

**ICHNOFACIES Y FRACTURAS: IMPACTO EN LA CALIDAD DE RESERVORIO.  
FORMACION GUADALUPE INFERIOR (VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA)**

**LUZ ELENA RUEDA ACEVEDO  
KAREN ANDREA VARGAS RAMÍREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA  
2005**

**ICHNOFACIES Y FRACTURAS: IMPACTO EN LA CALIDAD DE RESERVORIO.  
FORMACION GUADALUPE INFERIOR (VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA)**

**LUZ ELENA RUEDA ACEVEDO  
KAREN ANDREA VARGAS RAMÍREZ**

Proyecto de grado presentado como requisito  
Para optar al título de Geólogo

**Director  
RICARDO MIER UMAÑA  
Geólogo  
Codirector  
ALBERTO ORTIZ FERNÁNDEZ  
Geólogo Msc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2005**

***A Nuestro mejor Amigo y Geólogo OSCAR DAVID,  
quien con su Alegría y Fortaleza, nos acompañará por siempre.***

***Karen Andrea y Luz Helena.***

*A **Dios** por regalarme la vida y brindarme la oportunidad de alcanzar esta primera meta en compañía de las personas que Amo.*

*A mis padres **David y Luz M**, por su gran esfuerzo y valioso ejemplo.*

*A **Carlos Andrés**, por su motivación e incondicional apoyo.*

*A mis **hermanos y Amigos** que con su alegría me acompañaron a lo largo de la carrera.*

*A la memoria de **Oscar David** quien será una luz a lo largo de mi vida.*

***Luz Helena***



*A **Dios** por mi vida, por colmarme de bendiciones y por permitirme culminar una etapa mas de este camino.*

*A mi **Papá** por su Interés y Responsabilidad.*

*A mi **Mamá** por su Alegría y Cariño.*

*Gracias a mis Padres por todos los valores inculcados que han hecho de mi una gran persona.*

*A Mi **Hermana Lili**, por su confianza, dedicación e incondicionalidad.*

*A mi **Hermano Cris**, por su apoyo.*

*Gracias a ellos porque son un gran ejemplo en mi vida.*

*A **Luz H.** por su valiosa Amistad y consejos que hicieron de mi etapa universitaria una experiencia mas agradable.*

*A **Oscar David**, porque fue la persona mas maravillosa y especial, la cual me permitió aprender y compartir cosas inolvidables durante estos últimos años, el cual siempre estará en mí.*

*A mi **Tía y Abuelita** por su gran Amor y Cariño.*

*Al **Profesor Ricardo Mier** a quien quiero expresar mi gratitud, por estos años de Orientación , Enseñanza y Amistad que me hicieron crecer como persona.*

*Y a todos mis **compañeros y amigos** los cuales me acompañaron y alegraron en todo momento.*

**Karen Andrea**

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a:

- ECOPETROL S.A. ICP por darnos la oportunidad de poner nuestros conocimientos a sus servicios en la realización del presente proyecto.
- Al Grupo de Modelamiento de Hidrocarburos y a su Director Ing. Nicolás Santos, por permitirnos formar parte de su equipo de trabajo.
- A la Universidad Industrial de Santander, la cual a través de su Escuela de Geología y su cuerpo de docentes contribuyó con nuestra formación.
- A los Geólogos **Alberto Ortiz Fernández** y **Ricardo Mier Umaña**, directores de este proyecto por su orientación, confianza y apoyo.
- A los Geólogos Edgar Pineda y Ahameleth Yesid Hernández por sus comentarios y apreciaciones.
- Al Diseñador Gráfico Argemiro Reyes, por su creatividad y asesoría en la elaboración del Atlas de Ichnofacies Formación Guadalupe Inferior.
- A nuestros Familiares, Amigos y compañeros, Julieta Pineda y Sergio Nuncira.

## TABLA DE CONTENIDO

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| RESUMEN                     | pág |
| INTRODUCCIÓN                | 1   |
| 1. GENERALIDADES            | 2   |
| 1.1. OBJETIVOS              | 2   |
| 1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA   | 3   |
| 1.3. METODOLOGÍA            | 4   |
| 1.4. ANTECEDENTES           | 5   |
| 2. MARCO GEOLÓGICO          | 13  |
| 2.1 GEOLOGÍA DE LA CUENCA   | 13  |
| 2.2 EVOLUCIÓN DE LA CUENCA  | 14  |
| 2.2.1. Tectónica Distensiva | 15  |
| 2.2.2. Tectónica compresiva | 15  |
| 2.3. ESTRATIGRAFIA          | 16  |

|        |                                            |    |
|--------|--------------------------------------------|----|
| 3.     | CONSIDERACIONES TEORICAS                   | 19 |
| 3.1.   | ICHTNOLOGIA                                | 19 |
| 3.1.1. | Clasificación por comportamiento           | 19 |
| 3.1.2. | Concepto de Ichnofacies                    | 20 |
| 3.1.3. | Cuantificación de la Bioturbación          | 23 |
| 3.2.   | CARACTERIZACIÓN DE FRACTURAS               | 25 |
| 3.2.1. | Clasificación de Fracturas                 | 26 |
| 3.2.2. | Parámetros de caracterización de Fracturas | 27 |
| 4.     | ANÁLISIS                                   | 35 |
| 4.1.   | DESCRIPCION ICHNOLOGICA                    | 35 |
| 4.1.1. | Ophiomorpha                                | 35 |
| 4.1.2. | Arenicolites                               | 36 |
| 4.1.3. | Diplocraterium                             | 37 |
| 4.1.4. | Palaeophycus                               | 38 |
| 4.1.5. | Skolithos                                  | 39 |

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 4.1.6. Planolites                                 | 40 |
| 4.1.7. Rhizocorallium                             | 41 |
| 4.1.8. Teichichnus                                | 42 |
| 4.1.9. Asterosoma                                 | 43 |
| 4.1.10 Zoophycos                                  | 45 |
| 4.1.11 Thalassinoides                             | 46 |
| 4.1.12 Helminthopsis                              | 46 |
| 4.2. FRACTURAS                                    | 47 |
| 4.2.1. Base de Datos                              | 48 |
| 4.2.2. Identificación de los Sistemas Fracturados | 49 |
| 4.2.3. Resultados Estadísticos                    | 51 |
| 5. RESULTADOS                                     | 55 |
| 5.1. ICHNOFACIES CRUZIANA                         | 62 |
| 5.2. ICHNOFACIES SKOLITHOS                        | 64 |
| 5.3. ICHNOFACIES GLOSSIFUNGITES                   | 66 |

|    |                                                           |    |
|----|-----------------------------------------------------------|----|
| 6. | INTERPRETACIÓN AMBIENTAL A PARTIR DE FACIES E ICHNOFACIES | 70 |
| 7. | RELACION FACIES – FRACTURAS                               | 74 |
| 8. | CALIDAD DEL RESERVORIO                                    | 78 |
|    | CONCLUSIONES                                              | 80 |
|    | RECOMENDACIONES                                           | 83 |
|    | BIBLIOGRAFIA                                              | 84 |
|    | ANEXOS                                                    | 87 |

## LISTA DE FIGURAS

|                   |                                                                               |    |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b>  | Localización del Pozo de estudio (VSM,. Colombia).                            | 3  |
| <b>Figura 2.</b>  | Localización de la Cuenca VSM.                                                | 14 |
| <b>Figura 3.</b>  | Columna estratigráfica generalizada de la Subcuenca Girardot-VSM.             | 17 |
| <b>Figura 4.</b>  | Clasificación etológica de trazas fósiles                                     | 20 |
| <b>Figura 5.</b>  | Diagrama sinóptico ilustrando un conjunto de ichnofacies marinas recurrentes. | 22 |
| <b>Figura 6.</b>  | Diagramas esquemáticos de la estimación del grado de bioturbación.            | 25 |
| <b>Figura 7.</b>  | Fracturas desarrolladas en experimentos de laboratorio                        | 26 |
| <b>Figura 8.</b>  | Clasificación de los tipos de fracturas en corazón.                           | 29 |
| <b>Figura 9.</b>  | Analogía de Fallas vs. Fracturas.                                             | 31 |
| <b>Figura 10.</b> | Sistema de referencia para orientación de núcleos                             | 34 |
| <b>Figura 11.</b> | Ichnofósil Ophiomorpha.                                                       | 36 |
| <b>Figura 12.</b> | Ichnofósil Arenicolites                                                       | 37 |
| <b>Figura 13.</b> | Ichnofósil Diplocraterium.                                                    | 38 |
| <b>Figura 14.</b> | Ichnofósil Palaeophycus.                                                      | 39 |
| <b>Figura 15.</b> | Ichnofósil Skolithos.                                                         | 40 |
| <b>Figura 16.</b> | Ichnofósil Planolites.                                                        | 41 |
| <b>Figura 17.</b> | Ichnofósil Rhizocorallium.                                                    | 42 |
| <b>Figura 18.</b> | Ichnofósil Teichichnus.                                                       | 43 |
| <b>Figura 19.</b> | Ichnofósil Asterosoma.                                                        | 44 |
| <b>Figura 20.</b> | Ichnofósil Zoophycos.                                                         | 45 |
| <b>Figura 21.</b> | Ichnofósil Thalassinoides.                                                    | 46 |
| <b>Figura 22.</b> | Ichnofósil Helminthopsis.                                                     | 47 |

|                   |                                                                                                             |    |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 23.</b> | Diagrama Rosa para Fracturas de Compresión                                                                  | 50 |
| <b>Figura 24.</b> | Diagrama Rosa para Fracturas de Tensión.                                                                    | 50 |
| <b>Figura 25.</b> | Distribución del tipo de fracturas caracterizadas en el Pozo<br>seleccionado.                               | 51 |
| <b>Figura 26.</b> | Distribución del tipo de apertura para fracturas caracterizadas<br>en el Pozo de estudio.                   | 52 |
| <b>Figura 27.</b> | Distribución del tipo de perfil para fracturas caracterizadas en<br>el Pozo seleccionado.                   | 53 |
| <b>Figura 28.</b> | Distribución del tipo de Morfología de la pared para las<br>fracturas caracterizadas en el Pozo de estudio. | 54 |
| <b>Figura 29.</b> | Cuarzoarenita bioturbada (Ab)                                                                               | 55 |
| <b>Figura 30.</b> | Cuarzoarenita bioturbada con relictos de laminación (Abre)                                                  | 56 |
| <b>Figura 31.</b> | Arenisca lodosa (Alb)                                                                                       | 56 |
| <b>Figura 32.</b> | Cuarzoarenita con restos fosfáticos (Arf).                                                                  | 57 |
| <b>Figura 33.</b> | Arenisca calcárea (Ac).                                                                                     | 57 |
| <b>Figura 34.</b> | Limolita arcillosa, con delgadas láminas de cuarzoarenita (Faldl).                                          | 58 |
| <b>Figura 35.</b> | Limolita arenosa, altamente bioturbada (Flab).                                                              | 58 |
| <b>Figura 36.</b> | Columna Pozo seleccionado. Intervalo 3243ft-3010ft.                                                         | 59 |
| <b>Figura 37.</b> | Columna Pozo seleccionado. Intervalo 3438ft-3618ft.                                                         | 60 |
| <b>Figura 38.</b> | Columna Pozo seleccionado. Intervalo 3660 ft – 3618 ft.                                                     | 61 |
| <b>Figura 39.</b> | Ichnofacies Cruziana.                                                                                       | 63 |
| <b>Figura 40.</b> | Ichnofacies Skolithos.                                                                                      | 65 |
| <b>Figura 41.</b> | Ichnofacies Glossifungites.                                                                                 | 67 |
| <b>Figura 42.</b> | Core 20 – 3770.6 ft. Ichnofacies Glossifungites marcando<br>un límite de secuencia.                         | 68 |
| <b>Figura 43.</b> | Core 2 – 3060.6 ft. Ichnofacies Glossifungites, marcando<br>un límite de secuencias.                        | 69 |



|                   |                                                                                    |    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 44.</b> | Core 15 – 3520.7 ft. Ichnofacies Glossifungites, marcando un límite de secuencias. | 69 |
| <b>Figura 45.</b> | Porcentaje de espesor acumulado de las Facies Pozo de estudio.                     | 76 |
| <b>Figura 46.</b> | Intensidad de Fracturamiento Vs Facies, Pozo de estudio.                           | 76 |
| <b>Figura 47.</b> | Registro fotográfico de Luz Ultravioleta de las facies Ab y Abre.                  | 79 |

## LISTA DE TABLAS

|                 |                                                                                                |    |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> | Relaciones entre ichnofacies y substrato.                                                      | 23 |
| <b>Tabla 2.</b> | Clasificación de bioturbación, basada en la destrucción de estructuras sedimentarias primarias | 24 |
| <b>Tabla 3.</b> | Parámetros de clasificación de Fracturas.                                                      | 28 |
| <b>Tabla 4.</b> | IF de Fracturas Naturales, Pozo 1.                                                             | 75 |
| <b>Tabla 5.</b> | Facies Campo de estudio, Pozo 1                                                                | 75 |

## **ANEXOS**

**Anexo A.** Columna Estratigráfica escala 1:100 de 546 ft de corazón del Pozo 1, (Valle Superior del Magdalena).

**Anexo B.** Atlas de Ichnofacies de la Formación Guadalupe Inferior (Valle Superior del Magdalena).

## ABSTRACT

**TITLE: ICHNOFACIES AND FRACTURES: IMPACT IN THE RESERVOIR QUALITY. LOWER GUADALUPE FORMATION (UPPER MAGDALENA VALLEY OF COLOMBIA)\***

**Author: Rueda Acevedo Luz Elena; Vargas Ramírez Karen Andrea. \*\***

Key Words: Ichnology, Ichnofacies, Trace Fossil, Fractures, Reservoir, *Cruziana*, *Skolithos*, *Glossifungites*.

The Lower Guadalupe Formation in the Upper Magdalena Valley (VSM) (Well 1); consists of quartzarenites have a relatively uniform grain size, generally being very fine to fine grained, of moderately to intensely bioturbated, to intercalate with silty clay, quartzarenites with grains allochemicals and limestones micritics and bioclastics.

In the detail description sedimentologic, to identify thirteen trace fossils for establish the environment of sedimentation for a core section of Lower Guadalupe Formation (well 1). Environment revealed by the community of ichnofacies *Cruziana* and *Skolithos*, which are characteristics of environments marine shoreface. The ichnofacies *Cruziana* is characterized environment by conditions of moderate energy to relatively low, definite by the identification of trace fossil as *Zoophycos*, *Asterosomas*, *Teichichnus*, *Rhizocorallium* and *Ophiomorpha*, which are bioturbating quartzarenites of fine to very fine grain and silty clay bioturbating by *Planolites*, *Helminthopsis* and *Thalassinoides*. An environment of moderate energy to relatively low (Ichnofacies *Skolithos*), is definite by the association of trace fossils as *Skolithos*, *Ophiomorpha*, *Arenicolites*, *Diplocraterium* and *Palaeophycus*, which be in quartzarenites of fine to very fine grain.

The trace fossils and the association of trace fossils also can be used for recognition of discontinuities. The Lower Guadalupe Formation (Well 1), to recognize three sequences boundaries, identify by the ichnofacies *Glossifungites*, which is indicative of hiatus or surface with stratigraphic significance in the rock record. In this study, besides of analysis ichnologic, to realize the characterization of fractures, where to describe 818 fractures in total, of this, 205 are naturals

fractures. This are the more important to analyze, due to take part in the flow and to store of petroleum.

---

\* Project of Grade. Modality Investigation

\*\* Faculty of Physical – Chemistry Engineering. School of Geology. Directors Ricardo Mier Umaña & Alberto Ortiz Fernández.

## RESUMEN

**TÍTULO:** ICHNOFACIES Y FRACTURAS: IMPACTO EN LA CALIDAD DE RESERVORIO. FORMACION GUADALUPE INFERIOR (VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA)\*

**Autores:** Rueda Acevedo Luz Elena; Vargas Ramírez Karen Andrea\*\*

Palabras Claves: Ichnología, Ichnofacies, Ichnofósiles, Fracturas, Reservoirio, *Cruziana*, *Skolithos*, *Glossifungites*.

La Formación Guadalupe Inferior, Valle Superior del Magdalena (Pozo 1); esta representada por cuarzoarenitas de un tamaño relativamente uniforme generalmente de grano muy fino de moderada a intensamente bioturbadas intercaladas con limolitas arcillosas, cuarzoarenitas con granos aloquímicos y calizas micríticas y bioclásticas.

En la descripción sedimentológica detallada, se identificaron trece ichnofósiles a partir de los cuales se estableció el ambiente de sedimentación para una sección corazonada de la Formación Guadalupe Inferior (Pozo 1). Ambientalmente esta se encuentra controlada por las comunidades de ichnofacies *Cruziana* y *Skolithos*, las cuales son características de ambientes marinos cerca a la costa (shoreface). La ichnofacies *Cruziana* está caracterizada ambientalmente por condiciones de energía moderada a relativamente baja, definida por la identificación de ichnofósiles como *Zoophycos*, *Asterosoma*, *Teichichnus*, *Rhizocorallium* y *Ophiomorpha*, los cuales se encuentran bioturbando cuarzoarenitas de grano fino a muy fino y limolitas arcillosas bioturbadas por *Planolites*, *Helminthopsis*, y *Thalassinoides*. Un ambiente de energía moderada a relativamente alta (Ichnofacies *Skolithos*), se definió por la asociación de ichnofósiles como *Skolithos*, *Ophiomorpha*, *Arenicolites*, *Diplocraterium* y *Palaeophycus*, los cuales se encuentran en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino.

Los fósiles trazas y la asociación de fósiles trazas también pueden ser empleados para el reconocimiento de varios tipos de discontinuidades. En la Formación Guadalupe Inferior (Pozo 1), se reconocen tres límites de secuencias, identificados por la ichnofacies *Glossifungites*, la cual es indicativa de hiatos o superficies que tienen importancia estratigráfica en el registro rocoso.

En este estudio además del análisis ichnológico, se realizó la caracterización de fracturas, donde se describieron 818 fracturas en total, de las cuales 205 son fracturas naturales. Estas son las más importantes de analizar, debido a que intervienen en el flujo y almacenamiento de hidrocarburos.

—

---

\* Trabajo de Grado. Modalidad Investigación.

\*\*Facultad de Ingenierías Físico – Químicas, Escuela de Geología. Directores Ricardo Mier Umaña y Alberto Ortiz Fernández .

## INTRODUCCION

El Pozo de estudio está localizado en la Cuenca del Valle Superior del Magdalena (Colombia).

El reservorio lo constituyen las areniscas del Grupo Guadalupe de edad Campaniano – Maastrichtiano, depositadas en un ambiente marino de plataforma marina somera (Shoreface) a un marco de plataforma marina distal (Lower Shoreface a Proximal Offshore).

Los shales del Grupo Villeta de edad Albiano Tardío a Santoniano, son las rocas generadoras de hidrocarburos y se postula que el aceite de este yacimiento proviene de los sinclinales más próximos, que son Apicalá y Cunday o de áreas verticalmente más profundas en la estructura del campo (G. Rincón, J.C. Garzón, J.J. de Moraes).

El objetivo principal de este estudio, es realizar una descripción sedimentológica detallada del Pozo seleccionado para el estudio (Valle Superior del Magdalena), identificando los ichnofósiles presentes, con el fin de hacer una reconstrucción ambiental, incluyendo el reconocimiento de cambios de facies; a su vez realizar una caracterización de fracturas para determinar la intensidad de fracturamiento y la relación fracturamiento vs facies; por último, evaluar sedimentológicamente la calidad de reservorio.



## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. OBJETIVOS**

#### **General**

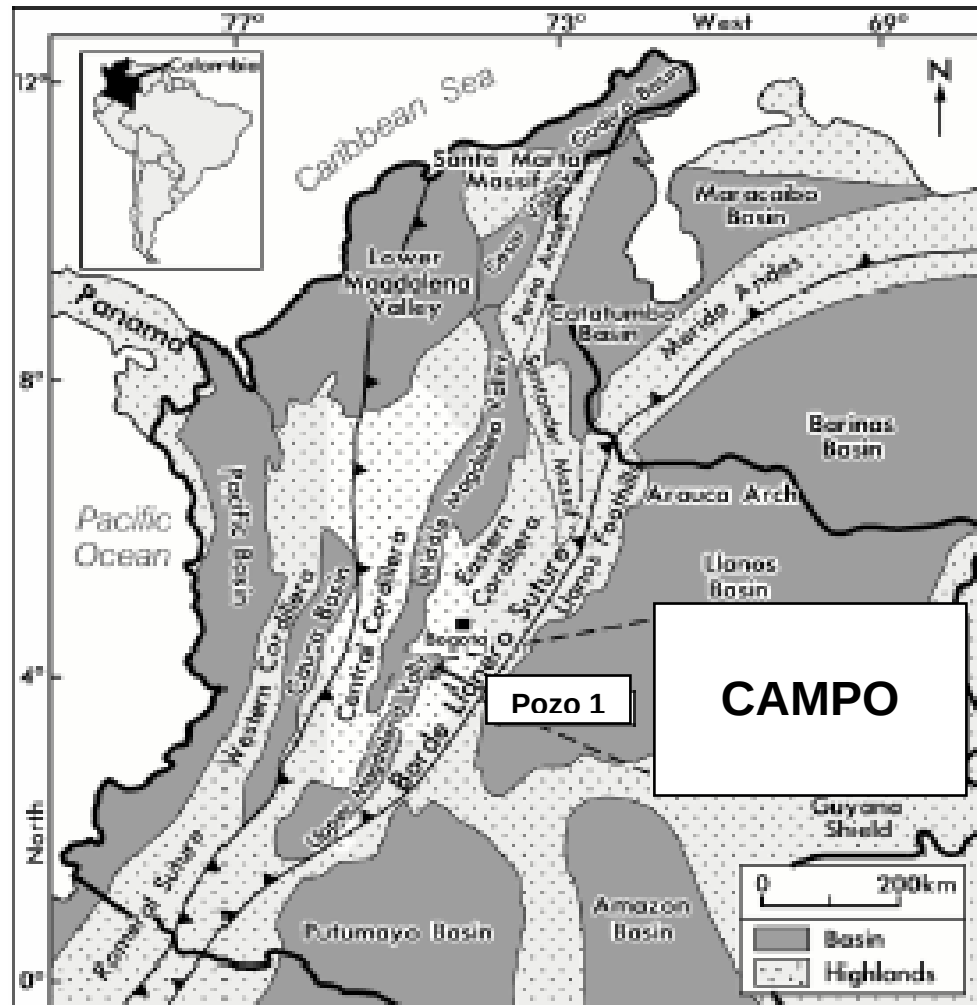
Realizar un estudio de las ichnofacies y fracturas presentes en la Formación Guadalupe Inferior (Valle Superior del Magdalena) y su relación sedimentológica con la calidad de reservorio en el Pozo seleccionado para el estudio.

#### **Específicos**

- A partir de un pozo compuesto de la Formación Guadalupe Inferior, realizar una descripción de los núcleos del Pozo 1, con su respectiva intensidad de fracturamiento.
- Identificar las diferentes ichnofacies presentes en el Pozo 1, para complementar los ambientes de sedimentación de la Formación Guadalupe Inferior, en un sector de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena.
- Elaborar un atlas de Ichnofacies para la Formación Guadalupe Inferior.
- Realizar la calibración Registro - Roca para la Formación Guadalupe Inferior.

## 1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El Pozo seleccionado para este estudio (Pozo 1), está localizado en un Campo en la Subcuenca de Girardot, la cual, junto con la Subcuenca de Neiva, conforman la Cuenca del Valle Superior del Magdalena (VSM) – Colombia (Figura 1).



**Figura 1.** Localización del Pozo 1, en el Valle Superior del Magdalena. Fuente: VIII Simposio Bolivariano. Exploración Petrolera de las Cuenas Subandinas.

### 1.3. METODOLOGÍA

Inicialmente se llevo a cabo la descripción sedimentológica, en un formato escala 1:10, de 546 ft de corazón, posteriormente, en la etapa de edición se generó un registro a escala 1:100 (Anexo A) del Pozo 1 (VSM), con su respectiva calibración registro – roca, (Formación Guadalupe Inferior, VSM).

La descripción litológica se llevó a cabo en base a la clasificación textural de Rocas Siliciclásticas según *Folk (1974)*, y Rocas Calcáreas según *Dunham (1962)*.

El análisis de ichnofósiles se realizó según la clasificación ichnológica de *Pemberton (1984)*, contando con artículos de sus últimas publicaciones y asesoría personalizada vía e-mail.

Como complemento al análisis de los núcleos se asistió al curso Sedimentology, Sequence Stratigraphy and Reservoir Facies of Clastic Rocks, (Instructor: *Dale Leckie, P. Geol. Nexen*), donde se realizó una explicación de los diferentes ambientes modernos como ejemplo de Facies Reservoirio y se interpretaron facies reservorio y depositacionales de la Formación Guadalupe Superior en el VSM.

Se llevó a cabo una caracterización de fracturas para el Pozo 1, teniendo en cuenta el formato de clasificación de fracturas (Grupo de Modelamiento de Procesos Hidrocarburos) con el fin de establecer su respectivo grado de fracturamiento.

Posteriormente, la calidad del reservorio para el Pozo 1 (VSM) se evaluó sedimentológicamente, teniendo en cuenta el análisis facial e ichnológico, ambiente de sedimentación, fracturas naturales y saturación de hidrocarburo observada en el corazón y en el registro fotográfico de Luz Ultravioleta.

Una vez identificados los respectivos ichnofósiles e ichnofacies se elaboró un Atlas de Ichnofacies para la Formación Guadalupe Inferior, el cual contiene dibujos esquemáticos y 71 fotografías de fósiles traza que ilustran su apariencia en sección transversal, con la respectiva descripción, interpretación y consideraciones ambientales (Anexo B).

#### **1.4. ANTECEDENTES**

**G. Pérez; A. Salazar, (1978).** *Estratigrafía y Facies del Grupo Guadalupe*. En su artículo revisan la estratigrafía del Grupo Guadalupe, modificando ligeramente la nomenclatura propuesta por RENZONI (1962, 1968), al considerar el Grupo Guadalupe dividido en cuatro Formaciones que cumplen con los registros fundamentales del código de Nomenclatura Estratigráfica. De base a techo son: Formación Arenisca Dura; Formación Plaeners; Formación Arenisca de Labor; Formación Arenisca Tierna.

La sedimentación de la Formación Arenisca Dura tuvo lugar en un ambiente marino somero a sublitoral, está constituida por una sucesión de areniscas en bancos muy gruesos con intercalaciones de limolitas, lodolitas, liditas y arcillolitas de colores más claros y en capas finas, que reposa concordantemente y transicionalmente sobre una sucesión monótona de lutitas fósiles, grises y areniscas arcillosas de la Formación Chipaque. Para un estudio más detallado dividieron la sucesión en nueve conjuntos litológicos informales.

La Arenisca Dura, presenta marcada abundancia de nódulos fosfáticos en su mayor parte disueltos, escamas y vértebras de peces localmente bien conservados; además de intensa bioturbación y por consiguiente ausencia de estructuras inorgánicas internas en los bancos de arenisca.

**R. Frey, G. Pemberton, (1985), *Biogenic Structures in Outcrops and Cores. I. Approaches to Ichnology*.** Las trazas fosilizadas o fósiles traza (Sin. ichnofósiles), son difíciles de identificar y clasificar filogenéticamente pero pueden ser asignados fácilmente a varias categorías ambientales, preservacionales, taxonómicas y de comportamiento. Los análisis de estos aspectos de los fósiles traza, pueden suministrar información que es invaluable en geología sedimentaria.

Las contribuciones más significativas de los fósiles traza han sido en paleoecología, sedimentología y reconstrucción ambiental, incluyendo el reconocimiento de cambios temporales de facies regionales y locales, modelos de bioturbación y documentación de parámetros paleoecológicos individuales. Los fósiles traza son indicadores potenciales de batimetría, corrientes, abastecimiento de comida, aireación, tasa de depositación, historia depositacional y estabilidad del sustrato; para algunos alcances, ellos podrían también ser útiles en establecimientos de antiguos regímenes de salinidad y temperatura.

**J.A. MacEachern; G. Pemberton; I. Raychaudhuri, (1992). *Stratigraphic Applications of the Glossifungites Ichnofacies: Delineating Discontinuities in the Rock Record*.** Muestran que la Ichnofacies *Glossifungites* es una asociación substrato-controlada de fósiles trazas, caracterizada por relleno pasivo, *Domicinia* vertical a subvertical, excavada en sustratos semi-consolidados (firmground). La asociación está dominada por el ichnogénero *Diplocraterium*, *Skolithos*, *Arenicolites*, *Thalassinoides* -*Spongeliomorpha*? en firmground.

La asociación de *Glossifungites* demarca superficies de discontinuidad que reflejan pausas en la sedimentación, generalmente acompañada por erosión. La colonización de sustratos exhumados erosionalmente y la excavación de domicilios ocurren abruptamente dentro de escenarios marino – marginales o marinos. La mayoría de estas superficies de discontinuidad corresponden a límites con significado estratigráfico. Los tres tipos principales de discontinuidades

erosionales que tienen significado estratigráfico son: Superficies de Erosión Lowstand (LSE), Superficies de Erosión Transgresiva (TSE) o Ravinement, Superficies coplanares de Erosión Lowstand y Erosión Transgresiva (E-T).

**L. Díaz Poveda, (1994).** En su artículo *Reconstrucción de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena, a finales del Cretácico*. Propone que la geometría original de la “Cuenca” del VSM a finales del Cretácico, ha sido enmascarada por la deformación tectónica del Terciario. Con base en la reconstrucción palinspática y en el análisis de distribución de facies para esta región, concluye que el ámbito de depósito tenía forma de artesa alargada en dirección SW-NE, que profundiza en sentido NE y es asimétrica en dirección EW.

**R. Rivera Ferrer, (1995).** *Facies, Ichnofacies y Subambientes de Depósito de la Formación Arenisca Tierna, en el Área de Usaqué-La Calera, Nororiente de Bogotá*. Las Rocas de la Formación Arenisca Tierna (Cretácico Superior) en el Área de Usaqué – La Calera, comprenden facies características que van desde mar abierto, hasta depósitos acumulados detrás de la barrera. La base de la secuencia, evidencia un proceso de somerización del fondo y evento de regresión, el cual comienza con una zona de transición a ante-playa inferior, mar abierto, zonas de transición y deltas de marea saliente, seguido por bocanas de mareas hasta detrás de barrera, representados por ambientes de albufera, llanuras de marea y deltas de marea entrante. La secuencia registra luego un proceso de profundización gradual del fondo y evento transgresivo, desde depósitos de delta de marea entrante a frente de playa, albufera, ante-playa, zona de transición, para terminar con depósitos de mar abierto. Por último, en la parte superior de la secuencia, se registra una regresión final abrupta con facies características de complejos de marea y deltas de marea entrante y saliente, albuferas y canales secundarios o pequeños. Los ichnofósiles y asociaciones de ichnofósiles corresponden a la ichnofacies *Skolithos*, y *Cruziana*. La ichnofacies *Skolithos* implica una energía media a alta que se desarrolló en ambientes de ante-playa,

frente de playa, bocanas de marea, y deltas de marea entrante y saliente. La ichnofacies *Cruziana* se desarrollo en ambientes de baja energía de mar abierto, zonas de transición, ante-playa y llanuras de marea.

**R. Aguilera, (1995).** *Naturally Fractured Reservoirs*. Trata los aspectos geológicos de las fracturas, dando el concepto de Fractura Natural como una discontinuidad planar que resulta de esfuerzos que exceden la fuerza de ruptura de la roca (Stearns, 1990) de un Reservoirio Naturalmente Fracturado y de los requerimientos para la acumulación de hidrocarburos, los cuales son, Roca Fuente, Roca Reservoirio, Roca sello, Trampa y Contenido de Fluido.

A su vez, aspectos como morfología de la fractura, la cual relaciona la forma de las fracturas naturales incluyendo, fracturas abiertas, deformadas, rellenas por minerales y parcialmente abiertas, según Nelson, 1985 y la clasificación de las fracturas desde un punto de vista experimental, como fracturas de cizalla, extensión y tensión (Stearns y Friedman, 1972; Nelson 1985).

Además de esto, indica que los corazones suministran una herramienta importante para examinar directamente las fracturas, sin embargo, es indispensable distinguir si las fracturas son naturales o artificialmente inducidas, sugiriendo varios criterios para diferenciar estos dos tipos de fracturas en corazones.

**R. Aguilera, (1998).** *Geologic Aspects of Naturally Fractured Reservoirs*. En este artículo se discuten los aspectos geológicos, que describen principalmente de forma cualitativa las características claves de las fracturas y los sitios que son importantes en la producción de hidrocarburos. Presenta las definiciones de Fractura Natural, Reservoirios Naturalmente Fracturados, Fracturas Abiertas y Rocas Reservoirio.

Aguilera en su artículo opina, que virtualmente todos los reservorios contienen al menos algunas fracturas naturales. Sin embargo, el efecto de estas fracturas sobre el flujo de fluidos es insignificante y el reservorio puede ser tratado (desde un punto de vista Ingenieril y Geológico), como un reservorio “Convencional”.

Un Reservorio Naturalmente Fracturado puede ser encontrado en el mundo en todos los tipos de trampas y a lo largo de la columna estratigráfica.

También, trata el concepto de porosidad secundaria como el producto de procesos geológicos que ocurrieron después de la depositación y no tienen una relación directa con la forma de las partículas sedimentarias. La porosidad puede ser debido a la solución, recristalización, dolomitización o fractura.

Posteriormente, trata los conceptos de la generación de fracturas y sus formas, morfología, permeabilidad, comportamiento mecánico de la roca y la clasificación de las fracturas naturales, como Tectónica, Regional y Diagenética, según Stearns y Nelson desde un punto de vista geológico.

**D.A. Leckie; J.M de Armas; C. Du Toit; K. Glazebrook; E. Gomez; P. Kroshko; B. Norris; A. Parsons; & R. Peñas, (2003).** En su artículo *Paleogeographic Implications of the Lower Guadalupe (Dura) Formation in the Guando Oil Field, Colombia*. Suministra una interpretación del marco depositacional y una estructura en la secuencia estratigráfica del Cretáceo Superior, Formación Guadalupe Inferior en el Campo petrolero Guando.

Define el contacto entre la Formación Villeta y la Formación Guadalupe Inferior como un límite de secuencia marcado, representado por la Ichnofacies *Glossifungites* la cual indica un hiato.



**G. Rincón; J.C. Garzón, (2003).** En su artículo, *Campo Guando, Primer descubrimiento de la Antesala del Siglo XXI en el Valle Superior del Magdalena*, interpretan por medio de análisis faciales en los corazones y de geología de superficie las Areniscas Inferiores en el Campo Guando como depósitos de marea en un contexto totalmente intramareal. Las facies con intensa bioturbación, constituidas por areniscas de grano muy fino, son indicativas de ambientes de regiones de baja energía y bajo influjo sedimentario. Las ocurrencias muy localizadas de facies menos bioturbadas, que aun preservan estructuras indicativas de marea (mud couples) con truncaciones locales sugieren la ocurrencia esporádica de barras de marea, siempre bajo un contexto intramareal. La ausencia de marcas de ola y evidencias de facies de playa, disminuye la posibilidad de formación de islas de barrera, por lo menos en la sección corazonada. Aunque se pueda imaginar que la ausencia de las facies típicas de estos ambientes de depositación puedan haber sido erodadas.

Los resultados de análisis geoquímicos de los pozos del Campo Guando indican que las rocas de los intervalos analizados son inmaduras ( $T_{max} < 435^{\circ}\text{C}$ ) y predomina el kerógeno tipo II. Los intervalos con mayor potencial generador estarían ubicados en los "Plaeners" del Guadalupe, en la zona de transición y en el Villeta. Según los biomarcadores de evolución térmica, los crudos fueron expulsados en la etapa de generación temprana ( $R_o$  equivalente = 0.75), no han sufrido procesos de biodegradación intensa y las rocas están inmaduras.

**R. Reyes; J. Barón, (2003).** *Características Sedimentológicas, Mineralógicas y Diagenéticas de la Arenisca Dura en el Campo Guando. Valle Superior del Magdalena.* Realizaron análisis macroscópicos y microscópicos los cuales indican que la porosidad y permeabilidad de la Arenisca Inferior varían de acuerdo con: rasgos texturales y composicionales, procesos diagenéticos y aspectos estratigráficos. La Arenisca Inferior se ha interpretado como depositada en un ambiente marino somero de energía variable correspondiente a un antiguo frente

de playa (asociado a un complejo de isla barrera) suprayacido por sedimentos estuarinos con gran influencia mareal.

Las Areniscas Inferiores en el Campo Guando están predominantemente constituidas por rocas siliciclásticas generalmente con abundante contenido de cuarzo y ocasionalmente con cantidades apreciables de feldespatos. Con base en la composición del material intersticial, el tamaño de grano, el contenido de aloquímicos y la clase de estructuras biogénicas se reconocen al menos seis tipos de areniscas.

**G. Pemperton; J.A. MacEachern.** *The Sequence Stratigraphic Significance of Trace Fossils: Examples from the Cretaceous Foreland Basin of Alberta, Canada.*

Los autores en su artículo resaltan que los Fósiles Traza representan entidades paleontológicas y sedimentológicas, que constituyen una mezcla única de indicadores potenciales de ambientes en el registro rocoso. Los fósiles traza pueden ser empleados efectivamente para ayudar en el reconocimiento de varios tipos de discontinuidades y para promover su interpretación genética. La ichnología puede ser empleada para resolver el significado de superficies de secuencias estratigráficas de dos maneras principalmente:

\* A través del reconocimiento de ichnofacies substrato-controladas, la cual marca el intervalo de tiempo entre la depositación original de una unidad y la superposición posterior de una asociación de fósiles traza.

\* A través de un cuidadoso análisis de sucesiones ichnológicas verticales (análogo para sucesiones de facies).

Por lo tanto, interpretando los datos derivados de ichnofacies substrato-controladas, con datos de sucesiones ichnológicas verticales se suministra una

herramienta poderosa para la interpretación y revalidación de importantes superficies de estratigrafía secuencial.

## 2. MARCO GEOLÓGICO

### 2.1. GEOLOGÍA DE LA CUENCA

El Valle Superior del Magdalena es una depresión alargada en la dirección NNE-SSW que separa la mitad meridional de las Cordilleras Central y Oriental y se extiende desde Pitalito (en el sur), hasta Honda (en el norte) (*Mojica & Dorado, 1987*).

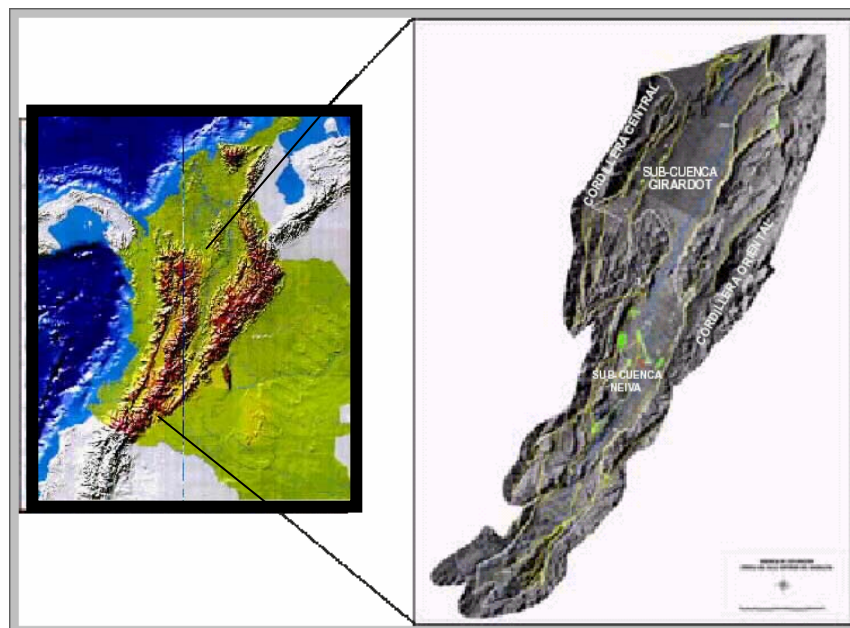
Desde el punto de vista geológico, el VSM es una estructura bien marcada, delimitada en los bordes por fallas inversas, que ocupa el vértice interno de la bifurcación de las Cordilleras Central y Oriental hasta un poco al Norte de Girardot (*Mojica & Dorado, 1987*).

Porta (1965-1969) sitúa la posición del límite septentrional del VSM en la Barrera de Guataquí-Piedras, donde el Cretácico de la Cordillera Oriental forma un haz de pliegues relativamente apretados que atraviesan el valle.

Por su parte *Mojica & Bayer (1987)* consideran que cuando se tiene en cuenta el tipo de basamento económico (rocas intrusivas y vulcano-sedimentarias triásico-jurásicas de la Formación Saldaña en el VSM, y capas rojas de la Formación Girón en el VMM), el límite VSM-VMM debería ubicarse a la altura de la Ciudad de Honda.

El VSM ha sido subdividido en dos unidades: la Subcuenca de Neiva, al sur, y la Subcuenca de Girardot, al norte, las cuales están separadas por el umbral o alto del basamento económico de Pata (*Butler, 1969*) o de Natagaima (*Mojica & Bayer, 1987*).

La Subcuenca de Girardot contiene los Campos de Matachines, Purificación, Chenche y Guando. Esta subcuenca está conformada por estructuras de dirección NNE-SSW de sinclinales amplios y anticlinales apretados y fallados, relacionados a fallas de cabalgamiento de vergencia occidental producto del levantamiento de la Cordillera Oriental Colombiana. La subcuenca de Girardot está limitada por los sistemas de fallas de cabalgamiento: Boquerón-Quinini al oriente y las fallas de Ibagué y Bituima al Norte, subcuenca de Ortega–Chaparral al Oeste y el paleo alto de Natagaima al sur, que la separa de la subcuenca de Neiva (Figura 2).



**Figura 2.** Localización de la Cuenca VSM. Fuente: VIII Simposio Bolivariano. Exploración Petrolera de las Cuenas Subandinas.

## 2.2. EVOLUCION TECTÓNICA

El Valle Superior del Magdalena, es el producto de diversos eventos acaecidos entre finales del Paleozoico y el reciente, que constituyen fundamentalmente dos ciclos:

### **2.2.1. Tectónica Distensiva**

Paleozoico Tardío o Mesozoico Temprano y Terciario Temprano, que incluiría los siguientes eventos tafrogénicos:

- Formación de un graben o '*rift*' supracontinental en el ancestral VSM (*Macía et al. 1985; Mojica & Herrera, 1986*) a finales del Paleozoico o a comienzos del Triásico (*Villarroel & Mojica, 1987*).
- Subsistencia intermitente del graben (por fallamiento normal y tectónica de bloques) y relleno del mismo con materiales ante todo continentales, durante el Triásico y el Jurásico Inferior a Medio?
- Período de no depositación y/o erosión entre el Jurásico Medio a Superior y buena parte del Cretácico Inferior.
- Reactivación de la tafrogénesis e iniciación del avance marino durante el Aptiano, que condujo luego a la acumulación de las Formaciones Yaví-Caballos y del Grupo Villeta.
- Regresión o retiro paulatino del mar a finales del Cretácico, con la depositación de la Formación Guadalupe (= Monserrate) y del Grupo Guaduas (=Guaduala).

### **2.2.2. Tectónica Compresiva**

Entre el Terciario Temprano y el tiempo presente, comprende los distintos eventos (o fases) que determinan la estructura y morfología actual del VSM y las cordilleras adyacentes, así:

- A comienzos del Terciario, es decir, durante el Paleoceno-Eoceno, comienzan levantamientos rápidos en sectores de la Cordillera Central, y emersiones lentas y locales en la Cordillera Oriental, a través de fallas inversas cuyos planos principales pudieron ser heredados de la etapa de distensión anterior (*Mojica &*

Bayer, 1987); como consecuencia, el mar debió retirarse hacia el NE y SE a partir de un punto de divergencia coincidente más o menos con el lugar de la actual bifurcación de las Cordilleras Central y Oriental, dando paso así a la acumulación, a veces acelerada, de sedimentos continentales molásicos con aportes preferenciales de la Cordillera Central (*Mojica & Bayer, 1987*). Butler (1983) se refiere a estos depósitos como "*molasa sin-orogénica*" (Grupo Gualanday) y "*sedimentos molásicos no-marinos de la sucesión neógena* (Formación Barzalosa - o La Cira -, Grupo Honda y Formación La Mesa).

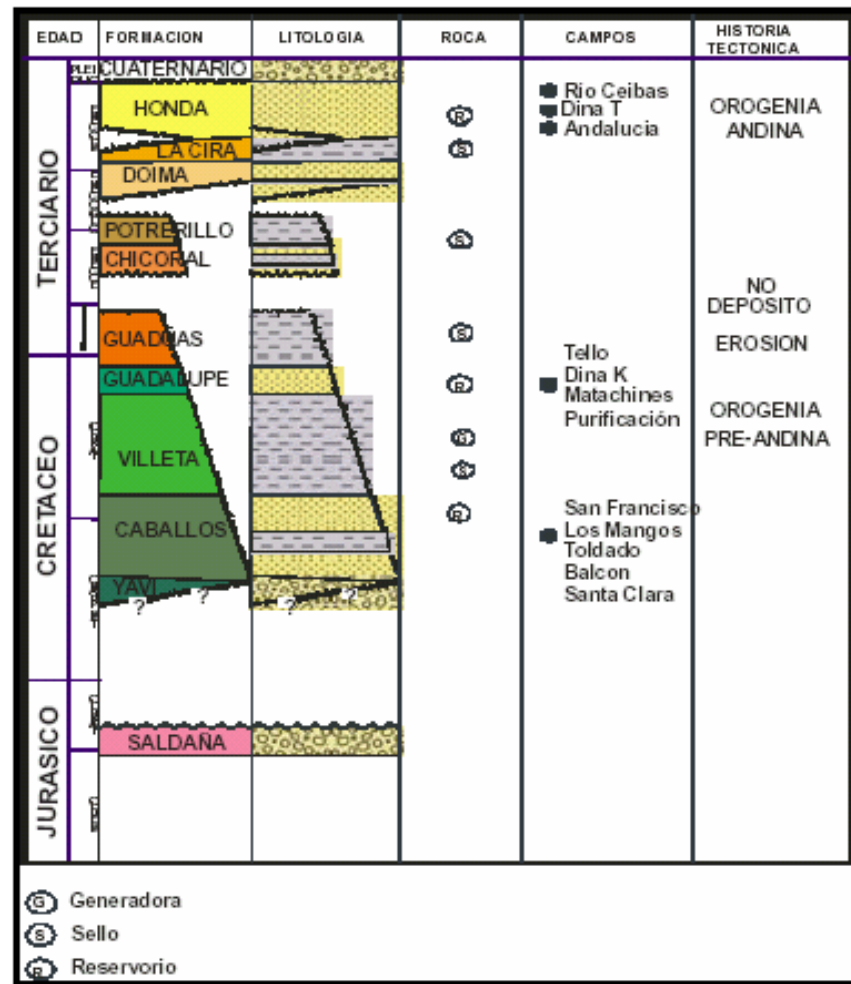
- A finales del Terciario Medio y durante el Terciario Tardío, el levantamiento de las cordilleras alcanzó su máxima intensidad, generando el Sistema de Fallas de Chusma-Girardot en primer lugar, y luego el Sistema de Garzón, lo cual ocasiona cabalgamientos acentuados que exponen el zócalo (Grupo Cajamarca, Macizo de Garzón, Macizo de La Plata) y el Paleozoico (Formaciones El Hígado, El Imán y Aguas Calientes) en los bordes de las cordilleras, quedando concentrados el Mesozoico y el Cenozoico hacia el centro de la depresión (*Mojica & Bayer, 1987; Butler & Schamel, 1987*).
- Vulcanismo calcoalcalino que se inicia desde el Mioceno (*Van Houten & Travis, 1968; Kroonenberg & Diederix, 1982*). La principal fase de plegamiento se llevó a cabo a finales del Plioceno, cuando la Cordillera Oriental estaba levantada, pero menos que a la altura actual (*Kroonenberg & Diederix, 1982*).

