona 10 termina con una capa delgada de arcillolita bioturbada (*Glossifungites?*), dando inicio a un nuevo periodo de sedimentación reflejado en la zona 9, constituido principalmente por las facies arenosas 1, 5 y 6 Shb, Smb y Scmb respectivamente. Esta zona está representada por areniscas de estructura masiva algunas bioturbada y de granos gruesos, muy gruesos y guijos. Las capas asociadas a esta facies no se observa laminación ni estructura interna, por lo tanto se les da una descripción de estructura masiva (figura 9).

En la mayoría de los casos la causa de la estructura masiva se debe a la rápida sedimentación. En algunos sectores esta bioturbada por trazas de *Skolithos* (figura 61).

Figura 62. Zona 9 modelo sedimentológico columnas 4, 5 y 6. Parte superior y columnas 7 y 8 parte inferior.



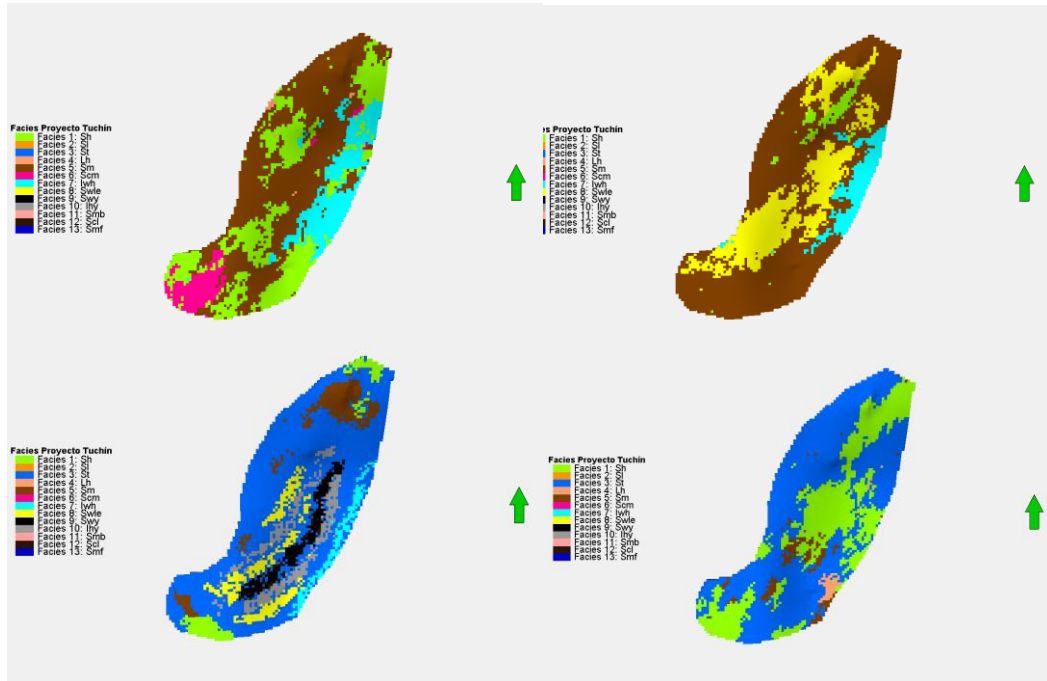
5.1.6 Zona 8, 7, 6 y 5 Columnas 7 y 8 (parte inferior a superior) y Columna 9.

Estas zonas se caracterizan por iniciar en unas facies de areniscas masivas con algunos sectores arcillosos y limosos que poco a poco empiezan a predominar, las cuales son suprayacidas por facies arenosas de laminación festoneada nuevamente, seguido por la zona 6 donde se identifican facies limosas, intercalaciones algunos lentes de yeso y al tope nuevamente areniscas de estructura masiva y festoneada

La zona 8 está constituida por las facies 1, 6, 5 principalmente arenosas en capas donde no se observa estructura interna (masivas), donde hacia la parte oriental se identifican facies 4 Lhb constituida por sedimentos finos limolitas, arcillolitas con laminación plana paralela – ondulosa paralela. Las capas asociadas a esta facies son de poco espesor, por lo general oscilan entre los 0,5 y los 2cm de espesor, entre las cuales se encuentran algunas capas de limolita arenosa y arcillolita de

color gris, morada; el rasgo característico de esta facies es que en la mayoría de capas se encuentra laminación ondulosa paralela y plana paralela. A estas facies finas se encuentra asociada las icnofacies de *Glossifungites (palaephycus, thalassinoides y skolithos)* reflejando un cambio ambiental en la parte este donde la energía disminuye. En la zona 7 observamos cómo estas facies finas progradan haciéndose más visibles hacia la parte central donde se identifican facies 8 Swle de areniscas limosas y limolitas acentuando un predominio de ambientes de baja energía hacia la parte central – oriental de la sección. En la zona 6 integrada por las columnas 7 y 8 parte superior y la parte inferior de la zona 9, identificamos facies 9 y 10 es decir Swy, lhy respectivamente descritas como arenisca con laminación ondulada y lentes de yeso e intercalación de areniscas con limolitas de laminación plana paralela y lentes de yeso, lo que conlleva a interpretar que hacia la parte sur este de la sección ocurría un periodo tranquilo de bajo régimen poca energía y una somerización la cual permitía periodos de evaporación generando estos lentes de yeso alineados con la laminación. Hacia la parte occidental el predominio es claro de facies 3 Stb de areniscas de grano fino con laminación en artesa bioturbadas indicando un ambiente de shoreface superior, ya en la zona 5 el predominio de facies arenosas 1 y 3 es general, (figura 62).

Figura 63. Zonas 8, 7, 6 y 5 modelo sedimentológico columnas 7, 8 y 9.



5.1.7 Zona 3 Columnas de la 10 a la 18 Parte Inferior a Media.

Figura 64. Zona 3 modelo sedimentológico columnas de la 10 a la 18.

