



# ATLAS DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS Y BIOGÉNICAS

*Descripción, análisis e interpretación  
a partir de afloramientos, testigos corona  
y registros de imágenes de pozo*

---

AUTORES

*Juan José Ponce, Noelia Carmona, Aldo Omar Montagna*

# ATLAS DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS Y BIOGÉNICAS

*Descripción, análisis e interpretación  
a partir de afloramientos, testigos corona  
y registros de imágenes de pozo*

Ponce, Juan José

Atlas de estructuras sedimentarias inorgánicas y biogénicas : descripción, análisis e interpretación a partir de afloramientos, testigos corona y registros de imágenes de pozo / Juan José Ponce ; Aldo Omar Montagna ; Noelia Carmona. - 1a edición para el alumno - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Fundación YPF, 2018.

170 p. ; 30 x 21 cm.

ISBN 978-987-4153-07-4

1. Geología. I. Montagna, Aldo Omar II. Carmona, Noelia III. Título  
CDD 551

Editado por Fundación YPF

Macacha Güemes 515

C1106BKK Buenos Aires, Argentina

#### **Proyecto, Coordinación General**

Fundación YPF y Universidad Nacional de Río Negro

#### **Textos**

Carmona, Noelia; Montagna, Aldo Omar; Ponce, Juan José

#### **Diseño**

Rosicasal

#### **Maquetación y retoque de imágenes**

Díaz Design

#### **Corrector**

Adolfo González Tuñón

#### **Impresión**

Talleres Trama S.A.

Primera edición: 1000 ejemplares

Abril 2018

Queda hecho el depósito que establece la Ley 11.723.

Reservados los derechos. Queda rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación por cualquier medio (electrónico, químico, mecánico, óptico o de fotocopia) sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo sanciones establecidas por las leyes.

Las opiniones expresadas en el presente son responsabilidad exclusiva de cada autor y no reflejan necesariamente el punto de vista de la Fundación YPF.

# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| <b>Nota de los autores</b>   | 6  |
| <b>Prólogo I</b>   | 8  |
| <b>Prólogo II</b>  | 10 |
| <b>Prólogo III</b>   | 11 |
| <b>Agradecimientos</b>   | 12 |
| <br>   |    |
| <b>CAPÍTULO 1. FUENTES DE INFORMACIÓN PARA LOS ESTUDIOS SEDIMENTOLÓGICOS</b> | 15 |
| <b>Fuentes de información obtenidas en afloramiento</b>                      | 16 |
| Perfiles sedimentológicos  | 16 |
| Medición de perfiles sedimentológicos en afloramiento                        | 18 |
| Medición de paleocorrientes en afloramiento                                  | 19 |
| Correlación de secciones estratigráficas                                     | 20 |
| Mapas geológicos y fotoestratigráficos                                       | 22 |
| <b>Fuentes de información obtenidas de subsuelo</b>                          | 23 |
| Testigos corona  | 23 |
| Perfiles de imágenes microrresistivas  | 27 |
| Interpretación estructural y geomecánica                                     | 31 |
| Interpretación estratigráfica y sedimentológica                              | 37 |
| <br>   |    |
| <b>CAPÍTULO 2. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS</b>                     | 45 |
| <b>Definición de estructuras sedimentarias</b>                               | 46 |
| <b>Estructuras mecánicas depositacionales</b>                                | 48 |
| Planares externas:   |    |
| -Estratificación y laminación  | 48 |
| -Estratificación mixta   | 50 |
| Planares internas:   |    |
| -Estructuras masivas   | 52 |
| -Gradación   | 54 |
| -Imbricación   | 56 |
| -Laminación y estratificación entrecruzada                                   | 58 |
| Lineales estratales constructivas:   |    |
| -Óndulas de corriente  | 60 |
| -Óndulas de oleaje   | 62 |
| -Óndulas escalonadas ( <i>Climbing ripples</i> )                             | 64 |
| -Dunas y barras  | 66 |
| -Lineación paralela y lineación <i>parting</i>                               | 68 |
| - <i>Hummocky-Swaley</i>   | 70 |
| Lineales estratales erosivas:  |    |
| -Canales   | 72 |
| -Marcas de fondo: crestas y surcos   | 74 |
| -Marcas de fondo: acanaladas y de estrías                                    | 76 |
| -Marcas de gotas de lluvia   | 78 |

|   |     |
|---|-----|
| Lineales subestratales:   |     |
| -Calcos de crestas y surcos   | 79  |
| -Calcos de marcas acanaladas  | 80  |
| -Calcos de marcas de estrías  | 81  |
| <b>Estructuras mecánicas postdepositacionales (deformacionales)</b> | 82  |
| -Pliegues por deslizamiento gravitacional ( <i>Slumps</i> )         | 82  |
| -Laminación y estratificación convoluta                             | 84  |
| -Calcos de carga y estructuras en almohadilla                       | 86  |
| -Diques y filones clásticos   | 88  |
| -Estructuras de escape de fluidos: en plato y volcanes de arena     | 90  |
| -Grietas de desecación y de sinéresis                               | 92  |
| <b>Estructuras químicas diagenéticas</b>                            | 94  |
| Por precipitación:  |     |
| -Nódulos y concreciones   | 94  |
| -Cristales y moldes de cristales                                    | 96  |
| Por disolución:   |     |
| -Estilolitas y superficies estilolíticas                            | 98  |
| <b>CAPÍTULO 3. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS BIOGÉNICAS</b>             | 101 |
| <b>Marco conceptual</b>   | 102 |
| Icnología   | 102 |
| <b>Trazas fósiles</b>   | 103 |
| Características   | 103 |
| Clasificaciones preservacionales                                    | 105 |
| Etología  | 106 |
| <b>Icnofacies</b>   | 107 |
| Icnofacies marinas de sustratos blandos                             | 107 |
| Icnofacies sustrato-controladas                                     | 110 |
| Icnofacies continentales de invertebrados                           | 112 |
| <b>Icnofábricas</b>   | 115 |
| <b>Implicancias de la bioturbación en los reservorios</b>           | 117 |
| <b>Trazas fósiles comunes en afloramiento y coronas</b>             | 119 |
| - <i>Arenicolites</i>   | 119 |
| - <i>Asteriacites</i>   | 120 |
| - <i>Asterosoma</i>   | 121 |
| - <i>Chondrites</i>   | 122 |
| - <i>Curvolithus</i>  | 123 |
| - <i>Cylindrichnus</i>  | 124 |
| - <i>Diplocraterion</i>   | 125 |
| - <i>Gastrochaenolites</i>  | 126 |

|  |     |
|--|-----|
| -Gyrochorte  | 127 |
| -Gyrolithes  | 128 |
| -Haentzschelina  | 129 |
| -Helicodromites  | 130 |
| -Lockeia   | 131 |
| -Macaronichnus   | 132 |
| -Nereites  | 133 |
| -Ophiomorpha   | 134 |
| -Paleodictyon  | 135 |
| -Phycosiphon   | 136 |
| -Planolites  | 137 |
| -Protovirgularia   | 138 |
| -Rhizocorallium  | 139 |
| -Rosselia  | 140 |
| -Scolicia  | 141 |
| -Scoyenia  | 142 |
| -Siphonichnus  | 143 |
| -Skolithos   | 144 |
| -Spongeliomorpha   | 145 |
| -Taenidium   | 146 |
| -Teichichnus   | 147 |
| -Thalassinoides  | 148 |
| -Zoophycos   | 149 |
| -Trazas de equilibrio  | 150 |
| -Trazas de escape  | 151 |
| -Rizolitos   | 152 |
| <b>Estructuras sedimentarias inducidas por actividad microbiana (MISS)</b>   | 153 |
| -Depresiones y remanentes erosivos ( <i>Erosional remnants and pockets</i> ) | 155 |
| -Dobleces ( <i>Flipped-over mat edges</i> )                                  | 156 |
| -Domas de gas ( <i>Gas domes</i> )   | 157 |
| -Fábrica porosa esponjosa ( <i>Sponge pore fabric</i> )                      | 158 |
| -Grietas de oscilación poligonales ( <i>Polygonal oscillation cracks</i> )   | 159 |
| -Marcas tipo wrinkle ( <i>Wrinkle marks</i> )                                | 160 |
| -Ondulitas multidireccionales ( <i>Multidirected ripple marks</i> )          | 161 |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>  | 162 |

## NOTA DE LOS AUTORES

*La idea de realizar este Atlas surgió mientras nos encontrábamos editando el libro Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros. Una mirada integradora desde los afloramientos al subsuelo, también publicado por la Fundación YPF-UNRN, al darnos cuenta de la inmensa cantidad de datos, fotos e información que habíamos acumulado a lo largo de estos últimos 15 años trabajando en diferentes cuencas de la Argentina y en otras del exterior. Además, en cada escuela o viaje de campo, los autores adquiriríamos más y más convencimiento de la necesidad de tener un catálogo que, de alguna manera, oficiara de guía y fuente de consulta adecuada para la identificación, descripción e interpretación de las estructuras sedimentarias. Como abono a esta situación, la ausencia de una obra en habla hispana de estas características sirvió como aliciente para la planificación y desarrollo de este trabajo. Es por esto que decidimos reunir toda esta información y armar un compendio de estructuras sedimentarias inorgánicas y biogénicas silicoclásticas, actualizando sus descripciones e incorporando fotos de afloramiento, coronas e imágenes de pozo. El Atlas se divide en tres capítulos. El Capítulo 1 comprende un resumen teórico y metodológico en el que se exponen conceptos básicos, tendientes a introducir y caracterizar los datos y fuentes de información utilizados para los estudios sedimentológicos, incluyendo la metodología tradicional para la medición de perfiles sedimentológicos en afloramiento, la correlación de secciones estratigráficas y las fuentes de información obtenidas de subsuelo, como los testigos corona y los perfiles de imágenes microrresistivas. El Capítulo 2 incluye una caracterización de las principales estructuras sedimentarias inorgánicas, conteniendo una breve descripción de las mismas, las interpretaciones de su origen y los principales ambientes en los que se encuentran. Esta información se complementa con imágenes de afloramiento, testigos corona y, en aquellos casos en los que fue posible, también se incluyen imágenes de pozo. Por último, el Capítulo 3 incluye una breve síntesis de las principales estructuras sedimentarias biogénicas, caracterizando aquellas que son reconocidas más frecuentemente en el afloramiento y en testigos corona.*

*En nuestra idea original, pensamos que este Atlas tendría como destinatarios principales a estudiantes avanzados de las carreras de geociencias. Sin embargo, creemos que este libro puede servir asimismo a todos aquellos profesionales que, sin tener una especialización sedimentológica, necesiten una base conceptual que les permita identificar y caracterizar las diferentes estructuras sedimentarias inorgánicas y biogénicas.*



*Juan José Ponce*  
*Investigador CONICET*  
*Profesor Adjunto UNRN*



*Noelia Beatriz Carmona*  
*Investigadora CONICET*  
*Profesora Adjunta UNRN*



*Aldo Omar Montagna*  
*Especialista de Geología de YPF S.A.*  
*Regional Neuquén - Río Negro*  
*Profesor Adjunto UNRN*