### **2.3. ESTRATIGRAFÍA**

Las rocas más antiguas perforadas en el área de estudio son sedimentos clásticos de la Formación Caballos de edad Aptiano Superior-Albiano Medio?. Estos sedimentos están compuestos por cuerpos arenosos fluviales, los cuales gradan a marino somero en la parte superior.

La transgresión marina y subsidencia de la cuenca continuó durante el Albiano Tardío hasta el Santoniano, depositando los sedimentos del Grupo Villeta y

alcanzando su máxima extensión durante el Turoniano-Coniaciano (calizas de La Luna) y depositando, de más antiguo a más joven, sedimentos muy ricos en materia orgánica como son las calizas de Tetuán, los shales del Bambucá y los shales y calizas de la Luna. (Figura 3)



**Figura 3.** Columna estratigráfica generalizada de la Subcuenca Girardot- VSM. Fuente: VIII Simposio Bolivariano. Exploración Petrolera de las Cuenas Subandinas.

La posterior somerización de la cuenca, trajo consigo el desarrollo de las facies detríticas marinas someras del Grupo Guadalupe en la subcuenca de Girardot y de la Formación Monserrate en la subcuenca de Neiva. El Grupo Guadalupe es el principal productor en varios campos de la subcuenca de Girardot como Matachines, Purificación y Guando.



La regresión marina, de finales del Cretáceo, con la progradación de la línea de costa, originó la depositación de los sedimentos fluvio-deltáicos del Maastrichtiano Superior?-Paleoceno (Formación Guaduas), pero los levantamientos ocurridos durante el Eoceno Temprano a Medio causaron la erosión de dichos sedimentos en las partes más altas de la cuenca y en ciertas áreas, de los sedimentos del Cretáceo Tardío.

### 3. CONSIDERACIONES TEORICAS

#### 3.1. ICHNOLOGIA

La ichnología es el estudio de las huellas fósiles dejadas en los sedimentos por organismos vivos que generalmente no se preservaron.

El termino **ichnología** (*ichnology*) fue propuesto por Buckland (1836), procede del griego (ijnos), huella, y (logos), tratado.

Hoy es considerada por muchos como un campo interdisciplinar que complementa los estudios sedimentológicos, estratigráficos, paleontológicos y paleoecológicos.

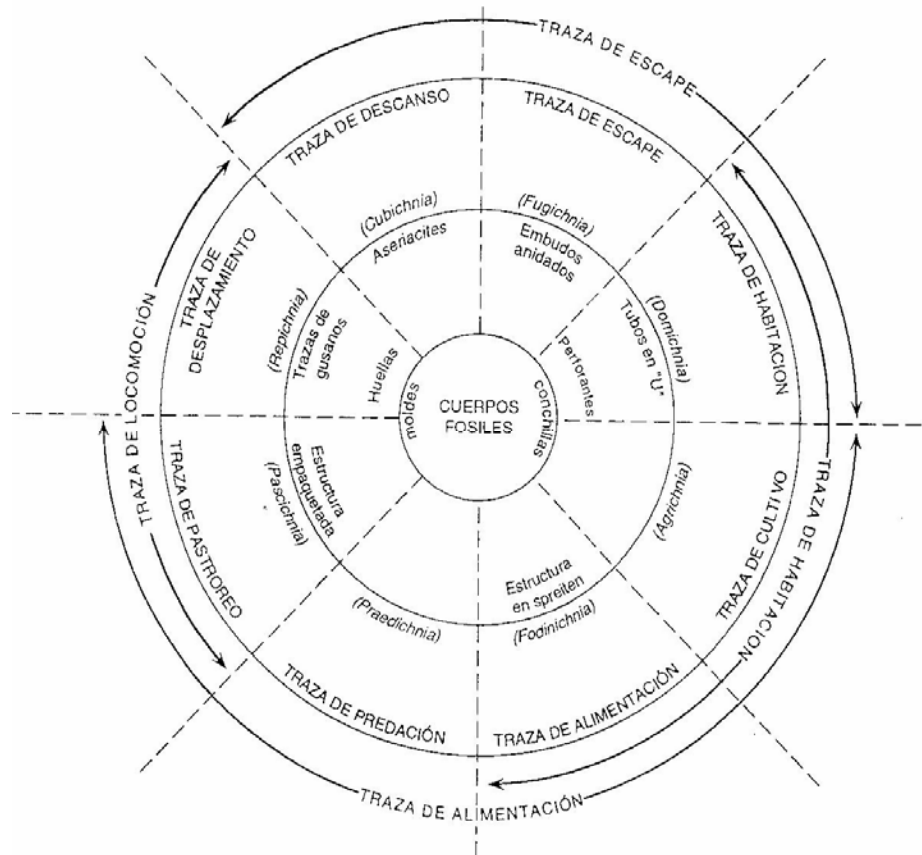
##### 3.1.1. Clasificación por comportamiento

El ingrediente más importante de la ichnología es la interpretación funcional de trazas individuales. Los patrones etológicos fundamentales están dictados y modificados no solo por pre-adaptaciones genéticas, sino también por los parámetros ambientales predominantes.

Ekdale et. al. (1984) reconocieron siete categorías básicas de comportamiento (Figura 4), traza de descanso (*Cubichnia*), traza de desplazamiento (*Repichnia*), traza de habitación (*Domichnia*), traza de pastoreo (*Pascichnia*), traza de alimentación (*Fodinichnia*), traza de cultivo (*Agrichnia*) y traza de escape (*Fugichnia*). Ekdale (1985) agregó traza de predación (*Praedichnia*)

Estos modelos de comportamiento fundamentales están genéticamente controlados, pero no están filogenéticamente restringidos. Las categorías etológicas han generalmente persistido a lo largo del Fanerozóico. Los

organismos productores de las trazas han evolucionado, pero el comportamiento bentónico básico no lo ha hecho.



**Figura 4.** Clasificación etológica de fósiles trazas y la relación de estos con los cuerpos fósiles. La superposición de categorías reconoce las intergradaciones inherentes a su naturaleza. Por ejemplo, dependiendo de circunstancias locales, el espectro de estructuras de escape podría ocupar la totalidad de la circunferencia (Modificado por Frey y Pemberton, 1985).

### 3.1.2. Concepto de Ichnofacies

El termino ichnofacies ha sido utilizado en diferentes trabajos a dos niveles distintos (Bromley, 1996), esto hace que sea necesario diferenciar entre ichnofacies locales e ichnofacies *Arquetípicas* o *Seilecharianas*. Una *ichnofacies local* o simplemente ichnofacies hace referencia al registro fósil de una

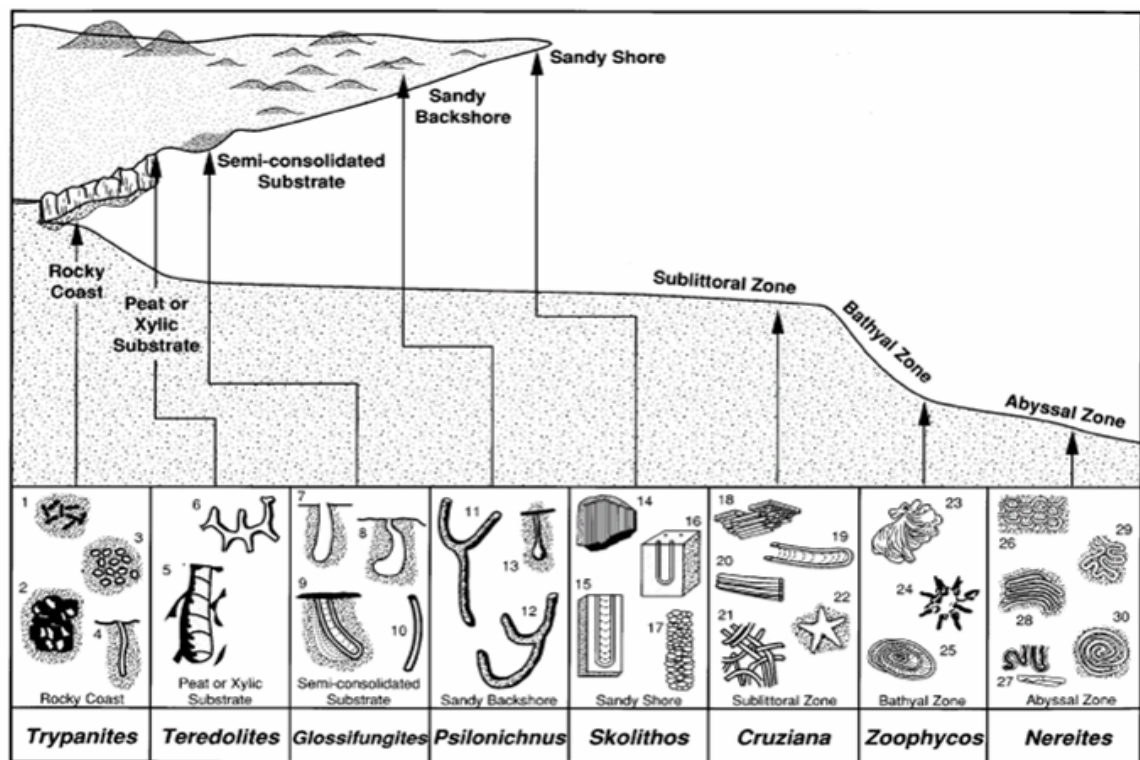
ichnocenosis en un determinado lugar o unidad estratigráfica. Estas ichnofacies son nombradas a partir del ichnofósil más abundante o más característico. Para las ichnofacies universales y recurrentes del modelo de Seilacher se han propuesto dos denominaciones: ichnofacies *Arquetípicas* (Frey *et al.* 1990) o ichnofacies *Seilecharianas* (Bromley, 1990, 1996). Estas ichnofacies *Arquetípicas* o *Seilecharianas* corresponden a asociaciones de fósiles trazas recurrentes en diferentes depósitos a lo largo del Fanerozóico y en diferentes lugares de la geografía mundial.

Las ichnofacies tanto las locales como las *Arquetípicas*, son resultado no solo de una serie de factores ecológicos y ambientales que condicionan el tipo de biocenosis bentónica sino también de una serie de factores conservacionales que determinan que elementos de la ichnocenosis original pueden ser conservados como trazas fósiles. Así pues, las ichnofacies comparten características de biofacies y de tafofacies (Bromley y Asgaard, 1991). En las diferentes ichnofacies *Arquetípicas* definidas, la importancia de cada uno de los dos condicionantes es variable. En algunas de ellas los aspectos conservacionales son dominantes sobre los ecológicos y viceversa. En cualquier caso, dado que ambos están directamente relacionados con aspectos ambientales y sedimentológicos, este hecho no menoscaba en absoluto su potencial como indicadores paleo-ambientales.

- **Modelo de Ichnofacies Arquetípicas**

El modelo de ichnofacies es un conjunto heterogéneo en el que se reúnen ichnofacies definidas únicamente a partir de las características del substrato, otras controladas fundamentalmente por aspectos ecológicos y otras en que los aspectos conservacionales son predominantes. Esto hace que su clasificación presente ciertas dificultades y diversas posibilidades.

Sin embargo, la esencia de la investigación de los fósiles traza involucra el agrupamiento de características de los ichnofósiles dentro de las ichnofacies recurrentes. El modelo postulado por Seilacher estaba basado originalmente en el hecho de que la mayoría de los parámetros que controlan la distribución de las trazas fósiles cambian progresivamente con el incremento de la profundidad en el agua. Se han reconocido nueve ichnofacies recurrentes, cada una nombrada por un ichnogénero representativo (Figura 5).



**Figura 5.** Diagrama sinóptico ilustrando un conjunto de ichnofacies marinas recurrentes en un representativo pero no exclusivo juego de gradientes ambientales. Factores biológicos, químicos y físicos locales determinados únicamente con trazas que ocurren en cada sitio. Las trazas fósiles típicas incluyen: 1) *Caulostrepsis*, 2) *Entobia*, 3) *Echinoid borings*, 4) *Trypanites*, 5) *Teredolites*, 6) *Thalassinoides*, 7,8) *Gastrochaenolites* o géneros relacionados, 9) *Diplocraterium* (*Glossifungites*), 10) *Skolithos*, 11,12) *Psilonichnus*, 13) *Macanopsis*, 14) *Skolithos*, 15) *Diplocraterium*, 16) *Arenicolites*, 17) *Ophiomorpha*, 18) *Phycodes*, 19) *Rhizocorallium*, 20) *Teichichnus*, 21) *Planolites*, 22) *Asteriacites*, 23) *Zoophycos*, 24) *Lorenzinia*, 25) *Zoophycos*, 26) *Paleodictyon*, 27) *Taphrhelminthopsis*, 28) *Helminthoida*, 29) *Cosmorhapse*, 30) *Spirorhapse*. (Modificado por Frey y Pemberton, 1985)

- **Relación entre las Ichnofacies y el tipo de Substrato.**

Las ichnofacies marinas pueden ser función de las características del sustrato en que fueron producidas: blando (*softground*), firme (*firmground*) duro (*hardground*) y vegetal (*woodground*), (Tabla 1).

| Substrato<br>Leñoso | Substrato<br>Duro | Substrato<br>Firme | Substrato<br>Blando |                       |                            |
|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------|
| Teredolites         | Trypanites        | Glossifungites     | Scoyenia            | Aguas dulces          | M<br>A<br>R<br>I<br>N<br>O |
|                     |                   |                    | Psilonichnus        |                       |                            |
|                     |                   |                    | Skolithos           | Alta Energía          |                            |
|                     |                   |                    | Cruziana            | Energía<br>intermedia |                            |
|                     |                   |                    | Zoophycos           |                       |                            |
|                     |                   |                    | Nereites            | Baja Energía          |                            |

**Tabla 1.** Relaciones entre ichnofacies y sustrato. En contraposición con las ichnofacies de sustratos blandos que se diferencian sobre la base de factores ambientales, las ichnofacies de sustratos duros, firmes y xílicos lo hacen por el tipo y consistencia del sustrato. (Modificado de Bromley et al, 1984).

### 3.1.3. Cuantificación de la Bioturbación.

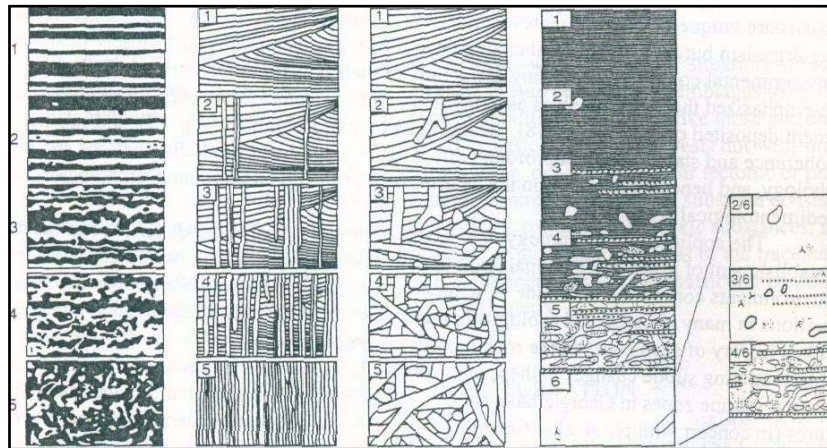
Debido al número extremo de variables potenciales involucradas no se ha concebido un esquema de clasificación satisfactorio para sedimentos moteados por las madrigueras, texturas bioturbadas, o procesos de bioturbación (Frey y Pemberton, 1985). La mayoría de los estudios sedimentológicos se han basado sobre procesos subjetivos de la información de los porcentajes de sedimento no re TRABAJADOS o re TRABAJADOS biogénicamente (Reineck 1980). Este esquema (Tabla 2), es altamente útil desde el punto de vista descriptivo general, pero no emite claridad sobre cualquier relación genética (Ekdale and Bromley, 1983). Recientemente, en una serie de artículos Drosser y Bottjer (1986, 1989,1991), han tomado este concepto y lo han presentado en forma visual (Figura 6). Este esquema está basado en la cantidad de estructuras sedimentarias físicas originales perturbadas por re trabajamiento biogénico desde no bioturbación (1) a

homogenización completa (6). Las seis categorías definidas por Drosser y Bottjer (1986), son:

- (1). No hay registro de bioturbación, todas las estructuras sedimentarias originales son preservadas.
- (2). Discreta, trazas fósiles aisladas, por encima del 10% de la estratificación original perturbada.
- (3). Aproximadamente del 10 al 40% de la estratificación original perturbada, las madrigueras están generalmente aisladas, pero localmente superpuestas.
- (4). Últimos vestigios de estratificación apreciable; aproximadamente del 40 al 60% perturbadas, madrigueras superpuestas y no están siempre bien definidas.
- (5). La estratificación está completamente perturbada, pero las madrigueras aún son discretas en sitios y la fábrica no está mezclada.
- (6). La estratificación esta casi a totalmente homogenizada.

| GRADO | PORCENTAJE<br>DE<br>BIOTURBACION | CLASIFICACION                                                                     |
|-------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 0     | 0                                | No bioturbado                                                                     |
| 1     | 1-5                              | Muy ligeramente bioturbado                                                        |
| 2     | 5-30                             | Ligeramente bioturbado                                                            |
| 3     | 30-60                            | Moderadamente bioturbado                                                          |
| 4     | 60-90                            | Altamente bioturbado                                                              |
| 5     | 90-99                            | Intensamente bioturbado(Vestigios de algunas estructuras físicas aún apreciables) |
| 6     | 100                              | Completamente bioturbado                                                          |

**Tabla 2.** Clasificación de bioturbación, basada en la destrucción de estructuras sedimentarias primarias. (Adaptada de Reineck, 1967)



**Figura 6.** Diagramas esquemáticos de la estimación del grado de Bioturbación (A) Para estratos delgados estratificados. (B) Para estratos gruesos estratificados dominados por Skolithos. (C) Para estratos gruesos estratificados dominados por Ophiomorpha. (D) Para ambientes de aguas profundas de grano fino. (Modificado por Drosser y Bottjer, 1986-1989-1991)

Aunque este es un valor que nota el grado de bioturbación, esto es sólo una descripción y como tal no tiene un valor genético. Un error fatal en intentar caracterizar los cambios en las tasas o intensidades de bioturbación sobre una base temporal (como intenta este esquema), es que los controles ambientales locales sobre la bioturbación son aptos para ejercer mucho control e imparten demasiada variación local. La intensidad de los cambios de bioturbación aparece abruptamente tanto a grande como a pequeña escala y tanto verticalmente como lateralmente en la secuencia (Frey et al. 1989).

### 3.2. CARACTERIZACIÓN DE FRACTURAS

Una fractura se define como la superficie de la roca en la cual se ha perdido cohesión; si no se observa desplazamiento paralelo al plano de fractura puede referirse a una diaclasa; pero si se observa desplazamiento se trata entonces de una falla debido al movimiento relativo entre los bloques paralelos al plano de fractura.

Una fractura natural, es una discontinuidad planar macroscópica que resulta de esfuerzos que exceden la fuerza de ruptura de la roca (Stearns, 1990).

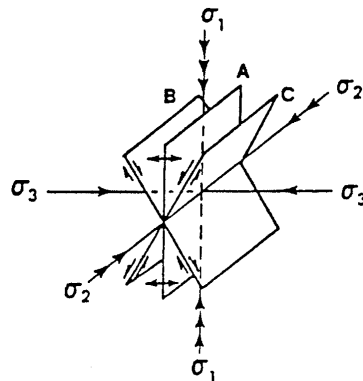


Nelson (1985), define una fractura natural en un reservorio como una discontinuidad planar macroscópica que ocurre naturalmente en la roca debido a la deformación o diagénesis física.

Un reservorio naturalmente fracturado, es un reservorio que contiene fracturas creadas por la naturaleza. Estas fracturas naturales pueden tener un efecto positivo o negativo sobre el flujo del fluido. Las fracturas mineralizadas parcialmente o fracturas abiertas no cementadas podrían tener, por ejemplo un efecto positivo sobre el flujo del petróleo, pero un efecto negativo sobre el flujo del gas o agua. Las fracturas naturales totalmente mineralizadas podrían crear barreras de permeabilidad para todos los tipos de flujo.

### 3.2.1. Clasificación de las Fracturas

Desde un punto de vista experimental, las fracturas pueden ser clasificadas como fracturas de cizalla, de tensión y de extensión.



**Figura 7.** Fracturas desarrolladas en experimentos de laboratorio. (Modificada por Nelson, 1985).

- **Fractura de Cizalla**

Son el resultado de esfuerzos que tienden a deslizar una parte de la roca más allá de la parte adyacente, es decir ellas involucran movimiento paralelo con el plano de la fractura. Los planos B y C en la figura 7, representan fracturas de cizalla.

- **Fractura de Extensión**

Las paredes de la matriz se separan una de la otra. En la figura 7, el plano A representa una fractura de extensión. Este es paralelo al esfuerzo que contiene el eje de esfuerzo principal mayor ( $\sigma_1$ ), el eje de esfuerzo principal intermedio ( $\sigma_2$ ) y el eje de esfuerzo principal menor ( $\sigma_3$ ).

- **Fractura de Tensión**

Son similares a las fracturas de extensión porque en ambos casos las paredes se desplazan perpendicularmente lejos del plano de fractura. Sin embargo, las fracturas de extensión son formadas con una componente positiva del esfuerzo principal mínimo compresivo, opuesto a las fracturas de tensión las cuales son formadas con una componente negativa asumida del esfuerzo principal mínimo de tensión.

### **3.2.2. Parámetros de Caracterización de Fracturas**

La descripción de las fracturas se realizó considerando los parámetros de orientación, longitud, apertura, relleno, perfil y morfología de la pared, definidos según los criterios que se presentan en la tabla 3.

Los Parámetros analizados durante la caracterización fueron los siguientes:

- **Profundidad.**

Son los pies en profundidad de núcleo descrito a escala 1:10.

- **Fractura.**

En este parámetro se determinaron principalmente cuatro clases de fracturas diferenciables entre si, de acuerdo a su génesis: Natural, Inducida, Natural-Inducida y Estilolitos. Estas se diferencian por la morfología de la pared (estrías

de fricción y escalonamiento) y el perfil de la fractura los cuales se forman tanto naturalmente como por esfuerzos inducidos a la hora de la perforación, (Figura 8).

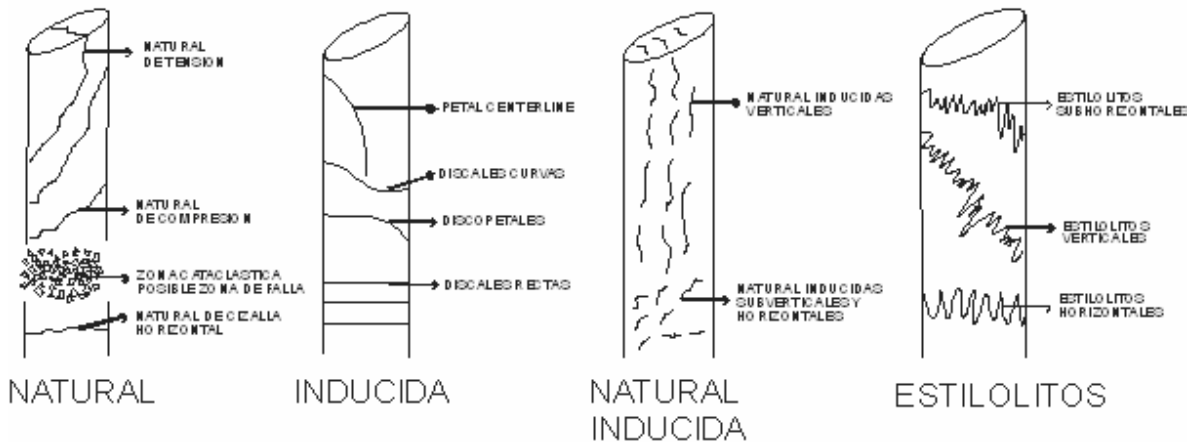
|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| TIPO DE FRACTURA       | 1. Natural              |
|                        | 2. Inducida             |
|                        | 3. Natural - Inducida   |
|                        | 4. Estilolitos          |
| TIPO DE ESFUERZO       | 1. Tensión              |
|                        | 2. Compresión           |
|                        | 3. Cizalla              |
| APERTURA Y RELLENO     | 1. Abierta              |
|                        | 2. Cerrada              |
|                        | 3. Rellena              |
|                        | 4. Parcialmente rellena |
|                        | 5. Parcialmente abierta |
|                        | 6. Puentes cristalinos  |
| MEDIDA DE LONGITUD     | 1. Mayor a 50 cm        |
|                        | 2. Entre 25.01 a 50 cm  |
|                        | 3. Entre 10.01 a 25 cm  |
|                        | 4. Entre 5.01 a 10 cm   |
|                        | 5. Inferior a 5 cm      |
| MEDIDA DE APERTURA     | 1. Mayor a 10 mm        |
|                        | 2. Entre 5.01 a 10 mm   |
|                        | 3. Entre 4.01 a 5 mm    |
|                        | 4. Entre 3.01 a 4 mm    |
|                        | 5. Entre 2.01 a 3 mm    |
|                        | 6. Entre 1.01 a 2 mm    |
|                        | 7. Inferior a 1 mm      |
|                        | 8. No observable        |
| PERFIL DE LA FRACTURA  | 1. Recto                |
|                        | 2. Sinuoso              |
|                        | 3. Dentado              |
| MORFOLOGIA DE LA PARED | 1. Uniforme             |
|                        | 2. Rugosa               |
|                        | 3. Estriada             |
|                        | 4. No observable        |

**Tabla 3.** *Parámetros de clasificación de Fracturas.* Fuente: Grupo Modelamiento Hidrocarburos

**Fracturas Naturales.** Se definen como discontinuidades o rompimientos en una roca causada por esfuerzos que exceden la resistencia de la misma por mecanismos naturales; se identifican por una letra (**t**, **c**, **cz**,) según el esfuerzo que este actuando. (Figura 8)

Características generales de las fracturas naturales:

- Slickensides (ranuras de fricción).
- Conjuntos paralelos de fracturas observados en el corazón.
- Cementación a largo de la superficie de la fractura (calcita, cuarzo recristalizado, pirita, siderita, etc.).



**Figura 8.** Clasificación de los tipos de fracturas en corazón (Basado en Kulander, 1990)

**Fracturas Inducidas.** Este tipo de fracturas, se desarrollan durante la perforación, la toma o la manipulación del núcleo. Se identifican con la letra **i** (Figura 8).

Características generales de las fracturas Inducidas:

- Fracturas concoidales o muy irregulares.
- Curvamiento abrupto hacia las paredes del núcleo.
- La superficie de la fractura se relaciona geoméricamente con el núcleo (aspecto concéntrico en la superficie).

**Fractura Natural – Inducida.** Se observan como fracturas las cuales no atraviesan completamente el núcleo. Es un plano de debilidad que ya existía pero debido a esfuerzos inducidos terminó por manifestarse parcialmente, (Figura 8) se identifican con las letras **in**.

**Estilolitos.** Estas fracturas se inician por la concentración de esfuerzos planares dentro de una roca. Estas concentraciones pueden ocurrir en límites litológicos, estratos arcillosos y zonas de baja porosidad.

Los estilolitos pueden llegar a ser un problema para algunos reservorios, porque ellos reducen la permeabilidad perpendicular al estrato y la porosidad en la vecindad cercana (Figura 8). Se identifican con la letra **e**; se reconocen fácilmente por su perfil dentado y son usualmente de color negro.

- **Tipo de Fractura.**

Se identifican de acuerdo a su diagénesis.

1. Fracturas Naturales: formadas netamente por efectos mecánicos.
2. Fracturas Inducidas: formadas por el proceso de corazonamiento.
3. Fracturas Naturalmente Inducidas: formadas por efectos de corazonamiento los cuales intensifican el fracturamiento que presentaba la roca antes de éste.
4. Estilolitos: formados por efectos mecánicos con una componente química.

- **Número de Fracturas.**

En esta celda se puntualiza el número de fracturas en un pie de núcleo descrito.

- **Número de Fracturas Naturales.**

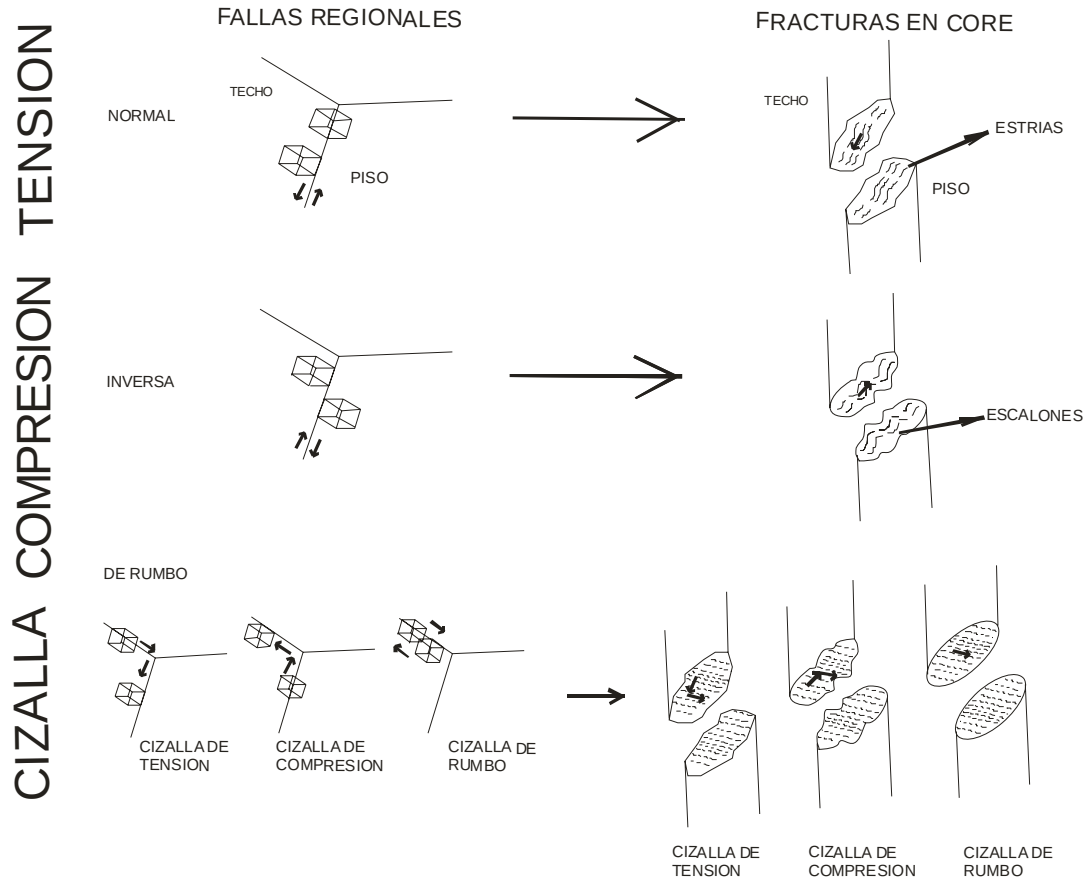
Relaciona el número de fracturas naturales observadas por intervalo de núcleo.

- **Tipo de Esfuerzo.**

Es el esfuerzo que se observa de las fracturas naturales en el núcleo. De acuerdo al tipo de esfuerzo se identifican así: Tensión (**1**), Compresión (**2**) y Cizalla (**3**).

Los movimientos de tensión y compresión se observan básicamente en el núcleo como desplazamientos del techo en la dirección del buzamiento (hacia abajo o

hacia arriba respectivamente) y esto se evidencia tanto por las estrías naturales de fricción y la dirección de los escalones (Kulander 1990), (Figura 9).



**Figura 9.** Analogía de Fallas vs. Fracturas teniendo en cuenta el movimiento relativo de los bloques de techo y piso. Fuente: Informe GMPH, ICP, 2004.

El movimiento de cizalla por su parte tiene tres casos:

1. Cuando el desplazamiento del techo es en la dirección del rumbo (cizalla pura, identificación: **3**).
2. Cuando el desplazamiento del techo es en la dirección del rumbo y además sube (cizalla + compresión, identificación: **3:2**).
3. Cuando el desplazamiento del techo es en la dirección del rumbo y además baja (cizalla + tensión, identificación: **3:1**) (Figura 9).

- **Apertura y Relleno.**

Es el espacio existente entre las caras de la fractura. Su clasificación es:

- |            |                          |
|------------|--------------------------|
| 1. Abierta | 4. Parcialmente Rellena  |
| 2. Cerrada | 5. Parcialmente abierta. |
| 3. Rellena | 6. Puente Cristalino     |

- **Longitud.**

Es la medida de longitud de la fractura que se observa en el núcleo, se da en centímetros y se identifica de la siguiente manera:

1. Fracturas mayores a 50 cm.
2. Fracturas entre 50 y 25 cm.
3. Fracturas entre 25 y 10 cm.
4. Fracturas entre 10 y 5 cm.
5. Fracturas menores de 5 cm.

- **Medida de Apertura.**

Es la medida en milímetros de la apertura de las fracturas.

- **Perfil de la Fractura.**

Es la caracterización de la forma del perfil de la fractura. Se identifica de la siguiente manera:

1. Recto.
2. Sinuoso.
3. Dentado.

- **Morfología de la Pared.**

Es la superficie de los planos de las fracturas. Se clasifica de la siguiente manera:

- |              |                  |
|--------------|------------------|
| 1. Uniforme. | 3. Estriada      |
| 2. Rugosa    | 4. In-observable |

- **Aptitud de la Fractura.**

La aptitud es la dirección del plano de fractura respecto al norte geográfico con una inclinación referente a un plano horizontal, es una medida relativa y está dada en azimuth. Las fracturas se orientan respecto a un eje ortogonal al plano de corte del núcleo determinando el rumbo y el buzamiento de las fracturas, (Figura 10).

- **Facies.**

Se indica la facies en la cual se encuentra la fractura.

- **Impregnación.**

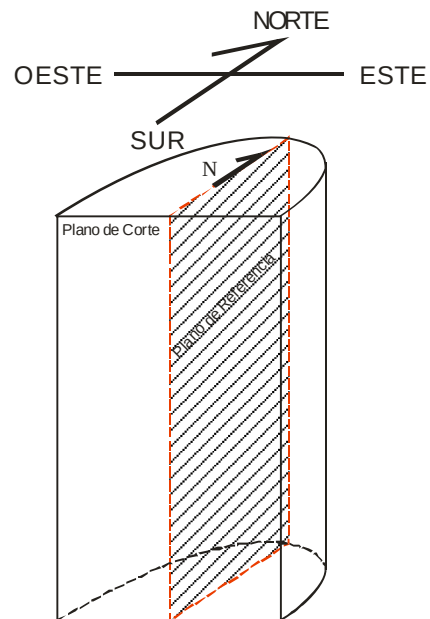
Se indica si existe o no impregnación de crudo en las paredes de la fractura.

- **Observaciones.**

Se destacan y complementan las características más importantes que no se encuentran en ninguno de los parámetros descritos anteriormente.

Estos parámetros son plasmados en una tabla de Excel con el fin de obtener resultados estadísticos y posteriormente analizarlos e interpretarlos.





**Figura 10.** Sistema de referencia donde se indica cómo se tomó el norte con respecto al corte del núcleo. Fuente: Informe GMPH, ICP, 2004.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. DESCRIPCIÓN ICHNOLÓGICA

La descripción sedimentológica detallada (Escala 1:10) del Pozo 1, (VSM) permite identificar que la Formación Guadalupe Inferior consiste de cuarzoarenitas lodosas a limpias de tamaño de grano relativamente uniforme generalmente de grano muy fino a fino, moderada a intensamente bioturbadas, con interestratificaciones delgadas de lodolitas y shales negros; además presenta niveles delgados de cuarzoarenitas fosilíferas y calizas micríticas a bioclásticas.

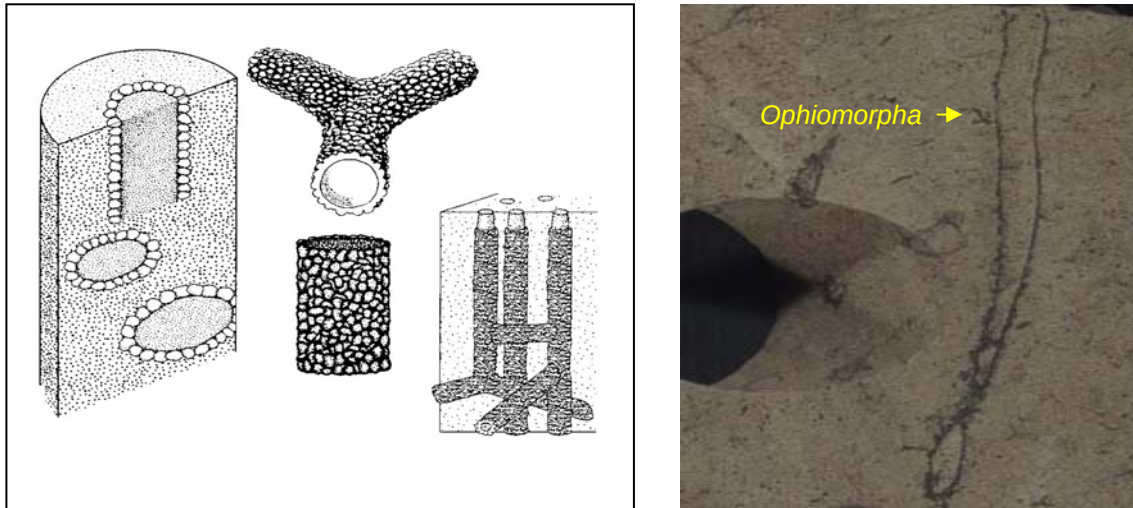
La estructura de los granos aloquímicos son pellets fosfáticos, restos de conchas calcáreas y foraminíferos.

En general la secuencia muestra que el Pozo de estudio se encuentra de moderado a intensamente bioturbado, los ichnofósiles presentes son: *Ophiomorpha*, *Diplocraterium*, *Arenicolites*, *Skolithos*, *Rhizocorallium*, *Teichichnus*, *Planolites*, *Asterosomas*, *Zoophycos*, *Glossifungites*, *Helminthopsis*, *Palaeophycus* con menor ocurrencia de *Thalassinoides*, *Rosellia?*, *Gyrolites*, los cuales son descritos a continuación teniendo en cuenta la clasificación ichnológica de Pemberton (1984), con el fin de realizar la respectiva caracterización de ichnofacies en el pozo.

#### 4.1.1. *Ophiomorpha*

Madrigueras complejas a simples revestidas con sedimentos pellotoidales aglutinados. El revestimiento de la madriguera es liso cerca al interior y en forma de nódulos al exterior. Pellets individuales o masas de pellets pueden ser de forma ovoide, cónica, discoidal o irregular. Las características del revestimiento

pueden variar dentro de una composición similar a la roca huésped. Las ramificaciones son irregulares y están presentes en forma de U como bifurcaciones. (Figura 11).



**Figura 11.** Izq. Dibujo esquemático de Ichnofósil *Ophiomorpha*. Der. Fotografía (Pozo 1, core 3, Inter. 3106 - 3107) *Ophiomorpha* vertical de 5" pulg de largo, presenta paredes gruesas cubiertas de pellets, de forma ovoide, el sedimento interno es similar al de la roca huésped.

### Interpretación:

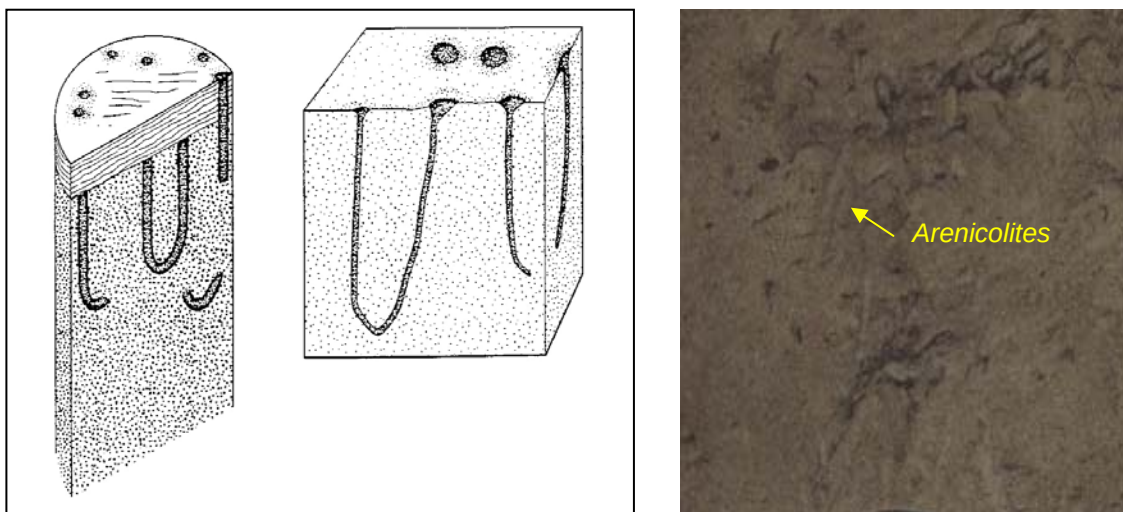
Las *Ophiomorphas* representan las madrigueras de habitación (*Domicinia*) de crustáceos incluyendo numerosas especies de langostinos thalassinidean.

### Consideraciones ambientales:

La *Ophiomorpha* está comúnmente asociada con la ichnofacies *Skolithos* y puede ser encontrada en numerosos ambientes marinos shoreface. Estas también son encontradas en aguas salobres, substratos arenosos incluyendo estuarios y bancos de marea (shoals tidal).

#### 4.1.2. Arenicolites

Tubos en forma de U, verticales simples, los cuales no presentan spreiten entre los miembros. Las paredes exteriores son generalmente lisas sin ornamentación; las aperturas de uno o ambos tubos parecen bengalas. (Figura 12).



**Figura 12.** Izq. Dibujo esquemático de Ichnofósil Arenicolites. Der. Fotografía (Pozo 1, Core 13, Inter. 3565 -3566) Arenicolites, madrigueras verticales de 1" a 1.5" de largo, presentan paredes lisas poco marcadas, se observan como tubos brillantes de color más claro que la roca adyacente, pero rellenas del mismo material que la roca huésped.

### Interpretación

Es interpretada como una madriguera de habitación (*Domichnia*) de un anélido o un pequeño crustáceo. Los probables formadores son *polychaete Arenicola* o la *amphipod Corophium*. Se ha postulado un modo predominantemente trópico de alimentadores en suspensión para estas estructuras.

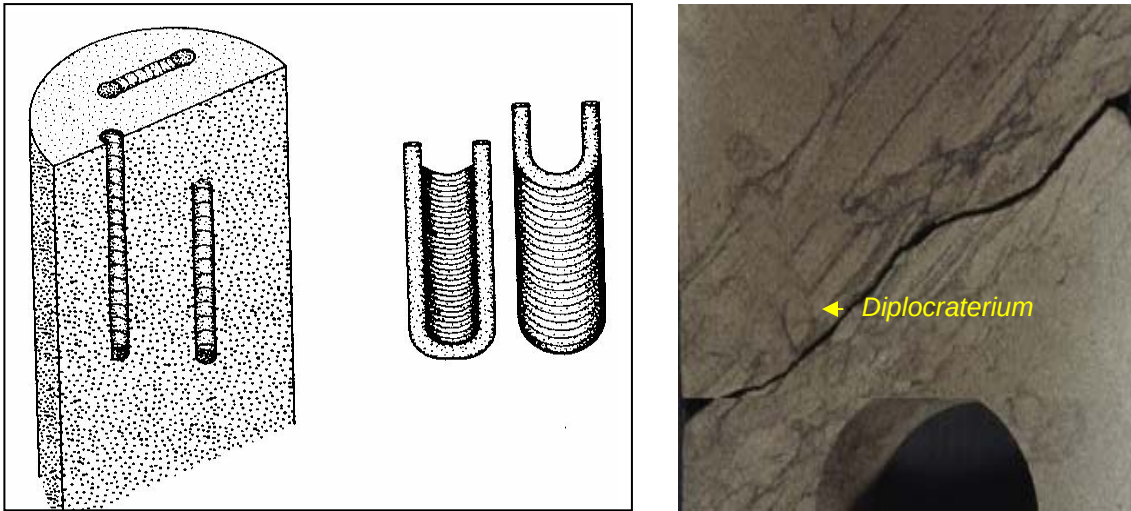
### Consideraciones ambientales:

Generalmente asociada con substratos arenosos en shoreface de baja energía o llanuras de marea arenosas (sandy tidal flats). Este es un elemento común de las ichnofacies *Skolithos*. Cuando se encuentra en gran cantidad este puede ser indicativo de una mezcla de llanuras de marea (tidal flats).