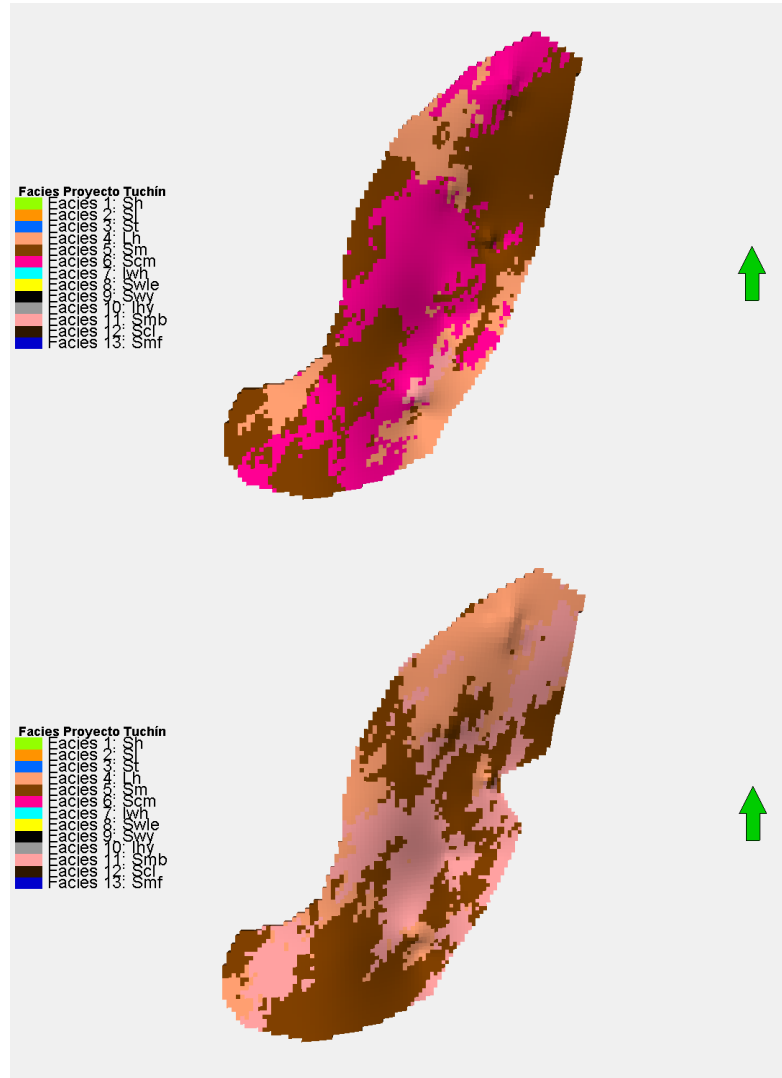


La zona 3 está representada por facies arenosas de la facies 12 Sc1b descrita como arenisca conglomerática con laminación inclinada, bioturbada. Esta facies corresponde a una arenisca conglomerática, con granos de cuarzo redondeados alargados tamaño guijo, inclinada de ángulo medio, algunos granos se presentan siguiendo los planos de laminación. En esta Facies se observa trazas *Ophiomorpha* y algunos *Skolithos* bien desarrollados de tamaños considerables, también se observan trazas de *Arenicolites*, *Ophiomorpha*, *Skolithos* y *Palaeophycus*, en menor proporción la facies 4 lhb compuesta por limolitas bioturbadas.

El ambiente para esta zona es de shoreface superior en el cual se identifica un subambiente de barras arenosas representado en las columnas 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 asociadas en las facies **Smb**, **Scmb**, y **Sc1b** definidas como capas gruesas y muy gruesas de areniscas moderada a mal calibradas de estructura masiva e inclinada de granulometría de arenas tamaño grueso, muy grueso y conglomeráticas, con índices de bioturbación grado 2 con trazas de *Ophiomorphas*, *Skolithos*, *Arenicolites* y *Diplocraterion* de gran tamaño aproximadamente 30cm de longitud y de 2 a 3 cm de diámetro pertenecientes a la icnofacies *Skolithos* con estructuras de habitación, equilibrio y de escape, indican un ambiente de alta energía donde pocos organismos toleran estas circunstancias. Estas características indican un ambiente de alta energía generado en un sistema de barras arenosas donde el embate del oleaje es de alta energía (figura 63).

5.1.8 Zona 2 y 1 Columnas de la 10 a la 18 Parte Media a Superior

Figura 65. Zona 2 y 1 modelo sedimentológico columnas de la 10 a la 18.

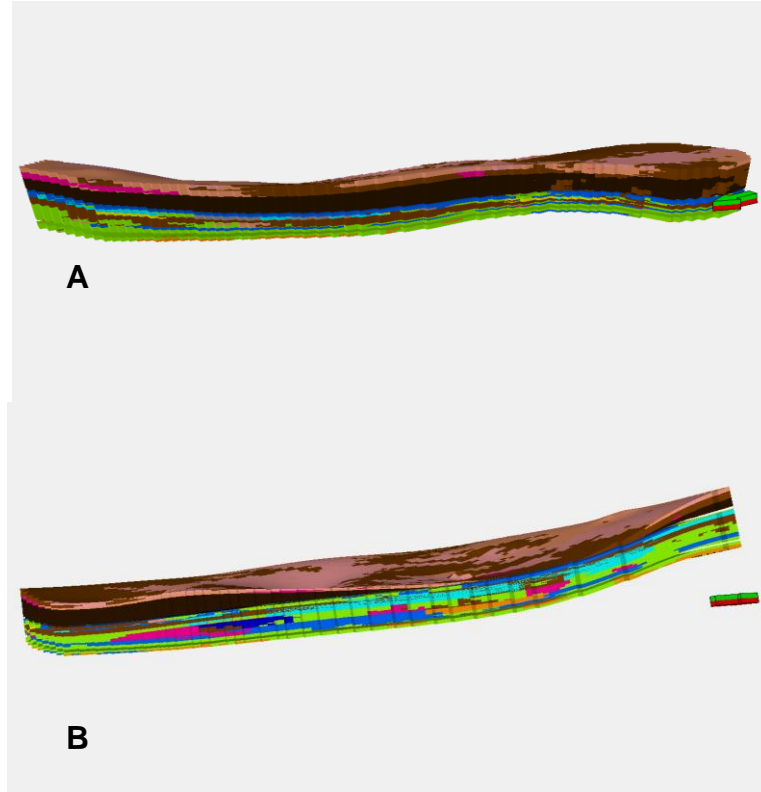


Las zonas 2 y 1 están representadas por las facies 4, 6, 11 (lhb, scmb, smb) y las icnofacies *Glossifungites* en la zona 1. Indicando una disminución en la energía del ambiente permitiendo la depositación de shale negros carbonosos y de facies limosas colonizadas por organismos pertenecientes a las icnofacies *Glossifungites* (lg). El alto índice de bioturbación refleja un hiato depositacional donde los diferentes organismos pudieron realizar una colonización, anterior a este periodo existe un episodio de enterramiento, exhumación y erosión, y posteriormente al

hiato depositacional vemos un periodo de depositación y relleno, reflejado en el relleno de las trazas de características arenosas pertenecientes a la capa suprayacente constituida por areniscas finas a media donde no se observa estructura interna las cuales son suprayacidas por otro evento de alta energía permitiendo la depositación de capas gruesas y muy gruesas de areniscas de estructura masiva bioturbadas por trazas gruesas de *arenicolites*, *skolithos* y *palaeophycus*.

La integración del modelo genera un bloque diagrama, usando los límites de la superficie LIDAR, dando como resultado, el cambio lateral de facies a lo largo del afloramiento, mostrando los diferentes ambientes de depositación antes explicado en este capítulo. (Figura 66).

Figura 66. Corresponde al bloquediagrama del modelo terminado. A. Modelo visto desde el occidente. B. Modelo visto desde el oriente.



CONCLUSIONES

- Se levantaron en campo 20 columnas estratigráficas a escala 1:10, donde se analizaron las estructuras sedimentarias primarias y biogénicas presentes y se definieron 12 facies que permiten interpretar el ambiente de depósito.
- La descripción detallada de las estructuras biogénicas de base a techo, permitió identificar icnofacies de tipo Skolithos donde las estructuras más representativas son de habitación, escape y equilibrio, identificadas como trazas de Skolithos, Ophiomorphas, Thalassinoides, Palaeophycus y Arenicolites. De base a techo las trazas se hacen más robustas y de mayor tamaño reflejando un incremento en la energía del ambiente.
- El análisis detallado de facies y asociación de icnofósiles en la parte media de la Formación Ciénaga de Oro, muestran que esta representa depósitos desde foreshore a shoreface superior con un sistema de barras arenosas y lagoons.
- Se identificó un nivel de icnofacies de Glossifungites continuo en las columnas 16, 17 y 18. Interpretado como un periodo de exhumación, colonización y posterior depósito y relleno pasivo. La capa suprayacente corresponde a un estrato de areniscas y la secuencia es granocrecientes y estratocrecientes, permitiendo interpretar una superficie regresiva de erosión marina y una parasecuencia dominada por el oleaje.
- Se generó el modelo geológico 3D, basado en las interpretaciones de facies descritas en campo y los datos LIDAR. Con este modelo podemos visualizar la distribución de facies tanto lateral como verticalmente.