# PRÓLOGO I

*Cuando uno da un curso de icnología o de ambientes sedimentarios, siempre surge la misma pregunta: ¿Hay algún Atlas disponible? Esta pregunta pone de manifiesto un hecho evidente: hay una necesidad de contar con un compendio de estructuras sedimentarias que incluya no sólo las clásicas estructuras físicas, sino también estructuras sedimentarias biogénicas (en particular, trazas fósiles) y aquellas inducidas por la actividad microbiana (MISS). La diversidad de estructuras sedimentarias y nuestro entendimiento acerca de sus procesos de formación han sufrido un gradual, pero constante, crecimiento desde el despegue de la Geología Sedimentaria de procesos en los años '70.*

*Cuando los autores nos contaron acerca de este proyecto, nos alegró que hubieran decidido encarar la tarea de preparar "un Atlas" sobre la temática sedimentológica-icnológica. A su vez, quien decida responder a esta necesidad se enfrenta con un riesgo real, la posibilidad de que el Atlas sea convertido por el lector en una "receta", una especie de atajo por el cual llegar a respuestas automatizadas. Se plantea ahí el gran desafío, evitar que el Atlas funcione como un mecanismo rápido de identificación de estructuras físicas o biogénicas, que permitan saltar de lo observado a una interpretación genética sin percatarse de la complejidad implícita, sin ejercitar el esfuerzo reflexivo consciente de conectar lo observacional con un entramado de procesos físicos y biológicos. En síntesis, se trata de la imposibilidad de que un Atlas (o un modelo, por poner otro ejemplo) le ahorre o al sedimentólogo o al icnólogo la incómoda tarea de pensar.*

*Al recorrer las páginas del Atlas se pone en evidencia que los autores manejaron encomiablemente este desafío y que cualquiera que se asome a este libro va a encontrarse no sólo con un material visual impecable, en algunos casos sorprendente dada la fidelidad de algunas estructuras fósiles, sino también con un trasfondo conceptual que pone de relieve las intrincadas interrelaciones entre procesos físicos y biológicos. Por cierto, esta destreza no resulta una sorpresa para nosotros. Habiendo seguido de cerca la carrera de los autores y conociendo sus trabajos previos, estamos familiarizados con un estilo de presentación de datos en el cual el tratamiento visual y su articulación en el ámbito conceptual siempre fueron primordiales. El armado de cuidadas láminas fotográficas, los dibujos que codifican un gran caudal de información y la combinación de ambos (fotos y dibujos) en una única y armoniosa ilustración con el objeto de maximizar el contenido de una figura y facilitar su lectura conceptual caracterizan el personal estilo de los autores de este Atlas. De ese modo, es posible transmitir en una ilustración el núcleo de la historia a contar, sea ésta una imagen de las variaciones de facies a lo largo de la cuenca (o a lo largo del tiempo geológico), o la respuesta de organismos a una serie de factores ambientales y el registro de estas respuestas bajo la forma de trazas fósiles.*

*Lo que quedaría por preguntarnos acerca de este libro es: ¿es este un Atlas más? Un Atlas es definido por el Diccionario de Oxford en su acepción más común como “un libro de mapas y diagramas”, y por extensión cualquier colección de objetos que muestre una distribución geográfica. Sin dudas, el Atlas en cuestión es ciertamente un libro que si bien no incluye mapas, incluye ilustraciones de una colección de estructuras que presentan una distribución geográfica global y extensión temporal a escala geológica. Sin embargo, nos gustaría rescatar una acepción menos conocida de “Atlas”, la empleada en arquitectura (que a su vez tiene su origen en la mitología griega y se refiere al gigante que mantiene los pilares del universo). En esta acepción, “Atlas” designa la estructura de soporte de todo el edificio, el pilar o los pilares (“atlantes”), que son el soporte sobre el cual se edifica. Y es este el sentido que quizás mejor define la naturaleza del presente “Atlas de estructuras sedimentarias inorgánicas y biogénicas: descripción, análisis e interpretación a partir de afloramientos, testigos corona y registros de imágenes de pozo”. No se trata de una simple colección, un muestrario de estructuras cuyo significado se agota en sí mismo, sino que proporciona un pilar sobre el cual edificar nuevo conocimiento.*

*En este sentido, los autores dejan bien en claro que este Atlas no debe ser utilizado como una receta para interpretar procesos y ambientes, sino como una base firme que sirve para iniciar un proceso y no un punto final de destino. Este Atlas debe ser entendido como el apoyo para iniciar un procedimiento arduo de articulación y síntesis de conocimiento que conducirá a buen puerto. A su vez, la referencia a otros trabajos es una invitación directa a que el lector decida continuar su búsqueda más allá del Atlas. De este modo, este Atlas nos ayuda a encontrar una ruta óptima para adentrarnos en un campo fascinante. Y este será un viaje que puede llevar al lector por senderos variados e insospechados y así lograr, al modo de aquel personaje de Osvaldo Soriano, que un sedimentólogo o icnólogo pueda entender su manera de viajar.*

*Finalmente, es importante mencionar que hay algo distinto en este “Atlas”. El titán mitológico es una figura masculina que tiene toda la carga sobre sus espaldas y en esta terna de autores hay una mujer que es tan pilar como el resto del equipo. Es una buena señal de los tiempos...*

*Gabriela Mángano*

*Luis Buatois*

*Profesores del Departamento de Ciencias Geológicas  
de la Universidad de Saskatchewan, Canadá.*

## PRÓLOGO II

*Cuando me propusieron escribir un prólogo para el Atlas de estructuras sedimentarias inorgánicas y biogénicas: descripción, análisis e interpretación a partir de afloramientos, testigos corona y registros de imágenes de pozo, dije que tenía que pensarlo, pero por dentro sabía que no podía negarme, incluso sin haber visto todavía lo que habían preparado. La razón es que en todos estos años que he convivido con la geología, que son muchos, los momentos más placenteros casi siempre estuvieron asociados a las estructuras sedimentarias. Si bien las estudié en la facultad, contando con excelentes profesores de Sedimentología, reconozco que al tener que describirlas en el campo en mis primeros trabajos la cosa no fue fácil. Por supuesto que contaba con los ejemplos de los libros, pero no es lo mismo un hermoso dibujo en blanco y negro en el papel, que un afloramiento meteorizado y sin la perfecta definición de las líneas del manual. Pero de a poco las cosas se fueron aclarando, la descripción de muchos metros de columna, y por supuesto la guía de gente con mucha experiencia, me permitieron ver con claridad en las rocas lo mismo que estaba dibujado en el libro. Y en ese momento se me abrió un mundo nuevo. Pude leer lo que estaba escrito en las estructuras, y de ahí a integrar lo que veía en un modelo de facies para llegar al paleoambiente hubo un paso. Creo que las estructuras sedimentarias son para el geólogo lo que los jeroglíficos son para el arqueólogo, y que descifrar un nuevo capítulo de la novela de la Tierra con su ayuda produce una gran satisfacción.*

*Este libro presenta un amplio compendio de observaciones de los autores en distintas cuencas de la Argentina, complementado con consideraciones teóricas que apoyan su interpretación. La publicación comienza con un buen resumen sobre las metodologías de obtención de la información en afloramientos y en subsuelo, algo no frecuente en los textos sedimentológicos. Luego, a partir de una clasificación que combina y relaciona los distintos procesos y variables con las formas resultantes, presenta en formato de atlas a las estructuras sedimentarias inorgánicas y biogénicas. En esta parte se dedica un adecuado espacio teórico a cada estructura, complementado con una buena cantidad de fotografías de afloramientos, y en la mayoría de los casos también con ejemplos de subsuelo, por medio de fotos de testigos corona y de imágenes de pozo. Por supuesto que se podrá decir que la clasificación perfecta de procesos naturales es casi imposible, y que reunir todas las estructuras posibles en un libro es muy difícil. Pero entiendo que el objetivo de esta publicación, destinada a estudiantes avanzados y a geólogos no especializados, se cumple con solvencia, y constituye un muy buen punto de partida para la observación e interpretación de las estructuras sedimentarias.*

*Jorge Hechem*

*Gerente de Exploración Regional Neuquén-Río Negro, YPF*

## PRÓLOGO III

*A lo largo de nuestra trayectoria, hemos producido y en ocasiones dado apoyo a distintas publicaciones orientadas a la educación y a las ciencias.*

*Con el objeto de contribuir con la enseñanza de las Ciencias de la Tierra, en 2015 colaboramos con la Universidad Nacional de Río Negro en la edición del libro "Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros: Una mirada integradora desde los afloramientos al subsuelo".*

*En esta oportunidad, en el marco de nuestra contribución a la mejora académica y al desarrollo del conocimiento en el campo de las geociencias, acompañamos nuevamente a la Universidad Nacional de Río Negro con la publicación del "Atlas de estructuras sedimentarias inorgánicas y biogénicas: descripción, análisis e interpretación a partir de afloramientos, testigos corona y registros de imágenes de pozo".*

*Agradecemos a los autores, investigadores del CONICET, profesionales de YPF y de la Universidad Nacional de Río Negro por hacer posible la realización de esta obra, que constituye un valioso aporte conceptual y visual para el estudio de las estructuras sedimentarias.*

*Fundación YPF*

# AGRADECIMIENTOS

*La elaboración de este libro fue posible gracias a las políticas científico-tecnológicas y educativas implementadas por el Estado Argentino, a través del CONICET y la UNRN. Agradecemos a la Fundación YPF. A los Drs. Gabriela Mángano, Luis Buatois y Jorge Hechem les agradecemos por las palabras vertidas en los prólogos de este libro, y por la confianza en este proyecto. Queremos agradecer especialmente a Gabriela Mángano, Luis Buatois y Carlos Zavala por habernos contagiado la pasión por la icnología y la sedimentología, y habernos acompañado incondicionalmente durante toda nuestra carrera. Un especial y sentido agradecimiento a Raúl Comeron (gerente de Reservorios de NQN-RN) y el reconocimiento a Carlos Grassia (gerente regional de NQN-RN), por el incesante apoyo que le dan a uno de los autores (Aldo Omar Montagna), para participar de actividades docentes y de formación.*

*A los colegas Mariano Bühler, Fabián Gutiérrez, Mario Sigismondi, Viviana Meissinger, Elizabeth Rodríguez y Emiliano Santiago les agradecemos por tantas discusiones técnicas. A Ricardo Manoni por la lectura crítica y validación técnica realizada. A los colegas Romina Coppo, Luis Álvarez, Federico Ghiglione, Ludmila Criniti, Franco Grosso, Ramiro Domínguez, Mauro Sánchez, Soledad Ribas, Marcela Villar, Daniel Mallimaci, Diego Licitra, Rodrigo Claa, Laura Rodríguez, Romina Caba, Reinaldo Caldera, Joaquín Cardozo, Rayén Ferreyro, Ivana Loustalot, Nayibe Otalora, Gustavo Potas, Flavio Donadio, Verónica Hammar, Gabriela López, Horacio Casado, Gastón Álvarez, Fernando Rey, Romina Sosa, Guillermo Ruderman, Marcia Faviana, Mariana Beathove, Cecilia García, Anabela Bettiol, Nicolás Carrizo, Gustavo Valenzuela, Ariel Buchini, Juan Bidondo, Pablo Urquizo, Gabriela Buchanan, Mateo Palacio, Sergio López Zánchez y Mariela Silka, todos geocientistas de la Regional NQN-RN, les agradecemos por permitirnos formar parte de sus proyectos de estudio y por el intercambio técnico constante. También, agradecemos a los colegas Sergio Cesano, Patricia Pagliero, Rodolfo Rumie, Martín Paris, Juan Grisolia, Guillermo Crespo y Marta Inés D'Angiola por el valioso aporte de material de subsuelo.*