#### 4.1.3. *Diplocraterium*

Madrigueras verticales en forma de U con spreiten. El spreiten podría ser sobresaliente, no sobresaliente o una combinación de ambos; las aperturas de los tubos pueden ser cilíndricas o en forma de chimenea; los miembros de la U podrían ser paralelos o divergentes. Las dos aberturas circulares están

conectadas por una banda horizontal de sedimentos re-trabajados correspondiente al spreiten, (Figura 13).



**Figura 13.** Izq. Dibujo esquemático de Ichnofósil *Diplocraterium*. Der. Fotografía (Pozo 1, Core 14, Inter. 3594 -3595) *Diplocraterium*, madriguera vertical a subvertical de 1.1" de largo, presenta spreiten, las paredes no están marcadas y el sedimento interno es igual al de la roca huésped.

### Interpretación

Basado en análisis de características morfológicas, Fursich (1974) interpretó el *Diplocraterium* como la madriguera de habitación (*Domichnia*) de un organismo alimentador en suspensión. Los probables formadores son: *polychaetes*, *echiuroids* y *crustáceos*.

### Consideraciones ambientales:

El *Diplocraterium* es un elemento común de la parte distal de la ichnofacies *Skolithos*, en un marco shoreface medio. Este también es común en llanuras de marea arenosas y en depósitos de canales estuarinos.

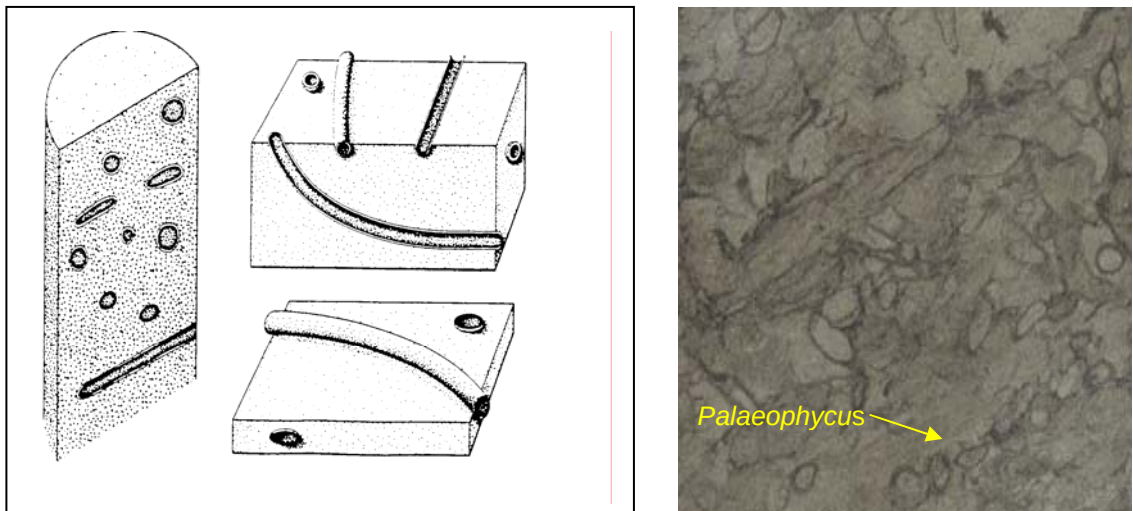
#### 4.1.4. *Palaeophycus*

Madriguera no ramificada, inclinada a horizontal, cilíndrica, el sedimento interno es típicamente de la misma litología y textura de la roca huésped. Las paredes

podrían ser lisas, longitudinalmente estriadas o con un nódulo transversal. (Figura 14).

### Interpretación

El *Palaeophycus* es morfológicamente similar al *Planolites*, es distinguido principalmente por las paredes y el relleno de las madrigueras. El relleno del *Palaeophycus* es igual al de la roca adyacente. Es interpretada como una madriguera de habitación (*Domichnia*) de un *polychaete*.



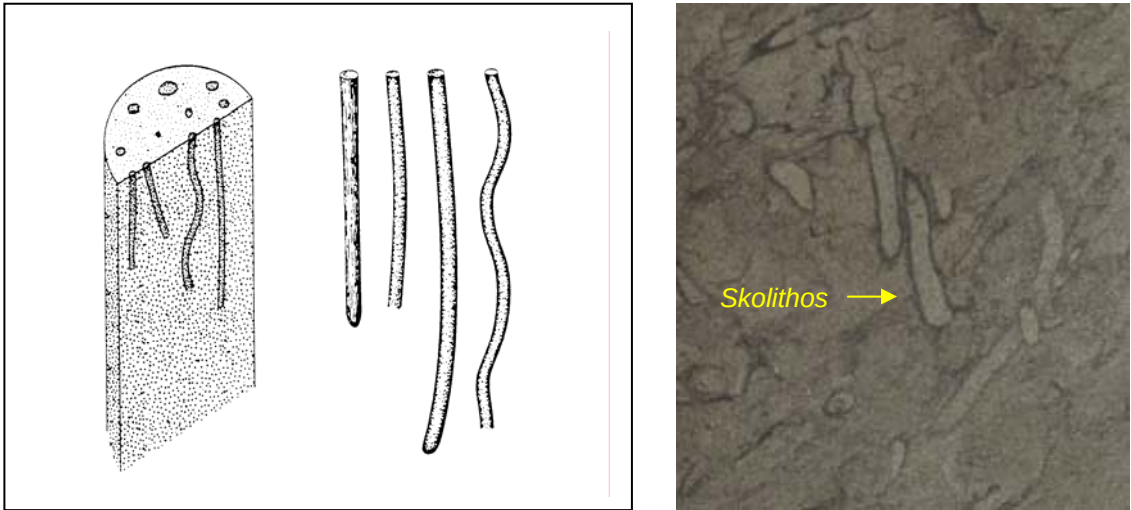
**Figura 14.** Izq. Dibujo esquemático de Ichnofósil *Palaeophycus*. Der. Fotografía (Pozo 1, Core 2, Inter. 3443 -3444) *Palaeophycus*, madriguera de 0.3" pulg. de diámetro, paredes lisas, sedimento interno igual en textura y composición de la roca huésped.

### Consideraciones Ambientales

Está asociada con la Ichnofacies *Skolithos* en ambientes shoreface tanto de baja como de alta energía y es comúnmente encontrada con *Planolites* o *Macaronichnus*. Se encuentra también en aguas salobres.

#### 4.1.5. *Skolithos*

Madrigueras no ramificadas, sub-verticales a verticales, curvadas a rectas, cilíndricas a sub-cilíndricas. Los tubos pueden ser rectos o no y generalmente presentan paredes lisas, pero podrían ser anulares (Figura 15).



**Figura 15.** Izq. Dibujo esquemático de Ichnofósil Skolithos. Der. Fotografía (Pozo 1, Core 9, Inter. 3450 -3451) Skolithos, madriguera vertical de 2.5 “pulg de largo, presenta paredes lisas gruesas y marcadas, el sedimento interno se observa más limpio que la roca adyacente.

### Interpretación

El *Skolithos* representa una madriguera de habitación (*Domichnia*) de organismos carnívoros pasivos o alimentadores en suspensión. Los organismos formadores que han sido postulados son *Sabellaria*, *Arenicola*, y *Onuphis* y larvas de insectos.

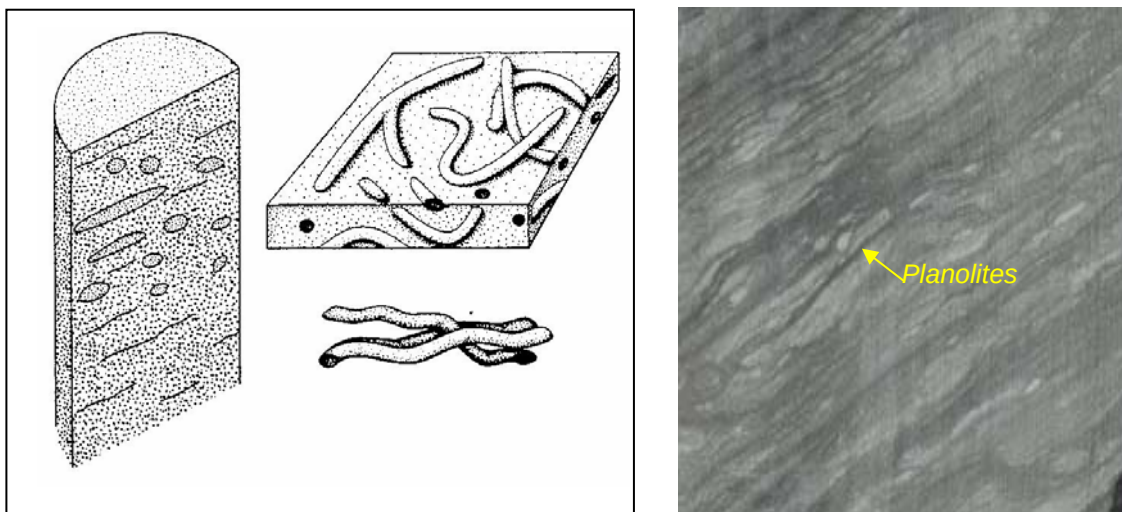
### Consideraciones ambientales

Las madrigueras de *Skolithos* están generalmente asociadas a ambientes marinos o salobres. Es un elemento de la ichnofacies *Skolithos*, porque los *Skolithos* pueden ser construidos por diferentes clases de organismos. Este es encontrado en muchos tipos de ambientes marinos o no marinos.

#### 4.1.6. Planolites

Madriguera lisa, raramente ramificada, de forma circular a elíptica en sección transversal, de dimensiones y configuraciones variables. Su relleno se distingue en litología de la roca huésped (Figura 16).





**Figura 16.** Izq. Dibujo esquemático de Ichnofósil Planolites. Der. Fotografía (Pozo 1, Core 9, Inter. 3450 -3451) Planolites, madrigueras de forma circular a elíptica de 0.2" a 0.3"pulg. de diámetro, presenta paredes lisas, el sedimento interno es diferente en textura y composición al de la roca huésped.

### Interpretación:

El *Planolites* es distinguido del *Palaeophycus* principalmente por tener las paredes lisas y el relleno de la madriguera diferente en textura, fábrica, composición y color al de la roca huésped. El relleno del *Planolites* representa sedimentos procesados por los organismos, especialmente a través de actividades de alimentadores de sedimentos (deposit feeders), probablemente *polychaetes* u otros organismos como gusanos.

### Consideraciones ambientales

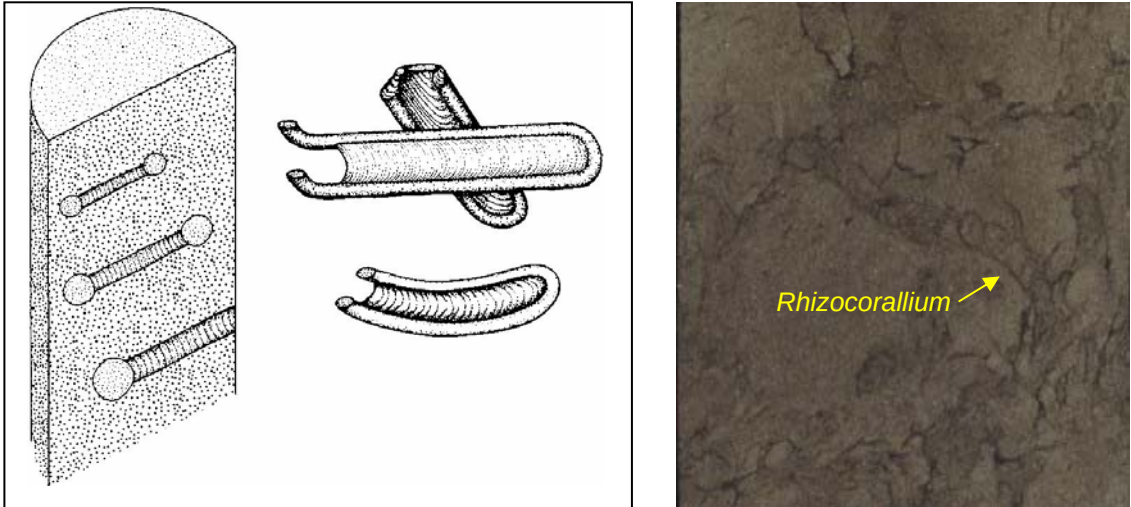
Encontrado virtualmente en todos los ambientes de aguas frescas a marino profundas.

#### 4.1.7. *Rhizocorallium*

Madrigueras en forma de U, con spreiten, horizontales de sinuosas a rectas. Los tubos son más o menos paralelos; el radio del tubo diámetro a diámetro del spreiten es 1:5. Los spreiten son típicamente sobresalientes. El relleno de la madriguera es comúnmente idéntico a la matriz, pero en algunos casos es de



grano fino. En corazonces, el *Rhizocorallium* es distinguido por dos madrigueras circulares unidos por una banda horizontal (spreiten), (Figura 17).



**Figura 17.** Izq. Dibujo esquemático de Ichnofósil *Rhizocorallium*. Der. Fotografía (Pozo 1, Core 14, Inter. 3610 -3611) *Rhizocorallium*, madriguera sub-horizontal de 2.2" pulg de largo, paredes poco marcadas, presenta spreiten y el sedimento interno es igual al de la roca huésped.

### Interpretación

Son interpretadas como alimentadores de sedimentos (*Fodinichnia*). Aunque originalmente fueron interpretados como un coral, una esponja o un alga, la presencia de distintas marcas de surcos sobre las paredes del tubo es consistente con un origen crustáceo.

### Consideraciones ambientales

El *Rhizocorallium* está asociado con ambientes completamente marinos de la ichnofacies *Cruziana* distal. Bajo ciertas condiciones este podría encontrarse en la ichnofacies *Glossifungites*.

#### 4.1.8. *Teichichnus*

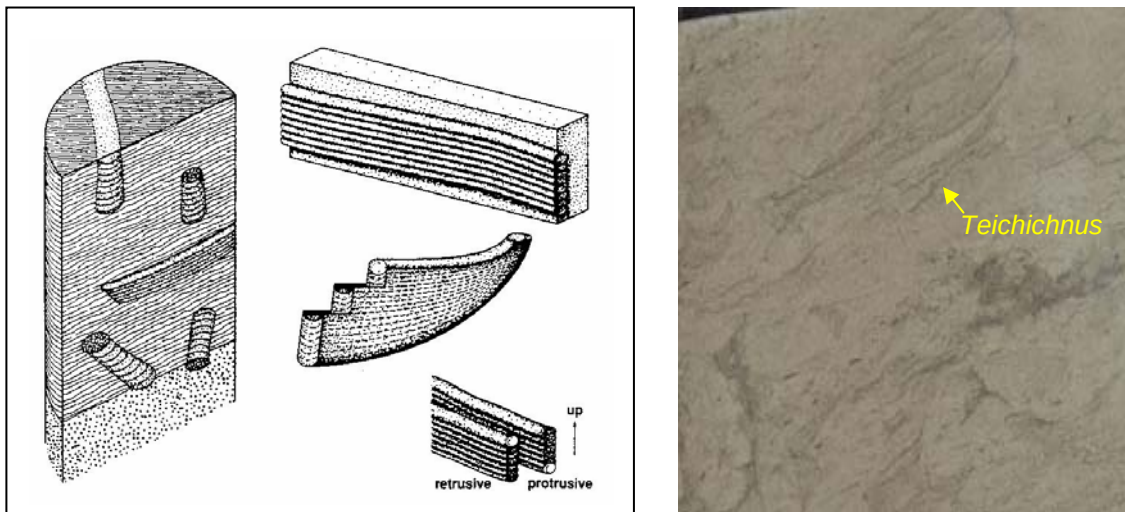
Madriguera que forma una serie vertical de paquetes apretados cóncavos hacia arriba o (más raramente) cóncavos hacia abajo. En secciones longitudinales muestran grandes láminas onduladas, que usualmente se unen hacia arriba al

final. Este es formado por la migración hacia arriba en un túnel sub-horizontal a horizontal producido por un organismo moviéndose hacia atrás y hacia adelante en el mismo plano vertical, excavando el sedimento para comer (Figura 18).

El animal que produce el *Teichichnus* podría ser un gusano, el cual migra hacia arriba en su madriguera para mantener el ritmo con la sedimentación, por lo que la madriguera es de tipo alimentadores de sedimentos (*Fodinichnia*).

### Consideraciones ambientales

El *Teichichnus* es encontrado en ambientes shoreface bajos a offshore asociados con la ichnofacies *Cruziana* y predomina en ambientes de baja energía bahía-lagoon, caracterizados por condiciones de agua salobre. Nunca está asociado con agua fresca.



**Figura 18.** Izq. Dibujo esquemático de Ichnofósil *Teichichnus*. Der. Fotografía (Pozo1, Core 5, Inter. 3137 -3138) *Teichichnus*, madriguera en forma de láminas empaquetadas de 2" pulg de largo, el sedimento interno es igual al de la roca huésped.

#### 4.1.9. *Asterosoma*

Madriguera en forma de estrella, consistente de brazos bulbosos, radiales, afilados hacia adentro y hacia el centro. Los brazos tienden a ser circulares en sección transversal y consisten de laminación concéntrica de arenas y arcillas, llenadas

alrededor de un tubo central; el exterior es generalmente liso, pero pueden exhibir estrías o arrugas longitudinales, (Figura 19).

### Interpretación

El *Asterosoma* ha sido interpretada como la madriguera de alimentación (*Fodinichnia*) de un gusano. Los organismos parecen haber probado el sedimento repetidamente para ampliar la galería y trabajar más el sedimento verticalmente y lateralmente. El sedimento del relleno podría estar relacionado con funciones de bodega de los residuos de alimentación.



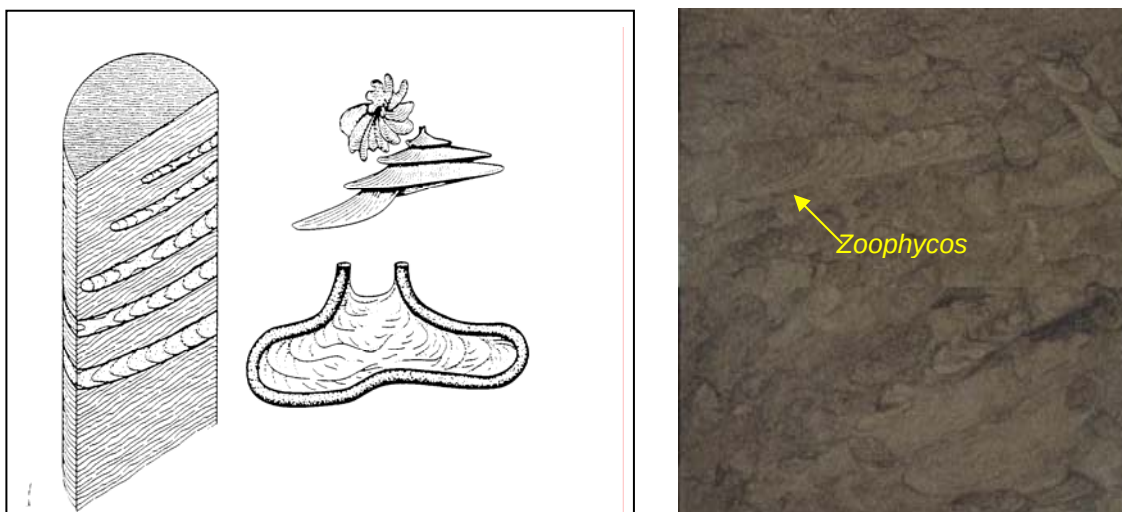
**Figura 19.** Izq. Dibujo esquemático de Ichnofósil *Asterosoma*. Der. Fotografía (Pozo 1, Core 7, Inter. 3207 -3208) *Asterosoma*, madriguera en forma de estrella de 2.3" pulg de largo, presenta brazos alargados, en el centro se forma una laminación concéntrica, el sedimento interno es igual al de la roca huésped.

### Consideraciones ambientales

El *Asterosoma* representa una estructura de alimentación especializada y está por lo tanto más comúnmente asociada con condiciones completamente marinas. Generalmente es encontrada en la parte superior del frente costero inferior (lower shoreface upper) en asociación con *Rosselia*. Es común de la ichnofacies *Cruziana*.

#### 4.1.10 Zoophycos

El *Zoophycos* es básicamente una lámina lobulada a circular con spreiten, plana, inclinada, curvada o cortada en cierto modo a lo largo de un eje vertical central. El spreiten de la madriguera es una red sub-horizontal a horizontal de túneles paralelos yuxtapuestos cercanamente. Cada túnel en la madriguera representa la trayectoria de su aparato de alimentación durante una simple probada del sedimento. Sucesivas comidas lado a lado del sedimento en el mismo plano producen un spreiten horizontal, (Figura 20).



**Figura 20.** Izq. Dibujo esquemático de Ichnofósil *Zoophycos*. Der. Fotografía (Pozo 1, Core 7, Inter. 3206 -3207) *Zoophycos*, madriguera horizontal a sub-horizontal de 2.42" de largo, se forman túneles con spreiten, las paredes son suaves y poco marcadas.

#### Interpretación

Es interpretada como una madriguera de alimentación o de pastoreo producida por un organismo vermiforme (*phylum Sipunculida*). Otras interpretaciones sugieren que el organismo fue un anélido.

#### Consideraciones ambientales

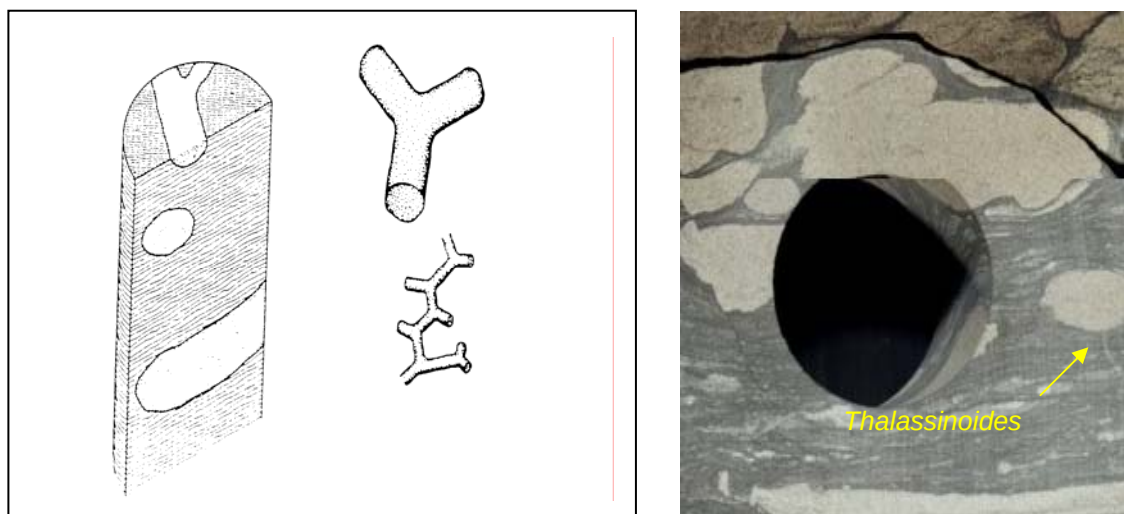
Asociado con ichnofacies *Zoophycos* y *Cruziana* distal en una ambiente de plataforma offshore, completamente marino.

#### 4.1.11. *Thalassinoides*

Sistemas de madrigueras relativamente grandes cilíndricas, conformadas por paredes lisas. Presenta brazos en forma de Y y T. La mayoría son esencialmente horizontales a irregularmente inclinadas, (Figura 21).

#### Interpretación

Los *Thalassinoides* son reconocidos como madrigueras de alimentación (*Fodinichnia*) o de habitación (*Domichnia*) de crustáceos.



**Figura 21.** Izq. Dibujo esquemático de Ichnofósil *Thalassinoides*. Der. Fotografía (Pozo1, Core 2, Inter. 3060 -3061) *Thalassinoides*, madriguera cilíndrica de 0.8" pulg. de diámetro, paredes lisas, sedimento interno de diferente composición al de la roca huésped.

#### Consideraciones ambientales

Está asociada con la ichnofacies *Cruziana* en ambientes shoreface bajo a offshore y podrían encontrarse en baja cantidad en aguas salobres.

#### 4.1.12. *Helminthopsis*

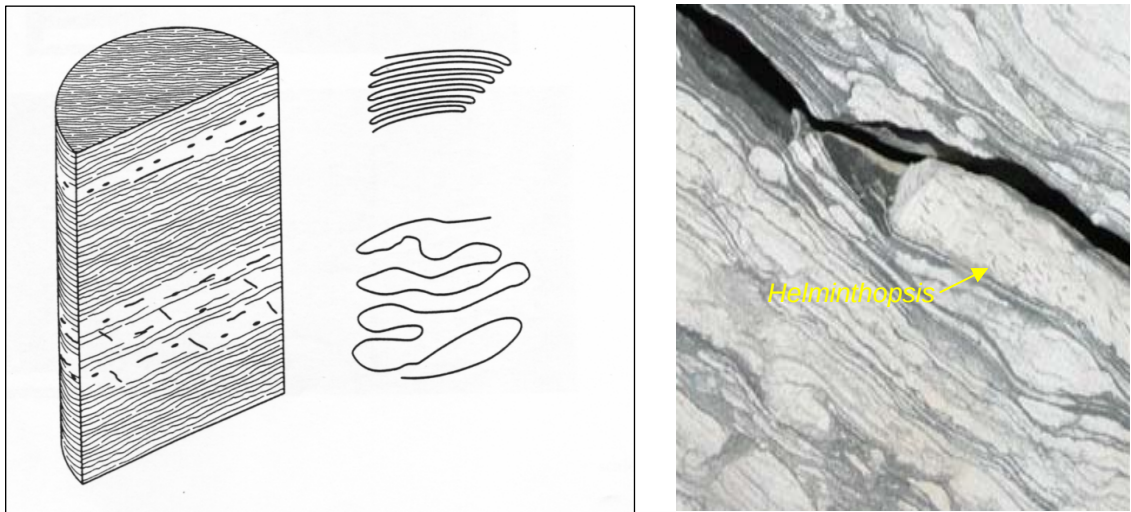
Madrigueras con paredes lisas, las cuales no presentan ramificaciones, regularmente meandriforme. En sección transversal, las madrigueras son elípticas



a subcirculares y son generalmente horizontales. El relleno tiende a ser diferente al de la matriz de la roca huésped. En corazón, la *Helminthopsis* aparece comúnmente como diminutos puntos negros (sección transversal) de 1 a 3 mm de diámetro o líneas negras (sección longitudinal), (Figura 22).

### Interpretación

La *Helminthopsis* representa la huella de pastoreo de gusanos.



**Figura 22.** Izq. Dibujo esquemático de Ichnofósil *Helminthopsis*. Der. Fotografía (Pozo 1, Core 16, Inter. 3671 -3672) *Helminthopsis*, aparece como diminutas líneas negras con paredes lisas.

### Condiciones ambientales

Es un elemento común de la ichnofacies *Cruziana* distal y de la ichnofacies *Zoophycos* proximal sobre una plataforma marino somera normal. En algunos casos la *Helminthopsis* puede estar asociada con baja energía y a ambientes de bahía de grano fino.

### 4.2. FRACTURAS

Los datos obtenidos en la caracterización de fracturas (tablas en Excel), que se tienen en cuenta para el análisis de este estudio son los relacionados con las Fracturas Naturales, debido a que estas intervienen en el flujo y almacenamiento

de hidrocarburos. Sin embargo, dentro de la caracterización se realizó un conteo de fracturas inducidas, naturales inducidas y estilolitos, información que puede ser utilizada para resolver problemas en otros campos.

#### **4.2.1. Base de datos.**

La tabla en archivos de Excel, contiene un libro con las siguientes hojas de cálculo:

- **Hoja 1:** *Descripción de Parámetros:* Contiene información acerca de los parámetros establecidos en la descripción de las fracturas observados directamente de los núcleos.
- **Hoja 2:** *Rosetas:* Presenta la orientación aparente de las fracturas que en este caso están referenciadas con un Norte arbitrario. La información de la aptitud de las fracturas es graficada con el programa *GEORIENT 9.2* generándose el diagrama rosa para cada pozo.

La información requerida para la elaboración de los diagramas rosa se guardó en archivos .txt.

- **Hoja 3:** *Número de Fracturas vs Profundidad:* Dentro de este formato está contenido el conteo de fracturas naturales vs. profundidad, generándose un diagrama de barras que muestra los intervalos más fracturados.
- **Hoja 4:** *Apertura:* En este parámetro se tiene en cuenta la separación o no de los planos que conforman la fractura dentro del núcleo, asignándoles un número según el tipo de apertura. Si la fractura esta abierta (1), cerrada (2), rellena (3), parcialmente rellena (4), parcialmente abierta (5) y para puentes cristalinos (6),

generándose de esta manera un diagrama de torta donde se pueden visualizar los porcentajes de cada uno de los tipos de apertura antes mencionados.

- **Hoja 5: Perfil de la Fractura:** Es la forma como se observa la fractura lateralmente. El perfil se clasifica como recto (1), sinuoso (2) o dentado (3), generándose un diagrama de torta, donde se pueden ver los porcentajes de cada tipo.

**Hoja 6: Morfología de la pared:** Es la característica de la superficie de la pared de la fractura, clasificada como: uniforme (1), rugosa (2) y estriada (3). De igual manera que en la hoja anterior, se generó un diagrama de torta en el cual se visualizan los porcentajes.

#### **4.2.2. Identificación de los sistemas fracturados.**

Los Diagramas Rosa generados a partir de la caracterización de las fracturas naturales presentes en los núcleos del Pozo 1, permiten determinar una orientación relativa de los Sistemas Fracturados obteniendo las siguientes rosetas, teniendo en cuenta que la orientación es asumida con el norte perpendicular a la cara del núcleo, pero esto a su vez debe validarse con registros de imagen.

- **Fracturas de Compresión.**

En este diagrama se observan dos sistema de fracturas preferenciales en dirección N15 W y N45W, (Figura 23).

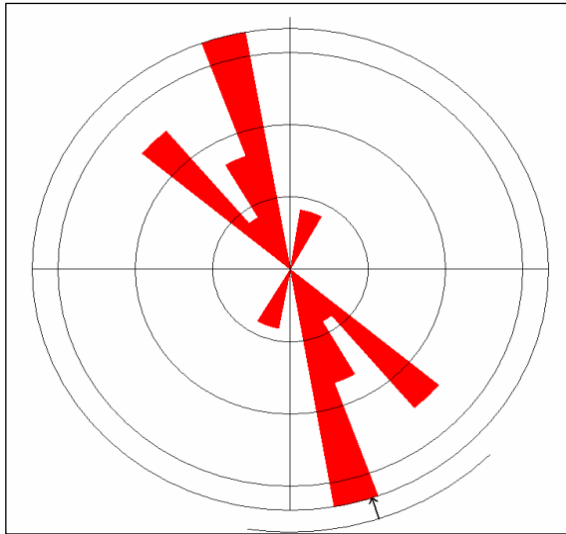
- **Fracturas de Tensión.**

El diagrama rosa muestra tres sistemas de fracturas con una tendencia preferencial en dirección N5E, N25W, N40E, (Figura 24).



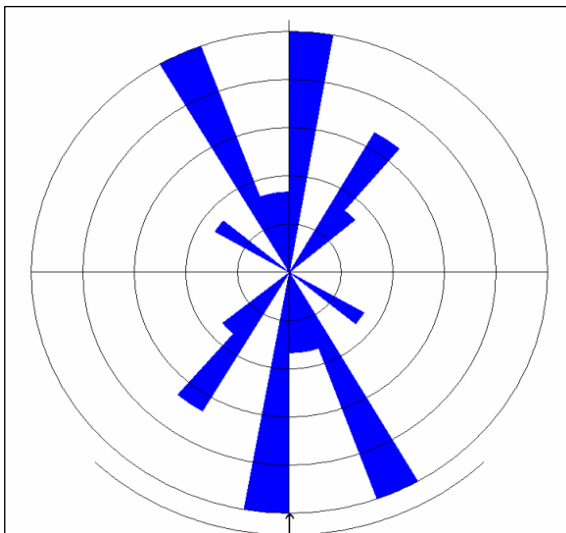
- **Fracturas de Cizalla.**

La escasez de datos para las fracturas de cizalla, no permite graficar e identificar una tendencia preferencial del sistema de fracturas



Dates Number = 12  
Sector angle = 10°  
Scale: tick interval = 10% [1.2 data]  
Maximum = 33.3% [4 data]  
Mean Resultant dir'n = 162-342  
[95% Confidence interval = ±27°]

**Figura 23.** Diagrama Rosa para Fracturas de Compresión. Numero de datos ploteados: 12 Se presenta dos sistemas fracturados con tendencia relativa preferencial N15W y N45W

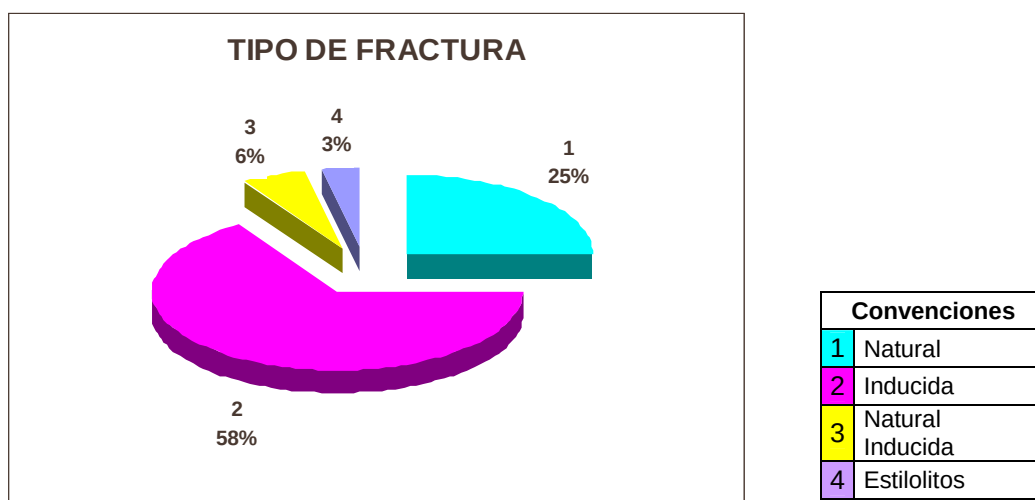


Dates Number = 12  
Sector angle = 10°  
Scale: tick interval = 5% [0.6 data]  
Maximum = 25% [3 data]  
Mean Resultant dir'n = 180-360  
[95% Confidence interval = ±44°]

**Figura 24.** Diagrama Rosa para Fracturas de Tensión. Numero de datos ploteados: 12 Se presentan tres sistemas fracturados con tendencia relativa preferencial N5E, N25W y N40E.

### 4.2.3. Resultados Estadísticos

En el análisis de fracturas para el Pozo de estudio, (Formación Guadalupe Inferior, VSM) se caracterizaron 546 pies, de los cuales 12.33 pies de corazón se encuentran preservados. Se identificaron 205 fracturas naturales, 540 fracturas inducidas, 46 fracturas naturales-inducidas y 27 estilolitos, para un total de 818 fracturas descritas (Figura 25).



**Figura 25.** Distribución del tipo de fracturas caracterizadas en el Pozo 1.

A continuación se muestran los análisis de los parámetros para las fracturas naturales las cuales influyen en el almacenamiento y flujo de hidrocarburos.

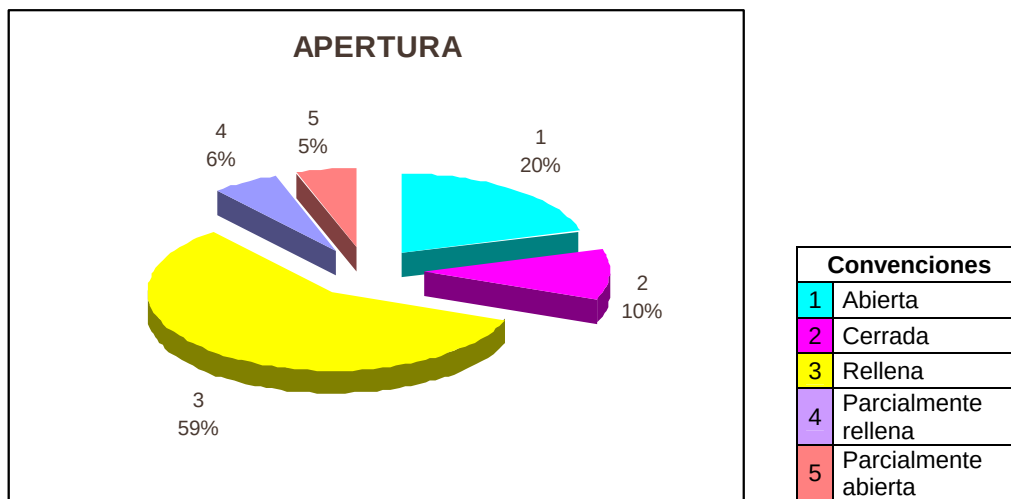
#### **Apertura.**

Se caracterizaron 205 fracturas naturales, de las cuales 42 son fracturas abiertas, 21 son fracturas cerradas, 119 son fracturas rellenas, 12 son fracturas parcialmente rellenas y 11 son fracturas parcialmente abiertas. (Figura 26)

En el diagrama de torta, se observa que las fracturas rellenas representan el 59% del total de las fracturas naturales, evidenciando que bajo condiciones de espacio, composición del fluido mineralizante, presión y temperatura adecuados, los fluidos

que percolan las fracturas precipitan y rellenan las paredes de las fracturas, las fracturas naturalmente abiertas representan el 20 %, lo cual revela que puede haber un indicador para la acumulación de hidrocarburos.

Los minerales que se encuentran relleno las fracturas son principalmente: Calcita, Siderita, Cuarzo, Pirita y Óxidos.

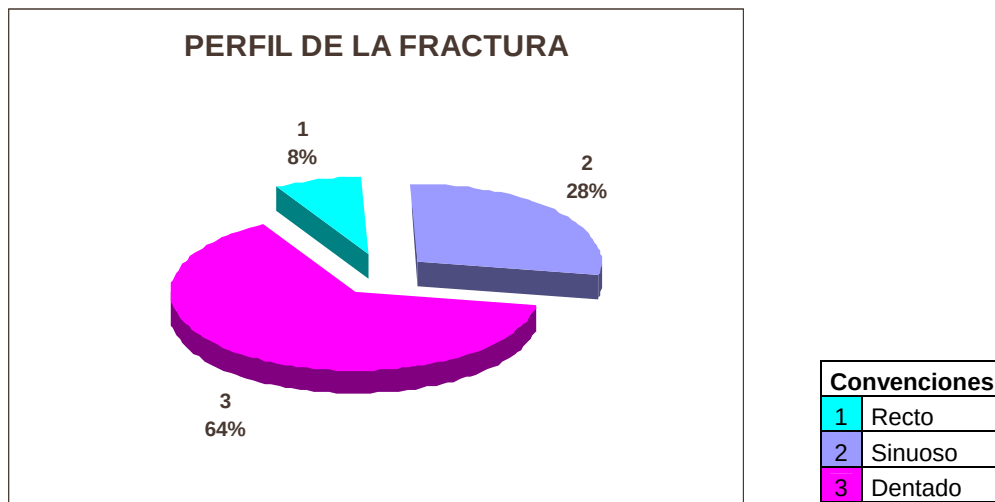


**Figura 26.** Distribución del tipo de apertura para fracturas caracterizadas en el Pozo 1.

- **Perfil de la Fractura.**

Se analizaron 205 fracturas naturales, de las cuales 16 son fracturas de perfil recto, 58 son de perfil sinuoso y 131 de perfil dentado (Figura 27).

En la figura 26, se observa que las fracturas de perfil dentado equivalen al 64% del total de fracturas naturales y las fracturas de perfil sinuoso al 28 %. De acuerdo a estos resultados las fracturas de perfil dentado presentan el mayor porcentaje, indicando que aumenta el grado de tortuosidad para el flujo de hidrocarburos.

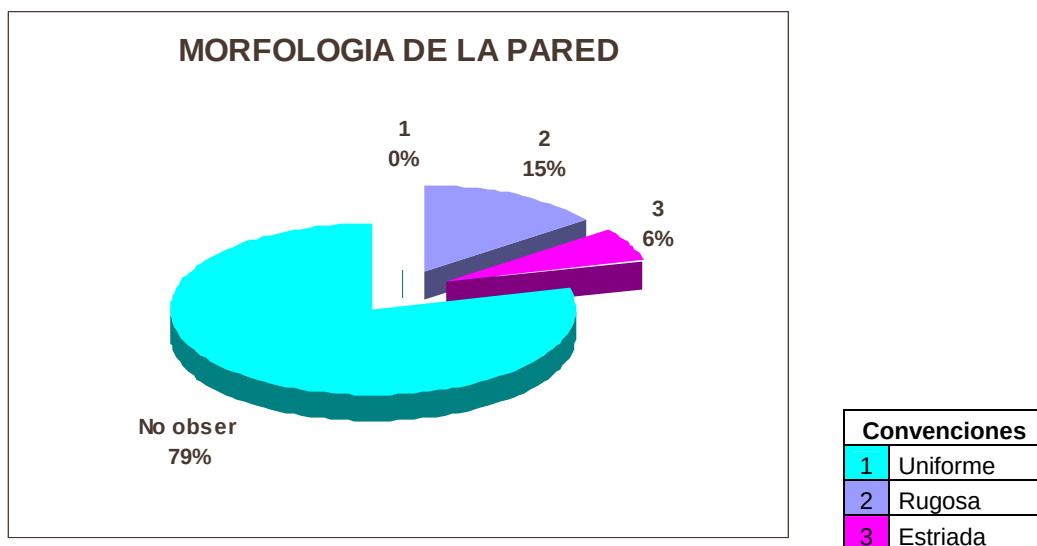


**Figura 27.** Distribución del tipo de perfil para fracturas caracterizadas en el Pozo 1

- **Morfología de la pared.**

Este parámetro, fue caracterizado en fracturas naturalmente abiertas y parcialmente abiertas, del total de fracturas naturales (205), de las cuales 30 presentan morfología rugosa, 13 morfología estriada y en 162 de éstas no puede ser identificada (Figura 28).

Se obtuvo un número significativo de fracturas en las cuales su pared no es observable (79%), las fracturas con morfología de pared rugosa corresponden al 15 % y las fracturas con paredes estriadas al 6 %. La suma de los porcentajes de fracturas con pared rugosa y estriada (21%), indica que se presenta tortuosidad para el flujo de fluidos, ya que las fracturas con pared uniforme que son las que presentarían mejores condiciones no están presentes



**Figura 28.** Distribución del tipo de Morfología de la pared para las fracturas caracterizadas en el Pozo 1.

## 5. ANALISIS

La caracterización de facies se realizó haciendo un análisis detallado del Pozo 1, teniendo en cuenta la combinación de características particulares como litología, estructuras biológicas y físicas, las cuales confieren sobre la roca un aspecto diferente.

El estudio muestra que la Formación Guadalupe Inferior (VSM), esta dividida en las siguientes facies (Figuras 29-35).



**Figura 29. Ab:** Cuarzoarenita (Folk, 1974).

*de grano fino a muy fino, moderada a intensamente bioturbada, se observa un predominio absoluto de las estructuras sedimentarias biogénicas sobre las estructuras sedimentarias físicas, ocasionalmente con desarrollo interno de textura moteada difusa. Hacia la base se observan asociaciones de ichnofósiles característicos de la ichnofacies Skolithos y hacia el techo una influencia de ichnofósiles de la ichnofacies Cruziana. La bioturbación se marca por las paredes de las madrigueras revestidas de material fino arcillo-carbonoso. El grado de impregnación de hidrocarburo es de moderado a alto.*

*Profundidad: Core 12. 3553-3554*

*% Facie Ab: 44 %*

**Figura 30. Abre:** Cuarzoarenita (Folk, 1974), de grano fino a muy fino, intensa a completamente bioturbada, de aspecto moteado, con laminillas onduladas de material carbonoso intercaladas, formando una especie de enjambres en los que se resaltan madrigueras de *Ophiomorpha* hacia la base y relictos de estratificación cruzada hacia el techo. El grado de Impregnación de hidrocarburo es moderado. Profundidad: Core 19. 3742-3743  
% Facie Abre: 8 %



**Figura 31. Alb:** Arenisca lodosa, (Subarcosa, Folk, 1974), de grano muy fino, bien seleccionada, altamente bioturbada, con ichnofósiles pertenecientes a la Ichnofacies Cruziana, principalmente *Asterosoma*, *Zoophycos*, sin rastros de estructuras sedimentarias inorgánicas. El grado de impregnación de hidrocarburo es de moderado a bajo. Profundidad: Core 5. 3135-3136  
% Facies Alb: 11 %

**Figura 32. Arf:** Cuarzoarenita (Folk, 1974) de grano fino, con concentración de restos fosfáticos de peces, espículas, algas y conchas, las cuales se asocian con guijas dándole a la roca mala selección, ligeramente bioturbadas por *Ophiomorpha*. El grado de impregnación de hidrocarburo es moderado.

Profundidad: Core 13. 3569-3570

% Facies Arf: 9 %



**Figura 33. Ac:** Arenisca calcárea de grano fino, muy fracturada, con intervalos de caliza tipo Mudstone y fragmentos fósilíferos e intraclastos calcáreos, tipo Wackestone (Dumham, 1962), la cual presenta intercalaciones de arenisca de grano fino con clastos calcáreos, moderadamente bioturbada por *Ophiomorpha*. El grado de impregnación de hidrocarburo es bajo. No se observan laminaciones ni estratificación.

Profundidad: Core 15. 3636-3637

% Facies Ac: 7 %



**Figura 34. Faldl:** Limolita arcillosa, con delgadas láminas de cuarzoarenita muy fina, ligeramente bioturbadas, hacia la base se observan intervalos de limolita con alto contenido de foraminíferos.

Se postula como la facies menos afectada por el nivel de acción de oleaje y tormentas.