- Mediante la integración de los datos de geología de superficie, y el modelo de elevación digital (LIDAR) es posible generar un modelo geológico 3D en software de alta resolución en este caso PETREL.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio del subsuelo para corroborar esta interpretación, ya que los datos con los que se trabajaron fueron de afloramiento, y de buzamientos tomados en campo.
- Se propone realizar esta metodología en afloramientos de la cuenca del Valle Inferior del Magdalena como apoyo al proyecto Offshore del Instituto Colombiano del Petróleo.

BIBLIOGRAFIA

ALLEN, P., Allen, J., 2006, Basin Analysis Principle and Applications Second Edition. p. 1-12, 190-207, 266-327, 403-474.

BANN, K. L., and Fielding, C. R., 2204, An integrated ichnological and sedimentological comparison

BOGGS, J.R., 2006, Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Fourth Edition. University of Oregon, 4, p. 74-116, 5, p. 117-144, 7, 117-196, 9, p. 289-332.

Brookfield, M.E., 2004, Principles of Stratigraphy, 3, p. 22-46, 8, p. 171-184, 11, p. 241-254.

BUATOIS, L., 2010, Icnología Aplicada al Análisis de Facies y Estratigráfica Secuencial.

Catuneanu, O., 2006, Principles of Sequence Stratigraphy. Department of Earth and Atmospheric Sciences University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada. p. 1-10, 17-40, 89-101, 253-261.

DORRIK A.V., 2005, Sedimentary Rocks in the Field. A Color Guide, 1, p. 8-12, 3, p. 28-125, 4, p. 126-137, 5, p. 138-149, 15, p. 254-297.

DUQUE DE CARO, H., 1978, Major Structural Elements and Evolution of Northwestern Colombia- AAPG Memoria 29. Tulsa. p. 329-351.

DUQUE DE CARO, H., 1972, Ciclos Tectónicos y Sedimentarios en el Norte de Colombia y sus Relaciones con la Paleoecología. Boletín Geológico. Bogotá. p. 1-123.

MACEACHEM, J.A., Bechtel, D.J., Pemberton, S.G., 1992, Ichnology and Sedimentology of Transgressive Deposits Transgressively – Related Deposits and Transgressive Systems Tracts in the Viking Formation of Alberta. In: Pemberton, S.G. Applications of Ichnology to Petroleum Exploration. A Core Workshop, p. 251-290.

MACEACHEM, J.A., Pemberton, S.G., 1992, Ichnological Aspects of Cretaceous Shoreface Successions and Shoreface Variability in the Western Interior Seaway of North America. In: Pemberton, S.G. Applications of Ichnology to Petroleum Exploration. A Core Workshop, p. 57-84.

MACEACHEM, J.A., Pemberton, S.G., Raychaudhuri, I., 1992, Stratigraphic Applications of the Glossifungites Ichnofacies: Delineating Discontinuities in the Rock Record. In: Pemberton, S.G. Applications of Ichnology to Petroleum Exploration. A Core Workshop, p. 169-198.

MANGANO, M.G., and Buatois, L.A., 2004, Ichnology of Carboniferous tide-influenced environments and tidal flat variability in the North American Midcontinent. In: MCILROY, D. (ed.) The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis. Geological Society, London, Special Publications, 228, 157-178.

MCLLROY, D., 2004, Some ichnological concepts, methodologies, applications and frontiers. In: MClroy, D. (ed.) The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis. Geological Society, London, Special Publications, 228, 3-29.

MCLLROY, D., 2004, Ichnofabrics and sedimentary fades of a tide-dominated delta: Jurassic He Formation of Kristin Field, Haltenbanken, Offshore Mid-Norway. In: Mclroy, D. (ed.) The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and

Stratigraphic Analysis. Geological Society, London, Special Publications, 228, 237-272.

MCLLROY, D., 2004, The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis. Geological Society Special Publication 228.

MCLLROY, D., 2004, The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis. Geological Society, London, Special Publications, 228, 273-310.

MIALL, A.D., 1997, The Geology of Stratigraphic Sequences, 1, p. 1-11, 2, p. 15-49, 5, p. 343-350.

NYCHOLS, G., 2009., Sedimentology and Stratigraphy. Second Edition, 2, p. 5-27, 4, p. 44-68. 5, p. 69-86, 11, p. 163-178, 12, p. 179-198, 14, p. 215-224.

ORTIZ, A., Niño, H., 1998, Modelo Sedimentológico y Estratigráfico del Terciario Pre – Mioceno de la Subcuenca de Plato, Valle Inferior del Magdalena. División de Exploración y Explotación Instituto Colombiano del Petróleo.

PEMBERTON, S.G., 1992, Applications of Ichnology to Petroleum Exploration. A Core Workshop. Society for Sedimentary Geology.

PEMBERTON, S.G., Frey, R.W., Ranger, M.J and MacEachern, J., 1990, The Conceptual Framework of Ichnology. In: Pemberton, S.G. Applications of Ichnology to Petroleum Exploration. A Core Workshop, p. 1-32.

PEMBERTON, S.G., Van Wagoner, J.C., Wach, G.D., 1992, Ichnofacies of a Wave Dominated Shoreline. In: Pemberton, S.G. Applications of Ichnology to Petroleum Exploration. A Core Workshop, p. 339-382-

PEMBERTON, S.G., Wightman, D.M., 1992, Ichnological Characteristics of Brackish Water Deposits. In: Pemberton, S.G. Applications of Ichnology to Petroleum Exploration. A Core Workshop, p. 141-168.

RAYCHAUDHURI, I., Brekke, H.G., Pemberton, S.G., MacEachern, J.A., 1992, Depositional Facies and Trace Fossils of a Low Wave Energy Shorefacies Succession, Albian Viking Formation, Chigwell Field, Alberta, Canada. In: Pemberton, S.G. Applications of Ichnology to Petroleum Exploration. A Core Workshop, p. 319-338.

SEILACHER, A., 2007, Trace Fossil Analysis.

SELLEY, R.C., 2000, Applied Sedimentology. Second Edition. P.

WALKER, R.G., 1992, Facies Models. Response to Sea Level Changes. Geological Association of Canada, p. 105-140, 189-208.