*Al Dr. Andreas Wetzel le agradecemos por las enriquecedoras discusiones en diferentes afloramientos y por el generoso aporte de imágenes para ser utilizadas en el libro. A los Drs. Silvio Casadio, Pablo González y Martín Rodríguez Raising les agradecemos las imágenes de afloramiento concedidas. También agradecemos a Diana Cuadrado, Constanza Bournod, Nerina Canale, Daniel Drittanti, Martín Parada, Víctor García, Rodrigo Suárez, Fabio Díaz, Claudio García, Gustavo Azúa, Thamy Sales, Lucas Lothari, Mariana Garrido, Yamile Yunes y Maximiliano Paz, por su colaboración en las tareas de campo y sus valiosas discusiones. Muchas de las imágenes que integran este Atlas fueron tomadas durante las campañas financiadas por el CONICET, ANPCyT y la UNRN, a través de*

*diferentes proyectos PIP, PICT, PI y PICTO-UNRN de los que fuimos beneficiados; así como de las escuelas de campo y visitas a los laboratorios de Avellaneda; LCV SRL, INLAB y Graciela Rial SRL para la observación, descripción, análisis e interpretación de testigos corona, organizados por YPF y la Fundación YPF. Queremos agradecer asimismo a los dueños de los campos por permitirnos acceder a los afloramientos para realizar nuestras tareas de investigación básica. Finalmente, una inmensa gratitud a nuestros padres, quienes fueron un soporte fundamental a lo largo de todos estos años, y quienes en numerosas oportunidades nos acompañaron al campo para cuidar a nuestros hijos.*

*Por último, el agradecimiento y dedicatoria a nuestros hijos Pedro, Micaela y Facundo por brindarnos el cariño diario sin el cual no hubiésemos podido completar este proyecto (Juan Ponce y Noelia Carmona), y a los motores de mi vida: Victoria, Augusto y Marcela, quienes me apoyaron incondicionalmente en todos estos años de profesión (Aldo Omar Montagna).*

## CAPÍTULO 1

# FUENTES DE INFORMACIÓN PARA LOS ESTUDIOS SEDIMENTOLÓGICOS

*En este capítulo se presentan y discuten cuáles son las fuentes de información que utilizamos durante la realización de un estudio sedimentológico. Los análisis sedimentológicos se nutren de información obtenida tanto en afloramiento como en subsuelo. Cada una de estas herramientas presenta sus ventajas y sus limitaciones; es por eso que los estudios sedimentológicos más completos deben incluir, en lo posible, la mayor cantidad de información disponible. En el afloramiento nos encontramos con la posibilidad de mapear, medir y caracterizar en detalle las sucesiones sedimentarias, controlar la geometría de los depósitos y su continuidad lateral, reconocer facies y asociaciones de facies sedimentarias, medir vectores de paleocorriente y, a partir de la integración de todos estos datos, podemos determinar el ambiente de sedimentación y los subambientes que lo integran. Por otro lado, a partir de la obtención de líneas sísmicas 2D y 3D podemos analizar la geometría que presentan los sistemas depositacionales a escala de cuenca, lo cual resulta fundamental para realizar análisis estratigráfico-secuenciales. Asimismo, a partir del análisis de perfiles eléctricos, testigos corona, y más recientemente imágenes de pozo, podemos determinar el tipo de roca, su porosidad y permeabilidad, las estructuras sedimentarias presentes y medir vectores de paleocorriente.*

# FUENTES DE INFORMACIÓN OBTENIDAS EN AFLORAMIENTO

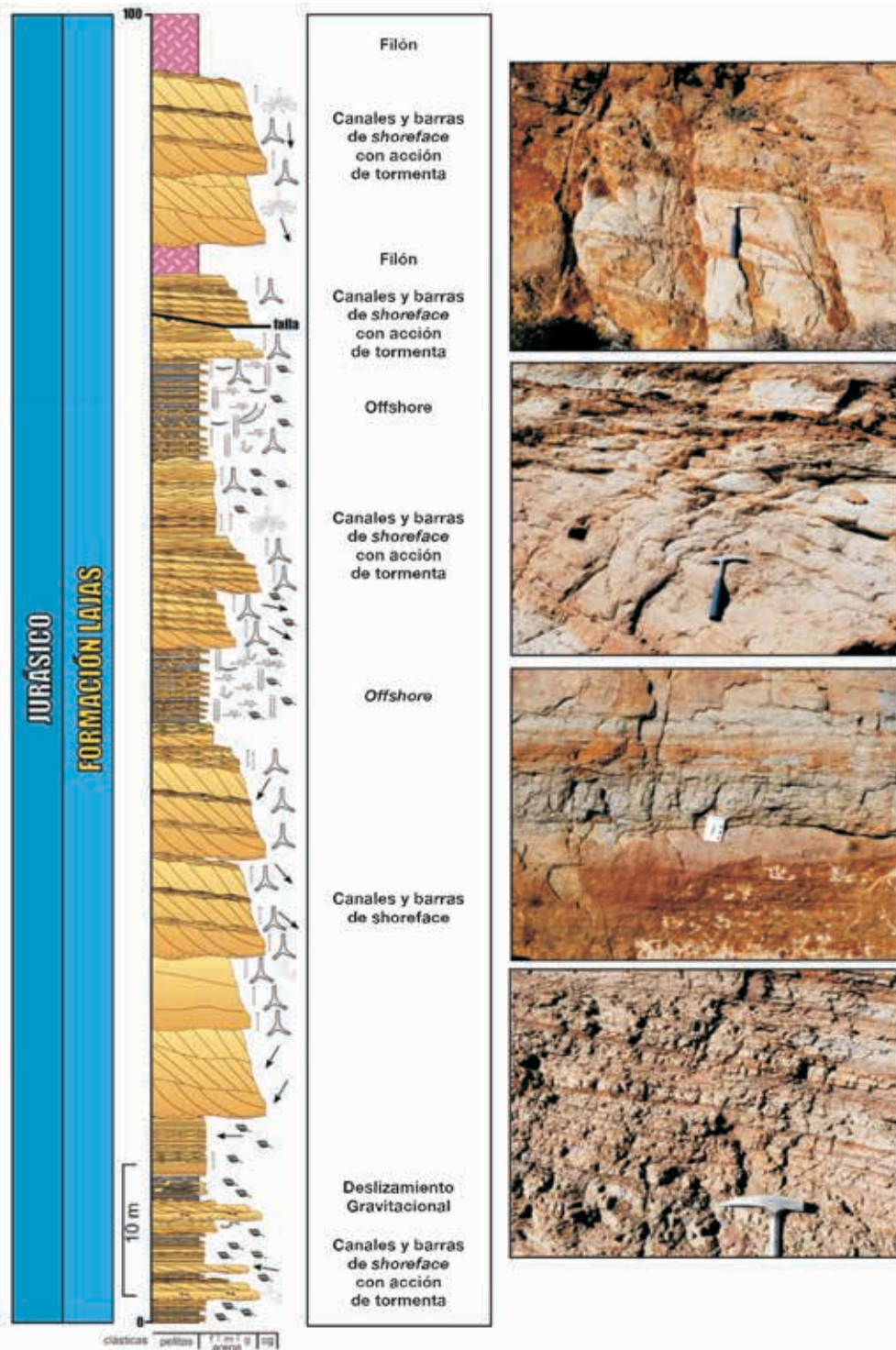
## Perfiles sedimentológicos

Los gráficos de perfiles o secciones sedimentológicas se utilizan con el objeto de representar una sucesión de rocas sedimentarias. Al graficar una sección estratigráfica se pueden representar los datos de una manera fácil de entender a partir de la utilización de símbolos y abreviaturas referidas a una tabla de claves o referencias (Fig. 1.1). Si bien existe una gran variedad de esquemas para representar secciones estratigráficas, todos se basan en los mismos principios. La escala vertical usada se determina de acuerdo al detalle que se quiere para cada sección estratigráfica (Tucker, 2003). Por ejemplo, si se necesita información centimétrica de un estrato, entonces una escala de 1:10 es la apropiada. Para secciones de más de un centenar de metros de espesor, en las que no se necesita un detalle de aquellas capas menores a 10 cm, se puede utilizar una escala 1:100. Una técnica frecuentemente utilizada en los estudios sedimentológicos es representar la sección general a una escala de menor detalle 1:500 o 1:100, y realizar secciones parciales de los intervalos de mayor interés a una escala menor (1:20, 1:10), mostrando de este modo mayor detalle de la sección.

Muchos de los símbolos utilizados para representar la litología son de uso común y se encuentran estandarizados. No obstante, estos esquemas pueden ser modificados de acuerdo a las necesidades de representación de datos que la sección demande. Para indicar el tamaño de grano de los sedimentos clásticos se utiliza una escala horizontal, aunque también puede ser representada la clasificación de Dunham para las rocas carbonáticas (Dunham, 1962). En muchos casos la litología y las estructuras sedimentarias son representadas en una misma columna (Fig. 1.1). Los gráficos permiten tener una impresión visual rápida del tipo de gradación (normal o inversa) que muestra una capa individual y del tipo de arreglo (grano creciente o decreciente) que muestra la sección.



**FIGURA 1.1.**  
Ejemplo de una sección estratigráfica, mostrando los diferentes datos que deben ser presentados.



Por convención, los símbolos usados para representar las estructuras sedimentarias tienen un aspecto cercano al que las mismas presentan en los afloramientos (Fig. 1.2). Estas representaciones han sido simplificadas para su entendimiento y pueden ser adaptadas de acuerdo a las necesidades particulares que presente cada sección. Los límites de las capas pueden ser netos o erosivos, donde la capa superior corta la infrayacente, o pueden ser transicionales o gradacionales, en los cuales se reconoce un cambio gradual desde una litología hacia la otra. Los datos de paleocorrientes pueden presentarse como una serie de flechas orientadas respecto al norte, que, por convención, se ubica hacia la parte superior de la hoja, o representadas por un diagrama de rosas.

**FIGURA 1.2.**  
Ejemplo de patrones y símbolos utilizados en las referencias de secciones estratigráficas.



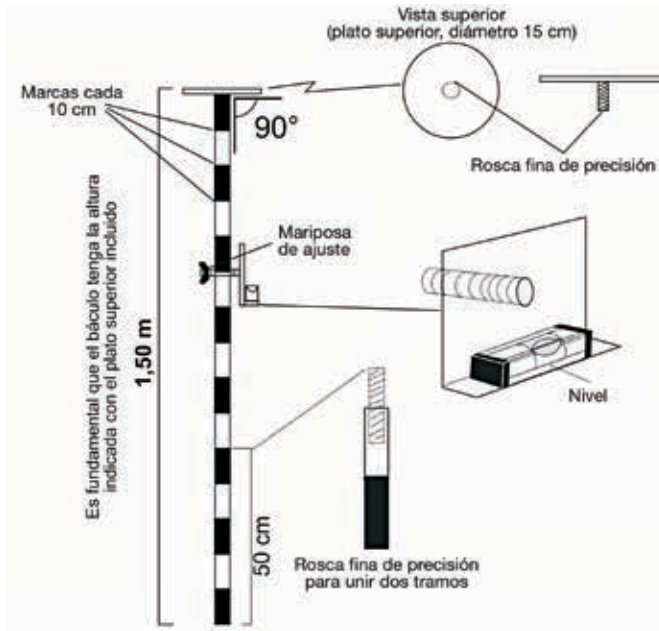
## Medición de perfiles sedimentológicos en afloramiento

Las secciones sedimentológicas pueden ser medidas utilizando cinta métrica, altímetro o báculo de Jacob

(Tucker, 2003). En el caso de sucesiones sedimentarias integradas por capas horizontales de poco espesor, la utilización de cinta métrica resulta apropiada. En acantilados verticales de gran espesor, que no presentan zonas con posibilidad de ascenso, los perfiles o secciones sedimentológicas pueden ser medidos utilizando un altímetro digital de precisión que nos permita obtener el espesor de los estratos (capas). La descripción de los rasgos más conspicuos en estas sucesiones se realiza con binoculares, por lo que las secciones medidas con esta técnica tienen el problema de no poder controlar el tipo de estructuras sedimentarias, el arreglo interno de los estratos, la litología, las paleocorrientes y el contenido fosilífero.