Profundidad: Core 3. 3068 - 3069

% Facies Faldl: 10 %



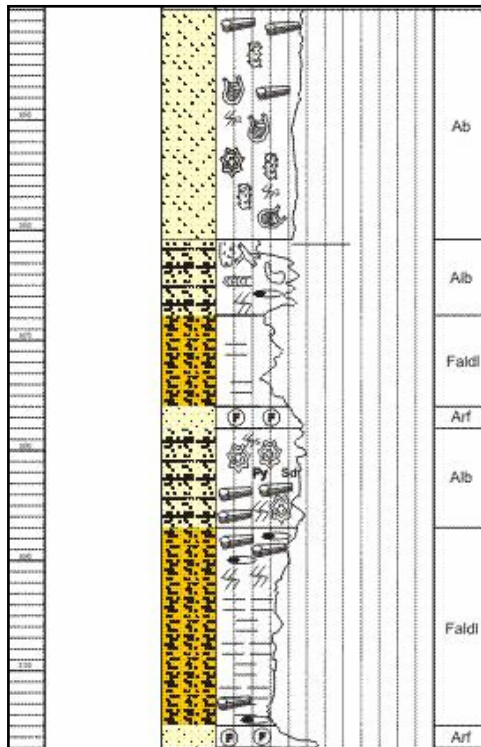
**Figura 35. Flab:** Limolita – arenosa, altamente bioturbada. Se observa un predominio de laminación ondulosa con bioturbación abundante hacia el techo en donde se resaltan las madrigueras que han sido afectadas por compactación y hacia la base presenta interestratificaciones de limolitas con laminación paralela a lenticular.

Profundidad: Core 18. 3712-3713

% Facies Flab: 9 %

La Formación Guadalupe Inferior en el Valle superior del Magdalena (Pozo 1), se encuentra conformada hacia la base por cuarzoarenitas de grano muy fino a fino, moderada a intensamente bioturbadas, intercaladas por limolitas arcillosas bioturbadas y cuarzoarenitas con restos fosfáticos, además presenta un intervalo calcáreo conformado por calizas micríticas y cuarzoarenitas calcáreas bioclásticas. Hacia el tope se observan cuarzoarenitas de grano muy fino, intensamente bioturbadas intercaladas con arcillolitas limosas laminadas.

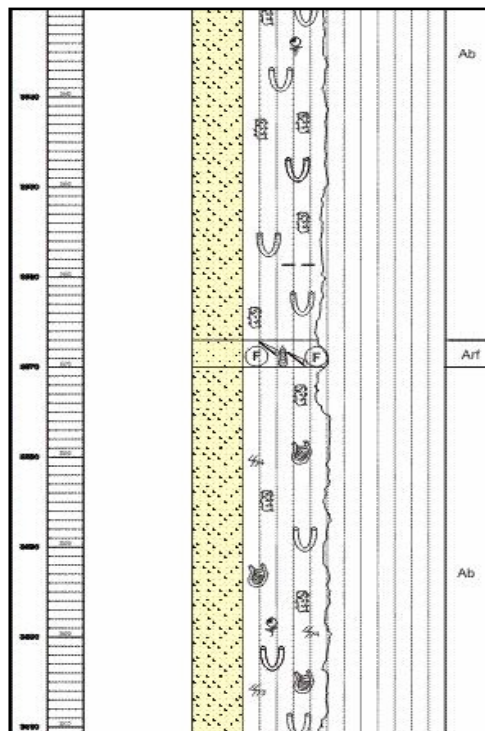
Las secuencias de cuarzoarenita de grano fino a muy fino, altamente a intensamente bioturbada (Ab), se encuentran limitadas por capas de grano ligeramente más grueso, con alto contenido de fosfatos, material esquelético de peces, espículas y restos de conchas (Arf), éstas a su vez están limitadas por sedimentos limo – arcillosos (Flab - Faldl).



**Figura 36.** Columna Pozo 1. Intervalo 3243ft-3010ft

Estas secuencias cíclicas se observan en los intervalos entre (3727 ft– 3660 ft) y (3243ft y 3010ft) donde el incremento de fosfatos está asociada a una subida del nivel del mar (Figura 36).

El intervalo entre (3618ft - 3438ft), esta caracterizado por secuencias de cuarzoarenita bioturbada (Ab) principalmente por *Ophiomorpha* y *Arenicolites*, muy compactas limitadas por sedimentos de grano más grueso con alto contenido de material esquelético y restos fosfáticos (Arf), (Figura 37).



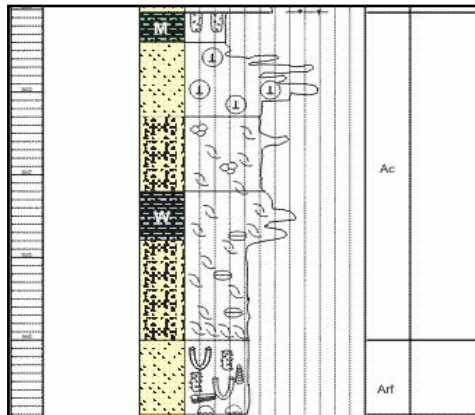
**Figura 37.** .Columna Pozo 1. Intervalo 3438ft-3618ft

La intensa bioturbación impide una interpretación basada en estructuras sedimentarias inorgánicas. En el intervalo anterior entre los 3500.6 ft – 3474 ft de profundidad se observa una secuencia (Abre), caracterizada como cuarzoarenita intensa a completamente bioturbada, de grano fino a muy fino con estratificación cruzada y relictos de estratificación representados por laminillas de material

carbonoso ligeramente discontinuos, los cuales pueden estar asociados a una sedimentación controlada por corrientes de marea entrante y saliente.

Esta secuencia es también identificada a la profundidad entre 3750 ft y 3730.2 ft, donde se observan laminillas de material carbonoso ocasionalmente discontinuas, intensa a completamente bioturbadas con algunas madrigueras de *Ophiomorpha*.

Una capa de conchas dentro de una matriz arenosa, marca un intervalo (3660 ft – 3618 ft) interpretado como una facies calcárea (Ac), representada por la asociación de carbonatos y areniscas calcáreas de grano fino, que fueron depositadas en un ascenso del nivel del mar, detrás de una isla de barrera en un ambiente lagoon, donde la presencia de micrita hacia el tope indica aguas tranquilas libres de corrientes (Figura 38).



**Figura 38.** Columna Pozo 1. Intervalo 3660 ft – 3618 ft

Una vez realizada la caracterización de facies, se procede a realizar la calibración registro roca (Anexo A) y a analizar las trazas fósiles y el concepto de ichnofacies, los cuales destacan su valor geológico debido a que se encuentran estrechamente relacionados con la batimetría y por lo tanto es posible realizar una reconstrucción paleoambiental a partir de ellos.

Los parámetros de distribución de los fósiles traza encontrados en este estudio permiten reconocer que la Formación Guadalupe Inferior, se encuentra ambientalmente controlada por las comunidades de ichnofacies *Cruziana*, y *Skolithos* las cuales son más características de ambientes marinos cerca a la costa. Estas serán descritas a continuación según la clasificación de ichnofacies de Pemberton (1984).

### **5.1. ICHNOFACIES CRUZIANA**

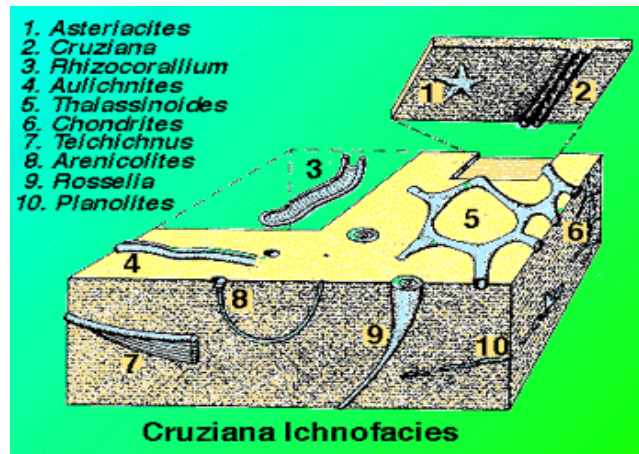
La Ichnofacies *Cruziana* fue una de las cuatro ichnofacies definidas originalmente por Seilacher (1964). Inicialmente esta ichnofacies fue definida para medios de plataforma somera entre el nivel de oleaje normal y el nivel de oleaje de tormenta, pero posteriormente ha sido reconocida en otros ambientes someros de energía baja o moderada, como lagoons y estuarios. El rango de la tasa de depositación es desde insignificante a apreciable, pero no es normalmente rápida.

En niveles de baja energía (pero no insignificante), las provisiones de comida consisten tanto de elementos depositados como suspendidos. Cada fracción puede predominar localmente, o las dos pueden estar mezcladas. Los organismos característicos incluyen tanto alimentadores de sedimentos como en suspensión, para carnívoros y carroñeros móviles. Los rastros de excavadores epibentónicos y endobentónicos pueden también ser comunes y reflejar la abundancia, diversidad y accesibilidad del alimento (Figura 39).

La ichnofacies *Cruziana* está caracterizada por:

- Estructuras horizontales y verticales inclinadas de asociación variada.
- La presencia de estructuras construidas por organismos móviles.
- Generalmente alta diversidad y abundancia
- La mayoría de estructuras de pastoreo (*grazing*) y alimentación (*feeding*) son construidas por alimentadores de sedimentos (Deposit feeders).

La Ichnofacies *Cruziana* suele exhibir una diversidad elevada con dominio de estructuras producidas por sedimentívoros *Pascichnia* (*Helminthopsis*, *Cruziana* o *Phycosiphon*) y *Fodinichnia* (*Thalassinoides*, *Rhizocorallium* o *Teichichnus*), son los grupos etológicos dominantes, aunque *Domichnia*, *Repichnia* y *Cubichnia* son también comunes.



**Figura 39.** Ichnofacies *Cruziana*. Fuente: [http://research.eas.ualberta.ca/ichnology/irg\\_links.html](http://research.eas.ualberta.ca/ichnology/irg_links.html)

La ichnofacies *Cruziana* se interpretó en un intervalo corazonado (3727ft – 3660 ft) del Pozo 1, donde los ichnofósiles reconocidos en la descripción sedimentológica fueron: *Planolites*, *Asterosomas*, *Teichichnus*, *Ophiomorpha*, *Helminthopsis*, *Rhizocorallium*?

Estos son indicadores de ambientes de plataforma. Las secuencias incluyen substratos someros por debajo del nivel mínimo, pero no máximo de olas, a condiciones de “offshore” algo más tranquilas; de energía moderada a relativamente baja.

Estas características ambientales están respaldadas por las facies encontradas en este intervalo, las cuales consisten de limolitas arcillosas bioturbadas (Flab) a

arenas de grano muy fino, limpias y bien seleccionadas de moderada a intensamente bioturbadas (Ab).

El intervalo entre 3240ft – 3010ft, se interpretó como Ichnofacies *Cruziana*. La asociación de ichnofósiles más característicos son: *Zoophycos*, *Asterosomas*, *Teichichnus*, *Rhizocorallium*, *Diplocraterium*. La interpretación de esta ichnofacies es coherente con las facies identificadas en este intervalo como son arcillolitas limosas (Faldl), arenas lodosas (Alb) y arenas de grano muy fino a fino, bien calibradas, intensamente bioturbadas (Ab).

En este intervalo es notoria la presencia del ichnofósil *Zoophycos*, el cual está asociado con la ichnofacies *Cruziana* distal, bajo niveles normales de oxígeno.

## **5.2. ICHNOFACIES SKOLITHOS**

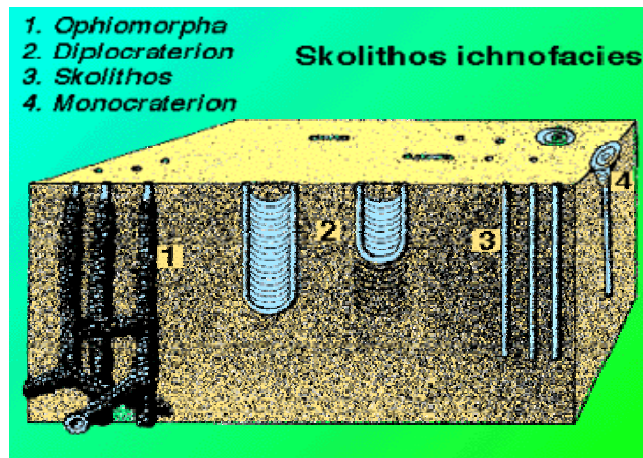
La ichnofacies *Skolithos* (Seilacher, 1964), corresponde a medios depositacionales de elevada energía hidrodinámica, habitualmente con frecuentes fenómenos erosivos. Los procesos erosivos eliminan posibles estructuras biogénicas producidas por sedimentívoros y suspensívoros en los niveles más superficiales del sedimento (Bromley y Asgaard, 1991). El resultado es una asociación con baja diversidad dominada por las estructuras más profundas que incluyen fundamentalmente pozos verticales (*Skolithos*, *Ophiomorpha*) y estructuras de equilibrio (*Diplocraterium*, *Conichnus*). Ocasionalmente cuando la erosión no es tan importante, estructuras de depositívoros tales como *Macaronichnus* o *Dactyloidites* pueden también conservarse (Gilbert et al, 1996). La Ichnofacies *Skolithos* es típica de ambientes arenosos, tales como zonas litorales y sublitorales de playas, barras arenosas o frentes deltáicos. Aunque típicamente marina somera, la Ichnofacies *Skolithos* puede también aparecer en medios marinos profundos cuando la existencia de corrientes de fondo proporciona



condiciones similares a las citadas anteriormente, como por ejemplo en canales tributarios de abanicos submarinos (Frey *et al.* 1990) (Figura 40).

La ichnofacies *Skolithos* está caracterizada por:

- Madrigueras en forma de U o cilíndricas, predominantemente verticales.
- Madrigueras en U algunas veces con spreiten sobresaliente y no sobresaliente, las cuales se desarrollan en respuesta a la degradación o agradación del substrato.
- Pocas estructuras horizontales.
- Pocas estructuras producidas por organismos móviles.
- Baja diversidad aunque las formas individuales pueden ser abundantes.
- La mayoría de las madrigueras de habitación son construidas por alimentadores en suspensión o carnívoros pasivos.
- Trazas de vertebrados particularmente en posiciones de baja energía.



**Figura 40.** Ichnofacies *Skolithos*. Fuente: [http://research.eas.ualberta.ca/ichnology/irg\\_links.html](http://research.eas.ualberta.ca/ichnology/irg_links.html)

En los intervalos ( 3770 – 3727) y (3618 – 3438) del Pozo 1, se interpretaron como un ambiente de energía moderada a relativamente alta, asociada a ichnofacies *Skolithos*, con sedimentos caracterizados por cuarzoarenitas de grano fino a muy



fino, bien seleccionadas, altamente bioturbadas y cuarzoarenitas con relictos de estratificación, completamente bioturbadas.

Los ichnofósiles pertenecientes a la ichnofacies *Skolithos* que fueron reconocidos en la descripción sedimentológica del Pozo 1 son: *Ophiomorpha*, *Arenicolites*, *Skolithos*, *Palaeophycus*, *Diplocraterium*.

La *Ophiomorpha* y los *Arenicolites* se observan de 1 a 4.5 pulgadas de largo, lo que lleva a pensar que los crustáceos que originaron estas madrigueras de habitación eran de gran tamaño

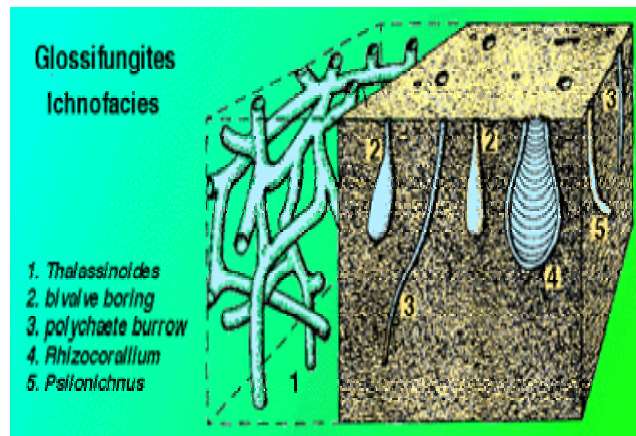
Las trazas fósiles y la asociación de trazas fósiles también pueden ser empleados efectivamente como ayuda para el reconocimiento de varios tipos de discontinuidades; y el delineamiento del origen de una discontinuidad es vital para la resolución de ambientes deposicionales.

En el Pozo 1, se registraron tres límites de secuencias marcados mediante el reconocimiento de ichnofacies substrato-controladas (ichnofacies *Glossifungites*), las cuales marcan brechas temporales entre la depositación original de la unidad y la posterior superposición de una asociación de trazas post-deposicionales.

### **5.3. ICHNOFACIES GLOSSIFUNGITES**

La ichnofacies *Glossifungites* es de amplio rango paleoambiental, pero sólo se desarrolla en substratos firmes, no litificados, especialmente substratos firmes carbonáticos semiconsolidados o substratos fangosos estables, cohesivos y parcialmente deshidratados; tanto en áreas protegidas de energía moderada como en áreas de energía algo más alta donde los substratos semiconsolidados micríticos o siliciclásticos ofrecen resistencia a la erosión. La pérdida de agua resulta del soterramiento y, si son exhumados por erosión posterior, los

substratos, se vuelven disponibles para la colonización por parte de los organismos (Pemberton y Frey, 1985). La exhumación puede ocurrir de la migración lateral de un canal o por incisión de valles en ambientes terrestres como resultado de migración de canales mareales, erosión costera, retrabajamiento erosivo del “shoreface” en ambientes marinos someros ó de la actividad de canales submarinos que cortan a través de sedimentos previamente depositados en ambientes marinos profundos (Hayward, 1976; Fürsich y Mayr, 1981; Pemberton y Frey, 1985). (Figura 41).



**Figura 41.** Ichnofacies *Glossifungites*. Fuente: [http://research.es.ualberta.ca/ichnology/irg\\_links.html](http://research.es.ualberta.ca/ichnology/irg_links.html)

La ichnofacies *Glossifungites* está caracterizada por:

- Pseudoperforaciones verticales, cilíndricas, en forma de “U” o gotas, excavaciones de habitación densa o espaciadamente bifurcadas y/o mezclas de excavaciones y pseudoperforaciones.
- Spreiten protusivo en algunas excavaciones que se desarrollan principalmente a través del crecimiento del animal (*Diplocraterium* y *Rhizocorallium*) en forma de embudo.
- Algunas especies intermareales (e.g. cangrejos), abandonan la excavación para alimentarse, otras son mayormente suspensívoras.
- Baja diversidad aunque comúnmente abundantes estructuras individuales.

La ichnofacies *Glossifungites* es de útil ayuda para el reconocimiento de discontinuidades.

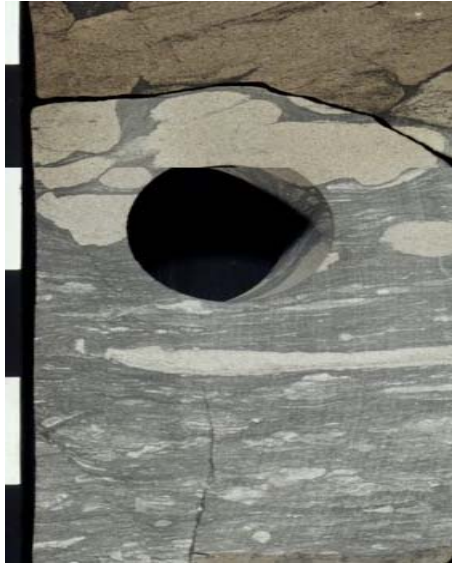
Dentro de la descripción sedimentológica realizada en el Pozo 1, se observaron tres límites claramente marcados por la presencia de perforaciones verticales cilíndricas y en forma de gota, dentro de sustratos firmes fangosos y firmes carbonáticos semiconsolidados

La Formación Villeta está caracterizada por sedimentos ricos en materia orgánica, esta suprayace la Formación Guadalupe con un contacto marcado por la ichnofacies *Glossifungites*. Esta Ichnofacies al tope de la formación Villeta indica un sustrato firme fangoso no litificado, que es interpretado como un límite de secuencias, (Figura 42).



**Figura 42.** Core 20 – 3770.6 ft. Ichnofacies *Glossifungites* marcando un límite de secuencia.

La presencia de ichnofacies *Glossifungites*, dentro de un sustrato arcilloso – limoso, a la profundidad de 3030.6 pies, permite definir un límite de secuencia. Este límite se encuentra bioturbado además por *Planolites* y *Thalassinoides* (Figura 43).



**Figura 43.** Core 2 – 3060.6 ft. *Ichnofacies Glossifungites*, marcando un límite de secuencias

La presencia de ichnofacies *Glossifungites*, dentro de un substrato carbonático, firme, semiconsolidado a la profundidad de 3520.7, marca un límite de secuencia, (Figura 44).



**Figura 44.** Core 15 – 3520.7 ft. *Ichnofacies Glossifungites*, marcando un límite de secuencias

## 6. INTERPRETACION AMBIENTAL A PARTIR DE FACIES E ICHNOFACIES

De los análisis anteriores, es posible afirmar que la Formación Guadalupe Inferior (Arenisca Dura, Perez, G; Salazar A.), tuvo lugar en un ambiente marino somero. Las siguientes características faciales e ichnológicas, sugieren la influencia de procesos mareales: ocurrencia de delgadas láminas de material carbonoso que representan relictos de estratificación cruzada; abundancia de estructuras sedimentarias biogénicas (ichnofósiles) y altos grados de bioturbación en algunas facies; delgadas capas con alta presencia de restos de peces, espículas, conchas y restos fosfáticos; fragmentos de conchas de ostras en intervalos calcáreos; paquetes limosos con foraminíferos, laminación plano paralela, lenticular y ondulosa.

La ocurrencia de delgadas capas de limolitas arenosas altamente bioturbadas (**Falb**), principalmente por organismos limófagos (*Fodinichnia*), que explotan el sedimento arcilloso como alimento (*Planolites* y *Teichichnus*); con presencia de laminación ondulosa y limolitas con laminación lenticular sugieren periodos de corrientes mareales alternados con periodos de relativa quietud. Las estructuras sedimentarias inorgánicas están directamente relacionadas con los ritmos mareales en los cuales la acción de las olas y corrientes depositan arenas que alternan con láminas muy finas de limo depositadas en el periodo de condiciones de aguas más tranquilas, (Reineck, 1968).

Las estructuras sedimentarias orgánicas e inorgánicas presentes en la facies (**Falb**), indican ambientes de baja energía y tasa de sedimentación relativamente baja.

Limolitas arcillosas (**Faldi**), con laminación plano paralela de cuarzoarenita de grano muy fino, interestratificada con limolitas las cuales presentan un alto contenido de foraminíferos, indican periodos discontinuos de acumulación de sedimentos asociados a erosión.

Arenisca lodosa (**Alb**) de grano muy fino, con abundancia de ichnofósiles horizontales principalmente *Zoophycos*, explican el desarrollo de estructuras biogénicas principalmente de tipo *Fodinichnia*, los cuales indican ambientes de baja energía y tasa de sedimentación relativamente baja.

Las estructuras sedimentarias orgánicas e inorgánicas presentes en estas facies indican un ambiente con tasa de sedimentación relativamente baja, de sedimentos finos, en aguas más o menos tranquilas con periodos discontinuos de erosión, que facilitan la presencia de organismos limófagos (sediment feeders), los cuales explotan el sedimento como alimento, caracterizando la Ichnofacies *Cruziana* la cual, presenta altos grados de bioturbación, principalmente de tipo *Fodinichnia*, con orientación predominantemente horizontal (Seilacher, 1978; Frey & Pemberton, 1984).

Cuarzoarenitas de moderada a intensamente bioturbadas (**Ab**), por ichnofósiles como *Ophiomorpha*, *Arenicolites* y *Skolithos*, principalmente de tipo *Domichnia*; son características de ambientes en los cuales, hay un aporte lento pero continuo de sedimentos. La alta intensidad de bioturbación no significa necesariamente que hubo un gran número de individuos actuando sobre el substrato; más bien, indica que las tasas de depósito fueron tan bajas que los organismos tuvieron tiempo suficiente para colonizar el sedimento con repeticiones una y otra vez de los procesos de manipulación-ingestión-excreción y por consiguiente la tasa de retrabajamiento infaunal excede la tasa de sedimentación (Howard, 1978).

La intensa bioturbación (**Abre**) hace que las estructuras inorgánicas sean relativamente escasas, destruyendo la mayor parte de la laminación o estructura interna, homogenizando la roca.

Las facies Abre y Ab se caracterizan principalmente por la presencia de estructuras tipo *Domichnia*, como *Skolithos*, *Ophiomorpha*, *Arenicolites*, *Diplocraterium* y *Palaeophycus*, verticales a ligeramente inclinados, comúnmente con paredes reforzadas y sin ramificaciones. Los organismos que produjeron estas estructuras son filtradores y se alimentan de los detritos orgánicos que se encuentran en suspensión (suspension feeders) (Seilacher, 1978).

La ocurrencia de estos ichnofósiles y de los vestigios de estructuras inorgánicas sugieren un ambiente de energía media a alta característico de la ichnofacies *Skolithos*.

Del estudio ichnológico realizado en el Pozo 1 (VSM), resulta la estrecha asociación de las ichnofacies ***Skolithos* y *Cruziana***, restringiendo considerablemente la profundidad; permitiendo deducir un ambiente de depósito de plataforma marina somera (Upper Shoreface) a plataforma marina distal (Lower Shoreface a Proximal Offshore), para la formación Guadalupe Inferior (Arenisca Dura), la cual suprayace concordantemente la Formación Villeta, este contacto es marcado por un límite de secuencias, manifestado por la presencia de la ichnofacies ***Glossifungites***.

Las características litológicas y las estructuras sedimentarias orgánicas e inorgánicas indican corrientes suaves a moderadas, la rata de depositación fue lenta con periodos de sedimentación muy lentos que se demuestra por la intensa actividad de organismos bentónicos en un medio oxigenado rico en nutrientes de suspensión o mezclados con los sedimentos más finos (Salazar A; Pérez G, 1971). La muerte de organismos durante un rápido retiro de la marea se observa

en capas fosfáticas, con espículas, restos de espinas de peces y conchas, que posteriormente fueron redistribuidos por un ascenso del nivel del mar.



## **7. RELACION FACIES FRACTURAS**

Se realizó una caracterización de fracturas en un formato a escala 1:10 para el Pozo 1, (VSM); en total se describieron 546 pies corazonados. La caracterización se llevó a cabo con los siguientes parámetros: tipo de fractura, número de fracturas, apertura, longitud promedio, entre otros.

La intensidad de fracturamiento (IF) es el número de fracturas naturales sobre el espesor de la facies, el cual indica el número de fracturas encontradas por pie.

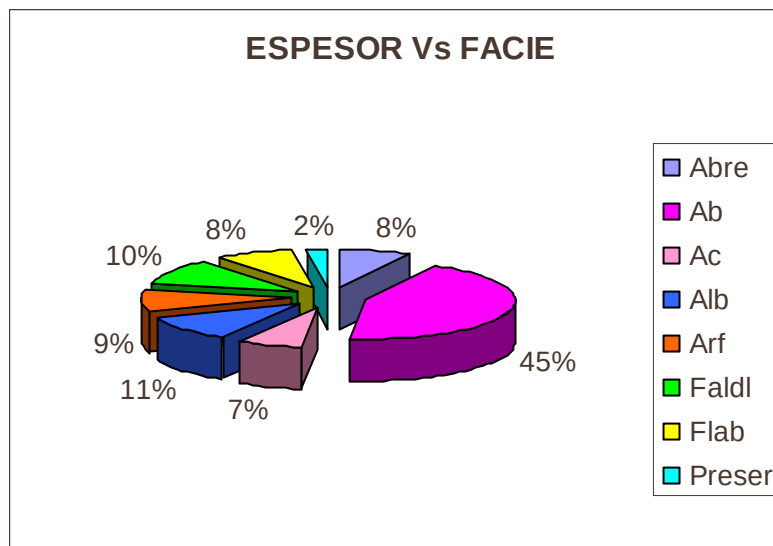
A continuación se muestran los resultados en la tabla 4, la cual presenta las facies (tabla 5), con su respectivo número total de fracturas naturales, inducidas, naturalmente-inducidas y estilolitos, así como su espesor acumulado y promedio. El diagrama de torta (Figura 45), presenta el porcentaje del espesor acumulado de cada facies respecto al total, indicando que las facies de mayor espesor es la cuarzoarenita bioturbada.

| Facies | Espesor por Facies | Num de Fract. Naturales por Facies | Total de Fracturas Inducidas | Total de Fract. Nat-Ind | Total de Estilolitos | IF    | Espesor Acumulado | Total Fracturas Naturales | IF   | Num. Int |
|--------|--------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------|-------|-------------------|---------------------------|------|----------|
| Alb    | 7                  | 2                                  |                              |                         |                      | 0.29  |                   |                           |      |          |
|        | 8.08               | 9                                  |                              |                         |                      | 1.1   |                   |                           |      |          |
|        | 7.25               | 6                                  |                              |                         |                      | 0.83  | 60.75             | 18                        | 0.3  | 4        |
|        | 38.42              | 1                                  | 34                           | 1                       | 0                    | 0.026 |                   |                           |      |          |
| Ab     | 37.33              | 24                                 |                              |                         |                      | 0.64  |                   |                           |      |          |
|        | 44                 | 7                                  |                              |                         |                      | 0.16  |                   |                           |      |          |
|        | 32                 | 2                                  |                              |                         |                      | 0.063 |                   |                           |      |          |
|        | 64.42              | 7                                  |                              |                         |                      | 0.11  | 238.67            | 67                        | 0.28 | 7        |
|        | 46                 | 3                                  |                              |                         |                      | 0.066 |                   |                           |      |          |
|        | 12.75              | 20                                 |                              |                         |                      | 1.57  |                   |                           |      |          |
| Faldl  | 2.17               | 4                                  | 134                          | 34                      | 0                    | 1.84  |                   |                           |      |          |
|        | 7.83               | 0                                  |                              |                         |                      | 0     |                   |                           |      |          |
| Faldl  | 16                 | 9                                  |                              |                         |                      | 0.56  | 56.83             | 29                        | 0.51 | 3        |
|        | 33                 | 20                                 | 156                          | 0                       | 27                   | 0.61  |                   |                           |      |          |
| Arf    | 2.75               | 0                                  |                              |                         |                      | 0     |                   |                           |      |          |
|        | 3                  | 0                                  |                              |                         |                      | 0     |                   |                           |      |          |
|        | 2.42               | 3                                  |                              |                         |                      | 1.24  |                   |                           |      |          |
|        | 3                  | 0                                  |                              |                         |                      | 0     |                   |                           |      |          |
|        | 11                 | 0                                  |                              |                         |                      | 0     |                   |                           |      |          |
|        | 7.5                | 5                                  |                              |                         |                      | 0.7   | 49.91             | 13                        | 0.26 | 12       |
|        | 2.83               | 0                                  |                              |                         |                      | 0     |                   |                           |      |          |
|        | 1.67               | 0                                  |                              |                         |                      | 0     |                   |                           |      |          |
|        | 3.58               | 3                                  |                              |                         |                      | 0.84  |                   |                           |      |          |
|        | 8.08               | 2                                  |                              |                         |                      | 0.25  |                   |                           |      |          |
|        | 1                  | 0                                  |                              |                         |                      | 0     |                   |                           |      |          |
|        | 3.08               | 0                                  | 46                           | 0                       | 0                    | 0     |                   |                           |      |          |
| Abre   | 22.67              | 4                                  |                              |                         |                      | 0.18  | 42.67             | 17                        | 0.4  | 2        |
|        | 20                 | 13                                 | 39                           | 0                       | 0                    | 0.65  |                   |                           |      |          |
| Ac     | 38.67              | 35                                 | 40                           | 9                       | 0                    | 0.91  | 38.67             | 35                        | 0.91 | 1        |
|        | 29.5               | 16                                 |                              |                         |                      | 0.54  |                   |                           |      |          |
| Flab   | 11.25              | 10                                 |                              |                         |                      | 0.9   | 46.08             | 26                        | 0.6  | 3        |
|        | 5.33               | 0                                  | 91                           | 2                       | 0                    | 0     |                   |                           |      |          |

**Tabla 4.** IF de Fracturas Naturales, Pozo 1.

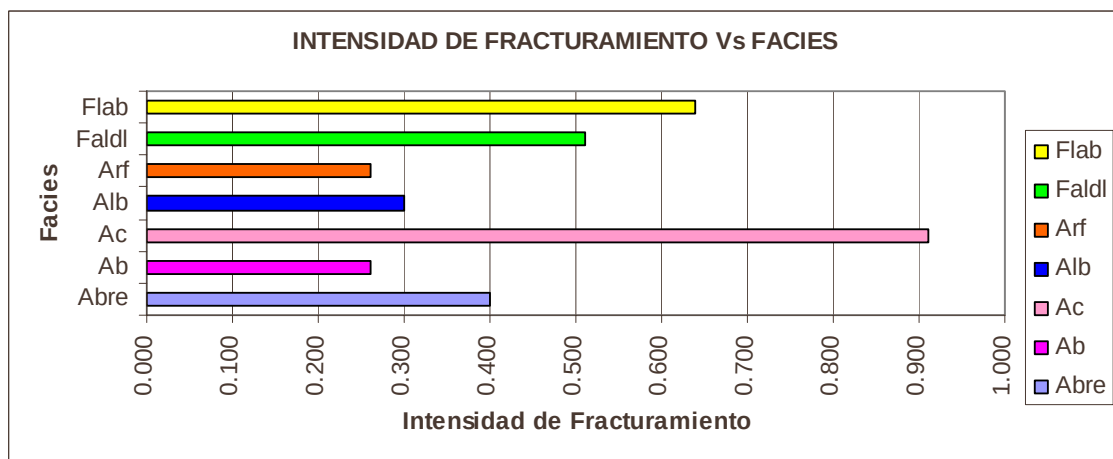
| Convención | Descripción Facies                                                 |
|------------|--------------------------------------------------------------------|
| Abre       | Cuarzoarenita bioturbada con relictos de estratificación           |
| Ab         | Cuarzoarenita bioturbada                                           |
| Ac         | Cuarzoarenita calcárea                                             |
| Alb        | Arenisca lodosa bioturbada                                         |
| Arf        | Cuarzoarenita con restos fosfáticos                                |
| Flab       | Limolita arenosa altamente bioturbada                              |
| Faldl      | Limolita arcillosa con delgadas láminas de cuarzoarenita muy fina. |

**Tabla 5.** Facies VSM, Pozo 1



**Figura 45.** Porcentaje del espesor de las Facies Pozo 1.

El diagrama de barras Intensidad de Fracturamiento vs. Facies (figura 46), se realiza para fracturas naturales respecto al espesor acumulado de la facies.



**Figura 46.** Intensidad de Fracturamiento Vs Facies, Pozo 1.

En la gráfica se observa que la mayor intensidad de fracturamiento por facies corresponde a la cuarzoarenita calcárea (Ac), la cual presenta 35 fracturas naturales en 38.6 pies de corazón del espesor acumulado, indicando así que se encuentra una fractura cada 1.1 pies del espesor acumulado de la facies.

La única presencia de estilolitos (subverticales).se observa en la facies Faldl indicando que la facies ha sufrido procesos de disolución por presión.

El Pozo 1, presenta aproximadamente 1 fractura inducida por pie en el espesor acumulado de cada facies, producto del corazonamiento y liberación de presión de confinamiento. Estas fracturas son siempre mayores que las naturales y los estilolitos en todo el pozo.

El análisis de Facies Vs Fracturas, realizado en el Pozo 1, indica que las facies más fracturada es la Cuarzoarenita calcárea (Ac), sin embargo, la escasez de datos de fracturas naturales y el variable espesor de cada intervalo por facies da como resultado valores de la relación IF (número de fracturas naturales / espesor) (Tabla 4), que no muestran una tendencia preferencial para las otras facies descritas.

## 8. CALIDAD DEL RESERVORIO

El reservorio del campo analizado lo constituyen areniscas del Grupo Guadalupe, edad Campaniano – Maastrichtinano, depositada en un ambiente de plataforma marina somera (Upper Shoreface) a un marco de plataforma marina distal (Lower Shoreface a Proximal Offshore), conformadas por cuarzoarenitas de grano fino a muy fino que suprayacen concordantemente la Formación Villeta, marcado por un límite de secuencias, manifestado por la presencia de la ichnofacies *Glossifungites*. Los shales de la Formación Villeta, presentan características favorables para la generación de hidrocarburos en el área de estudio (G. Rincón; J.C. Garzón; J.J. de Moraes).

La calidad del reservorio para el Pozo de estudio (VSM) se evaluó de acuerdo a la descripción sedimentológica, teniendo en cuenta parámetros como litología, calibrado, esfericidad, redondez y tamaño de grano, acumulaciones de restos fosfáticos; análisis facial e ichnológico, ambiente de sedimentación, fracturas naturales y saturación de hidrocarburo en la roca, observada en el corazón y en el registro fotográfico de Luz Ultravioleta.

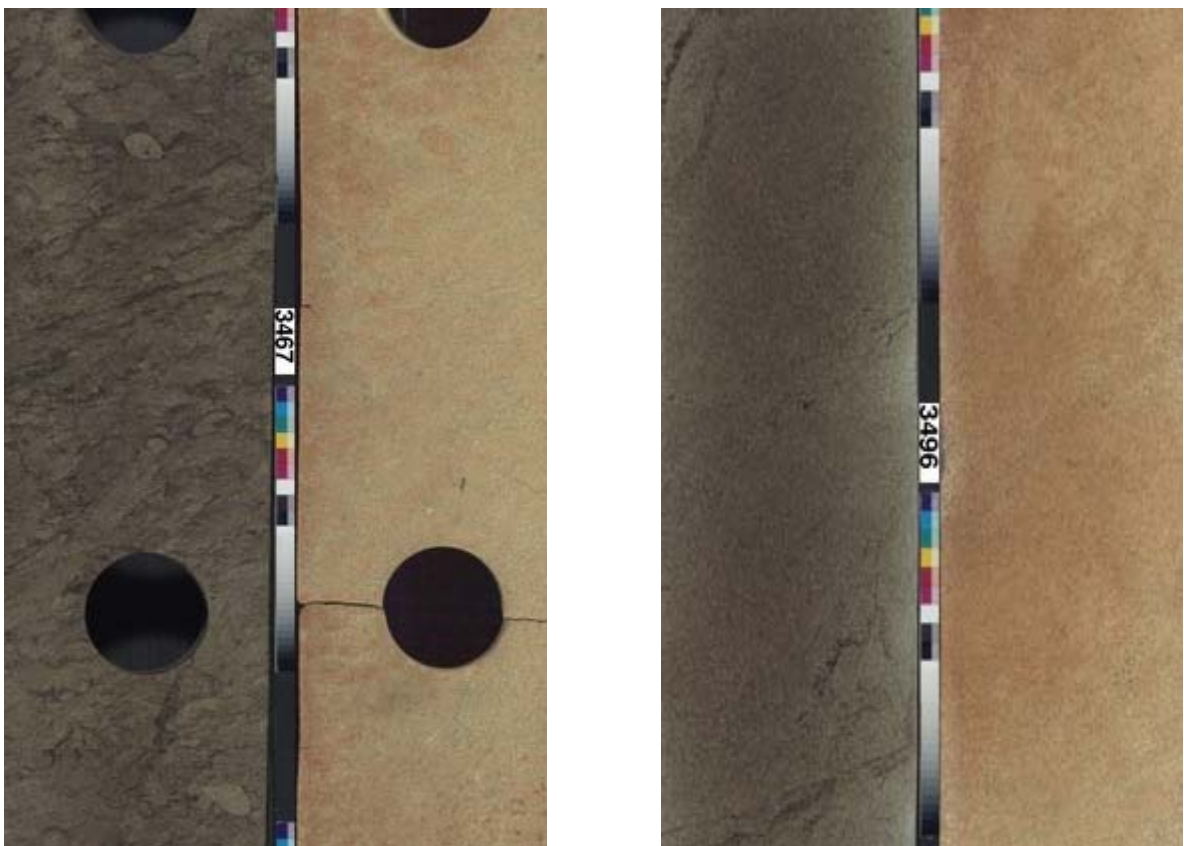
Con el análisis anterior se determinó que el Pozo 1 (VSM) la mejor calidad de reservorio en las secuencias de cuarzoarenitas de tamaño de grano fino a muy fino (Ab- Abre), bien calibradas, las cuales se encuentran de alta a intensamente bioturbadas y de intensa a completamente bioturbadas con relictos de estratificación, respectivamente.

Las manchas de hidrocarburo presentes en las muestras de corazón, revelan una buena saturación de hidrocarburo para estas facies, asociadas a la ichnofacies

*Skolithos*, comparada con las otras facies descritas en el Pozo 1, corroborando esta apreciación en el registro fotográfico de Luz Ultravioleta.

Esto permite concluir que existe una relación directa entre las facies arenosas bioturbadas y la calidad del reservorio. La alta bioturbación favorece un mejor calibrado de la roca que a su vez permite una distribución homogénea de la porosidad y la permeabilidad.

El análisis de fracturas naturales presentes en la facies Ab y Abre, sugiere que estas no favorecen de manera positiva el flujo de hidrocarburos para la explotación del yacimiento, (Figura 47).



**Figura 47.** Registro fotográfico de Luz Ultravioleta de las facies Ab y Abre respectivamente.

## CONCLUSIONES

- El Pozo 1, presenta los mejores reservorios en las secuencias de cuarzoarenitas de tamaño de grano fino a muy fino (Ab - Abre), bien calibradas, las cuales se encuentran de moderada a intensamente bioturbadas y de intensa a completamente bioturbadas con relictos de estratificación, respectivamente.
- En el Pozo seleccionado para el estudio (Formación Guadalupe Inferior, VSM), se reconocen tres límites de secuencias a la profundidad de 3770.6ft, 3520.7 y 3060.6ft, identificados por la ichnofacies *Glossifungites*, la cual es indicativa de superficies que tienen importancia estratigráfica en el registro rocoso.
- La Formación Guadalupe Inferior (VSM), se encuentra ambientalmente controlada por las comunidades de ichnofacies *Cruziana* y *Skolithos* las cuales son más características de ambientes marinos (shoreface).
- La ichnofacies *Cruziana* se define en los intervalos entre 3727 ft – 3660 ft y 3243 ft– 3010 ft, por la identificación de ichnofósiles como *Asterosomas*, *Zoophycos*, *Teichichnus* y *Ophiomorpha* bioturbando cuarzoarenitas de grano muy fino y *Planolites*, *Helminthopsis* y *Thalassinoides* bioturbando limolitas arcillosas, caracterizando así estos intervalos ambientalmente bajo condiciones de energía moderada a relativamente baja (bajo shoreface).
- Los intervalos entre 3770 – 3727 y 3618 ft – 3438 ft, se caracterizan como Ichnofacies *Skolithos* por la asociación de ichnofósiles como *Ophiomorpha*, *Arenicolites*, *Diplocraterium*, *Skolithos* y *Palaeophycus*, bioturbando cuarzoarenitas de grano fino a muy fino, identificándose un ambiente de energía moderada a relativamente alta (shoreface medio), en este intervalo.

- La *Ophiomorpha* es el ichnofósil más característico que se observa en la descripción sedimentológica del Pozo 1 (VSM), este se encuentra bioturbando moderada a altamente toda la sección en donde hay cuarzoarenitas de grano fino a muy fino, por lo tanto este ichnofósil no es muy útil para la definición de un ambiente sedimentario .
- La presencia de *Zoophycos*, es común en las areniscas lodosas, indicando así un ambiente de plataforma completamente marinos bajo shoreface a proximal offshore.
- La calibración Registro – Roca muestra una respuesta positiva con la descripción litológica realizada, donde la línea base del shale, coincide con la presencia de substratos carbonáticos y limosos.
- En el Pozo seleccionado para este estudio, se describieron 205 fracturas naturales de las cuales 23 son Fracturas de Compresión (11%), 30 son Fracturas de Tensión (15 %) y 8 son Fracturas de Cizalla (4 %). De este total de fracturas se orientaron aparentemente 26 (13 %) siendo este un porcentaje muy bajo para la orientación preferencial de fracturas.
- Los datos graficados en los diagramas Rosa, no muestran un intervalo de confianza aceptable para las fracturas de compresión y tensión, debido a la escasez de datos tomados con orientación.
- La Apertura, el Perfil y la Morfología de la pared de las Fracturas naturales son parámetros importantes en el flujo de hidrocarburos. Para el Pozo 1, las fracturas rellenas (de Calcita, Cuarzo, Pirita, Siderita, lodo e Hidrocarburo) se encuentran en mayor porcentaje (59%) dentro del pozo. Esto significa que bajo condiciones de espacio, composición del fluido mineralizante, presión y temperatura adecuados, los fluidos que percolan las fracturas precipitan y rellenan, evidenciando la



disminución en la velocidad de flujo de fluidos. En la morfología de la pared las fracturas naturales con superficie rugosa y estriada representan el (21%) indicando una dificultad en el flujo de hidrocarburos.

- La mayor intensidad de fracturamiento por facies, se observa en la facies cuarzoarenita calcárea (Ac), indicando así que se encuentra una fractura cada 1.1 pies del espesor acumulado de la facies.

## **RECOMENDACIONES**

- La evaluación sedimentológica de la calidad del Reservorio realizada en este estudio podría integrarse a la de análisis petrofísicos y a la información de secciones delgadas, para corroborar las facies con mejores reservorios.
- Se recomienda extrapolar este estudio a otros realizados en afloramientos cercanos al Campo seleccionado para este trabajo (Valle Superior del Magdalena), con el fin de permitir conclusiones más ajustadas respecto al sistema de fracturas naturales y su verdadero impacto en las condiciones del yacimiento en este campo.
- Extrapolar los análisis de ichnofacies a columnas realizadas en el Piedemonte Llanero de la Cordillera Oriental.

## **BIBLIOGRAFIA**

AGUILERA, Roberto, 1995, Naturally Fractured Reservoir, Second Edition, Penn Well Books.

AGUILERA, Roberto, 1998, Geology Aspects of Naturally Fractured Reservoirs, Servipetrol Ltd. Calgary, Canadá, p. 1667-1670.

DIAZ POVEDA, L., 1994, Reconstrucción de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena, a finales del Cretácico, Universidad Nacional de Colombia, Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena, Cap XI, Bogotá.

DUNHAM, R. L., 1962, Classification of Carbonate rocks According to Depositional Texture, I HAM W.E (Edit), Classification of Carbonate rocks, Am. Assoc. Petr. Geol. Mem.1, p.108-121.

FOLK, R L, 1974, Petrology of sedimentary rocks, Hemphill publishing Co.182.

FREY, W. Robert; PEMBERTON, George, 1985, Biogenic Structures in Outcrops and Cores. I. Approaches to Ichnology, Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Vol 33, No 1, p. 72-115.