ANEXOS

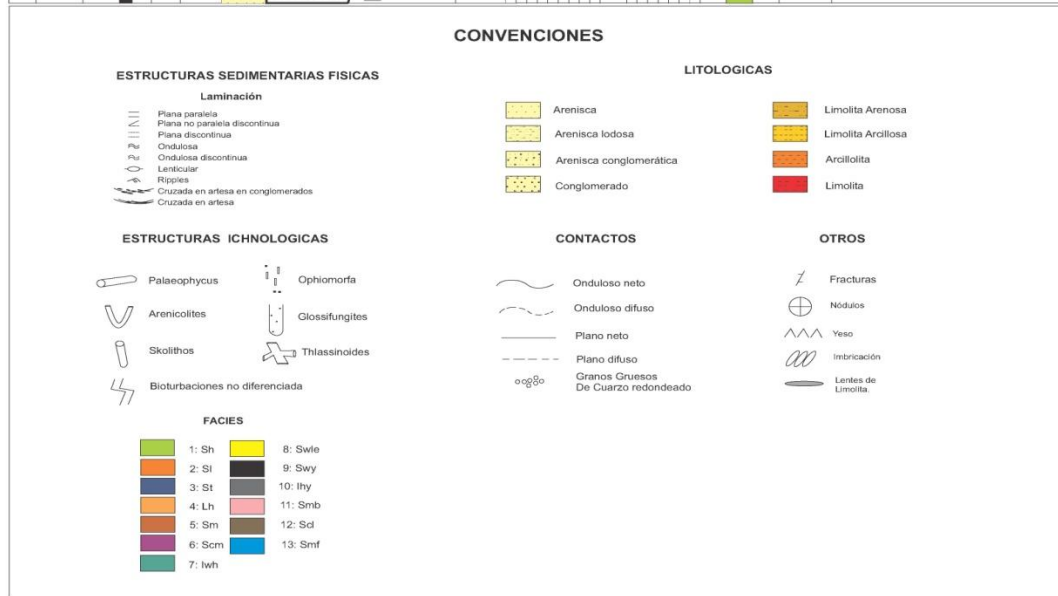
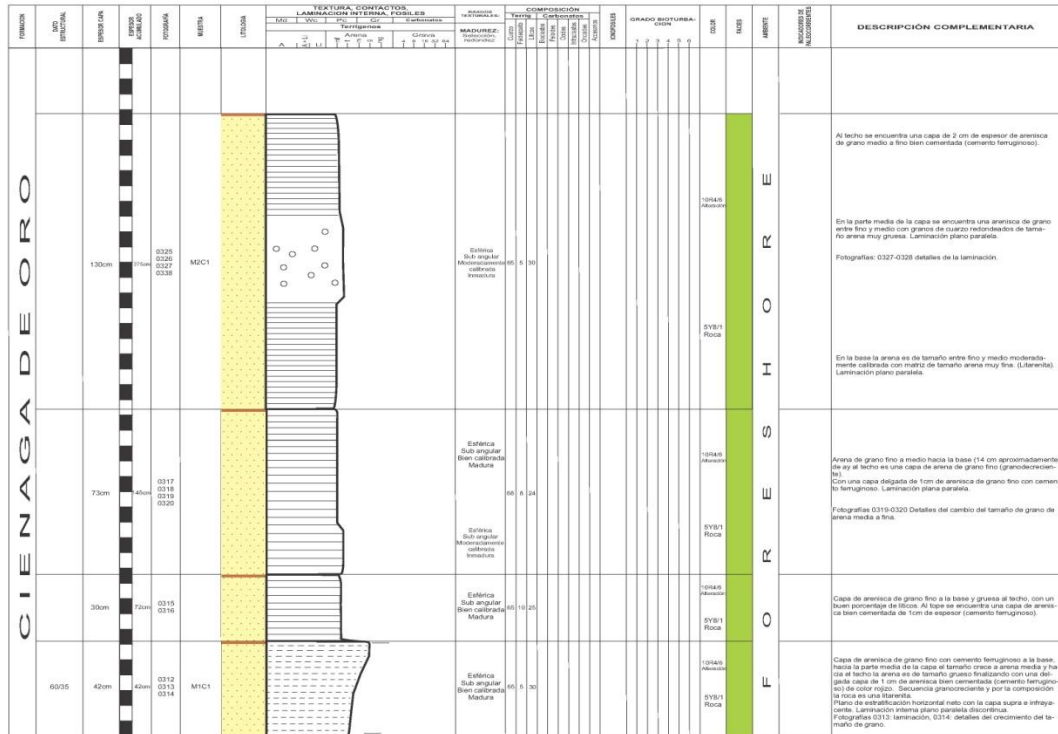
ANEXO A. Descripción Sedimentológica y Estratigráfica

Localización: Km 4 vía San Andrés de Sotavento - Tuchín
Plancha: 52
Formación: Ciénaga de Oro
Cuenca: Cinturón Plegado de San Jacinto
Fecha: Julio 20 de 2010

Escala: 1:10
Coordenadas:
X= 839487
Y= 839487
Z= 80m

Levantó: Gabriel Mendoza - Gina Rincón.

Anexo 1



CONVENCIONES

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FISICAS

Laminación

- Plana paralela
- Plana no paralela discontinua
- Ondulosa
- Ondulosa discontinua
- Lenicular
- Ripples
- Cruzada en artesa en conglomerados
- Cruzada en artesa

LITOLÓGICAS

- Arenisca
- Arenisca lodosa
- Arenisca conglomerática
- Conglomerado
- Limolita Arenosa
- Limolita Arcillosa
- Arcilolita
- Limolita

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS ICNOLOGICAS

- Palaeophycus
- Arenicolites
- Skolithos
- Skoyenia
- Thalassinoides
- Ophiomorfa
- Glossifungites
- Planolites
- Bioturbaciones no diferenciada

CONTACTOS

- Onduloso neto
- Onduloso difuso
- Plano neto
- Plano difuso
- Granos Gruesos De Cuarzo redondeado