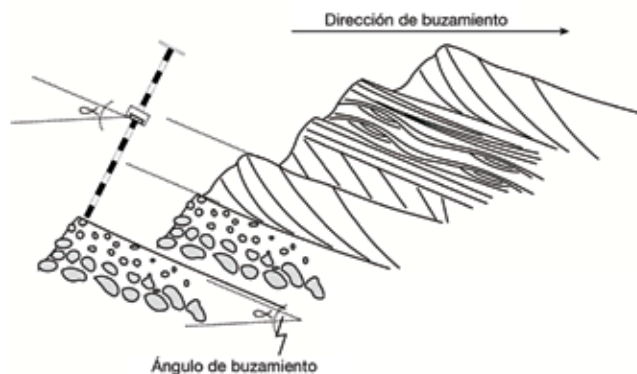
Indudablemente, el método más utilizado en la medición de secciones estratigráficas (afectadas o no tectónicamente) es el báculo de Jacob (Fig. 1.3). El báculo de Jacob es un instrumento de medición que consiste de un bastón de 1,5 m (integrado por dos/tres tramos de 75 o 50 cm cada uno), marcado cada 10 cm, que tiene una mira o plato, el cual debe estar siempre orientado a 90° (perpendicular) respecto del cuerpo principal del báculo (bastón). Aproximadamente a los 0,90-1 m desde la base del báculo, se ubica un hierro ángulo con un tornillo que contiene un nivel de burbuja, el cual se utiliza para calibrar la inclinación (buzamiento) que presentan las capas de la sucesión estratigráfica a medir. La Figura 1.4 muestra de modo esquemático las principales consideraciones que se deben tener en cuenta antes de medir una sección estratigráfica utilizando el báculo de Jacob. El principio de funcionamiento es muy simple, consiste en medir el buzamiento de los estratos (capas) con una brújula. El valor de buzamiento obtenido debe ser transportado al clinómetro con nivel de burbuja que posee el báculo en su tramo central. De este modo, cuando inclinemos el báculo hasta el valor de buzamiento obtenido, la burbuja se nivelará, indicando que estamos midiendo el espesor real de los estratos (capas). Otro dato clave para la medición con báculo es que las secciones estratigráficas siempre deben ser medidas en dirección al rumbo de buzamiento de las capas, de este modo nos aseguramos que estamos midiendo el espesor real de la sucesión estratigráfica.

**FIGURA 1.3.**  
Esquema mostrando las diferentes piezas que integran un báculo de Jacob.



Cuando se utiliza el báculo de Jacob como método de medición, las anotaciones y descripciones que se realizan en la libreta de campo se referirán al número de báculos medidos, los cuales deben ser multiplicados por 1,5 m (altura de un báculo) para obtener el espesor real (por ejemplo 4-20 báculos = 5,80 metros).

**FIGURA 1.4.**  
Esquema donde se indica cómo ubicar el báculo de Jacob en el afloramiento.

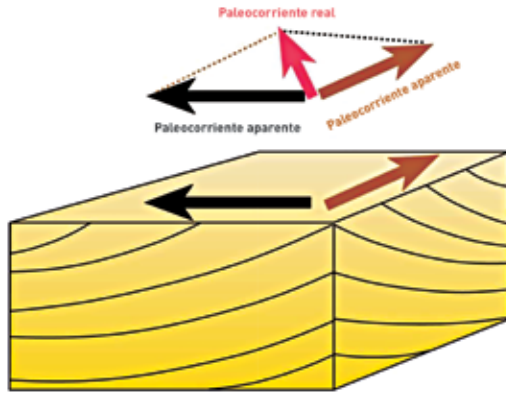


## Medición de paleocorrientes en afloramiento

La determinación de la dirección de dispersión de sedimentos en un sistema aporta información muy importante para los estudios sedimentológicos. Estos datos pueden ser obtenidos de manera escalar o vectorial (Tucker, 2003; Nichols, 2009). La determinación escalar se expresa como una magnitud (por ejemplo, selección, tamaño de grano, etc.). De este modo, al establecer una tendencia granulométrica regional, la dirección de decrecimiento del tamaño de grano puede ser indicativa de la dirección del vector de transporte. Sin embargo, este tipo de análisis debe tener un control muy exhaustivo de la morfología de la cuenca donde se distribuyen los sedimentos, debido a que el desarrollo de sucesivas pendientes depositacionales puede favorecer la aceleración de un flujo y el incremento de su capacidad de transporte, y de este modo acumular fracciones clásticas más gruesas en posiciones más distales del sistema, dejando remanentes de las fracciones más finas en posiciones más proximales. Por el contrario, la determinación vectorial permite obtener la orientación y sentido de dispersión de los sedimentos, a partir del análisis de las estructuras sedimentarias mecánicas, las cuales reflejan los vectores de transporte de sedimentos (paleocorriente) referidos al norte magnético. Para la correcta aplicación de las determinaciones vectoriales, es importante entender que las estructuras sedimentarias son tridimensionales, por lo tanto se necesita contar con al menos dos de los vectores de dispersión de sedimentos que ellas determinan (Nichols, 2009) para poder obtener el vector resultante, y de este modo establecer el vector de paleocorriente real del sistema (Fig. 1.5). En muchas situaciones (como el caso de sucesiones expuestas en acantilados) no se cuenta con cortes 3D que permitan determinar ambos vectores; en esos casos se pueden tomar vectores de paleocorriente aparente.

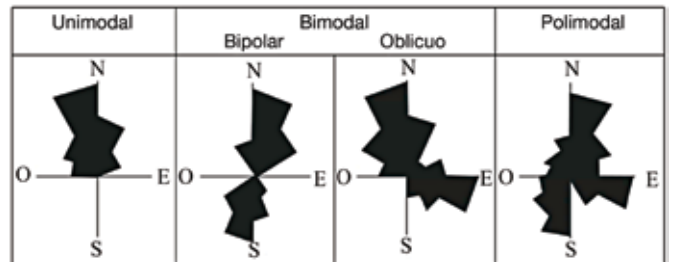
**FIGURA 1.5.**

Esquema mostrando los dos vectores de paleocorriente aparente y la paleocorriente real en una estratificación entrecruzada tangencial. Modificado de Tucker (2003).



**FIGURA 1.6.**

Diversos tipos de histogramas circulares que grafican las diferentes direcciones de dispersión de los sedimentos. Tomado y modificado de Tucker (2003).



Como se verá en el Capítulo 2, existen estructuras sedimentarias que indican *dirección* y *sentido* de las paleocorrientes (estratificación entrecruzada tangencial, en artesa o tabular planar), mientras que otras sólo nos indican la *dirección* (lineación *parting*, crestas y surcos). Tanto la dirección como el sentido constituyen datos muy importantes que deben ser tenidos en cuenta para poder inferir el o las áreas de procedencia de los sedimentos.

Las representaciones gráficas de las paleocorrientes pueden ser *bidimensionales* y *tridimensionales* (Tucker, 2003; Nichols, 2009). Las *bidimensionales* (histogramas circulares) son las más utilizadas, y generalmente son construidas sobre una rosa cardinal, la cual se encuentra dividida en intervalos de clase (generalmente de 30°). Existen tres tipos principales de histogramas circulares (Fig. 1.6): 1- unimodal, donde la distribución de frecuencia muestra una clase predominante, coincidente con la dirección y el sentido de la paleocorriente; 2- bimodal, con dos clases predominantes (bipolar y oblicuo), y 3- polimodal, con más de dos modos (Tucker, 2003). Por otro lado, las representaciones *tridimensionales* consisten en realizar una proyección estereográfica de elementos lineales o planares (red de Schmidt). Este tipo de diagrama se utiliza principalmente para la construcción de diagramas petrofábricos (e.g. imbricación de clastos).

## Correlación de secciones estratigráficas

La correlación de perfiles sedimentológicos busca establecer una correspondencia entre las características y la posición estratigráfica de sucesiones geológicas que pueden estar separadas metros, centenares de metros o decenas de kilómetros (Fig. 1.7). Las correlaciones permiten definir la geometría de los depósitos, lo cual resulta fundamental para la realización de los modelos depositacionales. Es imprescindible aclarar que para efectuar este tipo de estudios es recomendable contar al menos con cuatro secciones sedimentológicas medidas. Asimismo, de acuerdo con los objetivos del análisis que se está efectuando, las correlaciones pueden ser de escala local o regional.

A continuación se detallan algunos de los criterios físicos que deben ser tenidos en cuenta durante la realización de paneles de correlación:

-*Criterio de continuidad lateral de los estratos de Steno:*

se refiere a aquellas unidades litoestratigráficas que por su continuidad pueden ser trazadas de una localidad a otra (Vera Torres, 1994).

-*Criterio de facies sedimentarias:* se basa en las características que presentan las distintas facies sedimentarias reconocidas. Uno de los aspectos más importantes para el desarrollo de paneles de correlación es poder identificar *capas guía*. Una *capa guía* se caracteriza por

mostrar una litología o contenido fosilífero que es único respecto a las capas infrayacentes y suprayacentes, y que además tiene una gran extensión regional.

-*Superficies de discontinuidad*: es importante la identificación de estas superficies, las cuales pueden representar etapas de erosión o de no depositación, pudiendo tener representación global, regional o local (Vera Torres, 1994). De acuerdo a sus características pueden ser clasificadas en:

-*paraconcordante*: en este tipo de discontinuidad estratigráfica se mantiene el paralelismo entre los materiales supra e infrayacentes, y la superficie de discontinuidad es un plano de estratificación que no evidencia erosión.