FREY, W. Robert; 1975, The Study of Trace Fossils p. 87-160.

GAMEZ VINTANED, José Antonio y LIÑAN, E, 1996, Revisión de la Terminología Ichnológica en español, Revista Española de Paleontología, 11 (2), p. 155-176.

GIBERT, J.M.; MARTINELL, J, 1998, El modelo de ichnofacies, 30 años después. Revista Española de Paleontología, 13 (2), p. 167-174.

GMPH; ICP,2004, Impacto del Modelamiento Geológico y su relación con parámetros de ingeniería en la caracterización de Yacimientos altamente heterogéneos. Convenio Conciencias UIS-ICP

KULANDER, B.R. et. Al, 1990, Fractured Core Analysis Methods in Exploration Series. AAPG Bulletin Special, No. 8, USA.

LECKIE, Dale; DE ARMAS, J.M.; DU TOIT, C.; GLAZEBROOK, K.; GOMEZ, E.; KROSHKO, P.; NORRIS, B.; PARSONS, A. & PEÑAS, R., Paleogeographic Implications Of The Lower Guadalupe (Dura), Formation In The Guando Oil Field, Colombia, VIII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas.

LECKIE, Dale, 2005, Course of Sedimentology, Sequence Stratigraphy and Reservoir Facies of Clastic Rocks, Nexen.

NELSON, R., 1985, Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs Contributions in Petroleum Geology and Engineering, Vol.1, Gulf Publishing Co. Houston, Texas.

MACEACHERN, James; PEMPERTON, S. George; RAYCHAUDHURI, Indraneel, 1992, Stratigraphic Applications of the *Glossifungites* Ichnofacies: Delineating Discontinuities the Rock Record, Ichnological Concepts and Selected Core studies, Volume 1, Department of Geology, University of Alberta, p. 169-197.

MOJICA, Jairo. & FRANCO, Ricardo, 1990, Estructura y Evolución Tectónica del Valle Superior del Magdalena, Colombia, Geología Colombiana 17, p. 41 – 64.

PEMBERTON, S.G, Core Atlas of Trace Fossil Descriptions, Volume 2. Department of Geology, University of Alberta, Canada.

PEMBERTON, S. George, Ichnological Concepts and Selected Core studies, Volume 1, Department of Geology, University of Alberta, Canada.

PEMBERTON, S. George. & MACEACHERN, James, The Sequence Stratigraphic Significance of Trace Fossils: Examples from the Cretaceous Foreland basin of Alberta, Canada, Department of Geology, University of Alberta.

PEREZ, G; SALAZAR, A, 1978, Estratigrafía y Facies del Grupo Guadalupe, Universidad Nacional de Colombia, Geología Colombiana 10, p. 7-85, Bogotá.

REYES, R; BARON, J & CHACON, M, Características Sedimentológicas, Mineralógicas y Diagenéticas de la Arenisca Dura en el VSM. Valle Superior del Magdalena, VIII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas.

REINECK, H.E.; SINGH, I.B., 1980, Depositional Sedimentary Environments, Second Edition, p. 95-131, New York.

RINCON, G; GARZON, J.C; & DE MORAES, J.J: VSM, Primer descubrimiento de la Antesala del Siglo XXI en el Valle Superior del Magdalena, Colombia, VIII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas.

RIVERA FERRER, Ricardo, 1995, Facies, ichnofacies y subambientes de depósito de la Formación Arenisca Tierna, en el área de Usaquén- La Calera, Nor-Oriente de Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, p. 1- 67

[http://research.eas.ualberta.ca/ichnology/irg\\_links.html](http://research.eas.ualberta.ca/ichnology/irg_links.html)

## **ANEXOS**

**Anexo A.** Columna Estratigráfica escala 1:100 de 546 ft de corazón del Pozo 1, (Valle Superior del Magdalena).

**Anexo B.** Atlas de Ichnofacies de la Formación Guadalupe Inferior (Valle Superior del Magdalena).

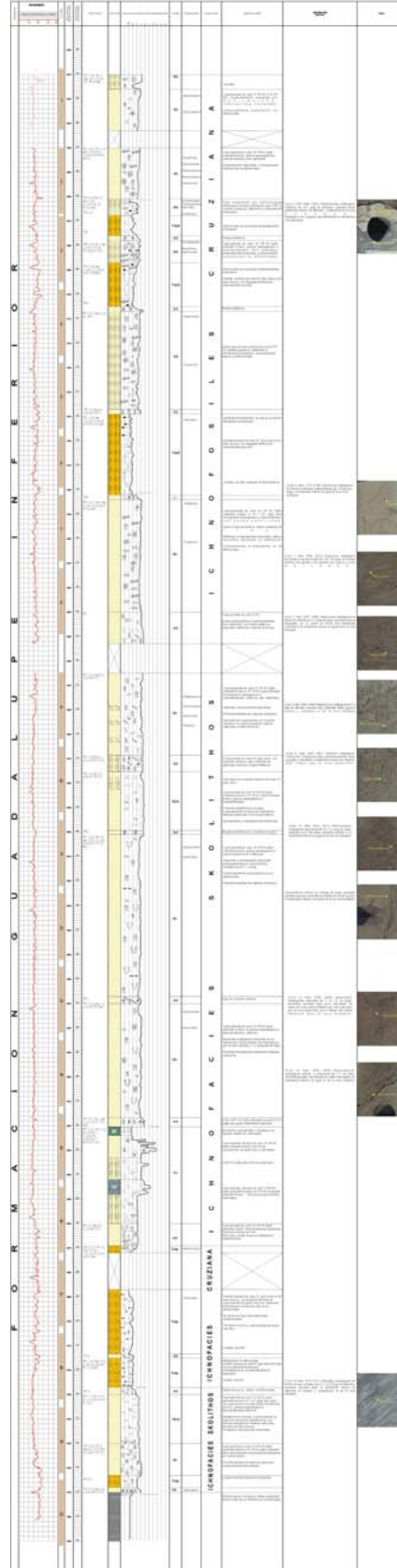


# CARACTERIZACIÓN DE FACIES, ICNOFACIES Y FRACTURAS



Pozo: Guandío  
Cuencas: Valle Superior del Magdalena  
Formación: Guadalupe Inferior  
Profundidad: 3010 a 3770

Analizó: Luz Helena Rueda  
Karem Andrea Vargas  
Escala: 1:100  
Fecha: Mayo de 2005



## CONVENCIONES

### ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS BIOLÓGICAS

|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| <b>Macrofósiles</b> | <b>Microfósiles</b> |
| 1. Moluscos         | 1. Foraminíferos    |
| 2. Crustáceos       | 2. Radiolarios      |
| 3. Trilobitos       | 3. Diatomeas        |
| 4. Bivalvos         | 4. Poliquetos       |
| 5. Escudineos       | 5. Nereídidos       |
| 6. Crinoides        | 6. Echinodermos     |
| 7. Pelecypodos      | 7. Brachiopodos     |
| 8. Nautiloides      | 8. Belemnites       |
| 9. Peces            | 9. Scleritos        |
| 10. Amonites        | 10. Ostracoditos    |
| 11. Dinosaurios     | 11. Plantas         |
| 12. Mamíferos       | 12. Insectos        |
| 13. Reptiles        | 13. Arácnidos       |
| 14. Aves            | 14. Hongos          |
| 15. Anfibios        | 15. Algas           |
| 16. Pterosaurios    | 16. Fungi           |
| 17. Dinosaurios     | 17. Plantas         |
| 18. Mamíferos       | 18. Insectos        |
| 19. Reptiles        | 19. Arácnidos       |
| 20. Aves            | 20. Hongos          |
| 21. Anfibios        | 21. Algas           |
| 22. Pterosaurios    | 22. Fungi           |

### ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FÍSICAS

|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| <b>Macrofísicas</b> | <b>Microfísicas</b> |
| 1. Moluscos         | 1. Foraminíferos    |
| 2. Crustáceos       | 2. Radiolarios      |
| 3. Trilobitos       | 3. Diatomeas        |
| 4. Bivalvos         | 4. Poliquetos       |
| 5. Escudineos       | 5. Nereídidos       |
| 6. Crinoides        | 6. Echinodermos     |
| 7. Pelecypodos      | 7. Brachiopodos     |
| 8. Nautiloides      | 8. Belemnites       |
| 9. Peces            | 9. Scleritos        |
| 10. Amonites        | 10. Ostracoditos    |
| 11. Dinosaurios     | 11. Plantas         |
| 12. Mamíferos       | 12. Insectos        |
| 13. Reptiles        | 13. Arácnidos       |
| 14. Aves            | 14. Hongos          |
| 15. Anfibios        | 15. Algas           |
| 16. Pterosaurios    | 16. Fungi           |
| 17. Dinosaurios     | 17. Plantas         |
| 18. Mamíferos       | 18. Insectos        |
| 19. Reptiles        | 19. Arácnidos       |
| 20. Aves            | 20. Hongos          |
| 21. Anfibios        | 21. Algas           |
| 22. Pterosaurios    | 22. Fungi           |

### LITOLOGÍAS

|                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| 1. Arenas             | 2. Arcillas       |
| 3. Gravas             | 4. Limos          |
| 5. Esquistos          | 6. Gneises        |
| 7. Metapelitas        | 8. Metavolcanitas |
| 9. Metagranitos       | 10. Metabasaltos  |
| 11. Metadiabasos      | 12. Metagabbros   |
| 13. Metagranodioritos | 14. Metadioritos  |
| 15. Metagranitos      | 16. Metadioritos  |
| 17. Metagranitos      | 18. Metadioritos  |
| 19. Metagranitos      | 20. Metadioritos  |
| 21. Metagranitos      | 22. Metadioritos  |
| 23. Metagranitos      | 24. Metadioritos  |
| 25. Metagranitos      | 26. Metadioritos  |
| 27. Metagranitos      | 28. Metadioritos  |
| 29. Metagranitos      | 30. Metadioritos  |
| 31. Metagranitos      | 32. Metadioritos  |
| 33. Metagranitos      | 34. Metadioritos  |
| 35. Metagranitos      | 36. Metadioritos  |
| 37. Metagranitos      | 38. Metadioritos  |
| 39. Metagranitos      | 40. Metadioritos  |
| 41. Metagranitos      | 42. Metadioritos  |
| 43. Metagranitos      | 44. Metadioritos  |
| 45. Metagranitos      | 46. Metadioritos  |
| 47. Metagranitos      | 48. Metadioritos  |
| 49. Metagranitos      | 50. Metadioritos  |
| 51. Metagranitos      | 52. Metadioritos  |
| 53. Metagranitos      | 54. Metadioritos  |
| 55. Metagranitos      | 56. Metadioritos  |
| 57. Metagranitos      | 58. Metadioritos  |
| 59. Metagranitos      | 60. Metadioritos  |
| 61. Metagranitos      | 62. Metadioritos  |
| 63. Metagranitos      | 64. Metadioritos  |
| 65. Metagranitos      | 66. Metadioritos  |
| 67. Metagranitos      | 68. Metadioritos  |
| 69. Metagranitos      | 70. Metadioritos  |
| 71. Metagranitos      | 72. Metadioritos  |
| 73. Metagranitos      | 74. Metadioritos  |
| 75. Metagranitos      | 76. Metadioritos  |
| 77. Metagranitos      | 78. Metadioritos  |
| 79. Metagranitos      | 80. Metadioritos  |
| 81. Metagranitos      | 82. Metadioritos  |
| 83. Metagranitos      | 84. Metadioritos  |
| 85. Metagranitos      | 86. Metadioritos  |
| 87. Metagranitos      | 88. Metadioritos  |
| 89. Metagranitos      | 90. Metadioritos  |
| 91. Metagranitos      | 92. Metadioritos  |
| 93. Metagranitos      | 94. Metadioritos  |
| 95. Metagranitos      | 96. Metadioritos  |
| 97. Metagranitos      | 98. Metadioritos  |
| 99. Metagranitos      | 100. Metadioritos |

### CONTACTOS

|             |                |
|-------------|----------------|
| 1. Continuo | 2. Descontinuo |
| 3. Gradual  | 4. Abrupto     |
| 5. Gradual  | 6. Abrupto     |
| 7. Gradual  | 8. Abrupto     |
| 9. Gradual  | 10. Abrupto    |
| 11. Gradual | 12. Abrupto    |
| 13. Gradual | 14. Abrupto    |
| 15. Gradual | 16. Abrupto    |
| 17. Gradual | 18. Abrupto    |
| 19. Gradual | 20. Abrupto    |
| 21. Gradual | 22. Abrupto    |
| 23. Gradual | 24. Abrupto    |
| 25. Gradual | 26. Abrupto    |
| 27. Gradual | 28. Abrupto    |
| 29. Gradual | 30. Abrupto    |
| 31. Gradual | 32. Abrupto    |
| 33. Gradual | 34. Abrupto    |
| 35. Gradual | 36. Abrupto    |
| 37. Gradual | 38. Abrupto    |
| 39. Gradual | 40. Abrupto    |
| 41. Gradual | 42. Abrupto    |
| 43. Gradual | 44. Abrupto    |
| 45. Gradual | 46. Abrupto    |
| 47. Gradual | 48. Abrupto    |
| 49. Gradual | 50. Abrupto    |
| 51. Gradual | 52. Abrupto    |
| 53. Gradual | 54. Abrupto    |
| 55. Gradual | 56. Abrupto    |
| 57. Gradual | 58. Abrupto    |
| 59. Gradual | 60. Abrupto    |
| 61. Gradual | 62. Abrupto    |
| 63. Gradual | 64. Abrupto    |
| 65. Gradual | 66. Abrupto    |
| 67. Gradual | 68. Abrupto    |
| 69. Gradual | 70. Abrupto    |
| 71. Gradual | 72. Abrupto    |
| 73. Gradual | 74. Abrupto    |
| 75. Gradual | 76. Abrupto    |
| 77. Gradual | 78. Abrupto    |
| 79. Gradual | 80. Abrupto    |
| 81. Gradual | 82. Abrupto    |
| 83. Gradual | 84. Abrupto    |
| 85. Gradual | 86. Abrupto    |
| 87. Gradual | 88. Abrupto    |
| 89. Gradual | 90. Abrupto    |
| 91. Gradual | 92. Abrupto    |
| 93. Gradual | 94. Abrupto    |
| 95. Gradual | 96. Abrupto    |
| 97. Gradual | 98. Abrupto    |
| 99. Gradual | 100. Abrupto   |

### ACCESORIOS

|                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| 1. Moluscos     | 2. Crustáceos     |
| 3. Trilobitos   | 4. Bivalvos       |
| 5. Escudineos   | 6. Crinoides      |
| 7. Pelecypodos  | 8. Nautiloides    |
| 9. Peces        | 10. Amonites      |
| 11. Dinosaurios | 12. Mamíferos     |
| 13. Reptiles    | 14. Aves          |
| 15. Anfibios    | 16. Pterosaurios  |
| 17. Dinosaurios | 18. Mamíferos     |
| 19. Reptiles    | 20. Aves          |
| 21. Anfibios    | 22. Pterosaurios  |
| 23. Dinosaurios | 24. Mamíferos     |
| 25. Reptiles    | 26. Aves          |
| 27. Anfibios    | 28. Pterosaurios  |
| 29. Dinosaurios | 30. Mamíferos     |
| 31. Reptiles    | 32. Aves          |
| 33. Anfibios    | 34. Pterosaurios  |
| 35. Dinosaurios | 36. Mamíferos     |
| 37. Reptiles    | 38. Aves          |
| 39. Anfibios    | 40. Pterosaurios  |
| 41. Dinosaurios | 42. Mamíferos     |
| 43. Reptiles    | 44. Aves          |
| 45. Anfibios    | 46. Pterosaurios  |
| 47. Dinosaurios | 48. Mamíferos     |
| 49. Reptiles    | 50. Aves          |
| 51. Anfibios    | 52. Pterosaurios  |
| 53. Dinosaurios | 54. Mamíferos     |
| 55. Reptiles    | 56. Aves          |
| 57. Anfibios    | 58. Pterosaurios  |
| 59. Dinosaurios | 60. Mamíferos     |
| 61. Reptiles    | 62. Aves          |
| 63. Anfibios    | 64. Pterosaurios  |
| 65. Dinosaurios | 66. Mamíferos     |
| 67. Reptiles    | 68. Aves          |
| 69. Anfibios    | 70. Pterosaurios  |
| 71. Dinosaurios | 72. Mamíferos     |
| 73. Reptiles    | 74. Aves          |
| 75. Anfibios    | 76. Pterosaurios  |
| 77. Dinosaurios | 78. Mamíferos     |
| 79. Reptiles    | 80. Aves          |
| 81. Anfibios    | 82. Pterosaurios  |
| 83. Dinosaurios | 84. Mamíferos     |
| 85. Reptiles    | 86. Aves          |
| 87. Anfibios    | 88. Pterosaurios  |
| 89. Dinosaurios | 90. Mamíferos     |
| 91. Reptiles    | 92. Aves          |
| 93. Anfibios    | 94. Pterosaurios  |
| 95. Dinosaurios | 96. Mamíferos     |
| 97. Reptiles    | 98. Aves          |
| 99. Anfibios    | 100. Pterosaurios |

### ÍNDICE DE BIOTURBACIÓN

|             |                |
|-------------|----------------|
| 1. Continuo | 2. Descontinuo |
| 3. Gradual  | 4. Abrupto     |
| 5. Gradual  | 6. Abrupto     |
| 7. Gradual  | 8. Abrupto     |
| 9. Gradual  | 10. Abrupto    |
| 11. Gradual | 12. Abrupto    |
| 13. Gradual | 14. Abrupto    |
| 15. Gradual | 16. Abrupto    |
| 17. Gradual | 18. Abrupto    |
| 19. Gradual | 20. Abrupto    |
| 21. Gradual | 22. Abrupto    |
| 23. Gradual | 24. Abrupto    |
| 25. Gradual | 26. Abrupto    |
| 27. Gradual | 28. Abrupto    |
| 29. Gradual | 30. Abrupto    |
| 31. Gradual | 32. Abrupto    |
| 33. Gradual | 34. Abrupto    |
| 35. Gradual | 36. Abrupto    |
| 37. Gradual | 38. Abrupto    |
| 39. Gradual | 40. Abrupto    |
| 41. Gradual | 42. Abrupto    |
| 43. Gradual | 44. Abrupto    |
| 45. Gradual | 46. Abrupto    |
| 47. Gradual | 48. Abrupto    |
| 49. Gradual | 50. Abrupto    |
| 51. Gradual | 52. Abrupto    |
| 53. Gradual | 54. Abrupto    |
| 55. Gradual | 56. Abrupto    |
| 57. Gradual | 58. Abrupto    |
| 59. Gradual | 60. Abrupto    |
| 61. Gradual | 62. Abrupto    |
| 63. Gradual | 64. Abrupto    |
| 65. Gradual | 66. Abrupto    |
| 67. Gradual | 68. Abrupto    |
| 69. Gradual | 70. Abrupto    |
| 71. Gradual | 72. Abrupto    |
| 73. Gradual | 74. Abrupto    |
| 75. Gradual | 76. Abrupto    |
| 77. Gradual | 78. Abrupto    |
| 79. Gradual | 80. Abrupto    |
| 81. Gradual | 82. Abrupto    |
| 83. Gradual | 84. Abrupto    |
| 85. Gradual | 86. Abrupto    |
| 87. Gradual | 88. Abrupto    |
| 89. Gradual | 90. Abrupto    |
| 91. Gradual | 92. Abrupto    |
| 93. Gradual | 94. Abrupto    |
| 95. Gradual | 96. Abrupto    |
| 97. Gradual | 98. Abrupto    |
| 99. Gradual | 100. Abrupto   |

### FRAGMENTACIÓN

|             |                |
|-------------|----------------|
| 1. Continuo | 2. Descontinuo |
| 3. Gradual  | 4. Abrupto     |
| 5. Gradual  | 6. Abrupto     |
| 7. Gradual  | 8. Abrupto     |
| 9. Gradual  | 10. Abrupto    |
| 11. Gradual | 12. Abrupto    |
| 13. Gradual | 14. Abrupto    |
| 15. Gradual | 16. Abrupto    |
| 17. Gradual | 18. Abrupto    |
| 19. Gradual | 20. Abrupto    |
| 21. Gradual | 22. Abrupto    |
| 23. Gradual | 24. Abrupto    |
| 25. Gradual | 26. Abrupto    |
| 27. Gradual | 28. Abrupto    |
| 29. Gradual | 30. Abrupto    |
| 31. Gradual | 32. Abrupto    |
| 33. Gradual | 34. Abrupto    |
| 35. Gradual | 36. Abrupto    |
| 37. Gradual | 38. Abrupto    |
| 39. Gradual | 40. Abrupto    |
| 41. Gradual | 42. Abrupto    |
| 43. Gradual | 44. Abrupto    |
| 45. Gradual | 46. Abrupto    |
| 47. Gradual | 48. Abrupto    |
| 49. Gradual | 50. Abrupto    |
| 51. Gradual | 52. Abrupto    |
| 53. Gradual | 54. Abrupto    |
| 55. Gradual | 56. Abrupto    |
| 57. Gradual | 58. Abrupto    |
| 59. Gradual | 60. Abrupto    |
| 61. Gradual | 62. Abrupto    |
| 63. Gradual | 64. Abrupto    |
| 65. Gradual | 66. Abrupto    |
| 67. Gradual | 68. Abrupto    |
| 69. Gradual | 70. Abrupto    |
| 71. Gradual | 72. Abrupto    |
| 73. Gradual | 74. Abrupto    |
| 75. Gradual | 76. Abrupto    |
| 77. Gradual | 78. Abrupto    |
| 79. Gradual | 80. Abrupto    |
| 81. Gradual | 82. Abrupto    |
| 83. Gradual | 84. Abrupto    |
| 85. Gradual | 86. Abrupto    |
| 87. Gradual | 88. Abrupto    |
| 89. Gradual | 90. Abrupto    |
| 91. Gradual | 92. Abrupto    |
| 93. Gradual | 94. Abrupto    |
| 95. Gradual | 96. Abrupto    |
| 97. Gradual | 98. Abrupto    |
| 99. Gradual | 100. Abrupto   |



# Atlas de **Ichnofacies**

Guadalupe Inferior  
(Valle Superior del Magdalena)



# Atlas de **Ichnofacies**

Guadalupe Inferior  
(Valle Superior del Magdalena)

**Luz Elena Rueda Acevedo**  
**Karen Andrea Vargas Ramírez**

Directores:  
Alberto Ortiz Fernandez  
Ricardo Mier Umaña

Diseño y Diagramación:  
Argemiro Reyes C.





# CONTENIDO

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| PREFACIO                           | IV   |
| INTRODUCCIÓN                       | V    |
| MARCO TEÓRICO                      | VIII |
| Clasificación por Comportamiento   | VIII |
| Concepto de Ichnofacies            | X    |
| Modelo de Ichnofacies Arquetipicas | XI   |
| Ichnofacies Marinas                | XIII |
| ABREVIATURAS                       | XV   |
| ICHNOFACIES SKOLITHOS              | 01   |
| Ichnofósil Arenicolites            | 02   |
| Ichnofósil Diplocraterion          | 05   |
| Ichnofósil Ophiomorpha             | 08   |
| Ichnofósil Palaeophycus            | 13   |
| Ichnofósil Skolithos               | 16   |
| ICHNOFACIES CRUZIANA               | 18   |
| Ichnofósil Asterosoma              | 19   |
| Ichnofósil Helmithopsis            | 21   |
| Ichnofósil Planolites              | 23   |
| Ichnofósil Rhizocorallium          | 25   |
| Ichnofósil Teichichnus             | 27   |
| Ichnofósil Thalassinoides          | 29   |
| Ichnofósil Zoophycos               | 31   |
| ICHNOFACIES GLOSSIFUNGITES         | 34   |
| GLOSARIO                           | 36   |
| BIBLIOGRAFIA                       | 43   |

Este atlas presenta las ichnofacies de ocurrencia más comunes en la parte inferior de la Formación Guadalupe (VSM), es una herramienta que ilustra a través de fotografías el aspecto y la estructura de los ichnofósiles en corazones.

Contiene una parte introductoria donde se resume la caracterización ambiental realizada a partir de ichnofósiles para la Formación Guadalupe Inferior (VSM, Colombia); así como, un marco teórico de la Ichnología enfatizada en la clasificación de las trazas de comportamiento dejadas por el organismo propuesta por Ekdale et.al (1985) y el modelo de Ichnofacies Arquetípicas (Seilacher, 1985), así como, la interpretación y consideraciones ambientales de ichnofósiles en corazones, basadas en algunos textos de George Pemberton, como: Core Atlas of Trace Fossil Descriptions (1994); Ichnological Concepts and Selected Core studies (1994), los cuales se tomaron como base para la generación de este atlas.

El objetivo de esta publicación es generar una guía ilustrada de identificación rápida de las principales ichnofacies presentes en la Formación Guadalupe Inferior, tomando para ello ejemplos de núcleos, que a su vez sirven de base para una correcta caracterización, interpretación y consideración ambiental. La presentación de este atlas facilita notablemente su consulta y lo convierte en una obra altamente didáctica, que además, consta de un glosario que incluye la totalidad de los términos utilizados para su comprensión, proporcionándose así una ayuda para llevar a cabo una apropiada descripción sedimentológica.

Este atlas es el primero de una serie dedicada a resaltar los aspectos sedimentológicos y estratigráficos más importantes de las rocas Colombianas, en especial aquellas con mejores posibilidades de almacenar hidrocarburos.

Deseamos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a todas las personas que con su colaboración hicieron posible la realización de esta obra, en especial a los geólogos Alberto Ortiz Fernández, Ricardo Mier Umaña, por su orientación, confianza y apoyo y al Diseñador Gráfico Argemiro Reyes por su creatividad y asesoría en la elaboración de este atlas.



La Formación Guadalupe en el Valle Superior del Magdalena (VSM), está representada por cuarzoarenitas de un tamaño relativamente uniforme generalmente de grano muy fino de moderada a intensamente bioturbadas intercaladas con lodolitas arcillosas, cuarzoarenitas con granos aloquímicos y calizas micríticas y bioclásticas.

Al realizar una descripción sedimentológica detallada de esta (figura 1), se identificaron trece ichnofósiles a partir de los cuales se estableció el ambiente de sedimentación para una sección corazonada del VSM (Formación Guadalupe Inferior).

Las trazas fósiles (o ichnofósiles) son estructuras sedimentarias producidas biológicamente que incluyen huellas, pistas, excavaciones, perforaciones, pellets fecales y otras trazas reflejadas por organismos. Se excluyen aquellas marcas que no reflejan una función de comportamiento. Pueden ser consideradas tanto entidades sedimentológicas como paleontológicas. Ellas representan una combinación única de indicadores ambientales en el registro estratigráfico. Como las estructuras sedimentarias físicas, los fósiles traza reflejan muchos de los efectos de parámetros ambientales frecuentes. (Pemberton, 1994 ).

Ambientalmente, la Formación Guadalupe se encuentra controlada por las comunidades de ichnofacies *Cruziana*, y *Skolithos*, las cuales son características de ambientes marinos cerca a la costa (shoreface). La ichnofacies *Cruziana* está caracterizada ambientalmente por condiciones de energía moderada a relativamente baja, definida por la identificación de ichnofósiles como *Zoophycos*, *Asterosoma*, *Teichichnus*, *Rhizocorallium* y *Ophiomorpha*, los cuales se encuentran bioturbando cuarzoarenitas de grano fino a muy fino y limolitas arcillosas bioturbadas por *Planolites*, *Helminthopsis*, y *Thalassinoides*. Un ambiente de energía moderada a relativamente alta (Ichnofacies *Skolithos*), se definió por la asociación de ichnofósiles como *Skolithos*, *Ophiomorpha*, *Arenicolites*, *Diplocraterion* y *Palaeophycus*, los cuales se encuentran en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino.

Las trazas fósiles y la asociación de trazas fósiles también pueden ser empleados efectivamente como ayuda para el reconocimiento de varios tipos de discontinuidades; en la Formación Guadalupe Inferior se reconocen tres límites de secuencias identificados por la ichnofacies *Glossifungites*, la cual es indicativa de hiatos o superficies que tienen importancia estratigráfica en el registro rocoso.



Los objetivos de este libro son mostrar como reconocer fósiles traza en corazones y presentar sus respectivas implicaciones para caracterizar ichnofacies.

El atlas de Ichnofacies de la Formación Guadalupe Inferior contiene dibujos esquemáticos y 71 fotografías para ilustrar la apariencia de los fósiles traza en sección transversal, ha sido ordenado alfabéticamente por ichnofósiles según la respectiva ichnofacies; la selección de los fósiles traza se llevó a cabo con base en la frecuencia en que estos aparecen en los corazones y teniendo en cuenta los mejores ejemplares para la toma de fotografías. Las descripciones son cortas, pero contienen la información correspondiente a cada ichnofósil mostrando sus características, interpretación y consideraciones ambientales los cuales han sido tomados de Pemberton, 1994 y son suficientes para su identificación.

Aunque es importante aprender a identificar ichnofósiles específicos, es igualmente importante diferenciar entre grupos etológicos. Los modelos de comportamiento fundamentales son dictados y modificados no solamente por pre-adaptaciones genéticas sino también por parámetros ambientales predominantes (Pemberton, 1994). Esta distinción tiene repercusiones importantes en definir ichnofacies que están relacionadas con profundidad.

Las fotografías fueron tomadas a núcleos seleccionados de pozos perforados en la Subcuenca de Girardot (Valle Superior del Magdalena).



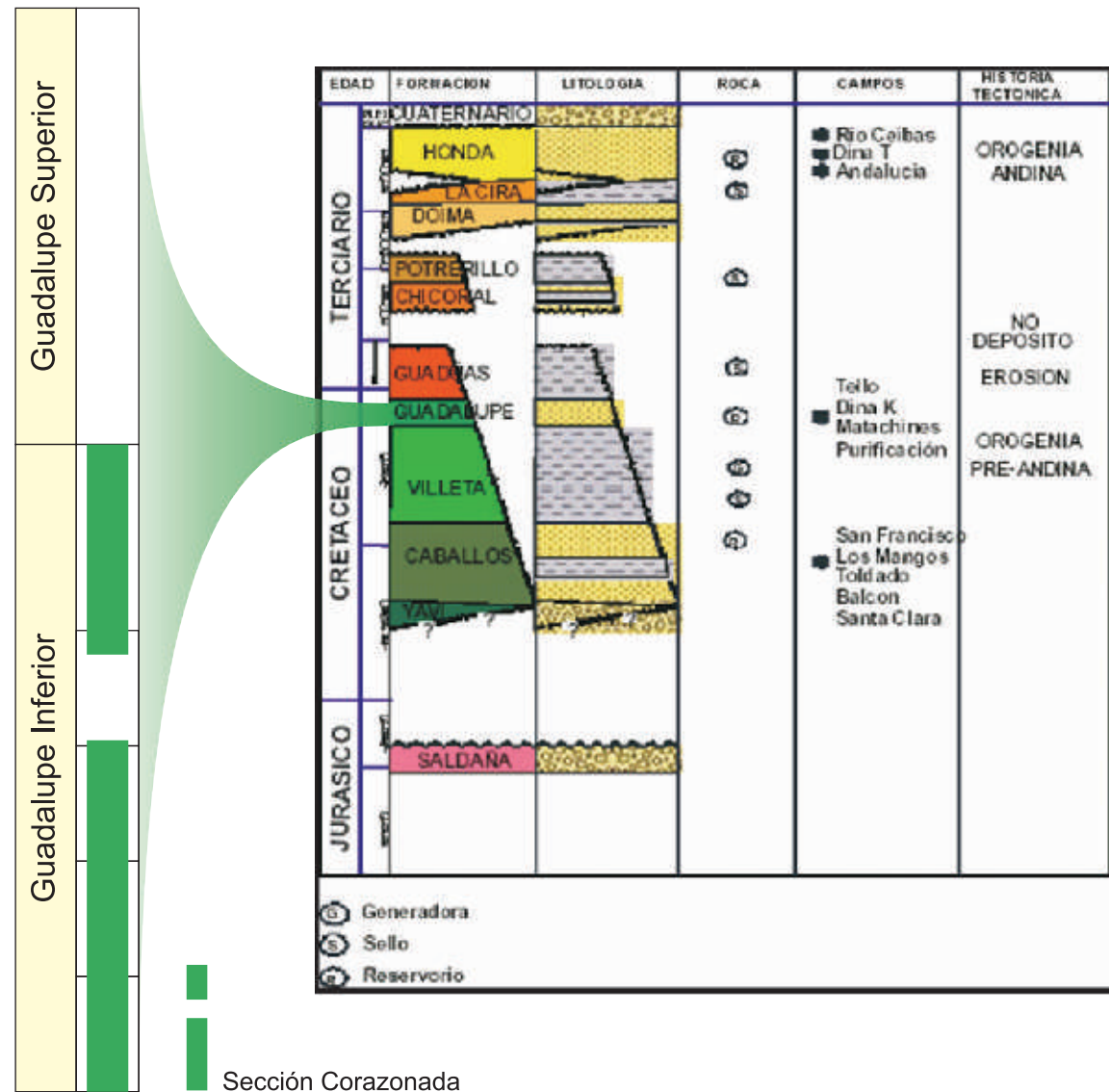


Figura 1. Columna estratigráfica generalizada de la Subcuenca Girardot- VSM. Fuente: VIII Simposio Bolivariano. Exploración Petrolera de las Cuenas Subandinas.





## MARCO TEORICO

La ichnología es una disciplina cuyos inicios se remontan a principios del siglo XIX, que adquirió categoría científica con los trabajos de Hitchcock y Buckland. Hoy es considerada por muchos como un campo interdisciplinar que complementa los estudios sedimentológicos, estratigráficos, paleontológicos, paleoecológicos.

El termino **ichnología** (*ichnology*) fue propuesto por Buckland (1836) para denotar la disciplina que se encargaba del estudio de las ichnitas. El término procede del griego (ijnos), huella, y (logos), tratado, y en la más estricta etimología trataría de las huellas dejadas por los organismos. Con el avance de los conocimientos, una definición moderna de la ichnología puede ser: la disciplina geológica que estudia las estructuras etológicas. Es decir, el registro de comportamiento de los seres vivos en soportes naturales. Este estudio incluye la descripción, clasificación e interpretación de este registro.

Los únicos esquemas de clasificación han sido desarrollados para descifrar trazas fósiles. Históricamente, las clasificaciones más importantes han incluido la filogenia de los organismos y especialmente la implicación descriptiva, preservacional, taxonómica y del comportamiento de las trazas.

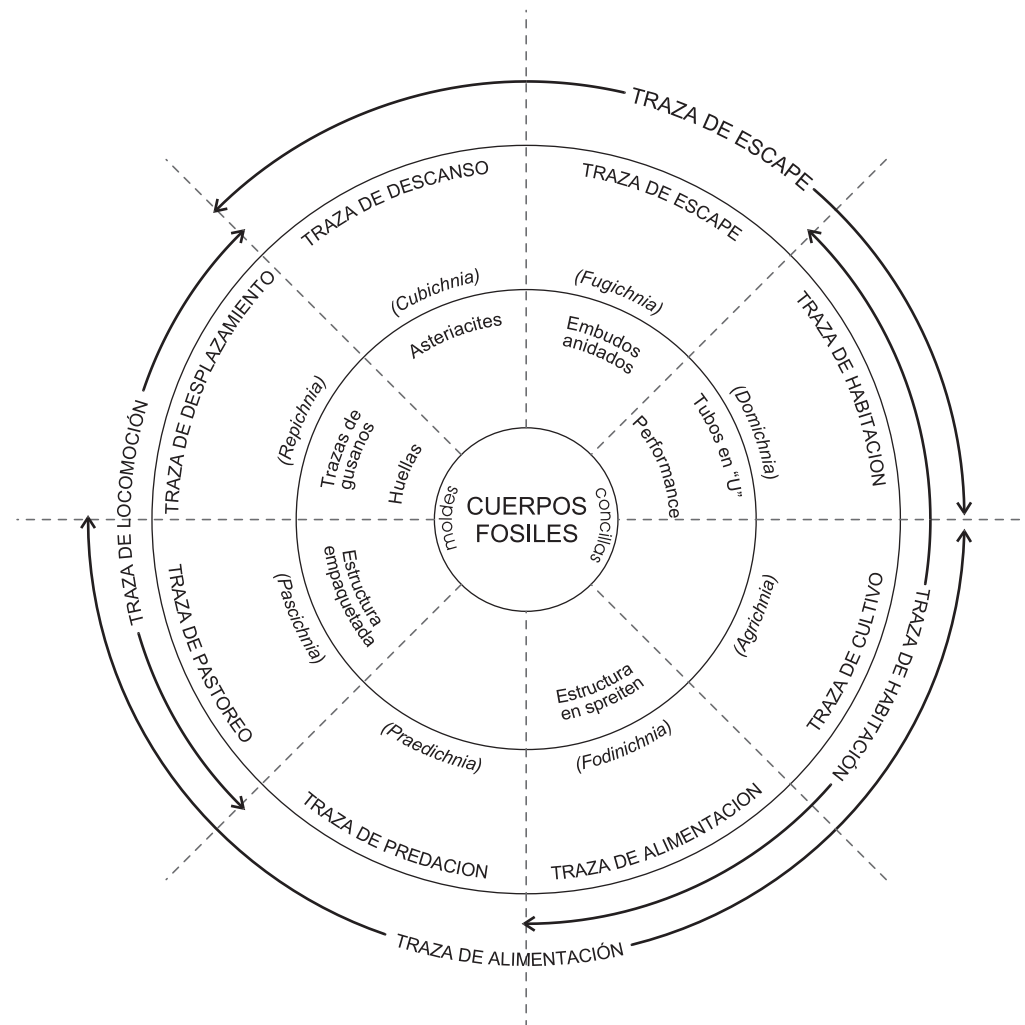
### Clasificación por comportamiento

El ingrediente más importante de la ichnología es la interpretación funcional de trazas individuales. Los patrones etológicos fundamentales están dictados y modificados no solo por pre-adaptaciones genéticas, sino también por los parámetros ambientales predominantes.

Ekdale et. al. (1984) reconocieron siete categorías básicas de comportamiento (Figura 2), traza de descanso (*Cubichnia*), traza de desplazamiento (*Repichnia*), traza de habitación (*Domichnia*), traza de pastoreo (*Paschnia*), traza de alimentación (*Fodinichnia*), traza de cultivo (*Agrichnia*) y traza de escape (*Fugichnia*). Ekdale (1985) agregó traza de predación (*Praedichnia*).

Estos modelos de comportamiento fundamentales están genéticamente controlados, pero no están filogenéticamente restringidos. Las categorías etológicas han generalmente persistido a lo largo del Fanerozóico. Los organismos productores de las trazas han evolucionado, pero el comportamiento bentónico básico no lo ha hecho.

## Clasificación etológica de trazas fósiles y la relación de estos con los cuerpos fósiles



**Figura 2.** Clasificación etológica de trazas fósiles y la relación de estos con los cuerpos fósiles. La superposición de categorías reconoce las intergradaciones inherentes a su naturaleza. Por ejemplo, dependiendo de circunstancias locales, el espectro de estructuras de escape podría ocupar la totalidad de la circunferencia (Modificado por Frey y Permberon, 1985).





## Concepto de Ichnofacies

El término ichnofacies ha sido utilizado en diferentes trabajos a dos niveles distintos (Bromley, 1996). Esto hace que sea necesario diferenciar entre ichnofacies locales e ichnofacies arquetípicas o seilacherianas. Una ichnofacies local o simplemente ichnofacies hace referencia al registro fósil de una ichnocenosis en un determinado lugar o unidad estratigráfica. Estas ichnofacies son nombradas a partir del ichnofósil más abundante o más característico. La definición de este tipo de ichnofacies es imprescindible en cualquier estudio ichnológico y viene completado por el estudio de las ichnofábricas. Para las ichnofacies universales y recurrentes del modelo de Seilacher se han propuesto dos denominaciones: Ichnofacies Arquetípicas (Frey et al. 1990) o Ichnofacies Seilacherianas (Bromley, 1990, 1996). Estas Ichnofacies Arquetípicas o Seilacherianas corresponden a asociaciones de trazas fósiles recurrentes en diferentes depósitos a lo largo del Fanerozoico y en diferentes lugares de la geografía mundial. Una determinada ichnofacies local puede ser asignada a una determinada ichnofacies seilacheriana aunque esto no implica necesariamente que el ichnotaxón que da nombre a la ichnofacies seilacheriana este presente en la asociación. Por este motivo, los nombres de los ichnotaxones que designan las ichnofacies arquetípicas no deberían ser utilizados (Bromley, 1996). Ambos tipos de ichnofacies pueden ser utilizados y son de gran importancia en los estudios ichnológicos, cada uno en su propia escala.

Las ichnofacies tanto las locales como las arquetípicas, son el resultado no solo de una serie de factores ecológicos y ambientales que condicionan el tipo de biocenosis bentónica sino también de una serie de factores conservacionales que determinan que elementos de la ichnocenosis original pueden ser conservados como trazas fósiles. Así pues, las ichnofacies comparten características de biofacies y de tafofacies (Bromley y Asgaard, 1991). En las diferentes ichnofacies arquetípicas definidas, la importancia de cada uno de los dos condicionantes es variable. En algunas de ellas los aspectos conservacionales son dominantes sobre los ecológicos y viceversa. En cualquier caso, dado que ambos están directamente relacionados con aspectos ambientales y sedimentológicos, este hecho no menoscaba en absoluto su potencial como indicadores paleo-ambientales.



## Modelo de Ichnofacies Arquetípicas

El modelo de ichnofacies es un conjunto heterogéneo en el que se reúnen ichnofacies definidas únicamente a partir de las características del substrato, otras controladas fundamentalmente por aspectos ecológicos y otras en que los aspectos conservacionales son predominantes. Esto hace que su clasificación presente ciertas dificultades y diversas posibilidades.

Sin embargo la esencia de la investigación de los fósiles traza involucra el agrupamiento de características de los ichnofósiles dentro de las ichnofacies recurrentes. El modelo postulado por Seilacher estaba basado originalmente en el hecho de que la mayoría de los parámetros que controlan la distribución de las trazas fósiles cambian progresivamente con el incremento de la profundidad del agua. Se han reconocido nueve ichnofacies recurrentes, cada una nombrada por un ichnogénero representativo (Figura 3).



## Modelo de Ichnofacies Arquetípicas

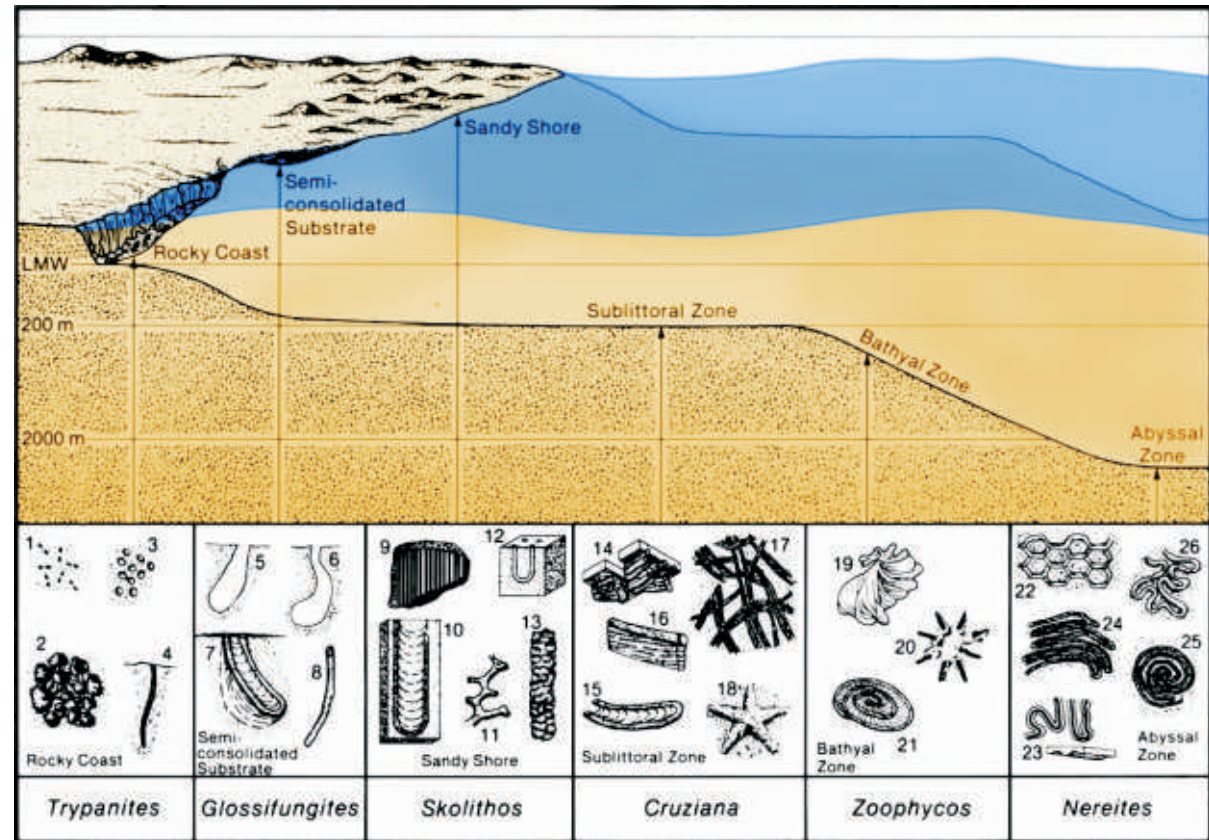


Figura 3. Diagrama sinóptico ilustrando un conjunto de ichnofacies marinas recurrente en un representativo pero no exclusivo juego de gradientes ambientales. Factores biológicos, químicos y físicos locales determinados últimamente con trazas que ocurren en cada sitio. Las trazas fósiles típicas incluyen: 1) Caulostrepsis, 2) Entobia, 3) Echinoid borings, 4) Trypanites, 5) Teredolites, 6) Thalassinoides, 7,8) Gastrochaenolites o géneros relacionados, 9) Diplocraterium (Glossifungites), 10) Skolithos, 11,12) Pylonichnus, 13) Macanopsis, 14) Skolithos, 15) Diplocraterium, 16) Arenicolites, 17) Ophiomorpha, 18) Phycodes, 19) Rhizocorallium, 20) Teichichnus, 21) Planolites, 22) Asteriacites, 23) Zoophycos, 24) Lorenzina, 25) Zoophycos, 26) Paleodictyon, 27) Taphrohelminthopsis, 28) Helminthoida, 29) Cosmorhaphe, 30) Spirorhaphe. (Modificado por Frey y Pemberton, 1985)



## Ichnofacies Marinas

Las ichnofacies marinas pueden ser función de las características del sustrato en que fueron producidas: blando (*softground*), firme (*firmground*) duro (*hardground*) y vegetal (*woodground*). Tabla 1.

| SUSTRATO LEÑOSO | SUSTRATO DURO | SUSTRATO FIRME | SUSTRATO BLANDO | ENERGIA    | FORMACION    |
|-----------------|---------------|----------------|-----------------|------------|--------------|
| Teredolites     | Trypanites    | Glossifungites | Scoyenia        | Alta       | Aguas Dulces |
|                 |               |                | Psilonichnus    |            | Marinas      |
|                 |               |                | Skolithos       |            |              |
|                 |               |                | Cruziana        | Intermedia |              |
|                 |               |                | Zoophycos       |            |              |
|                 |               |                | Nereites        | Baja       |              |

**Tabla 1.** Relaciones entre ichnofacies y sustrato. En contraposición con las ichnofacies de sustratos blandos que se diferencian sobre la base de factores ambientales, las ichnofacies de sustratos duros, firmes y xílicos lo hacen por el tipo y consistencia del sustrato. (Modificado de Bromley et al, 1984).