OTROS

- Fracturas
- Nódulos
- Yeso
- Imbricación
- Lentes de Limolita

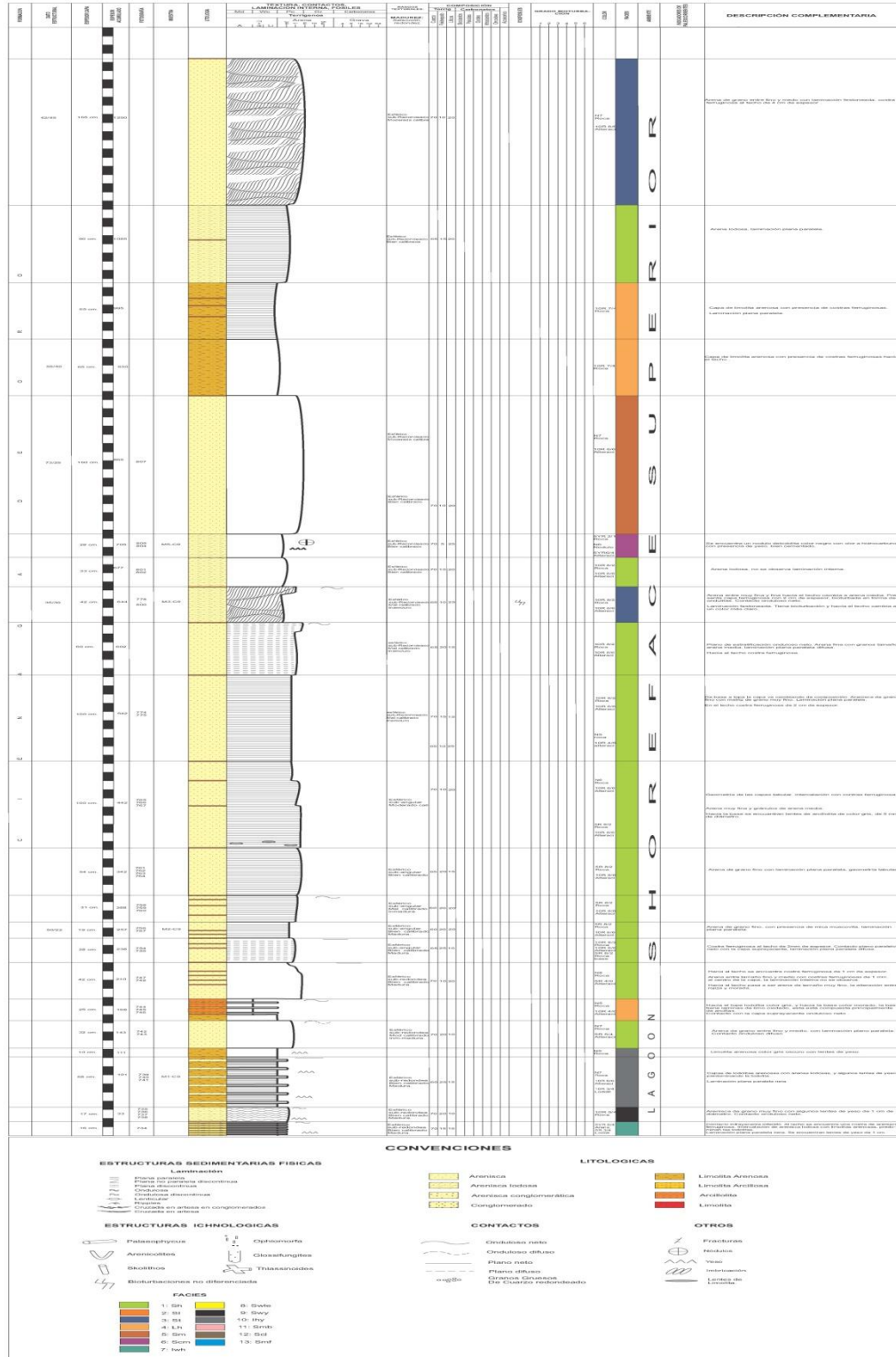
FACIES

1	8
2	9
3	10
4	11
5	12
6	13
7	14

Localización: Km 4. Vía San Andrés- Tuchín, Córdoba.
 Identificación: 856
 Formación: Ciénaga de Oro
 Cuencas: Cinturón delgado de San Jacinto
 Fecha: 27 de Junio de 2011

Escala: 1:10
 Coordenadas:
 X=490774
 Y=400140
 Z=105 m.
 E= 5 m.

Levante: Gabriel Mendoza - Gina Rincon.
 Anexo 9



Descripción Sedimentológica y Estratigráfica.

Localización: Km 4. Vía San Andrés - Tuchín. Córdoba.
Plancha: 52
Formación: Ciénaga de Oro.
Cuenca: Cinturón plegado de San Jacinto
Fecha: 29 de Junio de 2011

Escala: 1:10
Coordenadas:
X= 1505861
Y= 839489
Z= 53 m.
E= ±3 m.

Levantó: Gabriel Mendoza - Gina Rincón.
Anexo 10

FORMACION	DATO ESTRUCTURAL	ESPEZOR CAPA	ESPEZOR ACUMULADO	FOTOGRAFIA	MUESTRA	LITOLOGIA	TEXTURA, CONTACTOS, LAMINACION INTERNA, FÓSILES					RASGOS TEXTURALES	COMPOSICIÓN		GRADO BIOTURBACION	COLOR	FACIES	AMBIENTE	INDICADORES DE PALEOCORRIENTES	DESCRIPCIÓN COMPLEMENTARIA	
							Laminación Interna, Fósiles						MADUREZ: Selección reducida	Terrig							Carbonatos
							Mi	Wc	Pc	Gr	Carbonatos										
CIÉNAGA DE ORO	4232	8 cm	82	818-824	M5-C10	[Diagrama de laminación]	~	Esférica Redondeada Mal calada Inmatura	00	25	15									Arena conglomerática de granos redondeados Mayor de arena fina. Plano estratificación onduloso al tacto.	
		10 cm	74	819-821	M4-C10	[Diagrama de laminación]	~													Plano onduloso neto. Lodolita arenosa, impregnada, color negro con laminación ondulosa difusa. Presencia de bitumen.	
		20 cm	64	815-817	M3-C10	[Diagrama de laminación]	~	Esférica Redondeada Mal calada Inmatura	00	25	15									Arena conglomerática de granos redondeados Presenta Bioturbación. Se observan trazas horizontales no diferenciadas, de 1,5 cm de diámetro, no se observan estructuras internas	
		4 cm	44	813-814	M2-C10	[Diagrama de laminación]	~													Limolita de color negro, impregnada, con Karite color a 110 cm (con presencia de arena, arena, y arena 10%).	
		40 cm	810-812	M1-C10	[Diagrama de laminación]	~			Esférica Subredondeada Mal calada Inmatura	88	2	10								Arenisca de grano medio a gruesa con matriz limo arena muy fina con un 10% de arena gruesa, poco cementada y no se observa laminación interna. Hacia el techo la capa cambia de color beige a un morado medio.	

CONVENCIONES

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FISICAS

- Laminación**
- Plana paralela
 - Plana no paralela discontinua
 - Plana discontinua
 - Ondulosa
 - Ondulosa discontinua
 - Lenticular
 - Ripples
 - Cruzada en artesa en conglomerados
 - Cruzada en artesa

- LITOLÓGICAS**
- Arenisca
 - Arenisca lodosa
 - Arenisca conglomerática
 - Conglomerado
 - Limolita Arenosa
 - Limolita Arcillosa
 - Arcillolita
 - Limolita

ESTRUCTURAS ICHNOLOGICAS

- Palaeophycus
- Arenicolites
- Skolithos
- Bioturbaciones no diferenciada
- Ophiomorfa
- Glossifungites
- Thalassinoides

CONTACTOS

- Onduloso neto
- Onduloso difuso
- Plano neto
- Plano difuso
- Granos Gruesos De Cuarzo redondeado

OTROS

- Fracturas
- Nódulos
- Yeso
- Imbricación
- Lentes de Limolita

FACIES

- | | |
|--------|---------|
| 1: Sh | 8: Swle |
| 2: Sl | 9: Swy |
| 3: St | 10: lhy |
| 4: Lh | 11: Smb |
| 5: Sm | 12: Scl |
| 6: Scm | 13: Smf |
| 7: lwh | |

Descripción Sedimentológica y Estratigráfica.

Localización: Km 4 vía San Andrés - Tuchín Córdoba.
Plancha: 52
Formación: Ciénaga de Oro
Cuenca: Cinturón plegado de San Jacinto
Fecha: 29 de Junio de 2011

Escala: 1:10
Coordenadas:
X= 1505859
Y= 839484
Z= 68 m.
E=±5 m.

Levantó: Gabriel Mendoza - Gina Rincón.
Anexo 12

FORMACIÓN	DADO ESTRUCTURAL	ESPESES PLANA	ESPESES ACUMULADO	FOTOGRAFIA	MUESTRA	LITOLOGIA	TEXTURA, CONTACTOS, LAMINACION INTERNA, FOSILES		RACIONES TEXTURALES	COMPOSICIÓN		POROSIDAD	GRADO BIOTURBACION	COLOR	FACIES	AMBIENTE	INDICACIONES DE PALEOCORRIENTES	DESCRIPCIÓN COMPLEMENTARIA					
							Md	Vc		Terrigenos	Carbonatas								Terrig	Carbonatos			
							A	Lu		Grava													
C I E N E G A D E O R O	30/29	47 cm	180	806 809 810 811 812 815 817 820 885 886 887	M3-C12													Arena de grano medio, moderadamente calcificado. Cemento de cuarzo. No se observa laminación interna, el hecho presenta una costra ferruginosa de 2 cm de espesor. El hecho de este fuertemente disturbado con trazas tanto verticales (opcionales) y horizontales (thalassinoides)					
																					Arenisca de grano medio de color beige a rosado claro, mal calcificada granosporada, no se observa laminación interna y el plano de estratificación es onduloso neto.		
																							Limolita arenosa de color gris-morado claro con un porcentaje del 30% de arena media y gruesa. Contacto plano paralelo neto.
																							Arenisca de grano medio de color claro. No se observa laminación interna, y su plano de estratificación es plano paralelo neto.