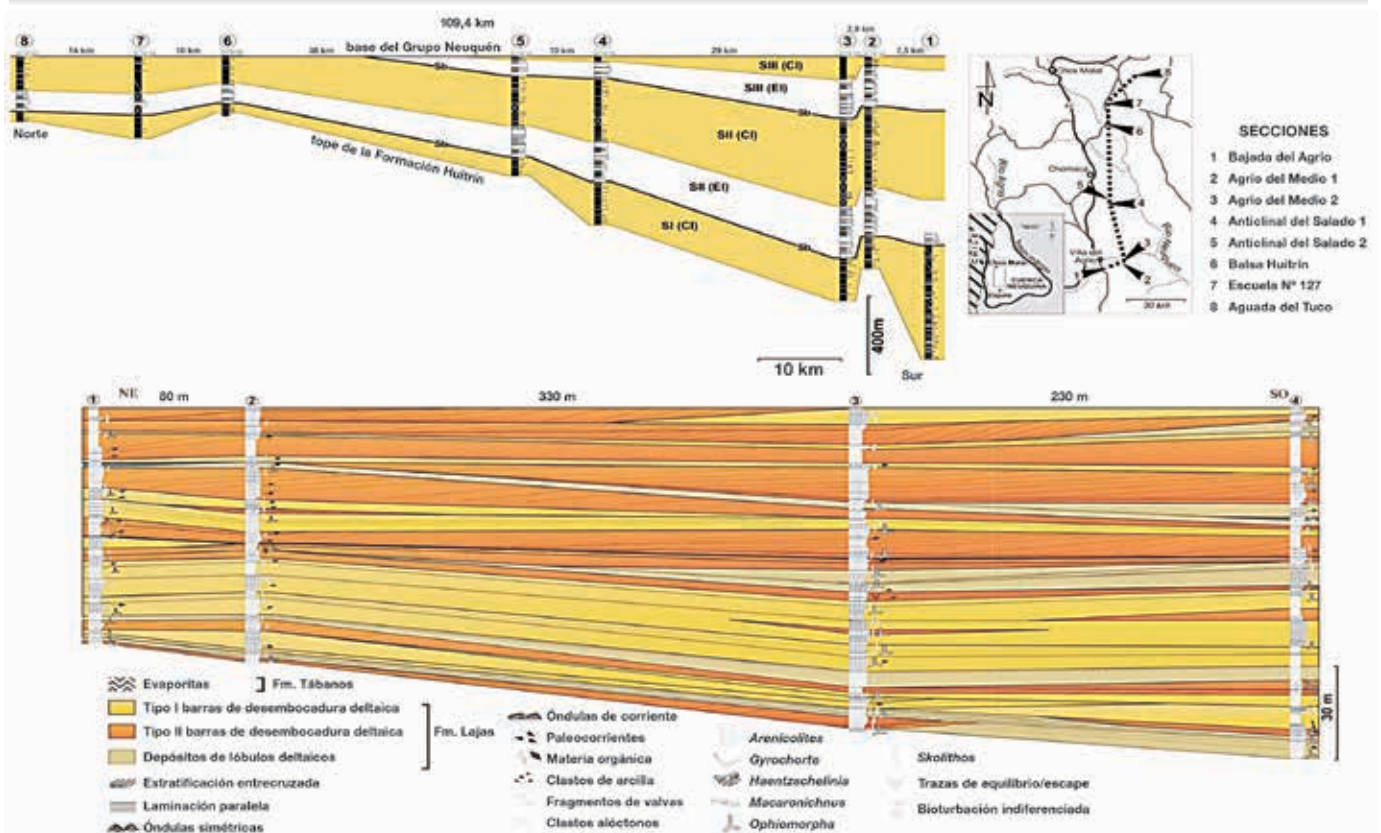
-*discordancia erosiva*: es una discontinuidad estratigráfica en la que los materiales inferiores y superiores mantienen su paralelismo, pero la superficie de discontinuidad no es plana, sino que presenta relieve debido a la erosión.

-*discordancia angular*: constituye una discontinuidad estratigráfica en la que los sedimentos tienen inclinaciones (buzamientos) diferentes por encima y por debajo de dicha superficie debido a procesos tectónicos.

-*inconformidad*: es una discontinuidad estratigráfica en la que las rocas ígneas o metamórficas se encuentran en contacto con los estratos sedimentarios.

**FIGURA 1.7.**

Paneles de correlación mostrando dos escalas de trabajo completamente diferentes. La correlación superior se realizó con el objetivo de identificar la geometría general de la unidad (tomado de Zavala *et al.*, 2006), mientras que la correlación inferior se realizó con el fin de analizar la geometría de sistemas de barras de desembocadura deltaica (tomado de Canale *et al.*, 2015).

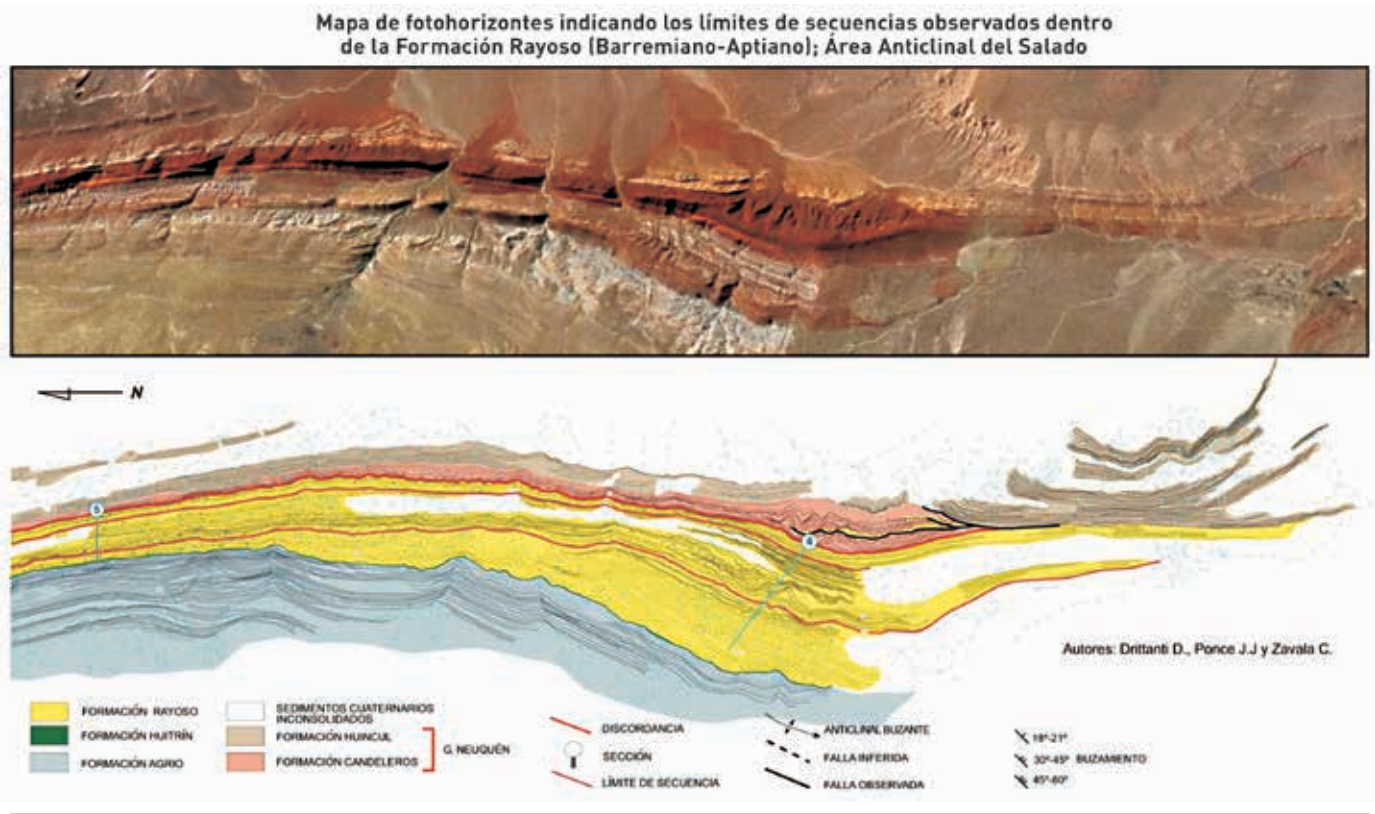


## Mapas geológicos y fotoestratigráficos

Los mapas geológicos son modelos a escala reducida que representan, de manera bidimensional, una superficie tridimensional de la realidad (Martín *et al.*, 2010). Esto motiva que su elaboración necesite una serie de simplificaciones para lograr una correcta legibilidad y representatividad de las principales características geológicas (Martín *et al.*, 2010). Un mapa geológico refleja las unidades geológicas que afloran en superficie y sus contactos, las estructuras tectónicas (e.g. pliegues, fallas), el contenido fosilífero, la red de drenaje y los recursos minerales, entre otros. Las escalas gráficas de los mapas geológicos son sumamente variables y, en general, se ajustan a la necesidad del proyecto de investigación. Un tipo particular de mapa geológico muy utilizado en

los estudios sedimentológicos es el denominado fotoestratigráfico, en el cual se realiza un análisis sísmico-secuencial en imágenes obtenidas por sensores remotos (López, 2005). Esta técnica fue desarrollada por Sgavetti (1992 y 1993), y permite diferenciar unidades de roca que presenten propiedades de forma y atributos de estratos similares, mediante el trazado sistemático de horizontes fotogeológicos (*fotohorizontes*) y la identificación de diferencias en su textura y geometría (*fotofacies*) (López, 2005) (Fig. 1.8). Esta metodología permite identificar paquetes litológicos que puedan ser correlacionados con los obtenidos de los análisis sísmico-secuenciales, ya que posibilita el reconocimiento de superficies de discontinuidad, con características similares a las identificadas en la terminación de horizontes sísmicos (e.g. *onlap*, *downlap*, *toplap*, truncaciones).

**FIGURA 1.8.** Imagen satelital tomada de Google Earth y redibujo de un mapa fotoestratigráfico en el área del Anticlinal del Salado.



## FUENTES DE INFORMACIÓN OBTENIDAS DE SUBSUELO

Existen distintas clasificaciones de las fuentes de información obtenidas a partir de estudios de subsuelo. Uno de los criterios de clasificación más utilizados es la representatividad de la información obtenida. Los datos adquiridos durante la perforación de un pozo exploratorio o de desarrollo pueden ser clasificados en *directos e indirectos*. Se agrupan dentro de la categoría de datos *directos* a aquellos que no necesitan de un procesamiento y/o utilización de algoritmos y/o aplicación de metodologías de cálculos para obtener distintos parámetros de subsuelo. Como ejemplos de datos directos podemos mencionar el uso de recortes de perforación (*cutting*), testigos rotados laterales y testigos corona. Como contrapartida, la utilización de registros eléctricos de pozo (perfil de rayos gamma, factor fotoeléctrico, perfil mineralógico o de espectroscopía elemental, entre otros), ubica a esta fuente de información como *indirecta*, debido a la necesidad de utilizar modelos y/o algoritmos para llegar a su determinación.

Para el caso de individualizar, definir y describir estructuras sedimentarias inorgánicas y biogénicas, los testigos corona y los perfiles de imágenes de pozo son las fuentes de información más completas y precisas disponibles. En el caso de querer obtener información direccional (e.g. paleocorrientes, estructuras sedimentarias, inclinación y dirección de fracturas naturales), los registros de imágenes pasan a ser esenciales por estar orientados con respecto al norte magnético; aunque los testigos corona también pueden ser extraídos de modo orientado.

### Testigos corona

Un testigo corona consiste en una muestra cilíndrica de roca tomada del pozo a una profundidad específica, cuyo diámetro puede variar aproximadamente de 1¾ a 6", con una longitud que puede ser de 0,91 a 2,70 m, dependien-

do de las herramientas empleadas para su extracción. El principal objetivo que se persigue con el estudio de las coronas es obtener información petrofísica y geológica. Es de suma importancia durante la extracción de la muestra preservar su estructura geológica, minimizando alteraciones físicas durante la operación y manipuleo, garantizando la representatividad de la formación o área de interés a estudiar.