El modelo de ichnofacies fue presentado por Adolf Seilacher (1964-1967), el cual postulaba la existencia de asociaciones recurrentes de trazas fósiles con carácter universal, que estaban relacionadas con determinados paleoambientes y particularmente con aspectos batimétricos. Las seis ichnofacies originales fueron las de *Scoyenia*, *Skolithos*, *Cruziana*, *Zoophycos*, *Nereites* y *Glossifungites*.

En un momento en que la sedimentología así como la ichnología, estaban en periodo de crecimiento, el modelo de ichnofacies fue bienvenido por paleontólogos y geólogos como una herramienta muy valiosa para el análisis de cuencas e incluso en algunos casos adoptado de una manera un tanto dogmática, a pesar que el propio Seilacher (1978) advertía que se trataba de un modelo generalista que debía ser aplicado con precaución a casos particulares. En los años siguientes, el modelo se fue complicando con la incorporación de nuevas ichnofacies definidas por diversos autores: *Teredolites* (Bromley, 1984), *Arenicolites* (Bromley, Asgaard, 1991), *Entobia* y *Gnatichnus* (Bromley y Assgaard, 1993), *Termitischnus* (Smith et al, 1993) y *Mermia* (Buatois y Mángano, 1995).



## Ichnofacies Marinas

Además otro conjunto de ichnofacies ha sido definido para asociaciones de rastros y huellas de vertebrados (Lockley *et al.*, 1994), aunque estas tienen otras implicaciones y no serán discutidas aquí. La proliferación de nuevas ichnofacies hace recomendable una revisión de todas ellas y su ordenación en un marco general. Por otro lado, el rápido desarrollo de la sedimentología y de la propia ichnología, hace necesaria una mayor resolución que la proporcionada por el modelo de ichnofacies en los estudios de casos particulares, y por tanto el valor de las ichnofacies recurrentes ha de ser reevaluado y restringido a servir como armazón conceptual en el que hay que colocar y situar las asociaciones ichnológicas locales reconocidas en cada caso.





## CONVENCIONES

**Pl.** Plural

**Sin.** Sinónimo



Escala Vertical en Pulgadas

## ABREVIATURAS

**Ar** *Arenicolites*

**As** *Asterosoma*

**Cg** Mad. Cangrejo

**D** *Diplocraterion*

**Gl** *Glossifungites*

**H** *Helminthopsis*

**Op** *Ophiomorpha*

**Pa** *Paleophycus*

**P** *Planolites*

**Ry** *Rhizocorallium*

**Sk** *Skolithos*

**Te** *Teichichnus*

**Th** *Thalassinoides*

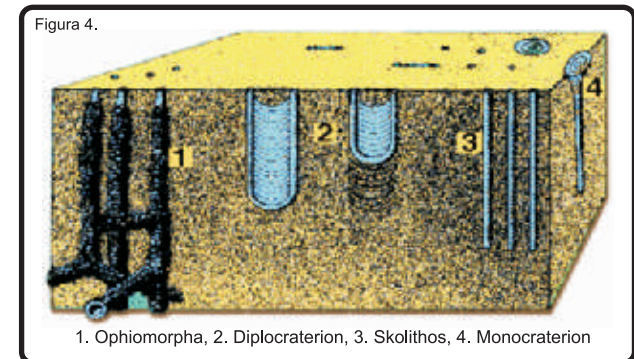
**Z** *Zoophycos*

# Ichnofacies **Skolithos**

La ichnofacies *Skolithos* (Seilacher, 1964), corresponde a medios depositacionales de elevada energía hidrodinámica, habitualmente con frecuentes fenómenos erosivos. Los procesos erosivos eliminan posibles estructuras biogénicas producidas por sedimentívoros y suspensívoros en los niveles más superficiales del sedimento (Bromley y Asgaard, 1991). El resultado es una asociación con baja diversidad dominada por las estructuras más profundas que incluyen fundamentalmente pozos verticales (*Skolithos*, *Ophiomorpha*) y estructuras de equilibrio (*Diplocraterium*, *Conichnus*). Ocasionalmente cuando la erosión no es tan importante, estructuras de depositívoros tales como *Macaronichnus* o *Dactyloidites* pueden también conservarse (Gilbert *et al.*, 1996). La Ichnofacies *Skolithos* es típica de ambientes arenosos, tales como zonas litorales y sublitorales de playas, barras arenosas o frentes deltáicos. Aunque típicamente marina somera, la Ichnofacies *Skolithos* puede también aparecer en medios marinos profundos cuando la existencia de corrientes de fondo proporciona condiciones similares a las citadas anteriormente, como por ejemplo en canales tributarios de abanicos submarinos (Frey *et al.* 1990) (Figura 4).

La ichnofacies *Skolithos* está caracterizada por:

- Madrigueras en forma de U o cilíndricas, predominantemente verticales.
- Madrigueras en U algunas veces con spreiten sobresaliente y no sobresaliente, las cuales se desarrollan en respuesta a la degradación o agradación del sustrato.
- Pocas estructuras horizontales.
- Pocas estructuras producidas por organismos móviles.
- Baja diversidad aunque las formas individuales pueden ser abundantes.
- La mayoría de las madrigueras de habitación son construidas por alimentadores en suspensión o carnívoros pasivos.
- Trazas de vertebrados particularmente en posiciones de baja energía.



(Modificado de Frey y Pemberton, 1984)

Los ichnofósiles pertenecientes a la ichnofacies *Skolithos* que fueron reconocidos en la descripción sedimentológica de la Formación Guadalupe Inferior (VSM) son: *Arenicolites*, *Diplocraterion*, *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Skolithos*.

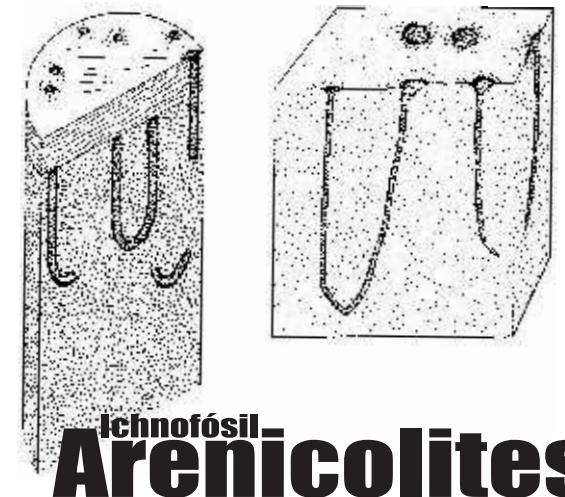
Tubos en forma de U, verticales simples, los cuales no presentan spreiten entre los miembros. Las paredes exteriores son generalmente lisas sin ornamentación; las aperturas de uno o ambos tubos parecen bengalas.

### Interpretación

Es interpretada como una madriguera de habitación (*Domichnia*) de un anélido o un pequeño crustáceo. Los probables formadores son *polychaete Arenicola* o la *amphipod Corophium*. Se ha postulado un modo predominantemente trófico de alimentadores en suspensión para estas estructuras.

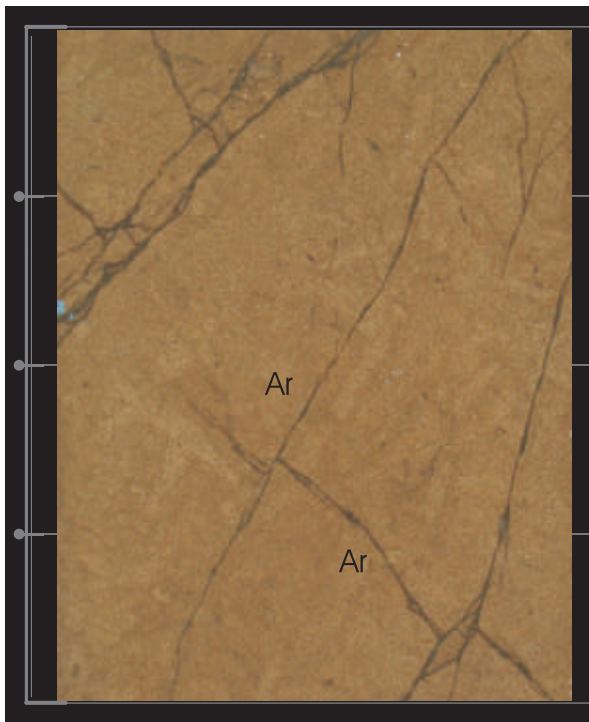
### Consideraciones ambientales:

Generalmente asociada con substratos arenosos en shoreface de baja energía o llanuras de marea arenosas (sandy tidal flats). Este es un elemento común de las ichnofacies *Skolithos*. Cuando se encuentra en gran cantidad este puede ser indicativo de una mezcla de llanuras de marea (tidal flats).



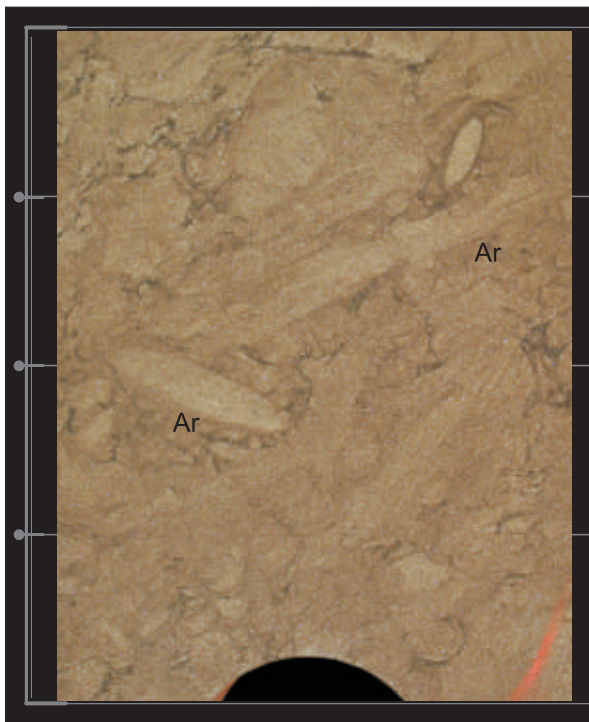
Ichnofósil  
**Arenicolites**





Madrigueras verticales de 1.0 a 2.0 pulgadas de longitud, con paredes exteriores lisas, el sedimento interno se observa de color más claro y brillante que la roca huésped, presentes en cuarzoarenitas fracturadas de grano fino a muy fino.

Madrigueras verticales a subverticales de 1.0 a 1.5 pulgadas de longitud, con paredes exteriores lisas, el sedimento interno se observa de color más claro y brillante que la roca huésped, presentes en cuarzoarenitas de grano fino.

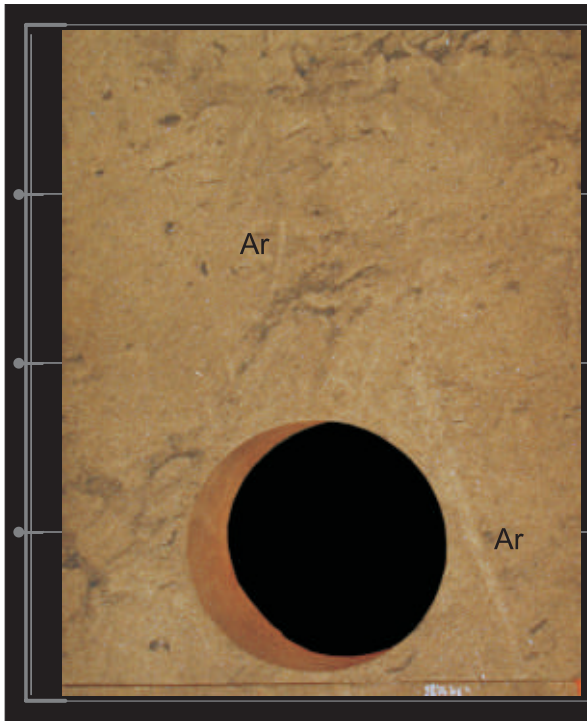


Madrigueras subverticales de 1.0 a 2.8 pulgadas de longitud, con paredes exteriores lisas, el sedimento interno se observa de color más claro y brillante que la roca huésped, presentes en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino.

Madrigueras subverticales de 1.0 a 3.8 pulgadas de longitud, con paredes exteriores lisas, el sedimento interno se observa de color más claro y brillante que la roca huésped, presentes en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino, asociadas con *Palaeophycus*.

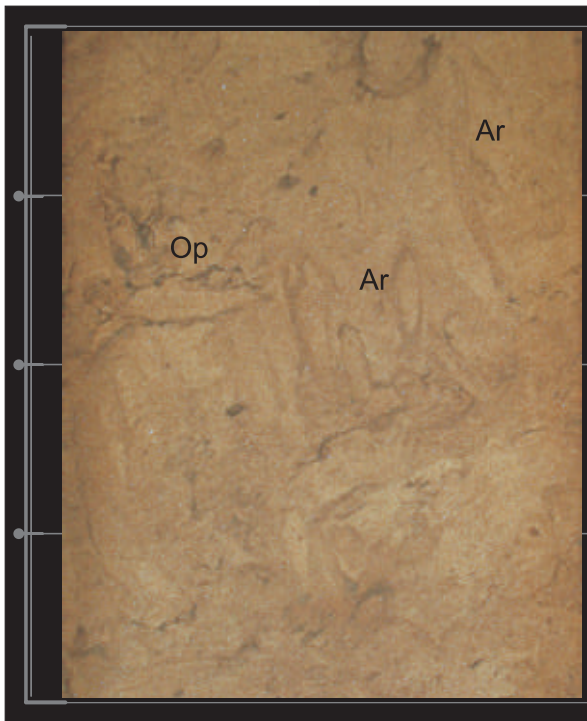
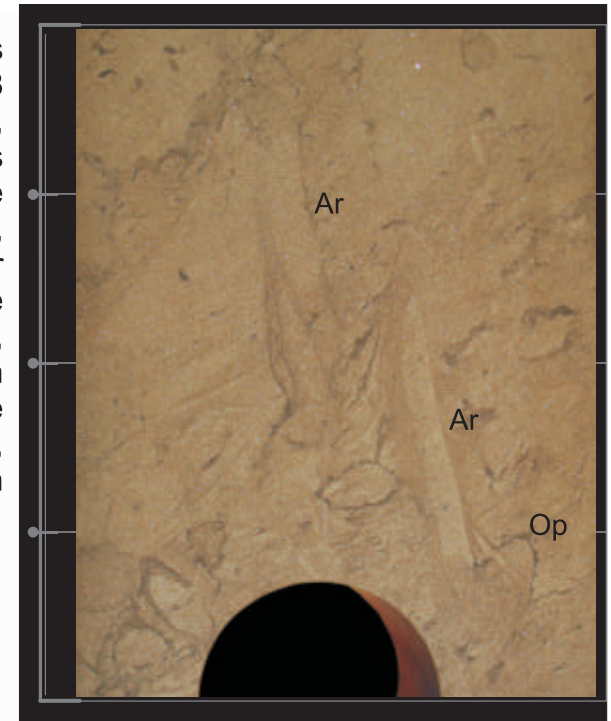






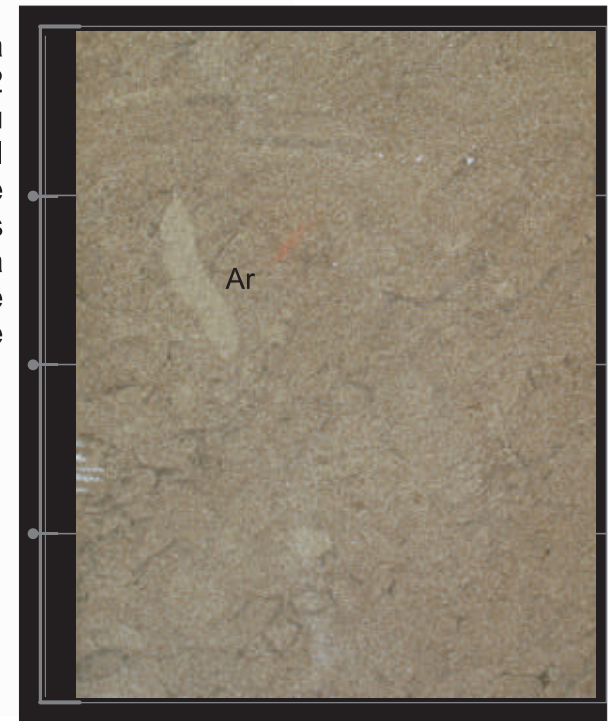
Madriguera delgadas verticales a subverticales de 0.5 a 2.5 pulgadas de longitud, con paredes exteriores lisas, el sedimento interno se observa de color más claro y brillante que la roca huésped, presentes en cuarzoarenitas de grano fino.

Madriguera gruesas verticales de 1.0 a 1.8 pulgadas de longitud, con paredes exteriores lisas y más oscuras que el sedimento interno, este se observa de color más claro y brillante que la roca huésped, presentes en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino, asociadas con *Ophiomorpha*.



Madriguera verticales de 0.5 a 1.0 pulgada de longitud, con paredes exteriores lisas y oscuras, el sedimento interno se observa de color más claro y brillante que la roca huésped, presentes en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino, asociadas con *Ophiomorpha*.

Madriguera gruesa subvertical de 1.2 pulgadas de longitud, su pared externa es lisa, el sedimento interno se observa de color más claro y brillante que la roca huésped, presente en cuarzoarenitas de grano fino.



Madrigueras verticales en forma de U con spreiten. El spreiten podría ser sobresaliente, no sobresaliente o una combinación de ambos; las aperturas de los tubos pueden ser cilíndricas o en forma de chimenea; los miembros de la U podrían ser paralelos o divergentes. Las dos aberturas circulares están conectadas por una banda horizontal de sedimentos re-trabajados correspondiente al spreiten.

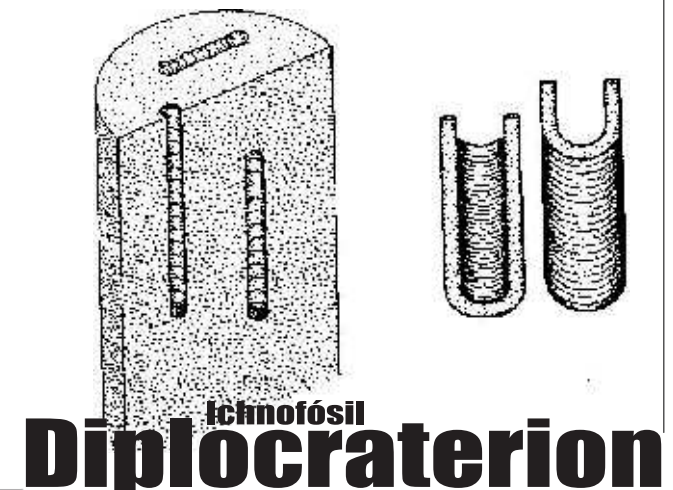
### Interpretación

Basado en análisis de características morfológicas, Fursich (1974) interpretó el *Diplocraterion* como la madriguera de habitación (*Domichnia*) de un organismo alimentador en suspensión.

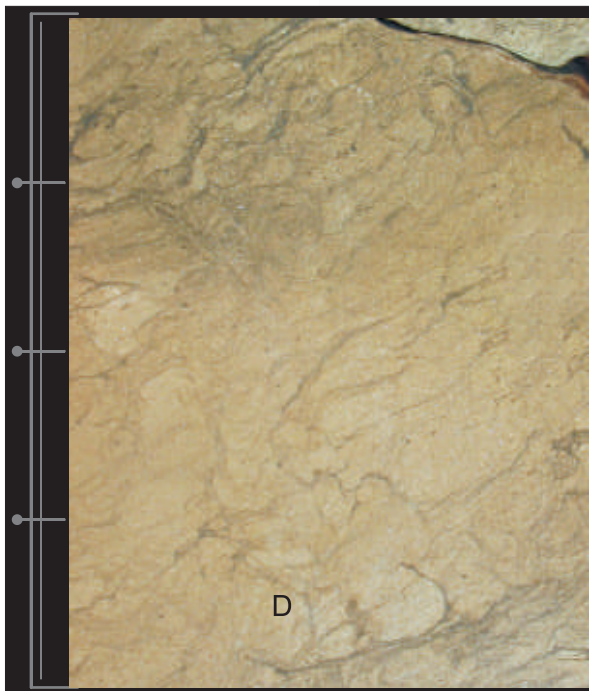
Los probables formadores son: *polychaetes*, *echiuroids* y *crustáceos*.

### Consideraciones ambientales:

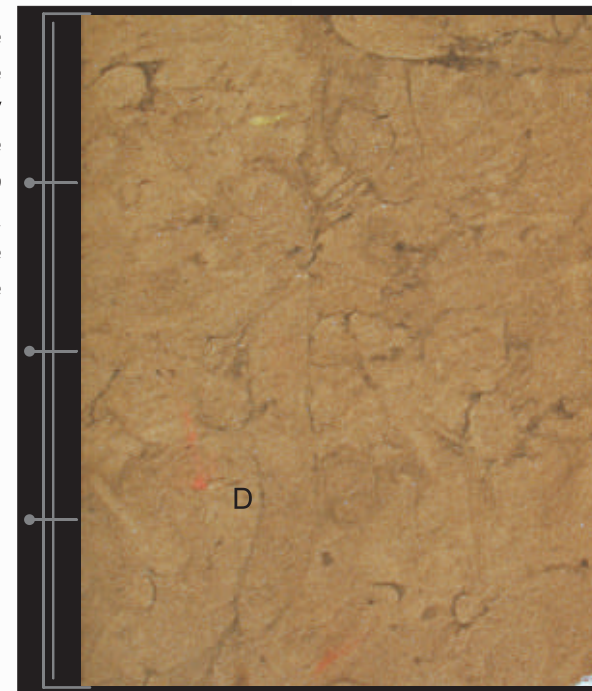
El *Diplocraterion* es un elemento común de la parte distal de la ichnofacies *Skolithos*, en un marco shoreface medio. Este también es común en llanuras de marea arenosas y en depósitos de canales estuarinos.



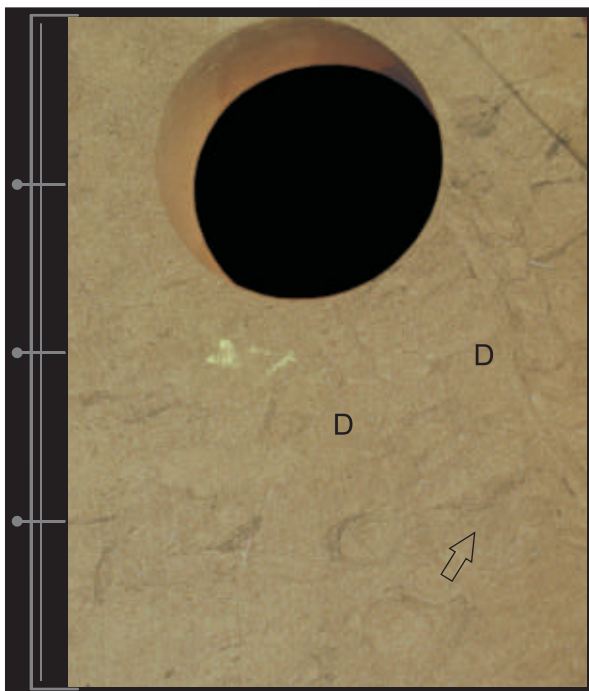




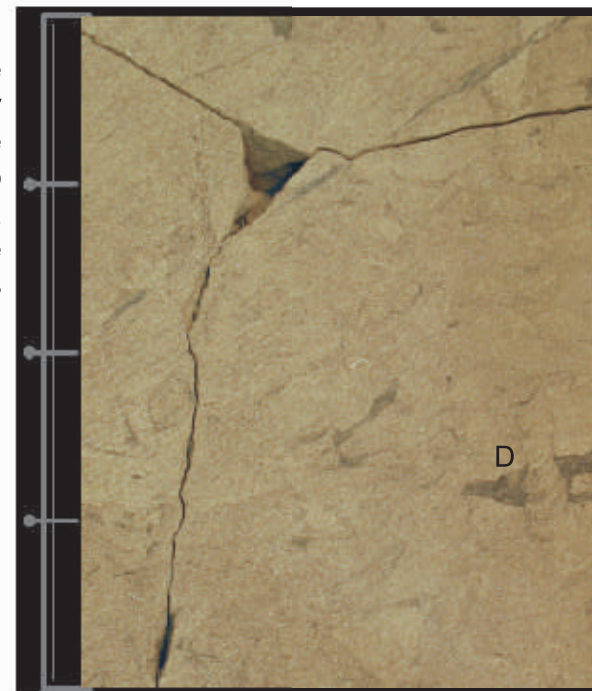
Madriguera vertical sinuosa de 3.7 pulgadas de longitud, con spreiten, su pared es ligeramente marcada, el sedimento interno es igual al de la roca huésped, presente en cuarzoarenitas de grano fino.



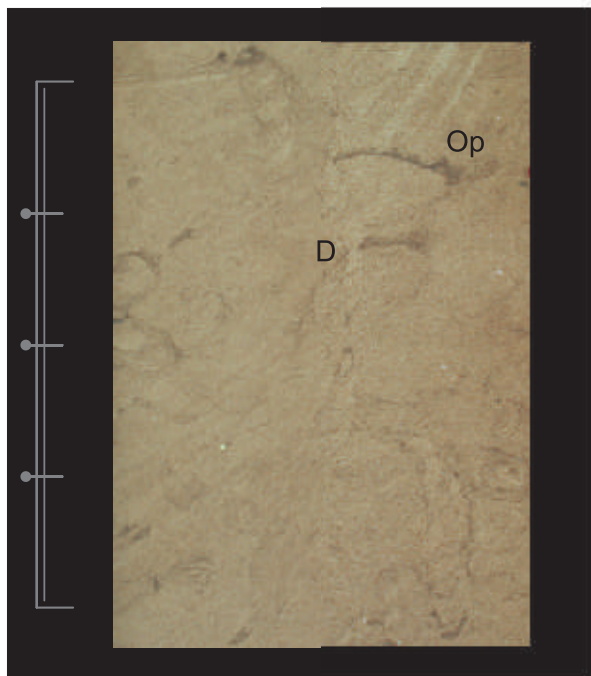
Madriguera vertical de 2.2 pulgadas de longitud, con spreiten y pared ligeramente marcada, el sedimento interno es igual al de la roca huésped, presente en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino.



Madriguera vertical de 2.8 pulgadas de longitud, en la cual se observan dos tubos paralelos con spreiten unidos por bandas horizontales (flecha), su pared es ligeramente marcada y el sedimento interno es igual al de la roca huésped, presente en areniscas lodosas.



Madriguera subvertical de 2.2 pulgadas de longitud, con spreiten y pared ligeramente marcada, el sedimento interno es igual al de la roca huésped, presente en areniscas lodosas fracturadas.



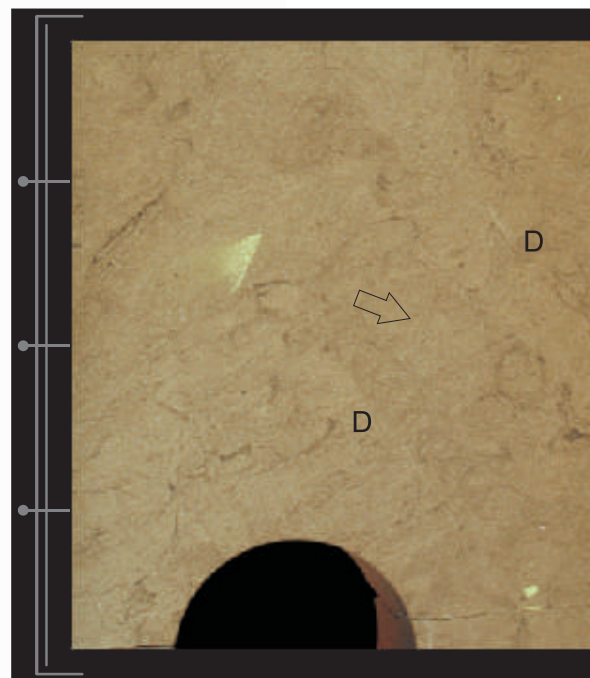
Madriguera vertical sinuosa de 4.3 pulgadas de longitud, con spreiten, su pared es ligeramente marcada, el sedimento interno es igual al de la roca huésped, presente en areniscas lodosas, se encuentra asociada a *Ophiomorpha*.

Madriguera vertical de 3.3 pulgadas de longitud, su pared y spreiten es ligeramente marcado, el sedimento interno es igual al de la roca huésped, presente en areniscas lodosas.



Madriguera vertical de 2.5 pulgadas de longitud, su pared y spreiten son ligeramente marcados, el sedimento interno es igual al de la roca huésped, presente en areniscas lodosas.

Madriguera vertical de 2.5 pulgadas de longitud, se observan dos tubos paralelos con spreiten unidos por bandas horizontales (flecha), su pared es ligeramente marcada y el sedimento interno es igual al de la roca huésped, presente en areniscas lodosas.





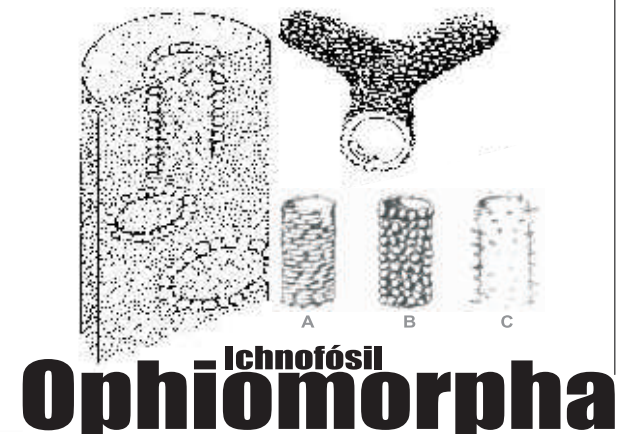
Madrigueras complejas a simples, revestidas con sedimentos pellotoidales aglutinados. El revestimiento de la madriguera es liso cerca al interior y en forma de nódulos al exterior. Pellets individuales o masas de pellets pueden ser de forma ovoide, cónica, discoidal o irregular. Las características del revestimiento pueden variar dentro de una composición similar a la roca huésped. Las ramificaciones son irregulares y están presentes en forma de U como bifurcaciones.

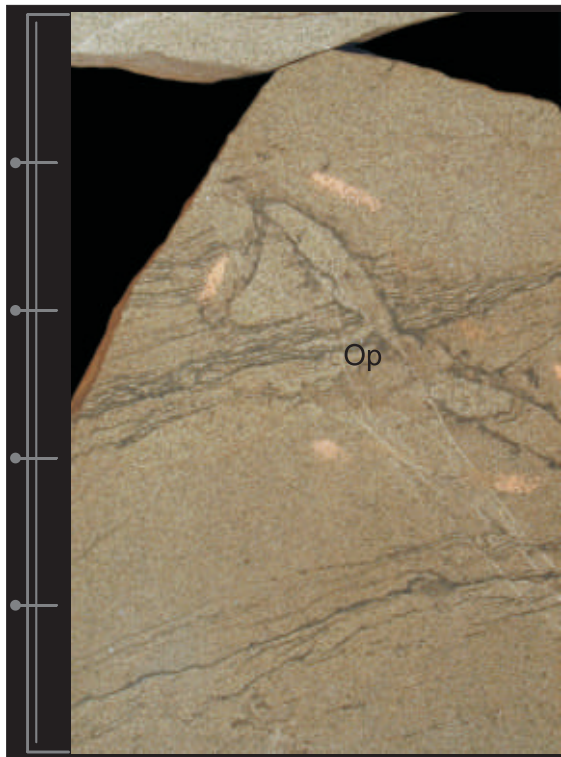
### Interpretación:

Las *Ophiomorphas* representan las madrigueras de habitación (*Domichnia*) de crustáceos, incluyendo numerosas especies de langostinos thalassinidean. Según Howard y Frey (1984) pueden ser distinguidas por diferencias en la fabricación del revestimiento de las madrigueras tres ichnoespecies (Figura inferior derecha) A. *Ophiomorpha annulata*, pellets elongados, alineados de fin a fin; B. *Ophiomorpha nodosa*, mosaico de pellets esféricos distribuidos irregularmente; C. *Ophiomorpha irregular*, pellets cónicos u ovoides distribuidos irregularmente.

### Consideraciones ambientales:

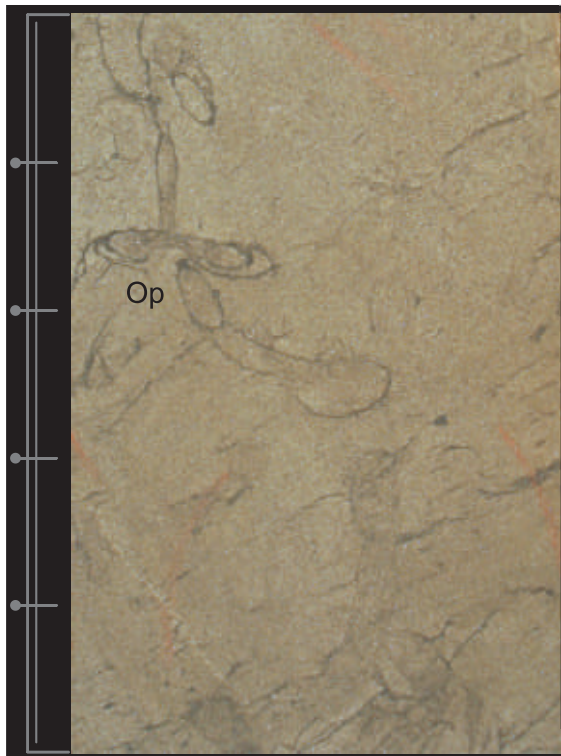
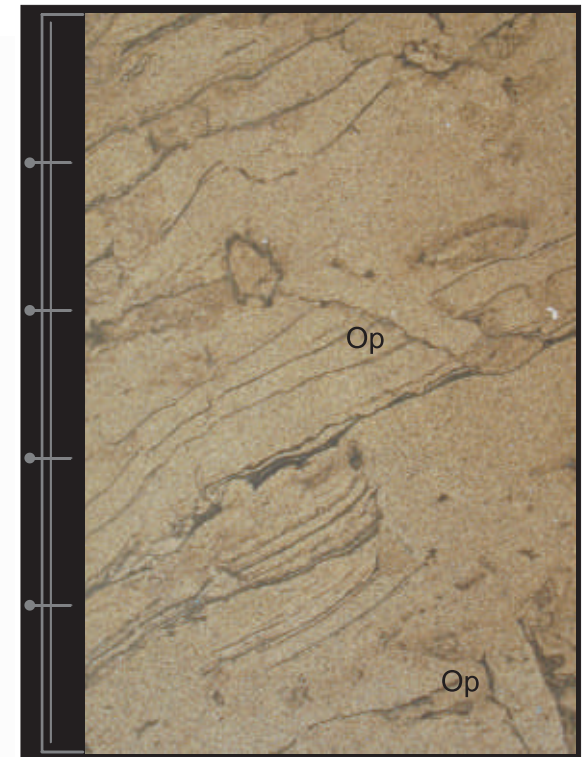
La *Ophiomorpha* está comúnmente asociada con la ichnofacies *Skolithos* y puede ser encontrada en numerosos ambientes marinos shoreface. Esta también se encuentra en aguas salobres, substratos arenosos incluyendo estuarios y bancos de marea (shoals tidal).





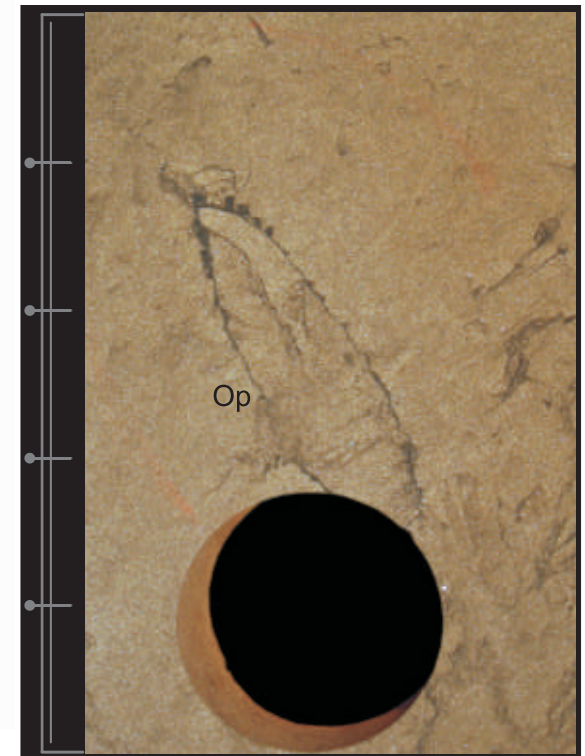
Madriguera de 2.8 pulgadas de longitud, con pared bien marcada, internamente su pared es lisa y externamente es cónica, su sedimento interno y color es igual al de la roca huésped, presente en cuarzoarenitas de grano fino, morfológicamente según Frey y Howard se podría clasificar como una *Ophiomorpha Irregular*

Madriguera en forma de Y, de 2.3 pulgadas de longitud, con pared nodosa marcada, su sedimento interno y color es igual al de la roca huésped, se encuentra cortando la laminación, presente en cuarzoarenitas de grano fino, morfológicamente según Frey y Howard se podría clasificar como una *Ophiomorpha annulata*.

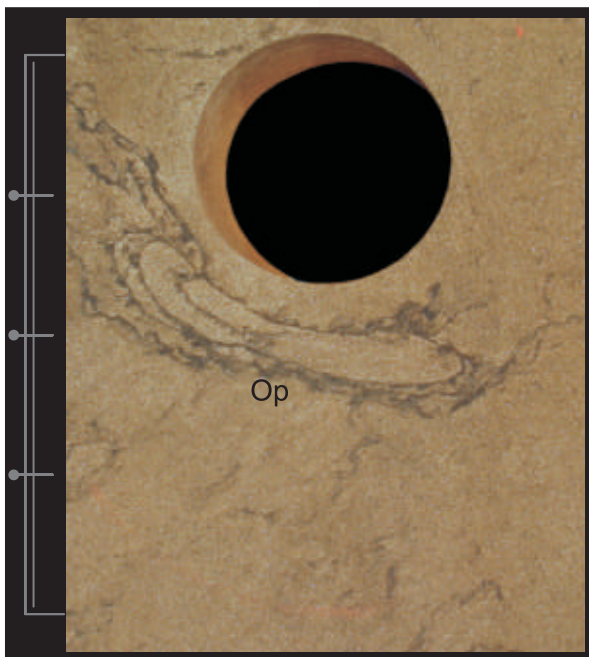


Madriguera en forma de T invertida, de 1.0 pulgada de longitud, su pared es marcada, el sedimento interno es de color más oscuro que el de la roca huésped, presente en cuarzoarenitas de grano fino.

Madriguera gruesa de 2.8 pulgadas de longitud, con pared bien marcada de forma cónica, su sedimento interno es igual al de la roca huésped, morfológicamente (Frey y Howard, 1984) se podría clasificar como una *Ophiomorpha Irregular*.

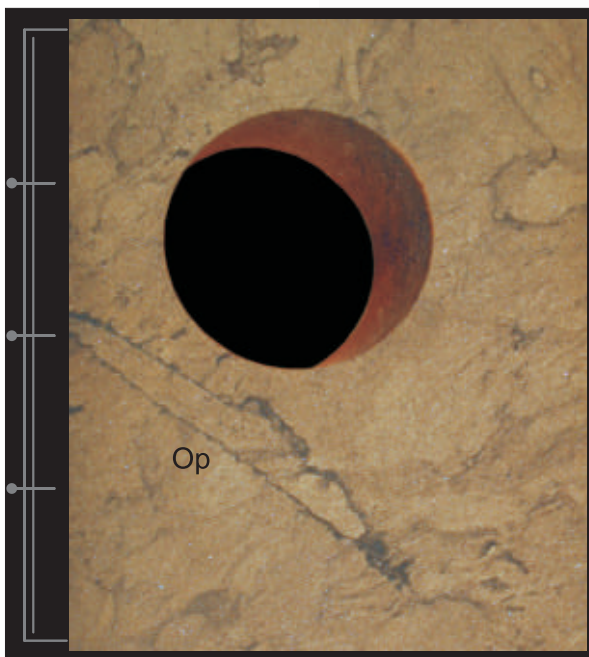






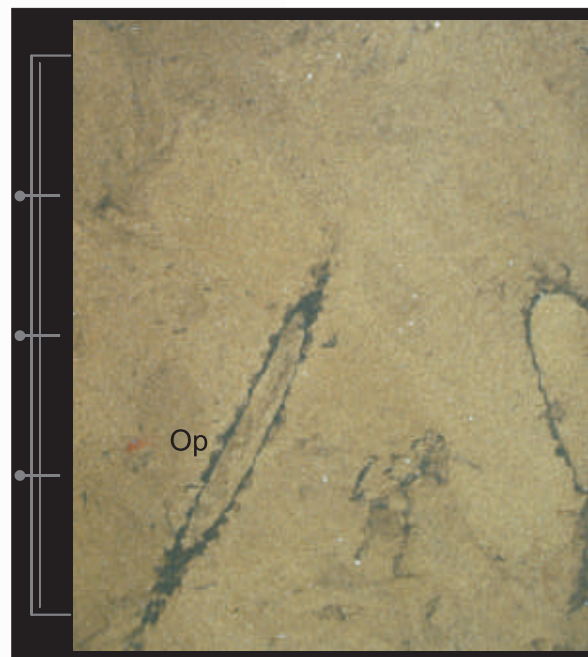
Madriguera de 3.4 pulgadas de longitud, con pared bien marcada, internamente su pared es lisa y externamente es cónica, su sedimento interno y color es igual al de la roca huésped, morfológicamente según Frey y Howard se podría clasificar como una *Ophiomorpha Irregular*.

Madriguera de 1.8 pulgadas de longitud, con pared bien marcada, su sedimento interno es más claro que el de la roca huésped, morfológicamente según Frey y Howard se podría clasificar como una *Ophiomorpha annulata*.

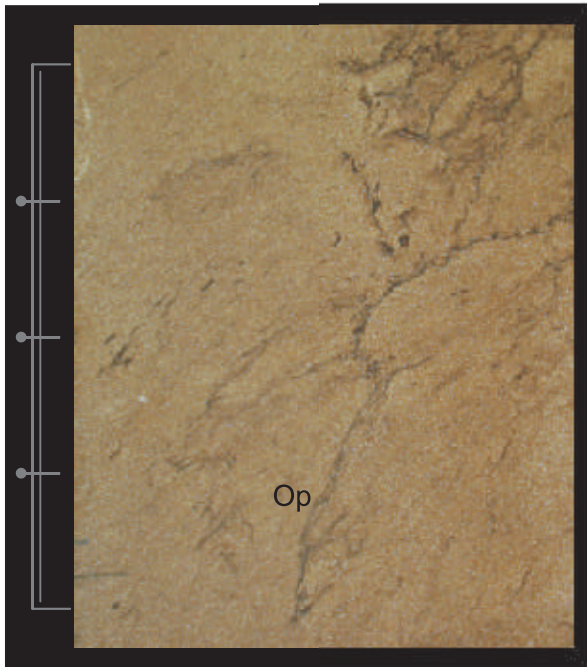


Madriguera de 2.5 pulgadas de longitud, externamente su pared es cónica bien marcada, el sedimento interno y color es igual al de la roca huésped, morfológicamente según Frey y Howard se podría clasificar como una *Ophiomorpha Irregular*.

Madriguera de 2.1 pulgadas de longitud, externamente su pared es cónica bien marcada e internamente es lisa, el sedimento interno es igual al de la roca huésped, morfológicamente (Frey y Howard, 1984), se podría clasificar como una *Ophiomorpha Irregular*.

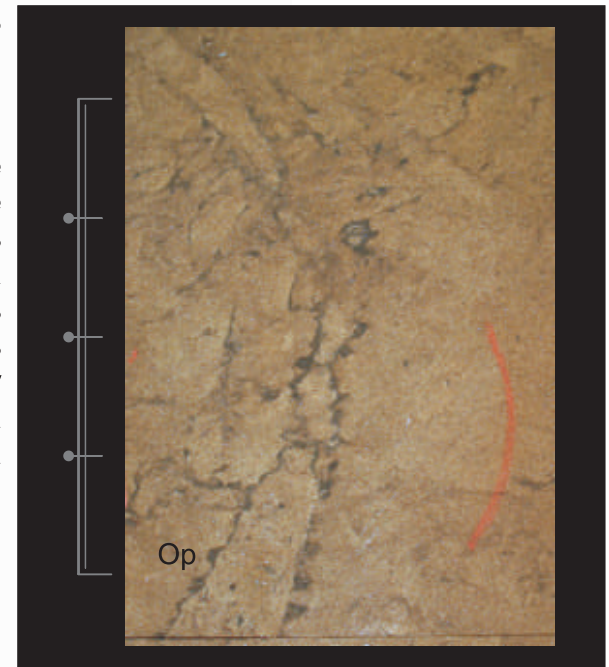






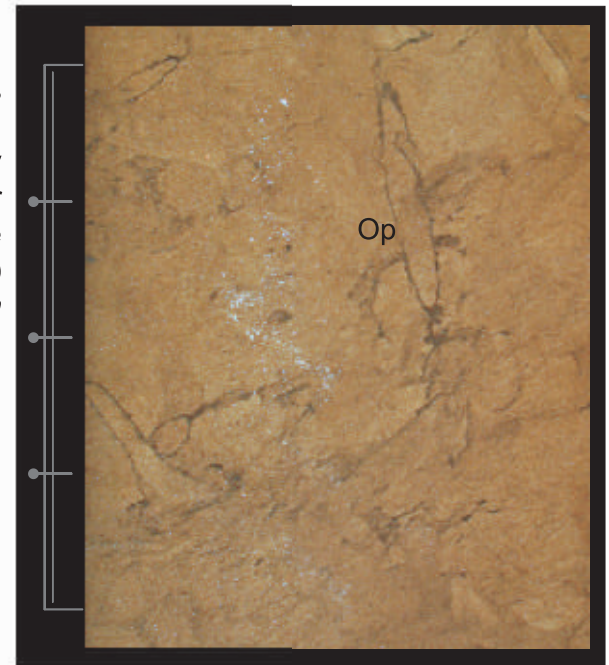
Madriguera ramificada, en forma de Y de 2.5 pulgadas de longitud, con paredes ligeramente marcadas, presente en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino, el sedimento interno es igual a de la roca huésped.