CONVENCIONES

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FISICAS

- Laminación**
- Plana paralela
 - Plana no paralela discontinua
 - Plana discontinua
 - Ondulosa
 - Ondulosa discontinua
 - Lenticular
 - Ripples
 - Cruzada en artesa en conglomerados
 - Cruzada en artesa

ESTRUCTURAS ICHNOLOGICAS

- Palaeophycus
- Arenicolites
- Skolithos
- Bioturbaciones no diferenciada
- Ophiomorfa
- Glossifungites
- Thalassinoides

FACIES

- 1: Sh
- 2: Sl
- 3: St
- 4: Lh
- 5: Sm
- 6: Scm
- 7: lwh
- 8: Swle
- 9: Swy
- 10: lhy
- 11: Smb
- 12: Scl
- 13: Smf

LITOLOGICAS

- Arenisca
- Arenisca lodosa
- Arenisca conglomerática
- Conglomerado
- Limolita Arenosa
- Limolita Arcillosa
- Arcillolita
- Limolita

CONTACTOS

- Onduloso neto
- Onduloso difuso
- Plano neto
- Plano difuso
- Granos Gruesos De Cuarzo redondeado

OTROS

- Fracturas
- Nódulos
- Yeso
- Imbricación
- Lenes de Limolita

Descripción Sedimentológica y Estratigráfica.

Localización: Km 4. Vía San Andrés- Tuchin, Córdoba.
Plancha: 52
Formación: Ciénaga de Oro
Cuenca: Cinturón plegado de San Jacinto
Fecha: Junio 30 de 2011

Escala: 1:10
Coordenadas:
X= 1505833
Y= 839473
Z= 89 m.
E= ± 3 m.

Levantó: Gabriel Mendoza - Gina Rincón.
Anexo 14

NOMBRE	DADO ESPECIAL	ESPEZOR LAB.	ESPEZOR APLICADO	PROFUNDIDAD	MUESTRA	LITOLÓGICA	TEXTURA, CONTACTOS, LAMINACIÓN INTERNA, FOSILES										ANÁLISIS TECNOLÓGICOS										GRADO BIOTURBACION	COLOR	FACIES	MÉTODE	INDICADORES PALEONTOOLÓGICOS	DESCRIPCIÓN COMPLEMENTARIA
							Términos					Criterios					MADUREZ					Composición										
CORRIENTE SUPERIOR		17 cm	416	1034	M3-C14		Términos: ... Criterios: ... MADUREZ: ... Composición: ...										...										2	N2			Arenisca de grano medio a grueso, redondeado, levemente impregnada (fosiles en su mayoría horizontales).
		10 cm	399	1031			...										...											N1			Límite de tal o chala de color negro, fuerte olor a hidrocarburo.
		9 cm	389	1030			...										...											N2			Arenisca lodosa de color negro impregnada de hidrocarburo?
		25 cm	384				...										...										X	SR 4/5			Trazos horizontales al fondo, bioturbación grado 2. Arena bien seleccionada de color rojo. No se observa laminación interna.
		25 cm	359	1048			...										...											SR 4/5			Arenisca de grano fino bien seleccionada de color rojo. No se observa laminación interna.
		23 cm	334	1048	M2-C14		...										...											N2			Arenisca lodosa color negro impregnada?, con un fuerte olor a hidrocarburo de color negro.
		17 cm	311				...										...										X	SVR 6/7			Arenisca lodosa de tamaño de grano arena media, matriz limosa, no se observa laminación interna. Se encuentran en su mayoría trazos verticales (Skolithos), con algunas trazos horizontales (Thalassinoides)?
		14 cm	284	948			...										...										X	SR 6/5			Arenisca de grano fino grano susceptible, moderadamente calcareo con grano de tamaño arena gruesa 5%. Bioturbación en menor medida comparada con las capas inferiores. No se observa laminación interna.
		7 cm	247				...										...										X	SVR 6/4			Límite arenoso, presenta bioturbación, en su mayoría trazos verticales y en menor medida horizontales, laminación ondulada.
	CORRIENTE INFERIOR		90 cm	240	947	948												SR 6/5			Arenisca de grano medio, no se observa ni laminación ni bioturbación de color rosado grisáceo, granos de tamaño grueso de selección gruesa. La composición es en su mayoría cuarzo. Matriz de arena muy fina 5%.
		180 cm	916	948	M1-C14		...										...										X	SR 6/5			Arenisca conglomerática de medio tamaño arena y arena de grano medio a tamaño grueso de color gris. Sigue el tipo y como colores de selección gruesa hacia el tipo y hacia la base muestra plano.

CONVENCIONES

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FISICAS

Laminación

- Plana paralela
- Plana no paralela discontinua
- Plana discontinua
- Ondulosa
- Ondulosa discontinua
- Lenticular
- Ripple
- Cruzada en arena en conglomerados
- Cruzada en arena

ESTRUCTURAS ICHNOLÓGICAS

- Palaeophycus
- Arenicolites
- Skolithos
- Bioturbaciones no diferenciada
- Ophiomorfa
- Glossifungites
- Thalassinoides

FACIES

- 1: Sh
- 2: Sl
- 3: St
- 4: Lh
- 5: Sm
- 6: Scm
- 7: lwh
- 8: Swle
- 9: Swy
- 10: lhy
- 11: Smb
- 12: Scl
- 13: Smf

LITOLÓGICAS

- Arenisca
- Arenisca lodosa
- Arenisca conglomerática
- Conglomerado
- Límite Arenoso
- Límite Arcillosa
- Arcillolita
- Límite

CONTACTOS

- Onduloso neto
- Onduloso difuso
- Plano neto
- Plano difuso
- Granos Cruzados
- De Cuarzo redondeado

OTROS

- Fracturas
- Nódulos
- Yeso
- Imbricación
- Lentes de Limolita

Descripción Sedimentológica y Estratigráfica.

Localización: Km 4 vía San Andrés de Sotavento -
Plancha: 52
Formación: Ciénaga de Oro
Cuenca: Cinturón Plegado de San Jacinto
Fecha: Julio 5 de 2011

Escala: 1:10
Coordenadas:
X=1505824
Y=839466
Z= 63m

Levantó: Gabriel Mendoza - Gina Rincón.

Anexo 15

FORMACIÓN	LITOLOGÍA	ESPECIFICACIONES	ESPECIFICACIONES	ESPECIFICACIONES	ESPECIFICACIONES	ESPECIFICACIONES	TEXTURA, CONTACTOS, LAMINACIÓN INTERNA, FOBILES		REACCIONES	COMPOSICIÓN										GRADO BIOTURBACION	COLOR	FACIES	AMBIENTE	INDICADORES DE PALEOCIENTES	DESCRIPCIÓN COMPLEMENTARIA				
							Términos			MADUREZ		Terrestres		Marinos		Carbonatos		Oxidos								Sulfuros		Otros	
							MO	LI		CI	GR	SA	MA	CA	CO	SI	FE	AL	TI							OT	OT	OT	OT
C I É N A G A D E O R O	Arenosa Conglomerática	168m	10172	10172	10172	10172	Arenosa Conglomerática	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Arenisca conglomerática de color gris claro, bioturbada skolithos y trazas horizontales paleoophycus de 3m de largo. Índice de bioturbación 1. No se observan estructuras internas.	
		99m	10171	10171	10171	10171	Arenosa Conglomerática	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Arenisca conglomerática de granulos estereos subredondeados de color rojopurpura claro. No se observa laminación interna y se ven unas pocas trazas horizontales (paleoophycus).		
		43m	10170	10170	10170	10170	Arenosa Conglomerática	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Arenisca de grano entre fino y medio bien cementada. No se observa laminación interna y tampoco bioturbación.		
		17m					Arenosa Arcillosa	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Arenisca de color gris muy claro (blanco) de grano medio, con presencia de trazas verticales. No se observa laminación interna.		
		8m					Limolita																					Limolita feil de color morado	
		53/35	27m					Arenosa Arcillosa	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Arenisca de color gris amarillento de grano muy fino a fino, bioturbada con trazas verticales skolithos. Índice de bioturbación 1.	
	43m					Arenosa Arcillosa	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Med. cementada	Bioturbada con trazas verticales y horizontales como Thalassinoides, skolithos y paleoophycus, con un índice de bioturbación 4.		