Los testigos corona se obtienen empleando fluidos de perforación (base agua o base *oil*), mediante un sistema que consiste principalmente de una broca de extracción de muestra, con cortadores tipo PDC (*polycrystalline diamond compact*), o TSP (*thermal stable polycrystalline*), un tubo sacatestigos de acero (externo), y un tubo interior de aluminio, fibra de vidrio o PVC (*polyvinyl choride*), el cual será el contenedor del testigo corona (Fig. 1.9).

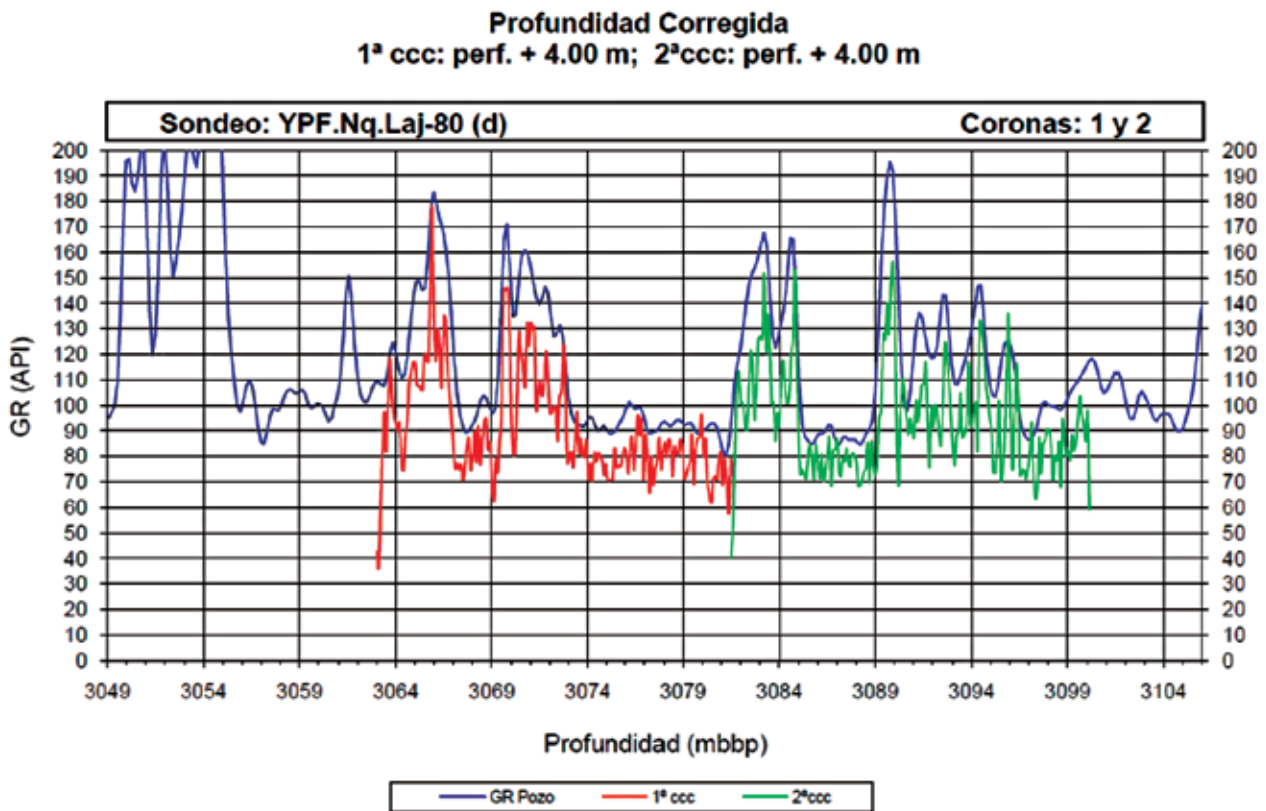
**FIGURA 1.9.**  
Diagrama esquemático de la herramienta utilizada para extraer testigos corona.



Los testigos corona tienen la incomparable ventaja de ser una muestra física de la secuencia de roca. Además, el hecho de poder asignarles una profundidad exacta (entre la profundidad dada por el equipo perforador y la correlación entre rayos gamma de corona y perfiles adquiridos a pozo abierto), sumado a la posibilidad de adquirirlos orientados con respecto al norte magnético, posibilita que los rasgos observados, descriptos e interpretados (estructurales, sedimentológicos y paleontológicos) puedan ser ubicados con precisión y tengan absoluta representatividad.

Una vez corrido el perfil de radiación gamma espectral, determinado el factor de corrección y realizada la mencionada puesta en profundidad de la corona (Fig. 1.10), se procede a la extracción de tapones (*plugs*) para el estudio petrofísico. Estos estudios incluyen análisis de petrofísica básica (porosidad, permeabilidad, densidad de grano y parámetros eléctricos, entre otros), y/o petrofísica especial (presión capilar, susceptibilidad).

**FIGURA 1.10.** Comparación de rayos gamma de corona con rayos gamma de perfil, determinación del factor de corrección y puesta en profundidad.





Una práctica muy difundida es que el análisis de un testigo corona se grafique en un perfil sedimentológico a escala 1:40, donde se vuelcan los siguientes datos: 1- profundidad (perforación y corregida), 2- grupo, formación y miembro (si correspondiese), 3- número de carrera, identificación del cajón y trozo, 4- estudios realizados (en esta columna se vuelca la ubicación de los tapones extraídos para los ensayos petrofísicos, cortes delgados para estudio petrográfico, diagenético, difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido), 5- color, 6- fotografía de los testigos corona, 7- litología, 8- es-

tructuras sedimentarias (inorgánicas y biogénicas), 9- impregnación de hidrocarburo, 10- litofacies, 11- facies, 12- interpretación del ambiente de depositación, 13- porosidad, y 14- permeabilidad (STD) (Figs. 1.11 y 1.12). También es frecuente que el perfil sedimentológico tipo Selley se presente a escala 1:200 y en papel transparente, para que pueda ser correlacionado con los perfiles de pozo. En el caso del estudio de estructuras sedimentarias es fundamental la relación roca-perfil, la que esencialmente se obtiene con el registro de imágenes microrresistivas (Fig. 1.13).

FIGURA 1.11.

Ejemplo de referencias de la información volcada en los perfiles sedimentológicos obtenidos a partir de la medición de testigos corona.

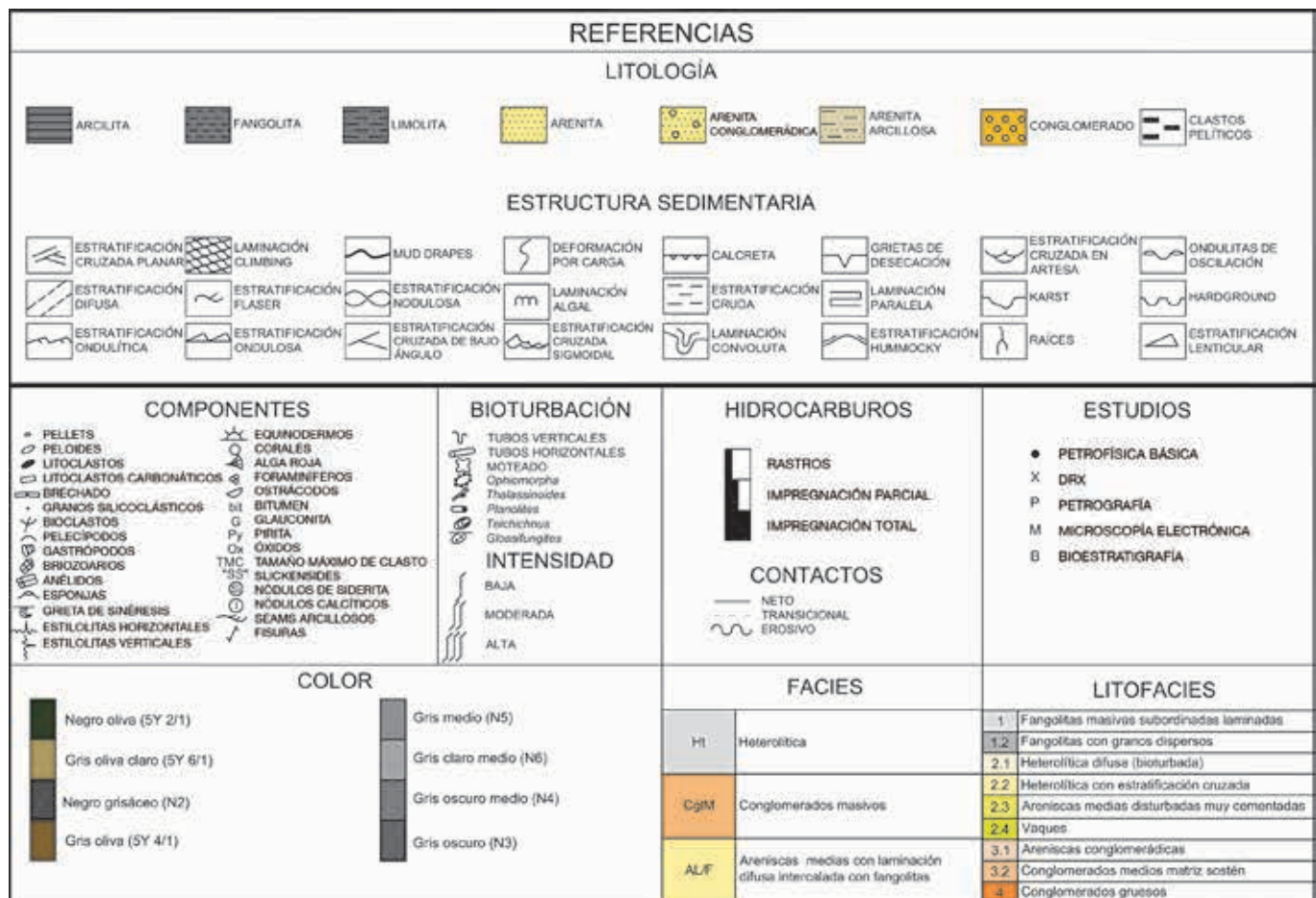
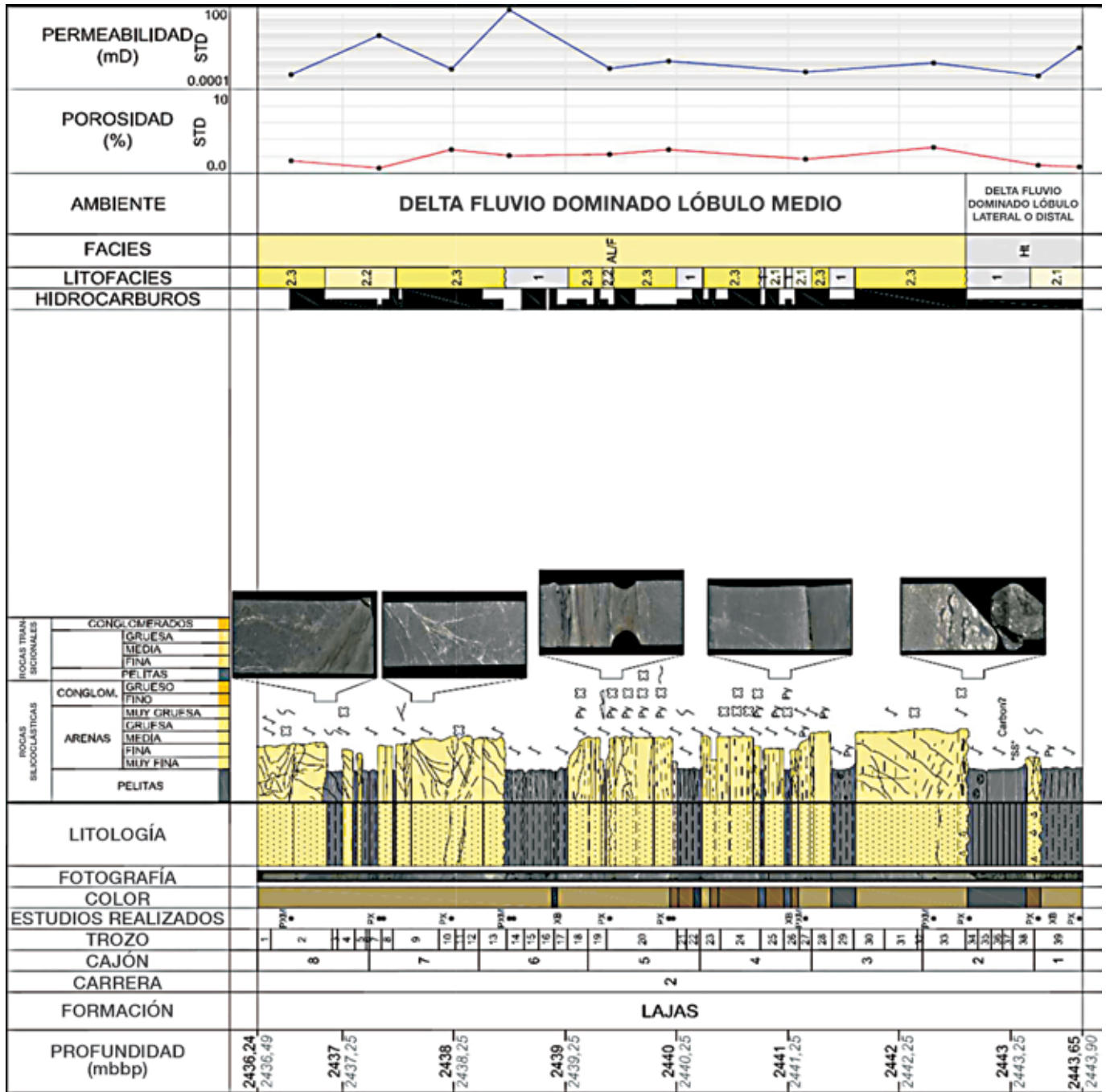