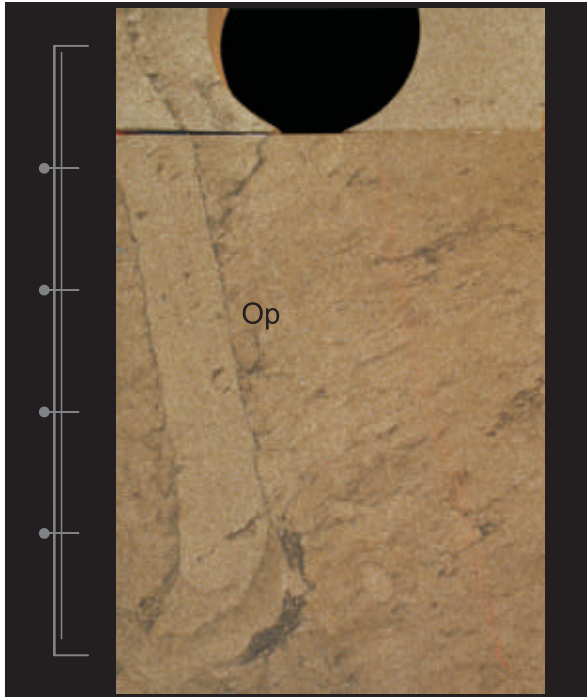
Madriguera de 2.8 pulgadas de longitud con paredes bien marcadas, presente en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino, se observan fosfatos relleno la madriguera. Según sus características morfológicas (Howard y Frey, 1984) se podría clasificar como una *Ophiomorpha irregular*.



Madriguera de 1.5 pulgadas de longitud, presente en areniscas de grano fino a muy fino, el sedimento interno es más claro que el de la roca huésped, su pared es marcada y se podría clasificar morfológicamente (Howard y Frey, 1984) como una *Ophiomorpha nodosa*.

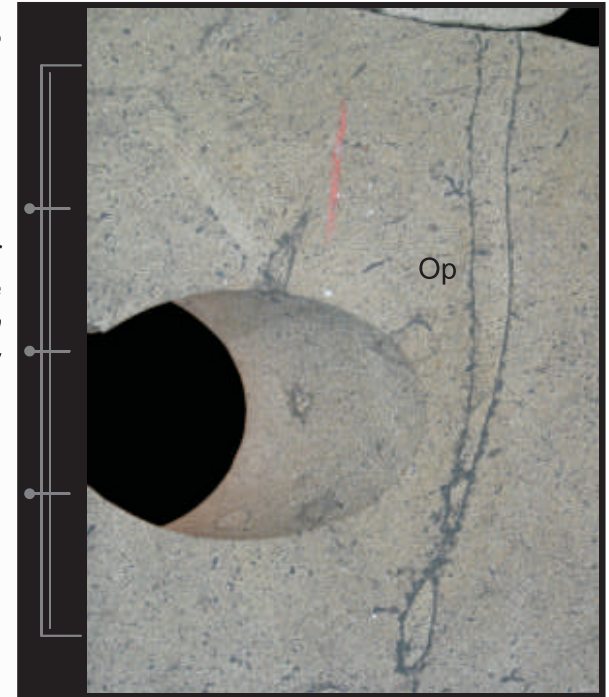
Madriguera de 1.1 pulgadas de longitud, presente en areniscas de grano fino a muy fino, su pared es marcada y se podría clasificar morfológicamente (Howard y Frey, 1984) como una *Ophiomorpha nodosa*.





Madriguera vertical de 5.5 pulgadas de longitud, presente en cuarzoarenitas de grano fino, el sedimento interno es más claro que el de la roca huésped, morfológicamente se podría clasificar como una *Ophiomorpha anulata*. (Howard y Frey 1984).

Madriguera vertical de 5 pulgadas de longitud, presente en cuarzoarenitas con restos fosfáticos, su pared es muy marcada, se podría clasificar morfológicamente como una *Ophiomorpha irregular* (Howard y Frey, 1984).



Madriguera ramificada de 1.5 pulgadas de diámetro, presente en areniscas lodosas, con pared moderadamente marcadas, se podría clasificar morfológicamente (Howard y Frey, 1984) como una *Ophiomorpha irregular*.

Madriguera de 0.8 pulgadas de longitud, presente en calizas tipo Mudstone, con pared ligeramente marcada, se podría clasificar morfológicamente (Howard y Frey, 1984) como una *Ophiomorpha anulata*.





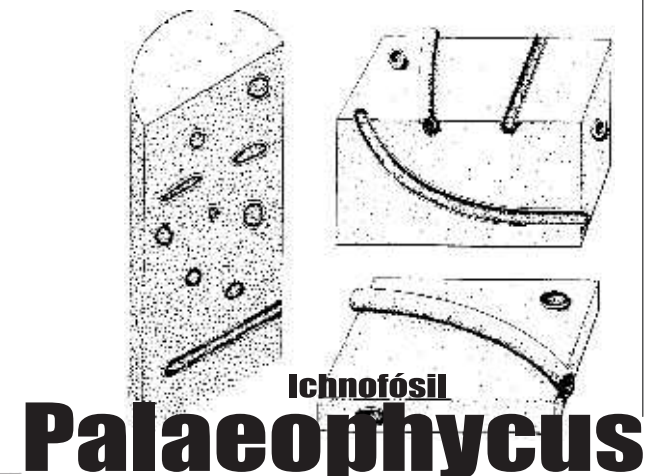
Madriguera no ramificada, inclinada a horizontal, cilíndrica, el sedimento interno es típicamente de la misma litología y textura que el de la roca huésped. Las paredes podrían ser lisas, longitudinalmente estriadas o con un nódulo transversal.

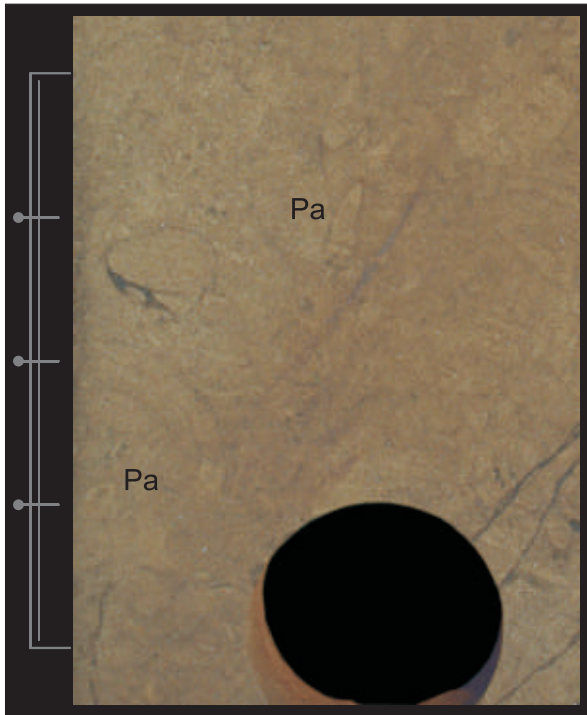
### Interpretación

El *Palaeophycus* es morfológicamente similar al *Planolites* y se distingue principalmente por las paredes y el relleno de las madrigueras. El relleno del *Palaeophycus* es igual al de la roca adyacente. Es interpretada como una madriguera de habitación (*Domicinia*) de un *polychaete*.

### Consideraciones Ambientales

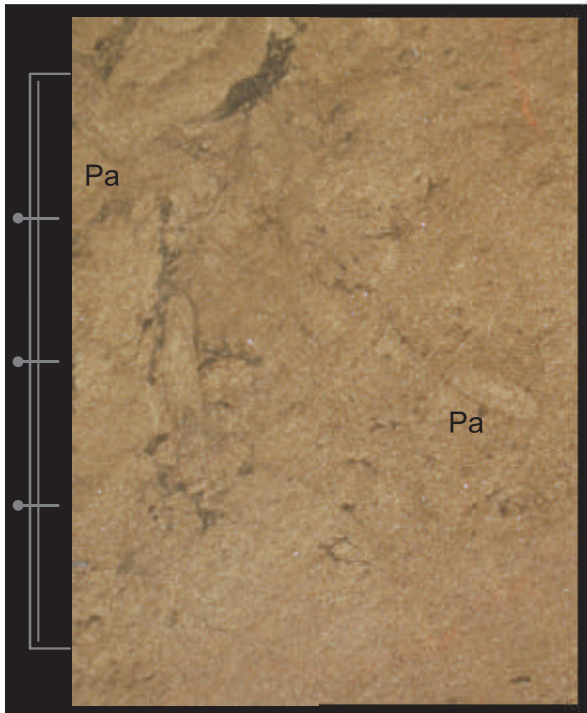
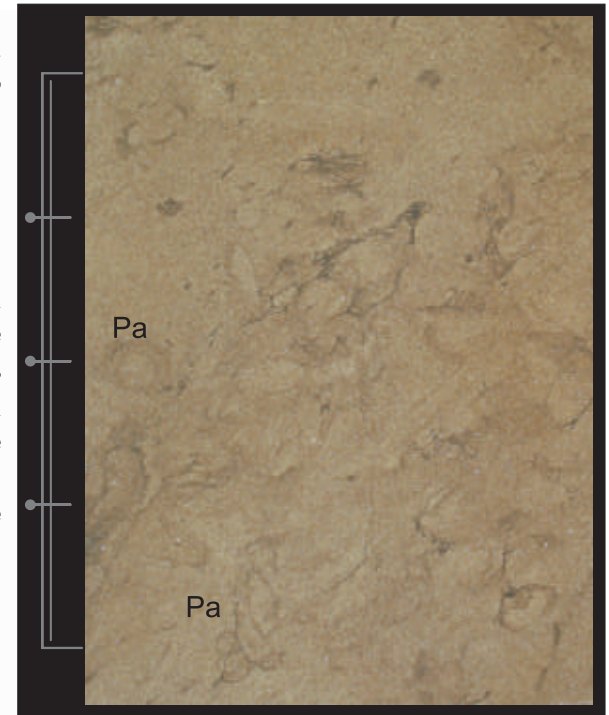
Está asociada con la Ichnofacies *Skolithos* en ambientes shoreface tanto de baja como de alta energía y es comúnmente encontrada con *Planolites* o *Macaronichnus*. Se encuentra también en aguas salobres.





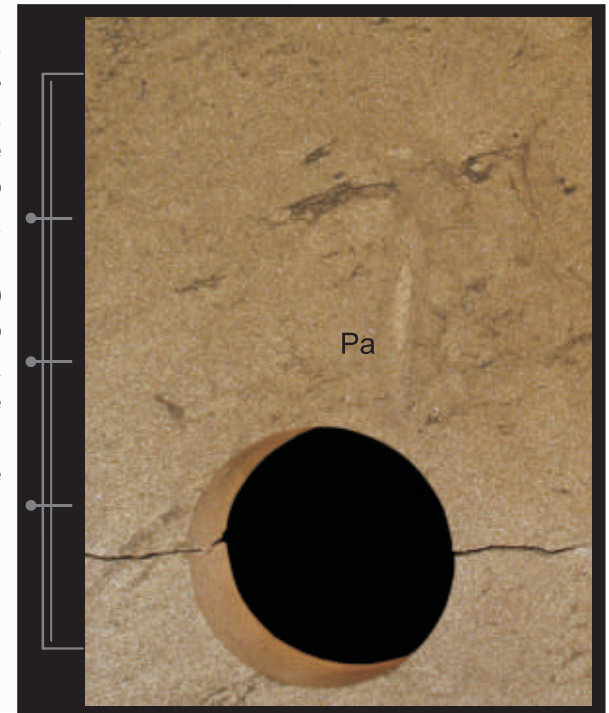
Madrigueras de forma circular a elíptica, de 0.6 pulgadas de longitud, están conformadas por un núcleo con sedimento de color igual al de la roca huésped y un manto que es de color mas claro que el de la roca adyacente; se encuentran en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino.

Madrigueras de forma circular, de 0.5 pulgadas de diámetro, las cuales presentan un halo concéntrico, internamente su sedimento presenta el mismo color de la roca huésped y su parte exterior es de color mas claro que el de la roca adyacente; se encuentran en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino.

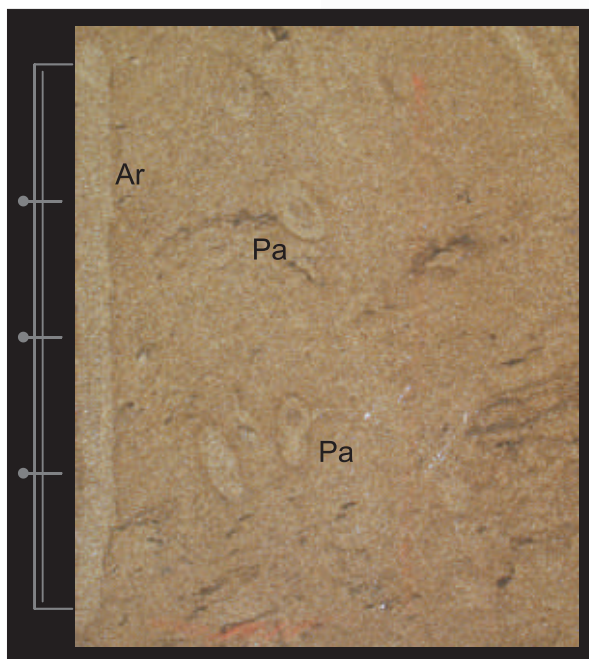


Madrigueras de forma elíptica, de 0.6 pulgadas de longitud, sus núcleos presentan un sedimento de color igual al de la roca huésped y sus mantos son de color mas claro que el de la roca adyacente; se encuentran en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino.

Madriguera de forma elíptica, de 0.6 pulgadas de longitud, presenta un núcleo (parte interior) con sedimento de color igual al de la roca huésped y su manto (parte exterior) es de color mas claro que el de la roca adyacente; se encuentran en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino.

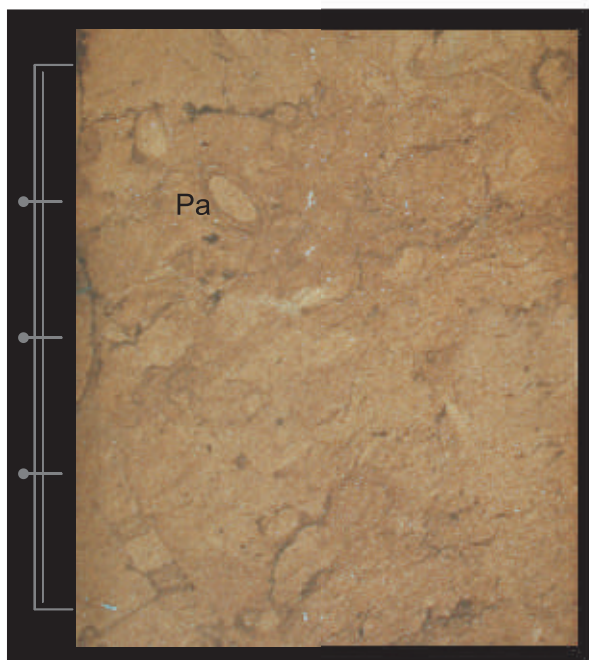
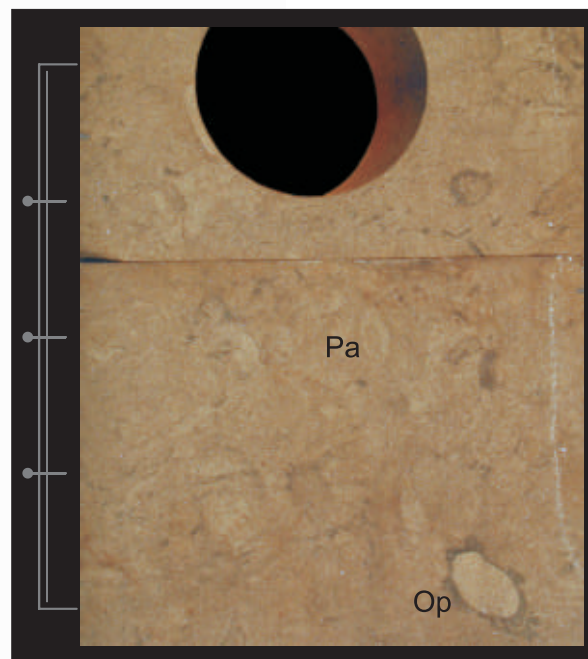






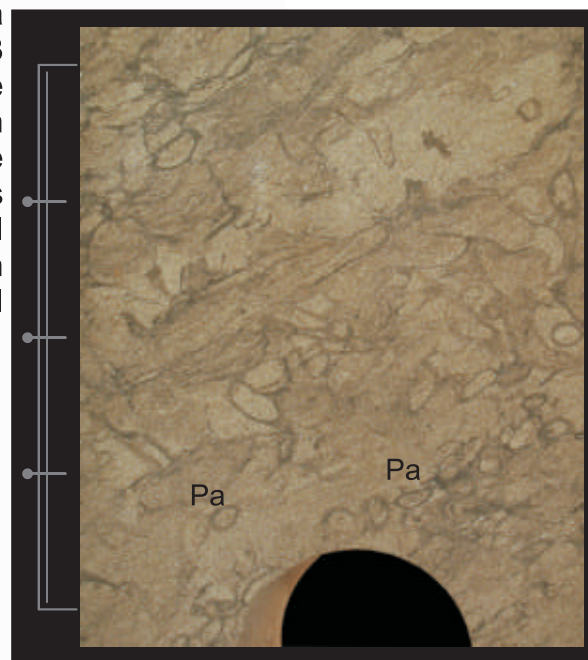
Madrigueras de forma elíptica, de 0.5 pulg. de longitud, presentan en la parte interna un sedimento de color igual al de la roca huésped y en su parte externa es de color mas claro que el de la roca adyacente; se encuentran en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino. Al lado izquierdo se observa un Arenicolites de 4.1 pulgadas de longitud.

Madriguera de forma circular, de 0.4 pulgadas de diámetro, presenta un halo concéntrico, con un núcleo con sedimento de color igual al de la roca huésped y su manto es de color mas claro que el de la roca adyacente; se encuentran en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino; se encuentra asociado con *Ophiomorpha*.



Madriguera de forma circular, de 0.5 pulgadas de diámetro, presenta un núcleo con sedimento de color más claro que el de la roca huésped y su pared externa es de color mas oscuro que el de la roca adyacente; se encuentra en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino.

Madrigueras de forma circular, a lobular de 0.3 a 0.4 pulgadas de diámetro, se presentan en cuarzoarenitas de grano fino, sus paredes son gruesas y lisas, el sedimento interno es un poco más grueso que el de la roca huésped.



Madrigueras no ramificadas, sub-verticales a verticales, curvadas a rectas, cilíndricas a sub-cilíndricas. Los shafts pueden ser rectos o no y generalmente presentan paredes lisas, pero podrían ser anulares.

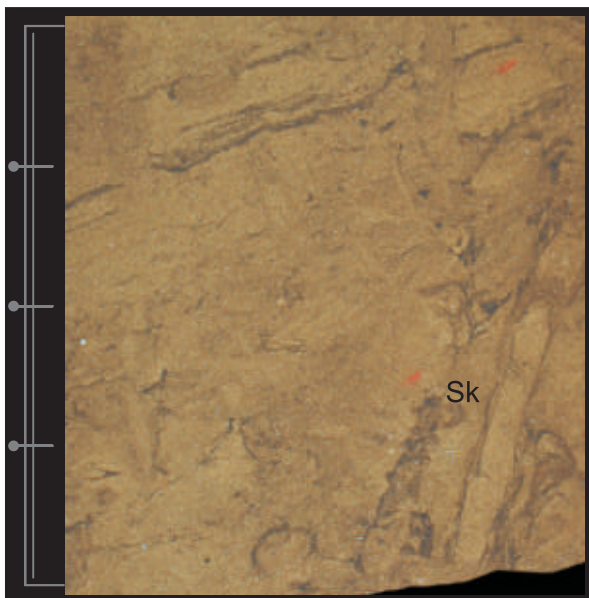
### **Interpretación**

El *Skolithos* representa una madriguera de habitación (*Domichnia*) de organismos carnívoros pasivos o alimentadores en suspensión. Los organismos formadores que han sido postulados son *Sabellaria*, *Arenicola*, y *Onuphis* y larvas de insectos.

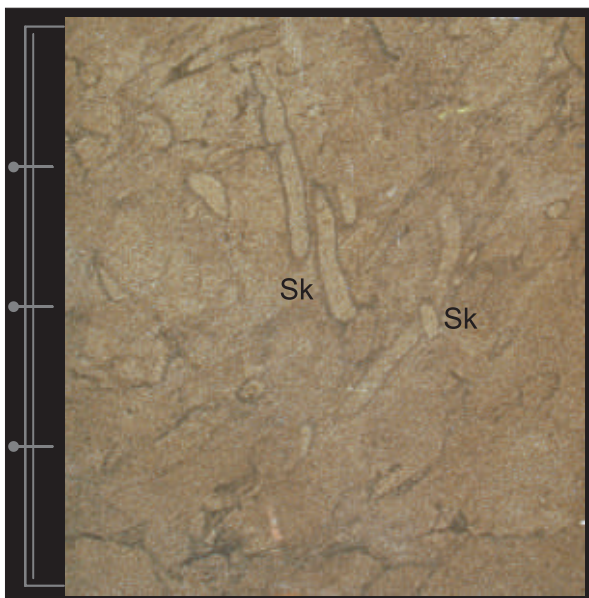
### **Consideraciones ambientales**

Las madrigueras de *Skolithos* están generalmente asociadas a ambientes marinos o salobres. Es un elemento de la ichnofacies *Skolithos*, porque los *Skolithos* pueden ser construidos por diferentes clases de organismos. Este es encontrado en muchos tipos de ambientes marinos o no marinos.



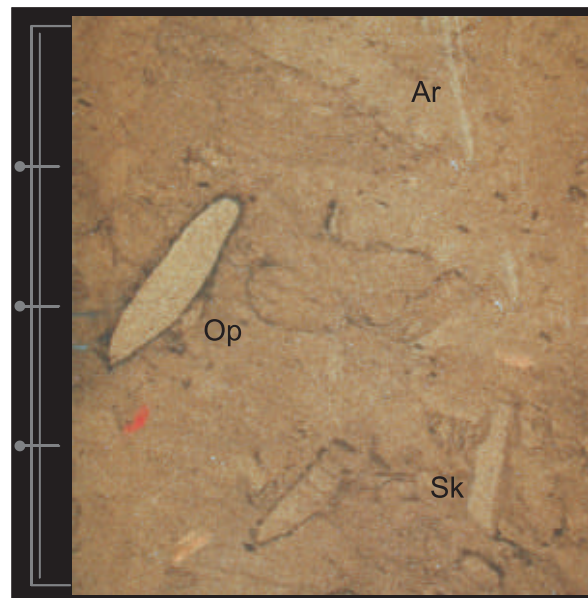


Madriguera subvertical de 2.2 pulgadas de longitud, con paredes lisas muy marcadas, se encuentra en cuarzoarenitas de grano fino, el relleno es de color más claro que el de la roca huésped.



Asociación de madrigueras de *Skolithos*, subverticales de 2 a 2.5 pulgadas de longitud, con paredes lisas, gruesas y marcadas, se encuentra en cuarzoarenitas de grano fino, el relleno es de color más claro que el de la roca huésped.

Madriguera subvertical de 1 pulgada de longitud, con paredes lisas muy marcadas, se encuentra en cuarzoarenitas de grano fino, el relleno es de color más claro que el de la roca huésped, en la fotografía se observa que se encuentra asociado con *Ophiomorpha* y *Arenicolites*.





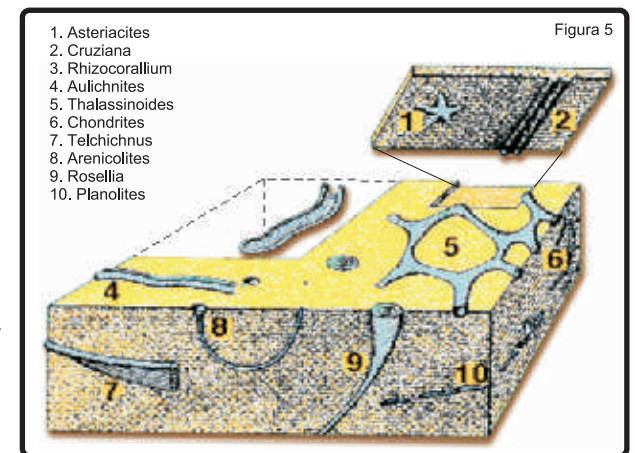
# Ichnofacies Cruziana

La Ichnofacies *Cruziana* fue una de las cuatro ichnofacies definidas originalmente por Seilacher (1964). Inicialmente esta ichnofacies fue definida para medios de plataforma somera entre el nivel de oleaje normal y el nivel de oleaje de tormenta, pero posteriormente ha sido reconocida en otros ambientes someros de energía baja o moderada, como lagoons y estuarios. El rango de la tasa de depositación es desde insignificante a apreciable, pero no es normalmente rápida.

En niveles de baja energía (pero no insignificante), las provisiones de comida consisten tanto de elementos depositados como suspendidos. Cada fracción puede predominar localmente, o las dos pueden estar mezcladas. Los organismos característicos incluyen tanto depósito-alimentadores como en suspensión, para carnívoros y carroñeros móviles. Los rastros de excavadores epibentónicos y endobentónicos pueden también ser comunes y reflejar la abundancia, diversidad y accesibilidad del alimento (Figura 5).

La ichnofacies *Cruziana* está caracterizada por:

- Estructuras horizontales y verticales inclinadas de asociación variada.
- Presencia de estructuras construidas por organismos móviles.
- Generalmente alta diversidad y abundancia
- La mayoría de estructuras de pastoreo (*grazing*) y alimentación (*feeding*) son construidas por depósito-alimentadores (*Deposit feeders*).



(Modificado de Frey y Pemberton, 1984)

La Ichnofacies *Cruziana* suele exhibir una diversidad elevada con dominio de estructuras producidas por sedimentívoros como: *Pascichnia* (*Helminthopsis*, *Cruziana* o *Phycosiphon*) y *Fodinichnia* (*Thalassinoides*, *Rhizocorallium* o *Teichichnus*), son los grupos etológicos dominantes aunque *Domichnia*, *Repichnia* y *Cubichnia* son también comunes.



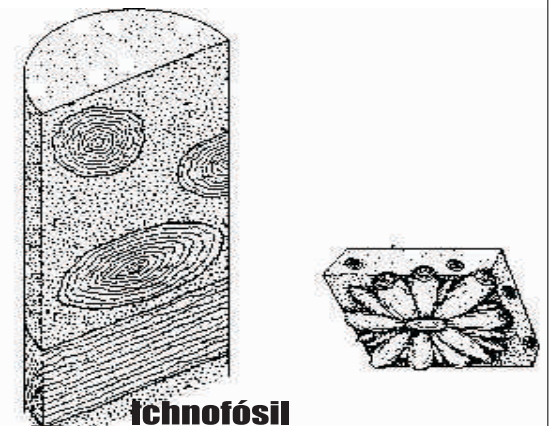
Madriguera en forma de estrella, consistente de brazos bulbosos, radiales, afilados hacia adentro y hacia el centro. Los brazos tienden a ser circulares en sección transversal y consisten de laminación concéntrica de arenas y arcillas, llenadas alrededor de un tubo central; el exterior es generalmente liso, pero pueden exhibir estrías o arrugas longitudinales

### Interpretación

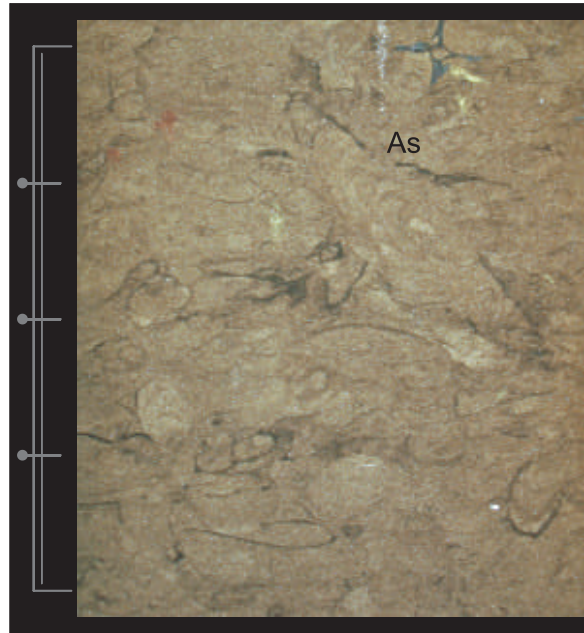
*Asterosoma* ha sido interpretada como la madriguera de alimentación (*Fodinichnia*) de un gusano. Los organismos parecen haber probado el sedimento repetidamente para ampliar la galería y trabajar más el sedimento verticalmente y lateralmente; detalles exactos de este proceso permanecen basados en conjeturas. El sedimento del relleno podría estar relacionado con funciones de bodega de los residuos de alimentación.

### Consideraciones ambientales

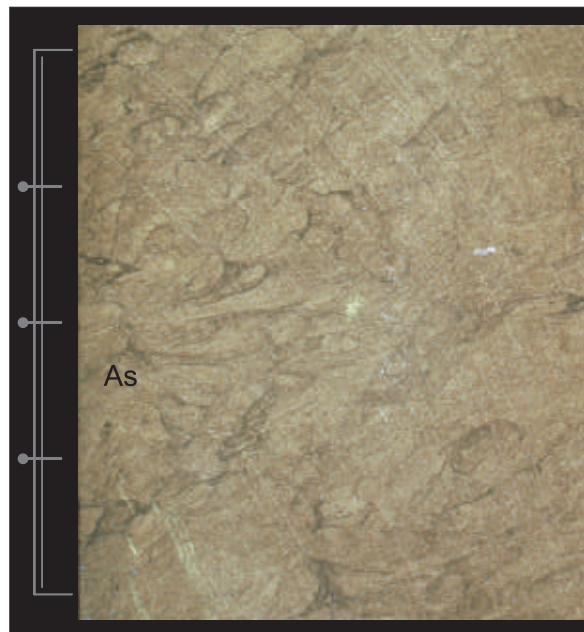
*Asterosoma* representa una estructura de alimentación especializada y está por lo tanto más comúnmente asociada con condiciones completamente marinas. Generalmente encontrada en la parte superior del frente costero inferior (lower shoreface upper) en asociación con *Rosselia*. Es común de la ichnofacies *Cruziana*.



**Asterosoma**



Madriguera en forma de estrella, de 2.3 pulgadas de longitud, presenta brazos los cuales tienden a ser circulares y constan de una laminación concéntrica hacia el centro, se presenta en cuarzoarenitas de grano muy fino.



Madriguera en forma de flor, de 1.8 pulgadas de longitud, presenta brazos bulbosos radiales que se desprenden de un centro, se presenta en cuarzoarenitas de grano muy fino.

Madrigueras con paredes lisas, las cuales no presentan ramificaciones, irregularmente meandriformes. En sección transversal, las madrigueras son elípticas a subcirculares y son generalmente horizontales. El relleno tiende a ser diferente al de la matriz de la roca adyacente. En corazón la *Helminthopsis* aparece comúnmente como diminutos puntos negros (sección transversal) de 1 a 3 mm de diámetro o líneas negras (sección longitudinal).

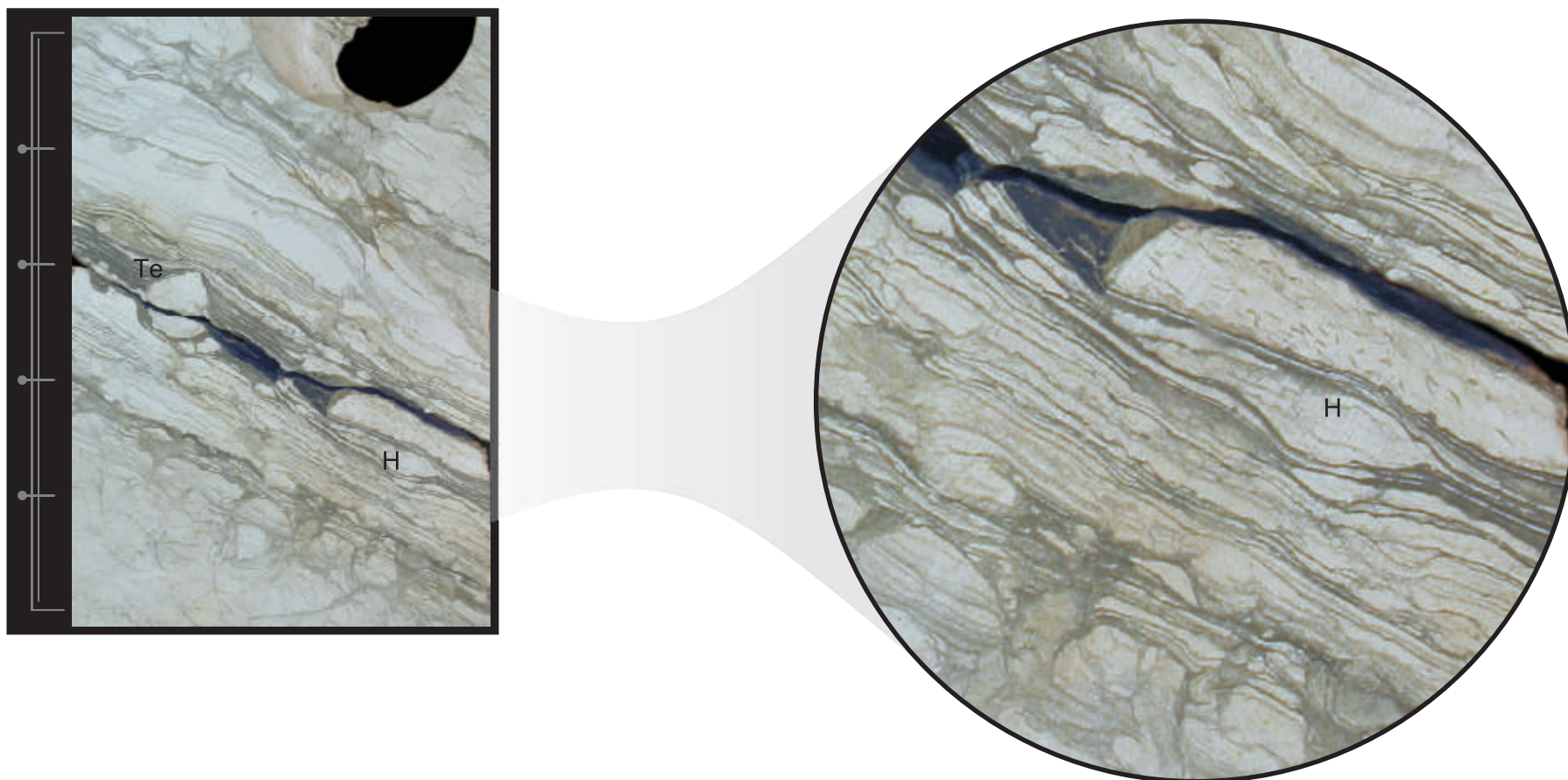
### Interpretación

La *Helminthopsis* representa la huella de pastoreo de gusanos.

### Condiciones ambientales

Es un elemento común de la ichnofacies *Cruziana* distal y de la ichnofacies *Zoophycos* proximal sobre una plataforma marino somera normal. En algunos casos la *Helminthopsis* puede estar asociada con baja energía y a ambientes de bahía de grano fino.





Madriguera meandriforme irregular, subhorizontal, de 1.5 pulgadas de longitud, con pared lisa, presente en lodolitas arenosas, se observa como diminutos puntos negros de 1 a 2 mm. Se encuentra asociada con *Teichichnus* de 0.5 pulgadas de longitud.



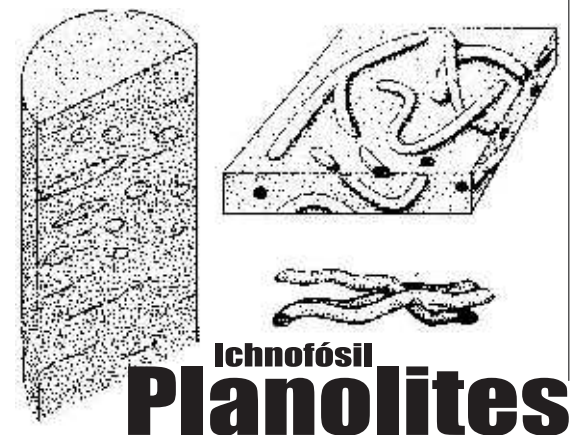
Madriguera lisa, raramente ramificada, de forma circular a elíptica en sección transversal, de dimensiones y configuraciones variables. Su relleno se diferencia en litología de la roca huésped.

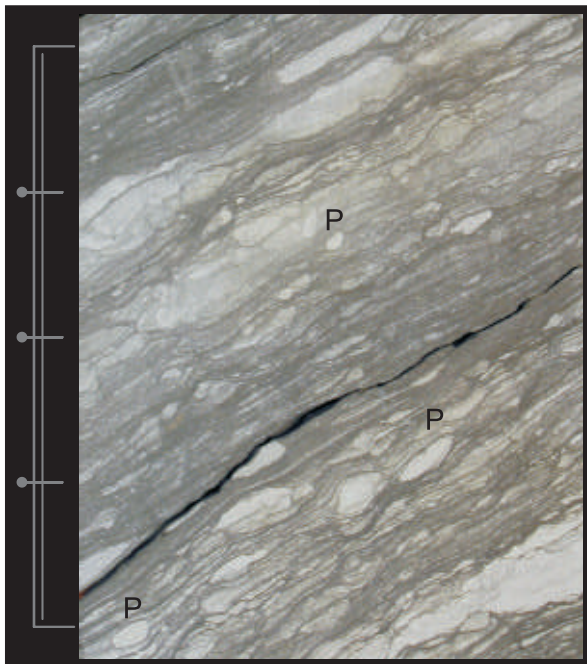
#### **Interpretación:**

El *Planolites* se distingue del *Palaeophycus* principalmente por tener las paredes lisas y el relleno de la madriguera diferente en textura al de la roca adyacente; el relleno podría diferir en fábrica, composición y color. El relleno del *Planolites* representa sedimentos procesados por los organismos, especialmente a través de actividades de alimentadores de sedimentos (alimentadores profundos), probablemente *polychaetes* u otros organismos como gusanos.

#### **Consideraciones ambientales**

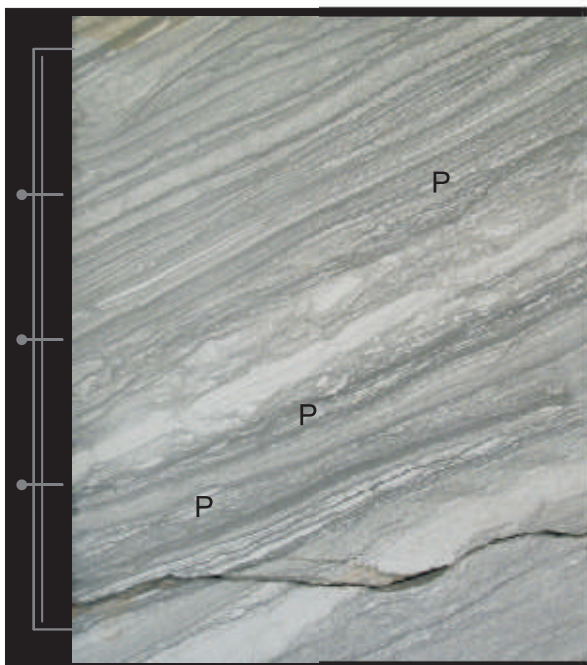
Encontrado virtualmente en todos los ambientes de aguas frescas a marino profundo.





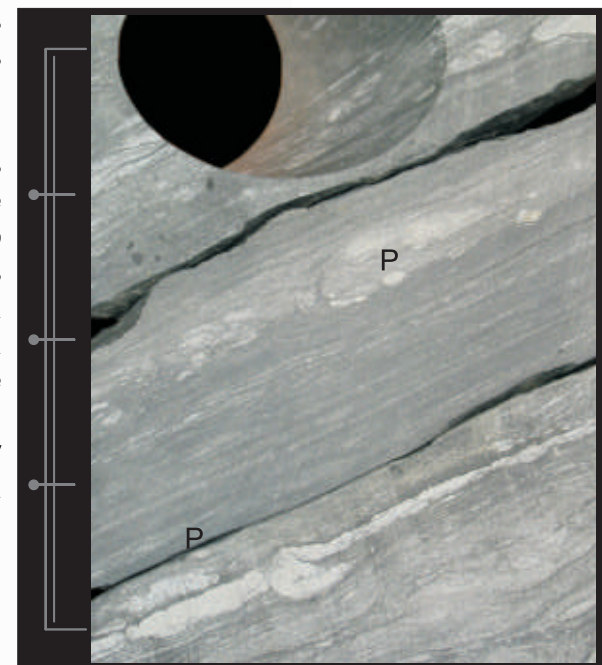
Madrigueras elípticas de 0.1 a 0.2 pulgadas de longitud, con paredes lisas, presentes en limolitas arenosas, las cuales se encuentran orientadas en la misma dirección de la laminación, el relleno de la madriguera difiere en textura, composición y color al de la roca huésped.

Madrigueras de 0.1 a 0.2 pulgadas de longitud, con paredes lisas, presentes en limolitas arcillosas, las cuales se encuentran orientadas en la misma dirección de la laminación, el relleno de la madriguera difiere en textura, composición y color al de la roca huésped.



Madrigueras elípticas de 0.1 a 0.2 pulgadas de longitud, con paredes lisas, presentes en limolitas arenosas, las cuales se encuentran orientadas en la misma dirección de la laminación, el relleno de la madriguera difiere en textura, composición y color al de la roca huésped.

Madrigueras circulares de 0.1 a 0.2 pulgadas de longitud, con paredes lisas, presentes en limolitas arcillosas, las cuales se observan como pequeños puntos orientados en la misma dirección de la laminación, el relleno de la madriguera difiere en textura, composición y color al de la roca huésped.



Madrigueras en forma de U, con spreiten, horizontales, de sinuosas a rectas. Los tubos son más o menos paralelos; el radio del tubo diámetro a diámetro del spreiten es 1:5. Los spreiten son típicamente sobresalientes. El relleno de la madriguera es comúnmente idéntico a la matriz, pero en algunos casos es de grano fino. En corazones, el *Rhizocorallium* es distinguido por dos madrigueras circulares unidos por una banda horizontal (spreiten).

### Interpretación

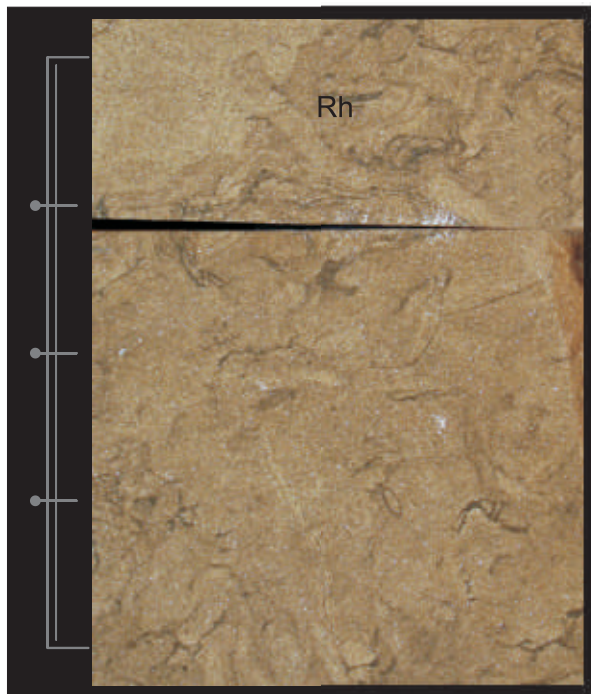
Son interpretadas como alimentadores de sedimentos (*Fodinichnia*). Aunque originalmente fueron interpretados como un coral, una esponja o un alga, la presencia de distintas marcas de surcos sobre las paredes del tubo es consistente con un origen crustáceo.

### Consideraciones ambientales

El *Rhizocorallium* está asociado con ambientes completamente marinos de la ichnofacies *Cruziana* distal. Bajo ciertas condiciones este podría encontrarse en la ichnofacies *Glossifungites*.