CONVENCIONES

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FISICAS

- Laminación**
- Piana paralela
 - Piana no paralela discontinua
 - Piana discontinua
 - Ondulosa
 - Ondulosa discontinua
 - Lenticular
 - Píppies
 - Cruzada en artesa en conglomerados
 - Cruzada en artesa

ESTRUCTURAS ICHNOLOGICAS

- Palaeophycus
- Arenicolites
- Skolithos
- Bioturbaciones no diferenciada
- Ophiomorfa
- Glossifungites
- Thalassinoides

FACIES

- 1: Sh
- 2: Sl
- 3: St
- 4: Lh
- 5: Sm
- 6: Scm
- 7: Lwh
- 8: Swle
- 9: Swy
- 10: Ith
- 11: Smb
- 12: Scl
- 13: Smf

LITOLOGICAS

- Arenisca
- Arenisca lodosa
- Arenisca conglomerática
- Conglomerado
- Limolita Arenosa
- Limolita Arcillosa
- Arcillolita
- Limolita

CONTACTOS

- Onduloso neto
- Onduloso difuso
- Piano neto
- Piano difuso
- Granos Gruesos De Cuarzo redondeado

OTROS

- Fracturas
- Nódulos
- Yeso
- Imbricación
- Lentes de Limolita.

Descripción Sedimentológica y Estratigráfica.

Localización: Km 4, Vía San Andrés-Tuchín, Córdoba.
 Plancha: 52
 Formación: Ciénaga de Oro
 Cuenca: Cinturón plegado de San Jacinto
 Fecha: 1 de Julio de 2011

Escala: 1:10
 Coordenadas:
 X= 1505778
 Y= 839448
 Z= 61 m.
 E= ± 3 m.

Levantó: Gabriel Mendoza - Gina Rincón.

Anexo 17

FORMACIÓN	NIVEL ESTRATIGRÁFICO	ESPEZOR CAPA	ESPEZOR ACUMULADO	FOTOMETRÍA	MUESTRA	LITOLÓGICA	TEXTURA, CONTACTOS, LAMINACIÓN INTERNA, FOSES		RANOS TEXTURALES		COMPOSICIÓN		GRADO BIOTURBACIÓN	COLOR	FACIES	AMBIENTE	INDICADORES DE INFLUENCIAS	DESCRIPCIÓN COMPLEMENTARIA		
							Terrígenos		MADUREZ Selección, redondez		Tierra								Carbonatos	
							Md	Vw	Pc	Cf	Carbonatos	Clasificación							Clasificación	Clasificación
C I É N A G A D E O R O		35 cm	175	989	M1-C17													Limolita fin de color marrón, y hacia el centro se torna negro, rico en materia orgánica, y fuerte olor a hidrocarburo.		
		15 cm	140															La siguiente es una capa de 5 cm de limolita arenosa de color marrón con laminación plana paralela. Contacto onduloso neto. Hacia el techo arenosa media roja con coque ferruginosa.		
		25 cm	125	990														Arenosa de grano fino mal calibrada. Arena media: 15%, Arena gruesa: 10%, con lentes de lodolita hacia la base de 1 a 2 cm de diámetro.		
		50 cm	100	991 992															Lodolita arenosa de color marrón. Arena media bien calibrada. No se observa laminación interna. Fuertemente bioturbada, con trazas verticales y horizontales. Algunos nódulos ferruginos.	
		50 cm		987 988 993 994															Arenosa gruesa con porcentaje de arena muy gruesa 20%, y granulos 15%. Vista de 2%. Presenta lentes de arcillosa de 4 a 8 cm de diámetro dispuestas al azar. la lodolita es de color gris claro. Presenta bioturbación, trazas verticales y horizontales (Skolithos, Thalassinoides). No se observa laminación interna.	

CONVENCIONES

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FISICAS

- Laminación**
- Piana paralela
 - Piana no paralela discontinua
 - Piana discontinua
 - Ondulosa
 - Ondulosa discontinua
 - Lenticular
 - Ripples
 - Cruzada en artesa en conglomerados
 - Cruzada en artesa

ESTRUCTURAS ICHNOLOGICAS

- Palaeophycus
- Arenicolites
- Skolithos
- Bioturbaciones no diferenciada
- Ophiomorfa
- Glossifungites
- Thalassinoides

FACIES

- 1: Sh
- 2: Sl
- 3: St
- 4: Lh
- 5: Sm
- 6: Scm
- 7: lwh
- 8: Swle
- 9: Swy
- 10: lhy
- 11: Smb
- 12: Scf
- 13: Smf

LITOLÓGICAS

- Arenisca
- Arenisca lodosa
- Arenisca conglomerática
- Conglomerado
- Limolita Arenosa
- Limolita Arcillosa
- Arcillolita
- Limolita

CONTACTOS

- Onduloso neto
- Onduloso difuso
- Piano neto
- Piano difuso
- Granos Gruesos De Cuarzo redondeado