FIGURA 1.12.

Ejemplo de un perfil Selley, el cual es frecuentemente utilizado en la representación gráfica de testigos corona.



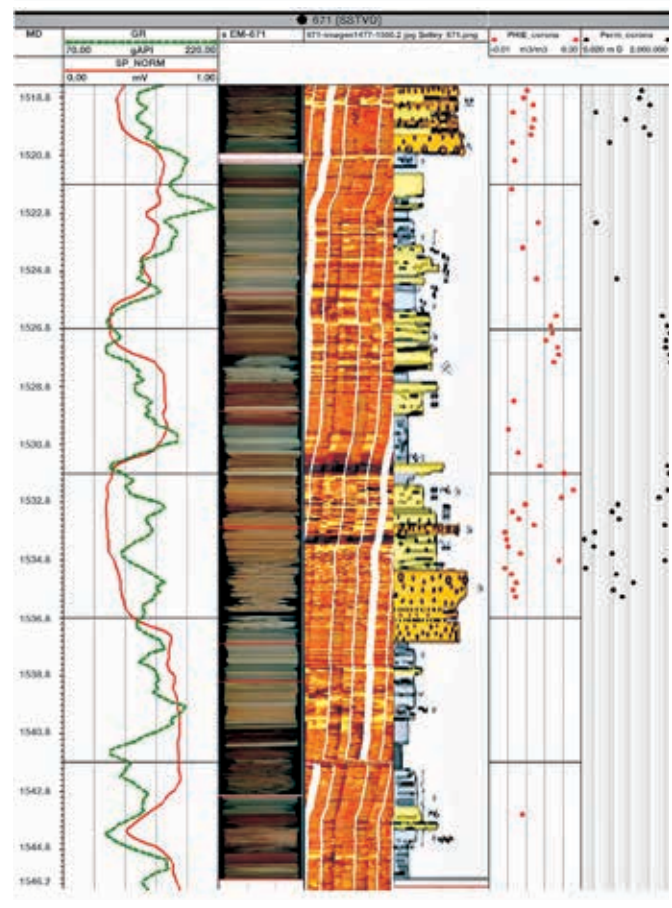
Los testigos corona son fotografiados con luz blanca para confeccionar las tiras plastificadas y los mosaicos que acompañan un informe. Los trozos de corona más representativos son fotografiados en detalle para ilustrar las diferentes facies identificadas en el estudio. Adicionalmente, se escogen muestras para ser estudiadas mineralógicamente a través de la difracción de Rayos X (DRX) mediante el análisis de roca total y fracción arcilla. Para la realización del análisis de roca total se obtiene una muestra representativa del total de la roca, moliendo la muestra hasta la malla 230 ASTM. La muestra resultante se coloca en un portamuestra de aluminio, y se compacta uniformemente, obteniéndose una superficie lisa y regular para ser expuesta a los Rayos X. Los análisis de fracción arcilla se realizan sobre la muestra molida que se obtuvo (previamente puesta en suspensión en agua destilada), se lleva a un vibrador ultrasónico para que el material muy fino (menor a 4 micrones) quede en suspensión. Después de un tiempo determinado, se extrae una muestra con pipeta de la sección subsuperficial de la suspensión y se la lleva a un portaobjetos, donde los argilominerales sedimentan más lentamente, adquiriendo una orientación preferencial según el plano cristalográfico; a este preparado se le denomina *natural*. Para confirmar la identificación y cuantificación de las arcillas se realizan otros dos ensayos sobre las muestras, denominadas glicolada y calcinada. La primera se obtiene exponiendo el preparado natural a los vapores de etilenglicol durante dos horas. La calcinada se logra colocando el preparado natural en estufa a 550° centígrados, también durante dos horas. Las muestras que son seleccionadas para estudios en un microscopio electrónico de barrido (MEB) se secan durante tres días a temperatura moderada, para evitar perturbaciones o contracciones en los minerales correspondientes al grupo de las arcillas. Luego se vaporizan con oro para que la película así formada facilite la conductividad frente al bombardeo de electrones, y de esta manera se observan los rangos mínimo, máximo e intermedios de valores empleados para caracterizar los poros y las gargantas porales. Los estudios de microscopía electrónica confirman, o a veces rectifican, la clasificación granulométrica, textura, selección, composición del cemento, tipificación y cuantificación de los minerales arcillosos presentes, presencia de minerales secundarios, tamaño y arquitectura del sistema poral, entre otros aspectos. (Fig. 1.14).

## Perfiles de imágenes microrresistivas

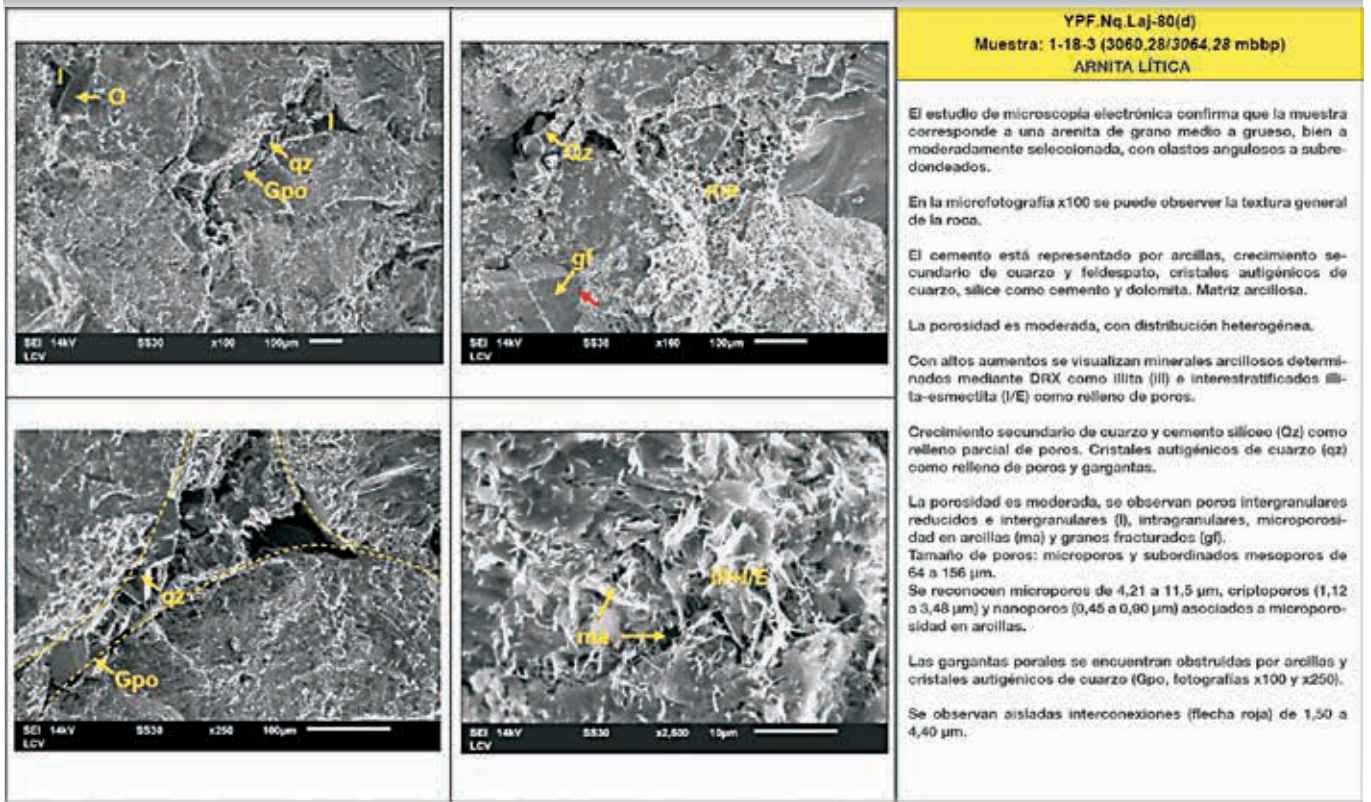
Los perfiles de imágenes microrresistivas han evolucionado significativamente desde su aparición en el año 1945, fundamentalmente en lo que a cobertura se refiere. Indudablemente, a medida que se adquiere una mayor cantidad de datos de la circunferencia del pozo, es posible obtener una interpretación más detallada, precisa y comprensiva. Las imágenes de microrresistividad han agregado progresivamente más sensores y patines para mejorar la cobertura de las imágenes (Fig. 1.15).