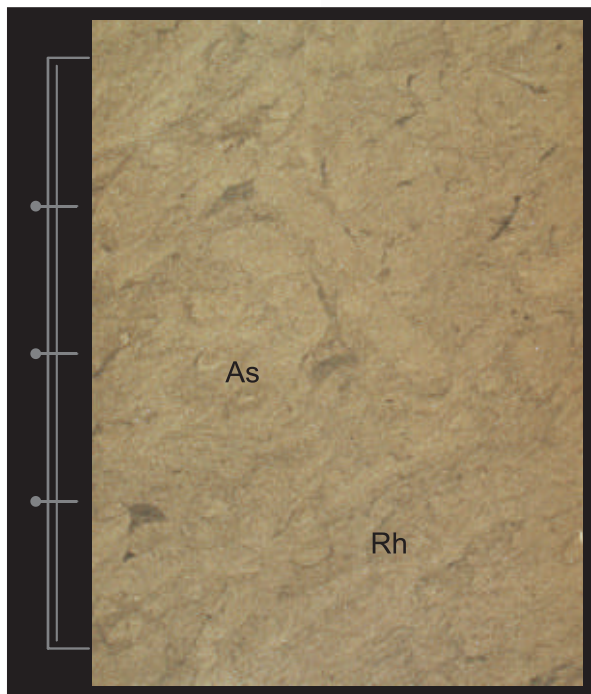
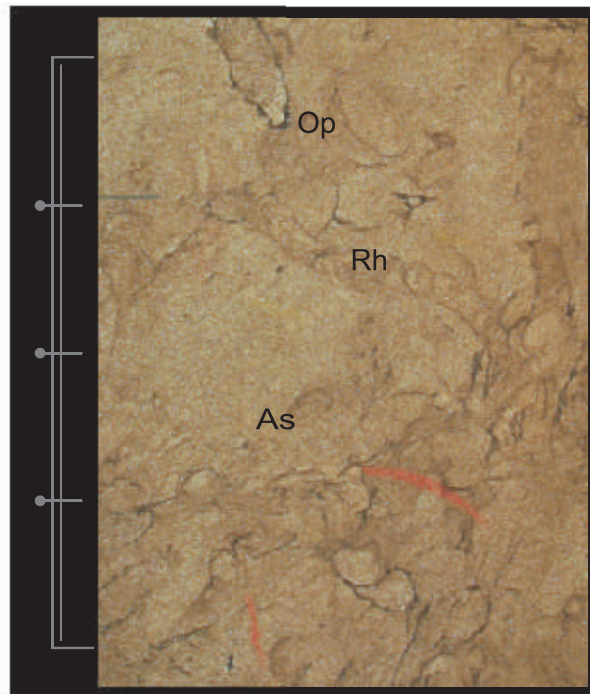






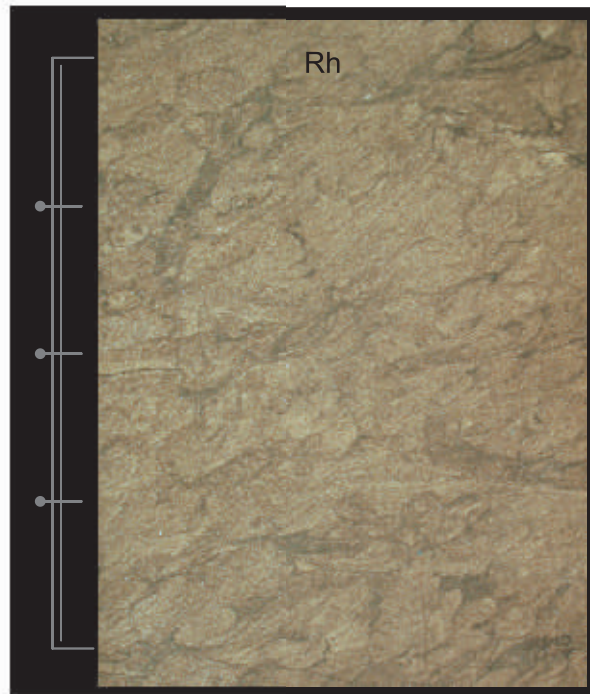
M a d r i g u e r a subhorizontal, con suave spreiten, de 2.2 pulgadas de longitud, con pared ligeramente marcada, presente en cuarzoarenitas de grano fino, el relleno es igual al de la roca huésped.

Madriguera sinuosa subhorizontal, con spreiten, de 2.5 pulgadas de longitud, con pared ligeramente marcada, presente en cuarzoarenitas de grano fino, el relleno es igual al de la roca huésped, se encuentra asociado con *Ophiomorpha* y *Asterosomas*.



Madriguera horizontal, con suave spreiten, de 2.8 pulgadas de longitud, con pared ligeramente marcada, presente en cuarzoarenitas de grano fino, el relleno es igual al de la roca huésped, se encuentra asociada con *Asterosomas*.

M a d r i g u e r a subhorizontal, con ligero spreiten, de 2.0 pulgadas de longitud, con pared marcada, presente en cuarzoarenitas de grano fino, el relleno es igual al de la roca huésped.



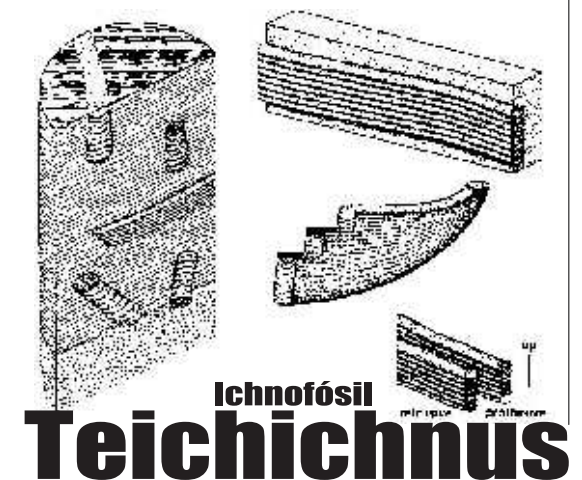
Madriguera que forma una serie vertical de paquetes apretados cóncavos hacia arriba o (más raramente) cóncavos hacia abajo. En secciones longitudinales muestran grandes láminas onduladas, que usualmente se unen hacia arriba al final. Este es formado por la migración hacia arriba en un túnel sub-horizontal a horizontal producido por un organismo moviéndose hacia atrás y hacia adelante en el mismo plano vertical, escarbando el sedimento para comer.

### Interpretación

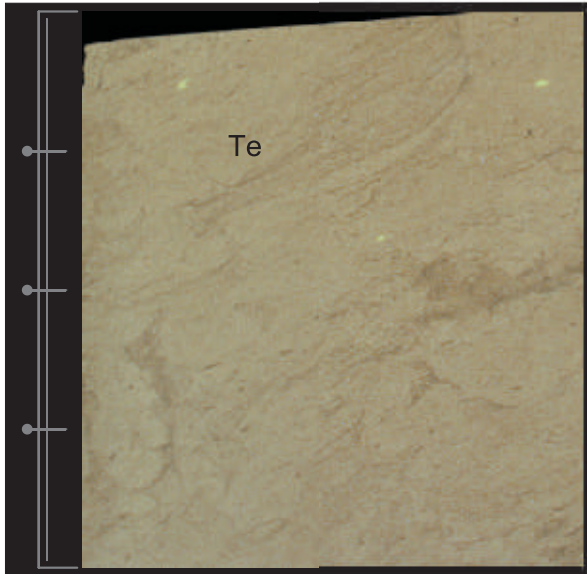
El animal que produce el *Teichichnus* podría ser un gusano, el cual migra hacia arriba en su madriguera para mantener el ritmo con la sedimentación, por lo que la madriguera es hecha por un organismo que se alimenta de sedimentos (*Fodinichnia*).

### Consideraciones ambientales

El *Teichichnus* es encontrado en ambientes shoreface bajos a offshore asociados con la ichnofacies *Cruziana* y predomina en ambientes de baja energía bahía-lagoon caracterizados por condiciones de agua salobre. Nunca está asociado con agua fresca.

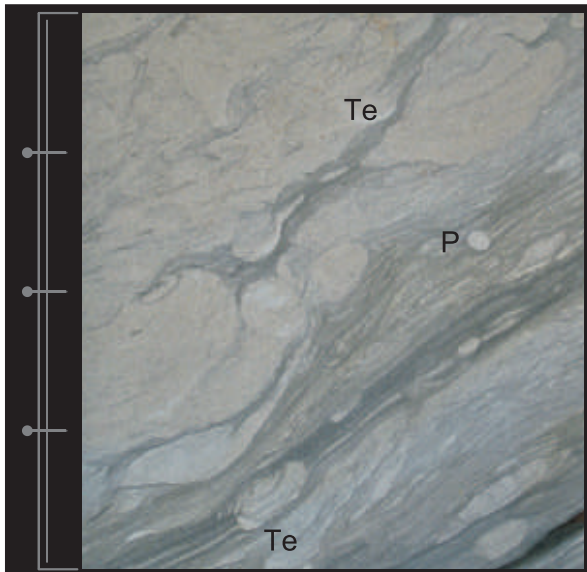
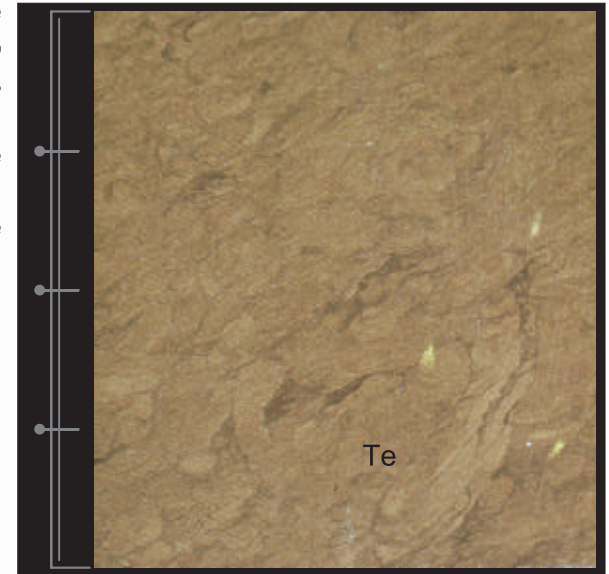






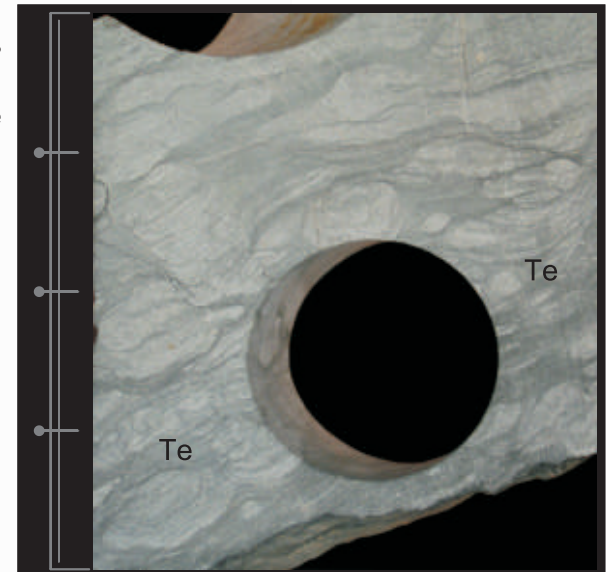
Madriguera de 1.8 pulgadas de longitud, que forma una serie de paquetes verticales apretados cóncavos hacia arriba, con pared ligeramente marcada, presente en areniscas lodosas.

Madriguera subvertical de 2.3 pulgadas de longitud, formando paquetes apretados cóncavos hacia arriba, con pared ligeramente marcada, presente en cuarzoarenitas de grano fino a muy fino.



Madrigueras de 0.5 a 1.2 pulgadas de longitud, con paredes ligeramente marcada, presentes en lodolitas arenosas, asociadas con *Planolites*.

Madrigueras de 1.0 pulgada de longitud, con paredes ligeramente marcadas, presentan suave laminación concéntrica, se encuentran en lodolitas arenosas.



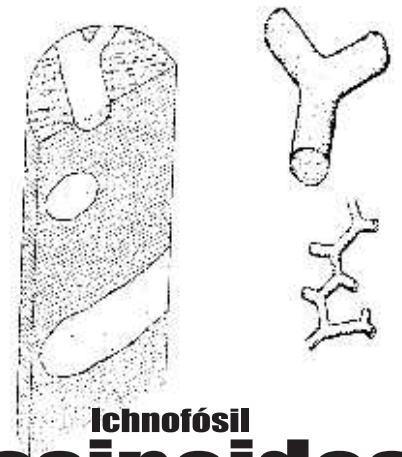
Sistemas de madrigueras relativamente grandes, cilíndricas, conformadas por paredes lisas. Presenta brazos en forma de Y y T. La mayoría son esencialmente horizontales a irregularmente inclinadas.

### **Interpretación**

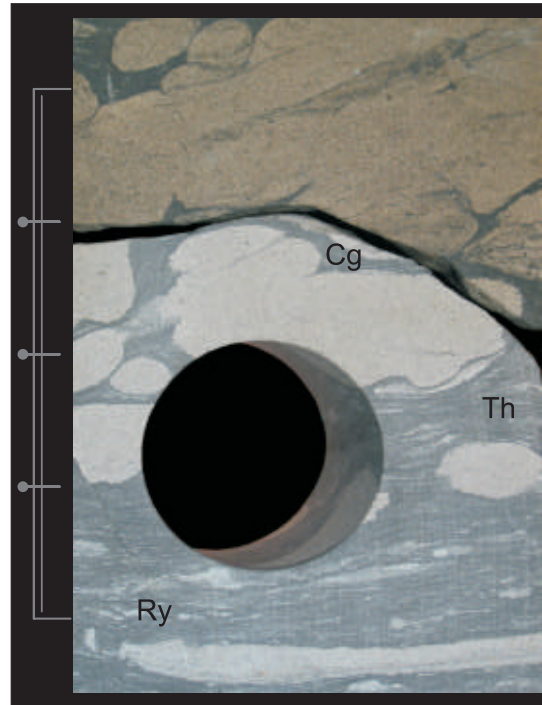
Los *Thalassinoides* son reconocidos como madrigueras de alimentación (*Fodinichnia*) o de habitación (*Domichnia*) de crustáceos.

### **Consideraciones ambientales**

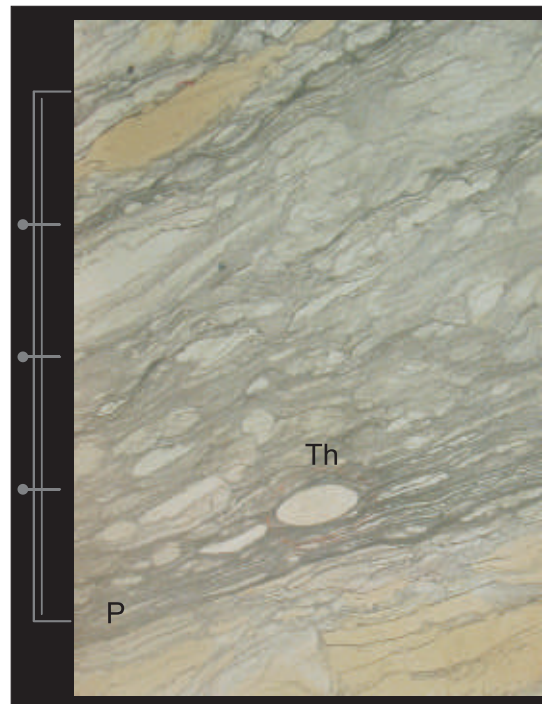
Está asociada con la ichnofacies *Cruziana* en ambientes shoreface bajo a offshore y podrían encontrarse en baja cantidad en aguas salobres.



**Ichnofósil**  
**Thalassinoides**



Madriguera de forma cilíndrica, de 0.8 pulgadas de longitud, su pared es lisa y se encuentra presente en limolitas, el relleno consiste de cuarzoarenita de grano muy fino y lodo. Esta madriguera hace parte de la Ichnofacies *Glossifungites*, al igual que el *Rhizocorallium* que se observa en la parte inferior y la madriguera de Cangrejo en la parte superior.



Madriguera de forma elíptica, de 0.6 pulgadas de longitud, con pared lisa, presente en limolitas arenosas, el sedimento interno es cuarzoarenita de grano muy fino, de color diferente al de la roca huésped, se encuentra asociado con *Planolites*.

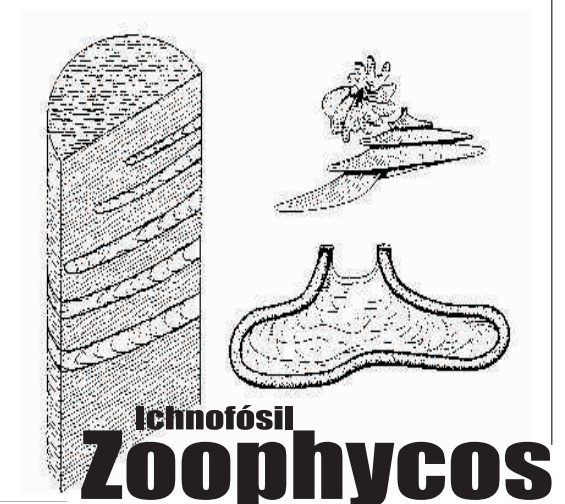
*Zoophycos* es básicamente una lámina lobulada a circular con spreiten, plana, inclinada, curvada o cortada en cierto modo a lo largo de un eje vertical central. El spreiten de la madriguera es una red sub-horizontal a horizontal de túneles paralelos yuxtapuestos cercanamente. Cada túnel en la madriguera representa la trayectoria de su aparato de alimentación durante una simple probada del sedimento. Sucesivas comidas lado a lado del sedimento en el mismo plano producen un spreiten horizontal.

### Interpretación

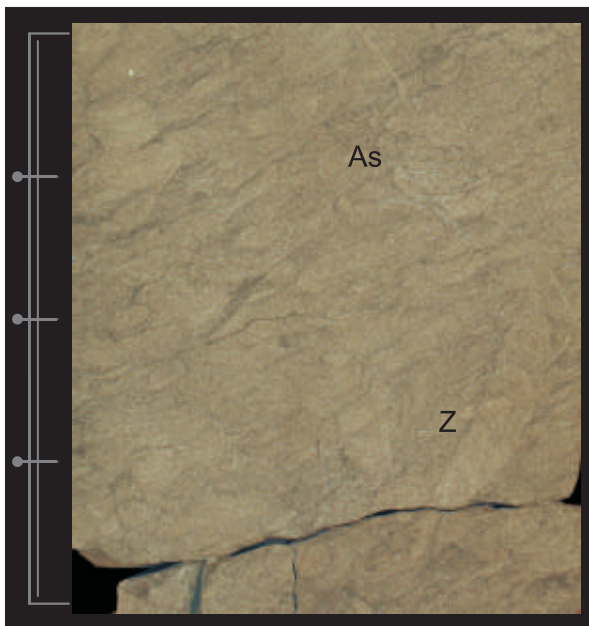
Es interpretada como una madriguera de alimentación o de pastoreo producida por un organismo vermiforme (*phylum Sipunculida*). Otras interpretaciones sugieren que el organismo fue un anélido.

### Consideraciones ambientales

Asociado con ichnofacies *Zoophycos* y *Cruziana* distal en una ambiente de plataforma offshore, completamente marino.

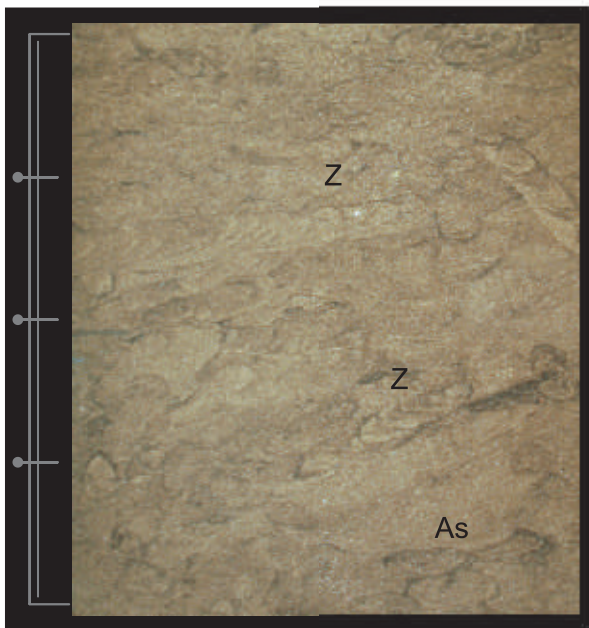
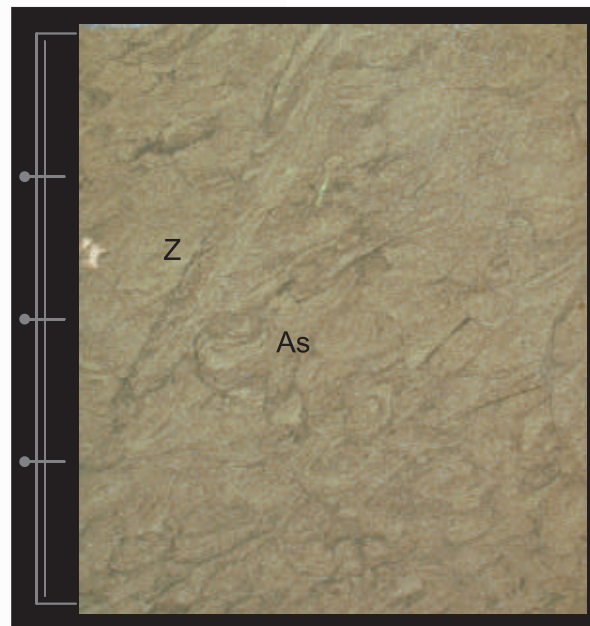






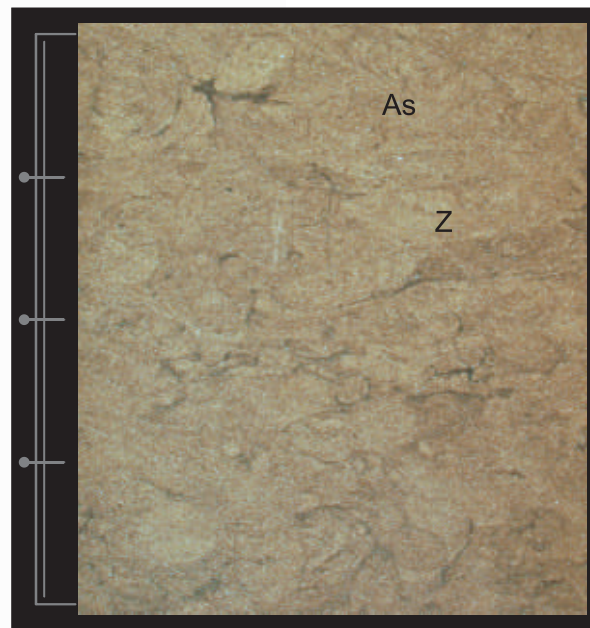
Madriguera inclinada de forma lobulada, de 1.8 pulgadas de longitud, presenta spreiten subhorizontal marcado y suave pared, se encuentra en cuarzoarenitas de grano fino, el sedimento interno es igual al de la roca huésped, en la parte superior se observan *Asterosomas*.

Madriguera inclinada de forma lobulada, de 3.2 pulgadas de longitud, presenta spreiten subhorizontal marcado y suave pared, se encuentra en cuarzoarenitas de grano fino, en asociación con *Asterosomas*, el sedimento interno es igual al de la roca huésped.

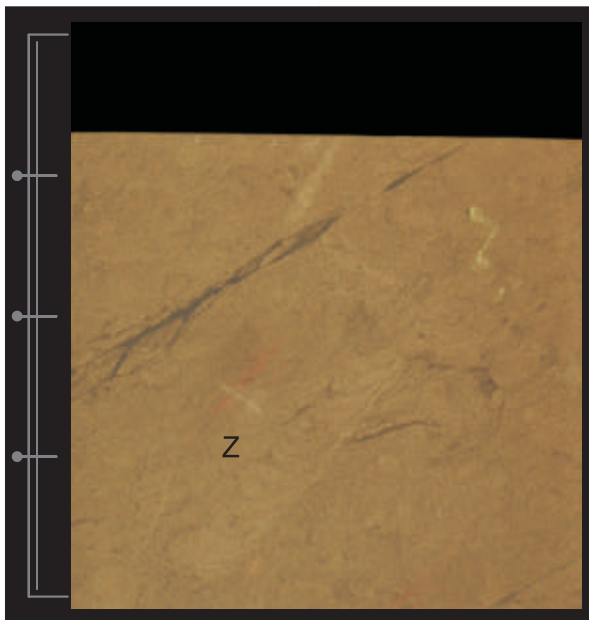


Madrigueras horizontales inclinadas de forma lobulada, de 2.4 a 2.2 pulgadas de longitud, presentan spreiten subhorizontal marcado y suave pared, se encuentran en areniscas lodosas, en asociación con *Asterosoma*, su sedimento interno es igual al de la roca huésped.

Madriguera horizontal inclinada de forma lobulada, de 2.5 pulgadas de longitud, presenta ligero spreiten y suave pared, se encuentra en areniscas lodosas, su sedimento interno es igual al de la roca huésped, asociada con *Asterosomas*.



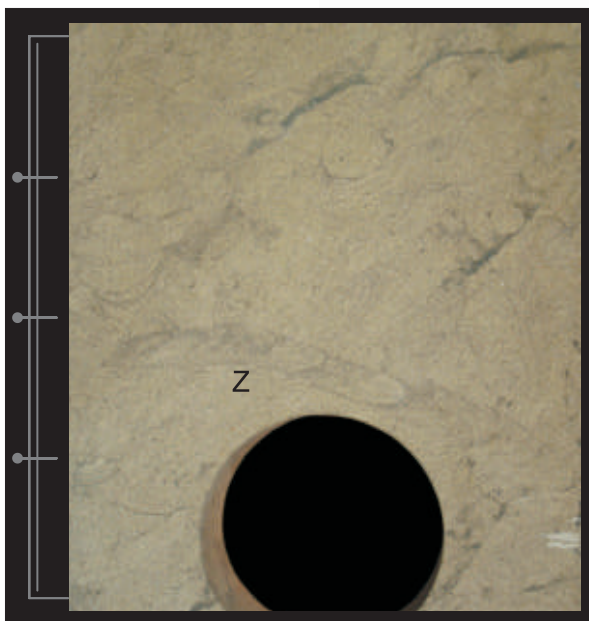




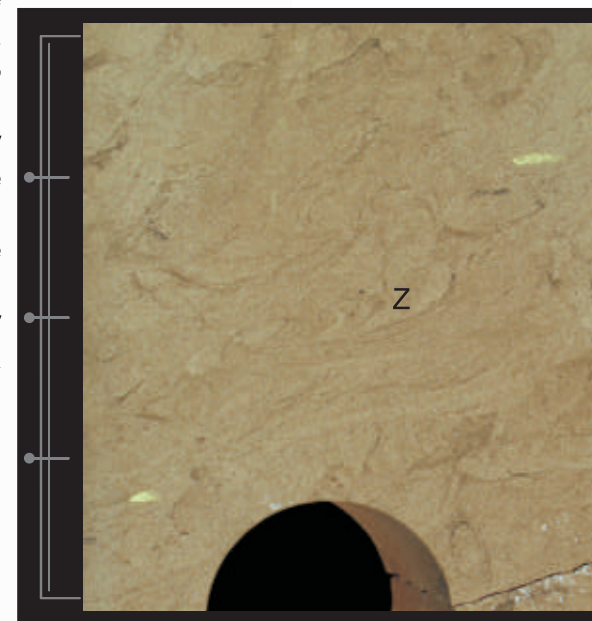
Madriguera inclinada de forma lobulada, de 2.5 pulgadas de longitud, presenta spreiten marcado subhorizontal y suave pared, se encuentra en areniscas lodosas, su sedimento interno es igual al de la roca huésped.



Madriguera inclinada de forma lobulada, de 1.8 pulgadas de longitud, presenta spreiten y pared marcados, se encuentra en areniscas lodosas, su sedimento interno es igual al de la roca huésped.



Madriguera subhorizontal de forma lobulada, de 3.2 pulgadas de longitud, presentan spreiten y pared marcados, se encuentran en areniscas lodosas, su sedimento interno es igual al de la roca huésped.



Madriguera ligeramente inclinada de forma lobulada, de 1.5 pulgadas de longitud, presenta spreiten y pared suave, se encuentra en cuarzoarenitas de grano muy fino, su sedimento interno y color es igual al de la roca huésped.

# Ichnofacies Glossifungites

La ichnofacies *Glossifungites* es de amplio rango paleoambiental, pero sólo se desarrolla en substratos firmes, no litificados, especialmente substratos firmes carbonáticos semiconsolidados o substratos fangosos estables, cohesivos y parcialmente deshidratados; tanto en áreas protegidas de energía moderada como en áreas de energía algo más alta donde los substratos semiconsolidados micríticos o siliciclásticos ofrecen resistencia a la erosión. La pérdida de agua resulta del soterramiento y, si son exhumados por erosión posterior, los substratos, se vuelven disponibles para la colonización por parte de los organismos (Pemberton y Frey, 1985). La exhumación puede ocurrir de la migración lateral de un canal o por incisión de valles en ambientes terrestres como resultado de migración de canales mareales, erosión costera, retrabajamiento erosivo del “shoreface” en ambientes marinos someros ó de la actividad de canales submarinos que cortan a través de sedimentos previamente depositados en ambientes marinos profundos (Hayward, 1976; Fürsich y Mayr, 1981; Pemberton y Frey, 1985). (Figura 6).

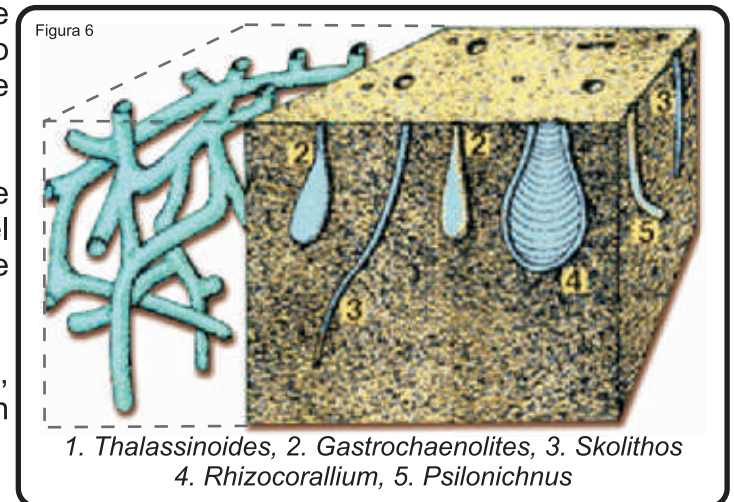
La ichnofacies *Glossifungites* está caracterizada por:

- Pseudoperforaciones verticales, cilíndricas, en forma de “U” o gotas, excavaciones de habitación densa o espaciadamente bifurcadas y/o combinaciones de excavaciones y pseudoperforaciones.

- Spreiten protusivo en algunas excavaciones que se desarrollan principalmente a través del crecimiento del animal (*Diplocraterion* y *Rhizocorallium*) en forma de embudo.

- Algunas especies intermareales (e.g. cangrejos), abandonan la excavación para alimentarse, otras son principalmente suspensívoras.

- Baja diversidad aunque comúnmente abundantes estructuras individuales.



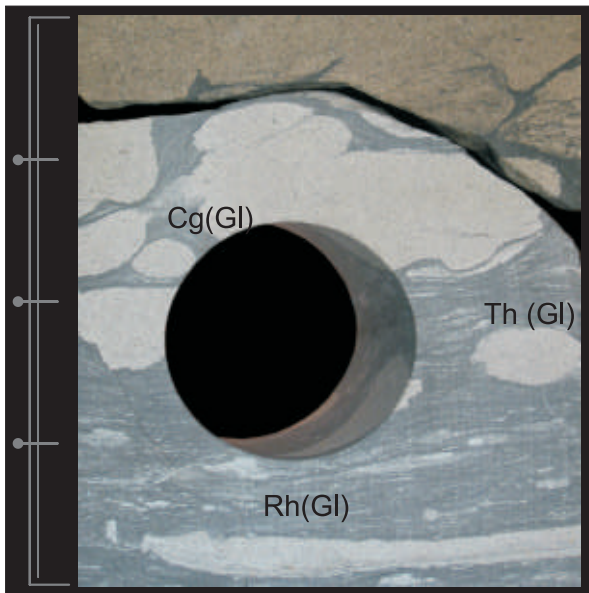
(Modificado de Frey y Pemberton, 1984)

La ichnofacies *Glossifungites* es de útil ayuda para el reconocimiento de discontinuidades.

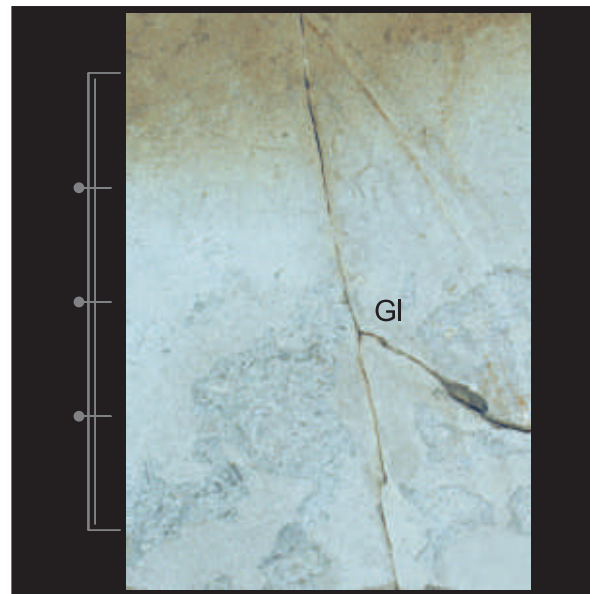




Madriguera vertical en forma de jota, posible *Diplocraterion* de 1.6 pulgadas de longitud, su pared es lisa y el sedimento interno es cuarzoarenita de grano muy fino con espículas igual al de la roca suprayacente, se encuentra presente en shales de la Formación Villeta.



Madriguera de cangrejo de 3.0 pulgadas de longitud, de forma irregular asociada con *Thalassinoides* de forma cilíndrica, de 0.8 pulgadas de longitud, y con *Rhizocorallium* horizontal de 3.2 pulgadas de longitud, con paredes lisas, se encuentran presentes en limolitas, su relleno consiste de cuarzoarenita de grano muy fino y lodo. Estas madrigueras hacen parte de la Ichnofacies *Glossifungites*.



Madriguera de forma irregular, presente en substratos firmes carbonatíticos, su sedimento interno es de color gris oliva claro (5 y 6/1), con fragmentos pequeños de conchas.

**Agrichnion (Pl. Agrichnia):** Madriguera permanente de habitación usada como una trampa para obtener comida.

**Alimentador de Detritos (Detritus Feeder):** Un animal que se alimenta de la capa más superior, rica en nutrientes del sustrato.

**Alimentador de Sedimentos (Deposit Feeder):** Animal que se alimenta de nutrientes depositados sobre e incorporados dentro del sustrato; podría ser selectivo (carroñero) o no selectivo (que ingiere sedimento).

**Alimentadores en Suspensión (Suspension Feeder):** Animal que caza y se alimenta en suspensión en la columna de agua.

**Biocenosis (Biocoenosis):** Una comunidad de organismos viviendo juntos en un hábitat dado.

**Biogénico (Biogenic):** Biológicamente producido, hecho por un animal vivo o planta.

**Bioturbación (Bioturbation):** Retrabajamiento de sedimentos por un organismo.

**Cubichnion (Pl. Cubichnia):** Traza de descanso temporal.

**Chimenea (Chimney):** Estructura en forma de tubo construida encima del sustrato superficial como una continuación o extensión de la apertura de la madriguera; generalmente hecha de lodo o arcilla, típicamente elaborada en lodo.

**Domichnion (Pl. Domichnia):** Estructura permanente de vivienda.

**Estructura de Equilibrio (Equilibrium Structure):** Estructuras producidas por animales ajustando su posición relativa al fondo del mar en respuesta a la agradación o degradación menor o gradual de la superficie del sedimento, o la superficie del agua.

**Etología (Ethology):** Es el estudio del comportamiento de un animal.

**Filtro Alimentadores (*Filter Feeder*):** Animales que se alimentan filtrando partículas de comida presentes en la columna de agua; término similar a alimentadores en suspensión.

**Fodinichnion (*Pl. Fodinichnia*):** Estructura producida por un depósito-alimentador no vágil.

**Fósil Traza (*Trace Fossil*):** Antigua traza preservada en sedimento litificado. Equivalente al término ichnofósil.

**Fugichnion (*Pl. Fugichnia*):** Trazas de escape.

**Grupo Trófico (*Trophic Group*):** Término de alto rango que abarca especies que tienen comportamiento de alimentación similar, como por ejemplo, los depósito-alimentadores y los alimentadores en suspensión.

**Huella (*Trails*):** Pista individual dejada por un apéndice locomotor de un animal en el substrato. En un sentido estricto, es sinónimo de pisada. .

**Ichnocenosis:** Asociación de trazas relacionadas ambientalmente; en cierto modo análogo a comunidad. Los componentes incluyen la ichnofauna, o trazas de animales y la ichnoflora, plantas o trazas de plantas.

**Ichnofauna:** Asociación de trazas.

**Ichnofósil (*Ichnofossil*):** Antigua traza preservada en sedimento litificado, lo mismo que traza fósil.

**Ichnología (*Ichnology*):** El estudio de efectos biológicos post-depositacionales sobre depósitos sedimentarios, incluyendo procesos de bioturbación y bioerosión y producción de estructuras biogénicas y fábricas.

**Ichnofacies:** Registro fósil de una Ichnocenosis. Asociación característica de huellas fósiles, recurrentes en el espacio y en el tiempo, que reflejan directamente condiciones ambientales tales como batimetría, salinidad y tipo de substrato. (Bromley, 1990).

**Lebensspur (*lebensspuren*):** Término alemán que significa lo mismo que traza.



**Madrigueras (*Burrows*):** Estructura etológica emplazada dentro de un substrato no consolidado (blando o firme), que resulta en la formación de un espacio ocupado y mantenido por un animal durante un tiempo más o menos largo.

**Madrigueras con halo: (*Halo Burrows*):** Madrigueras rodeadas de una zona de distinto color, generada por procesos diagenéticos, que las resaltan.

**Madriguera con Spreiten:** Madriguera que contiene uno ó mas spreite.

**Manto:** Capa exterior de un relleno de madriguera zonado con dos capas (Bromley, 1990).

**Moteado de la Madriguera (*Burrow Mottling*):** Textura biogénica en la cual madrigueras distintas individualmente son aparentes pero no son suficientemente bien preservadas para ser identificadas.

**Núcleo:** Región central de un relleno zonado.

**Paleoichnología (*Paleoichnology*):** Estudio de estructuras biogénicas antiguas preservadas en sedimento litificado.

**Pared (*Wall*):** Un alcance para los términos de las características que resaltan el contorno de la madriguera. El propio límite de la madriguera y el revestimiento o el manto en un relleno zonado.

**Pastoreador (*Grazer*):** Animal móvil que se alimenta a lo largo de un camino. En el sentido estricto este es un herbívoro, pero en un sentido general este puede ser un depósito alimentador ingiriendo sedimento.

**Pascichnion (*Pl. Pascichnia*):** Pista de “pastoreo”, en la cual las actividades de alimentación y locomoción son preservadas.

**Perforaciones (*Borings*):** Excavación hecha dentro de un sustrato duro con sólo un punto de entrada o con uno de entrada y otro de salida, pero sin llegar a atravesar el substrato de parte a parte.



**Pisada:** Pista individual dejada por un apéndice locomotor de un animal en el substrato. Es sinónimo de huella.

**Pista (*Track*):** Estructura etológica individualmente identificable, que refleja en mayor o menor grado la morfología del organismo productor.

**Pista de locomoción:** Pista producida durante el desplazamiento de un organismo dentro de o sobre un substrato.

**Praedichnion (*Pl. Praedichnia*):** Estructuras producidas como resultado de la depredación.

**Protusivo (*Protusive*):** De un spreite producido por un movimiento hacia la parte distal, es decir, lejos de las aperturas.

**Rastros (*Trail*):** Traza de locomoción continua sin huellas separadas.

**Relleno Activo (*Active Fill*):** Material que fue ocupa el interior de una madriguera y que ha sido acumulado activamente por un animal (generalmente el mismo que la ha construido).

**Relleno de la Madriguera (*Burrows fill*):** Sedimento que rellena el espacio de una madriguera. Los sedimentos de rellenos podrían ser activos si son emplazados por animales, o pasivo, si es hecho por gravedad.

**Relleno Pasivo (*Passive Fill*):** Material que ocupa el interior de una madriguera por sedimentación física después de salir su ocupante.

**Relleno Zonado:** Relleno de madriguera que consiste de dos o mas tipos discretos de sedimentos dispuestos concéntricamente. Similar a un manto rodeando un núcleo.

**Repichnion (*Pl. Repichnia*):** Pista o huella por desplazamiento.

**Retrusivo (*Retrusive*):** De un spreite producido por un movimiento hacia la parte proximal, es decir, hacia las aperturas.

**Revestimiento de Madriguera (*Burrows lining*):** Material aplicado sobre la pared de una madriguera por su ocupante. Puede incluirse aquí también el material acumulado de modo pasivo, adherido a la pared mientras la madriguera está abierta. (Bromley, 1990).

**Shaft:** Madriguera vertical, o elemento vertical de un sistema de madrigueras (Bromley, 1990).

**Sistemas de madrigueras (*Burrows system*).** Unidad compleja de madrigueras altamente ramificadas y/o madrigueras interconectadas.

**Spreite (*Pl. Spreiten*).** Una estructura espiralada o en forma de U sinuosa como una hoja, consistente de series de trazas pastoreo o madrigueras de habitación o alimentación concéntricas o paralelas, repetitivas y estrechamente yuxtapuestas.

**Superficie de Omisión (*Omision Surface*):** Un hiato deposicional menor o una superficie de erosión en la cual parte del registro sedimentario está perdido.

**Terreno firme (*Firm Ground*):** Substrato compuesto de sedimento consistente, pero no cementado.

**Terreno Duro (*Hard Ground*):** Substrato compuesto de roca consolidada, sobre una superficie de omisión, en la cual pueden ocurrir perforaciones.

**Textura bioturbada (*Bioturbate texture*).** Sin. Ichnofábrica. Textura gruesa impartida a sedimentos por extensa bioturbación: típicamente consiste de madrigueras densas impenetrables o torcidas u otras trazas, pocas de las cuales son distintas morfológicamente. Cuando las madrigueras están parcialmente rellenas y no son fáciles de identificar, ocurren como madrigueras moteadas.

**Toponomía (*Toponomy*).** Trata de la descripción y clasificación de lebensspuren (Traza) con respecto a su modo de preservación y ocurrencia (posición sobre o dentro de un estrato, o relativo a la selección del medio) y secundariamente la interpretación de los procesos u origen mecánicos de trazas de preservación.

**Traza (*Trace*):** Estructura producida en el sedimento por la actividad de un animal o planta, lo mismo que estructura biogénica sedimentaria.

**Traza de Escape (*Escape Trace*):** Estructura producida por un animal escapando en pánico de amenaza de enterramiento, erosión o predación.

**Tubo (*Tube*):** Madriguera que posee unas paredes bien definidas o revestidas.

**T'nel (*Tunnel*):** Madriguera horizontal o predominantemente horizontal, o elemento horizontal de un sistema de madrigueras.

**V·gil (*Vagile*):** Animal o planta que es libre de moverse.



**DIAZ POVEDA, L.**, 1994, Reconstrucción de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena, a finales del Cretácico, Universidad Nacional de Colombia, Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena, Cap XI, Bogotá.

**DUNHAM, R. L.**, 1962, Classification of Carbonate rocks According to Depositional Texture, I HAM W.E (Edit), Classification of Carbonate rocks, Am. Assoc. Petr. Geol. Mem.1, p.108-121.

**FOLK, R.L**, 1974, Petrology of sedimentary rocks, Hemphill publishing Co.182.

**FREY, W. Robert; PEMBERTON, George**, 1985, Biogenic Structures in Outcrops and Cores. I. Approaches to Ichnology, Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Vol 33, No 1, p. 72-115.

**FREY, W. Robert**; 1975, The Study of Trace Fossils p. 87-160.

**GAMEZ VINTANED, JosÈ Antonio y LI—AN, E**, 1996, Revisión de la Terminología Ichnológica en español, Revista Española de Paleontología, 11 (2), p. 155-176.

**GIBERT, J.M.; MARTINELL, J**, 1998, El modelo de ichnofacies, 30 años después. Revista Española de Paleontología, 13 (2), p. 167-174.

**LECKIE, Dale; DE ARMAS, J.M.; DU TOIT, C.; GLAZEBROOK, K.; GOMEZ, E.; KROSHKO, P.; NORRIS, B.; PARSONS, A. & PE—AS, R.**, Paleogeographic Implications Of The Lower Guadalupe (Dura), Formation In The Guando Oil Field, Colombia, VIII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas.

**LECKIE, Dale**, 2005, Course of Sedimentology, Sequence Stratigraphy and Reservoir Facies of Clastic Rocks, Nexen.

**MACEACHERN, James; PEMPERTON, S. George; RAYCHAUDHURI, Indraneel**, 1992, Stratigraphic Applications of the Glossifungites Ichnofacies: Delineating Discontinuities the Rock Record, Ichnological Concepts and Selected Core studies, Volume 1, Department of Geology, University of Alberta, p. 169-197.



**MOJICA, Jairo. & FRANCO, Ricardo**, 1990, Estructura y Evolución Tectónica del Valle Superior del Magdalena, Colombia, *Geología Colombiana* 17, p. 41 –64.

**PEMBERTON, S.G**,1994, Core Atlas of Trace Fossil Descriptions, Volume 2. Department of Geology, University of Alberta, Canada.

**PEMBERTON, S. George**,1994, Ichnological Concepts and Selected Core studies, Volume 1, Department of Geology, University of Alberta, Canada.

**PEMBERTON, S. George. & MACEACHERN, James**, The Sequence Stratigraphic Significance of Trace Fossils: Examples from the Cretaceous Foreland basin of Alberta, Canada, Department of Geology, University of Alberta.

**PEREZ, G; SALAZAR, A**, 1978, Estratigrafía y Facies del Grupo Guadalupe, Universidad Nacional de Colombia, *Geología Colombiana* 10, p. 7-85, Bogotá.

**REYES, R; BARON, J & CHACON, M**, Características Sedimentológicas, Mineralógicas y Diagenéticas de la Arenisca Dura en el VSM. Valle Superior del Magdalena, VIII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas.

**REINECK, H.E.; SINGH, I.B.**, 1980, Depositional Sedimentary Enviroments, Second Edition, p. 95-131, New York.

**RINCON, G; GARZON, J.C; & DE MORAES, J:J**: VSM, Primer descubrimiento de la Antesala del Siglo XXI en el Valle Superior del Magdalena, Colombia, VIII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas.

**RIVERA FERRER, Ricardo**, 1995, Facies, ichnofacies y subambientes de depósito de la Formación Arenisca Tierna, en el área de Usaquén- La Calera, Nor-Oriente de Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, p. 1-67