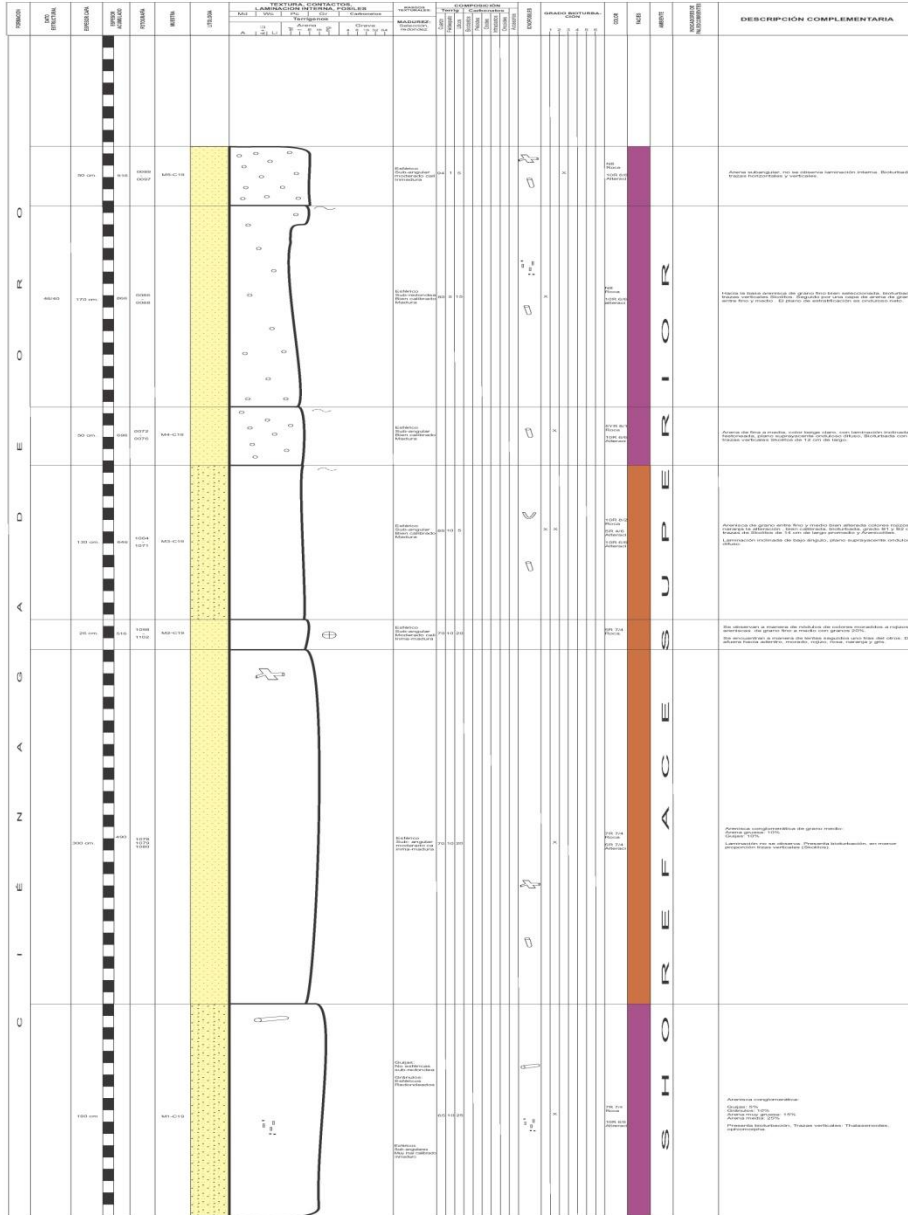
OTROS

- Fracturas
- Nódulos
- Yeso
- Imbricación
- Lentes de Limolita

Localización: Km 4, Via San Andrés-Tuchin, Córdoba
 Pícnoclasa: Cuenca de Oro
 Formación: Cuenca de Oro
 Cuenca: Cinturón plegado de San Jacinto
 Fecha: 3 de Julio de 2011

Escala: 1:10
 Coordenadas:
 X = 1100447
 Y = 830486
 Z = 58 m.
 E = ± 4 m.

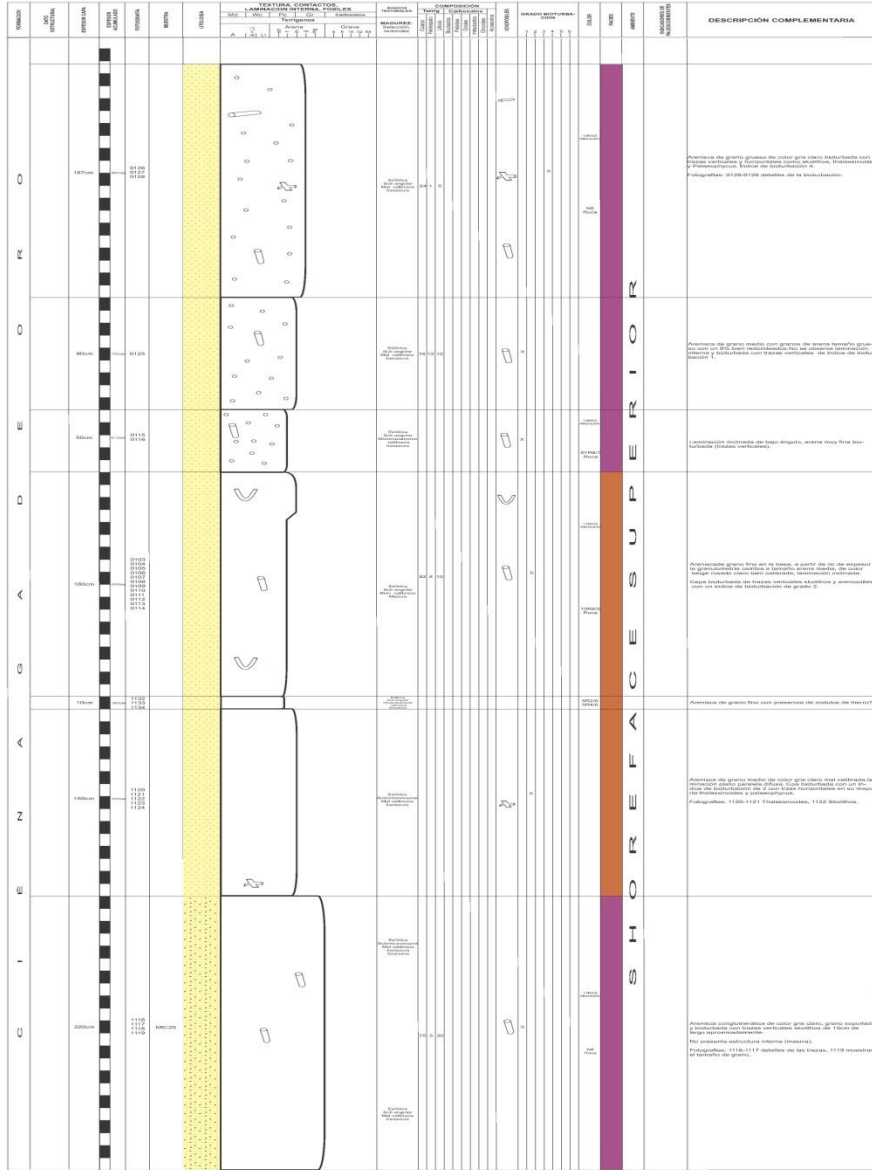
Levante: Gabriel Mendoza - Gina Rincón.
 Anexo 19



Localización KM 4 vía San Andrés de Sotavento - Tuchín
 Pícnal: 32
 Formación: Ciénaga de Oro
 Cuerno: Cantarín Plegado de San Jacinto
 Fecha: Julio 3 de 2011

Escala: 1:10
 Coordenadas:
 X= 1505339
 Y= 839495
 Z= 60m

Levante: Gabriel Mendoza - Gina Rincón
 Anexo 20



CONVENCIONES

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FISICAS

Laminación

- Plano neto
- Plano no neto
- Plano discontinuo
- Ondulado
- Discontinuo discontinuo
- Laminar
- Planar
- Planar
- Crucete en arena en conglomerado
- Crucete en arena

ESTRUCTURAS ICNOLÓGICAS

- Palaeophycos
- Arenicolites
- Skolithos
- Ophiomorfa
- Glossifungites
- Thalassinoides
- Bioburbucciones no diferenciada

FACIES

1. Sh	8. Swls
2. Sl	9. Sny
3. St	10. Sny
4. Ln	11. Smh
5. Sm	12. Ssl
6. Sm	13. Smlf
7. lwh	

LITOLÓGICAS

- Arenisca
- Arenisca lodosa
- Arenisca conglomerática
- Conglomerado
- Limonita Arenosa
- Limonita Arcillosa
- Arcillita
- Limonita

CONTACTOS

- Onduloso neto
- Onduloso difuso
- Plano neto
- Plano difuso
- Granos difusos
- De Cuarzo redondeado

OTROS

- Fracturas
- Neomas
- Vías
- Intercambio
- Lentes de Limonita