**FIGURA 1.13.**

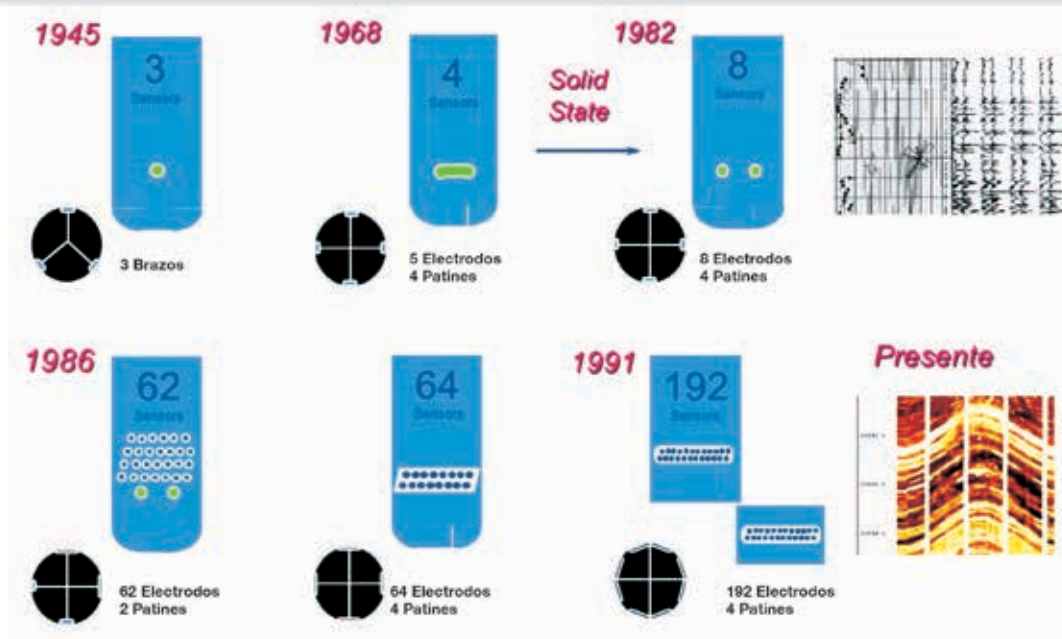
Ejemplo de la relación roca (coronas, fotos y perfil Selley) y perfiles de pozo (convencionales y de imágenes). Tomado y modificado de Hammar y Montagna (2014).



**FIGURA 1.14.**  
Caracterización de la roca obtenida a partir de los análisis de MEB.



**FIGURA 1.15.**  
Evolución de las herramientas microrresistivas a través del tiempo. Nótese cómo el número de sensores y patines se incrementó progresivamente para mejorar la calidad de las imágenes. Tomado y modificado de Bertoni (2007).



La herramienta inicial estuvo más asociada a los registros de perfiles de buzamiento (*dipmeter*) y contenía tres brazos, de manera que sólo se podía obtener poca cobertura, la cual se mejoraba a partir de la realización de múltiples pasadas. Posteriormente se pasó a una herramienta de cinco electrodos microrresistivos montados en cuatro patines (dos electrodos comparten el mismo patín), mejorando no solamente la cobertura, sino también la resolución que pasa a ser de 1 a 2 cm. Al incorporar dos electrodos en cada patín, se acorta el espaciamiento entre ellos, lo que permite un mayor número y mejor calidad en la correlación entre los patines. Esta herramienta es la primera que realmente permite obtener una "pseudoimagen", ya que las correlaciones se basan en variaciones de resistividad y las deflexiones de las curvas son proporcionales a las corrientes de los patines, las cuales varían enormemente dependiendo de los contrastes entre la formación y los alrededores de la herramienta. La resolución llegaba a los 76 mm.

A mediados de los '80 se introducen las primeras imágenes microrresistivas obtenidas con una herramienta similar al *dipmeter*, pero con numerosos electrodos adicionales para detectar la corriente y proveer datos que, al ser procesados, permiten obtener una imagen de alta calidad de la pared del pozo. La resolución es de 7,6 mm y la cobertura es del 40% en un pozo de 8 pulgadas de diámetro. Ya en la década del '90 se llega a la herramienta actual, con resoluciones de 5 mm y cobertura de hasta 75% en un pozo de 203,2 mm de diámetro.

Independientemente de la evolución de esta herramienta, el principio es el mismo: cuando una superficie (fractura, límite de estrato, estructuras internas, etc.) cruza al pozo en un determinado ángulo, causará cambios de resistividad que serán registrados a distintas profundidades en cada uno de los patines. Los patines van montados en brazos motorizados que obligan a los electrodos a mantenerse en contacto con las paredes del pozo, que además actúan como *caliper* al estar a 90° unos de otros (Fig. 1.16 A). Estas diferencias de profundidad dependerán de la magnitud del buzamiento y del azimut de las capas. Cabe aclarar que la imagen representa un cilindro desplegado, por lo que cualquier plano que atravesase ese cilindro aparecerá como una senoide, y ésta será más alargada cuanto más alto sea el ángulo con el que el plano intercepta al cilindro. La dirección del punto más bajo de la senoide indica la dirección de buzamiento

aparente del plano (aquel referido al pozo), y si el pozo fuera perfectamente vertical, el buzamiento aparente será igual al real (Fig. 1.16 B).

Las herramientas de imágenes comúnmente proporcionan una gran densidad de datos (120 señales por pie en imágenes, versus 4 señales por pie de otros registros), que son graficados en un histograma estándar de eualización y normalización aplicado para medir las señales eléctricas, por medio del cual se generan imágenes eualizadas estáticas y dinámicas que son usadas para observar e interpretar los registros de imágenes en términos de alguna característica de las formaciones o superficies en la cara del pozo.

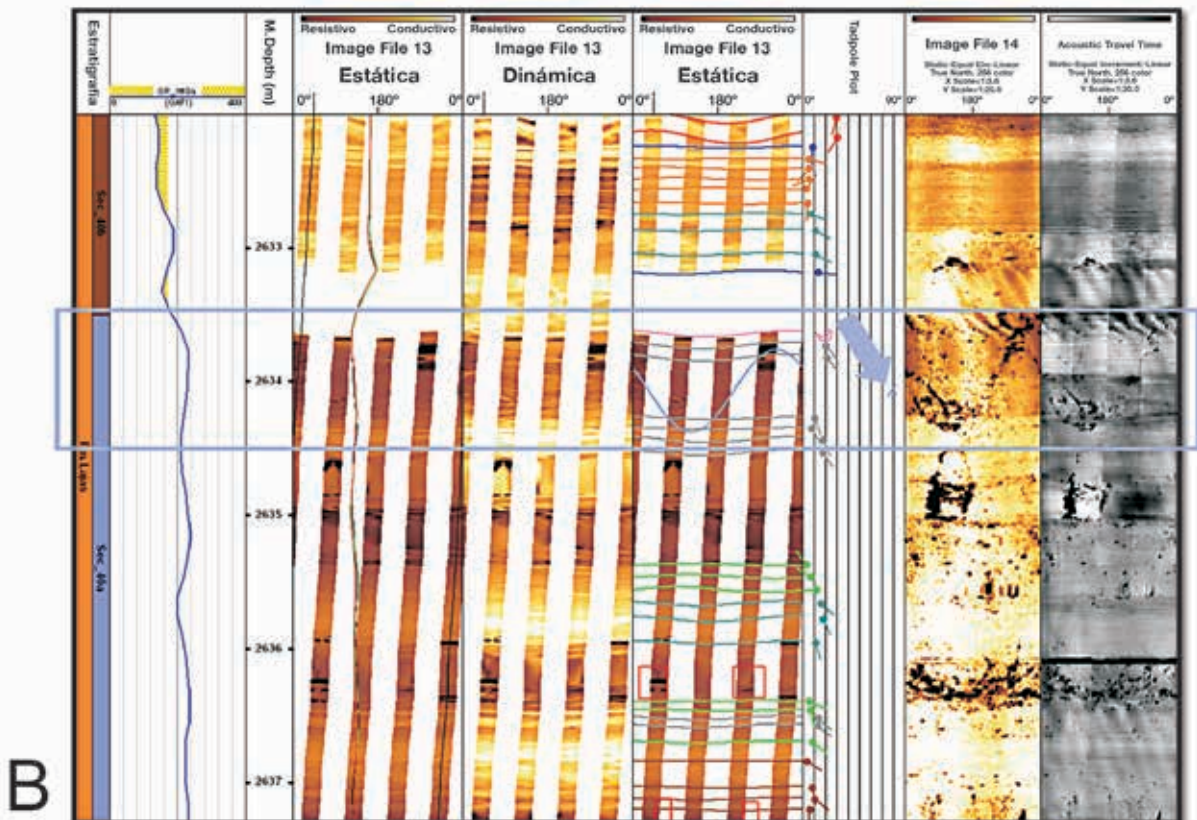
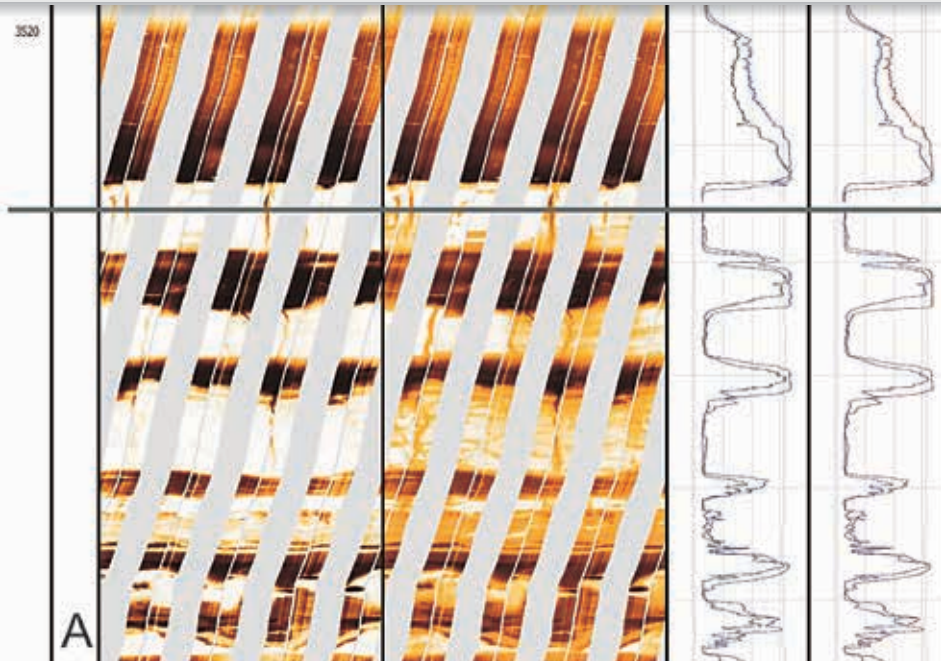
El proceso de asignar colores a la imagen se llama *Normalización*, lo que en definitiva no es otra cosa que definir los límites de las clases de colores. La mejor manera de realizarlo es a través de un histograma de todo el rango de datos, el cual es particionado en clases. Esto genera una determinada área para cada color en la imagen final. Por defecto, los colores varían entre blanco (resistivos), a través del naranja, hasta el negro (conductivos). Cabe destacar que esta gama de colores no refleja los colores reales de la formación. La *normalización* estática es una técnica que se usa para observar las grandes variaciones de resistividad y los contrastes litológicos.

Típicamente, las imágenes son coloreadas para representar a las lutitas (*shales*) como oscuras, y a las areniscas, calizas y evaporitas (resistivas) como claras (Fig. 1.17). En definitiva, las imágenes tienen una escala de colores desde el amarillo al negro; cuanto más claro es el color, más resistivos son los objetos, y cuanto más oscuro, más conductivos.

Las imágenes estáticas y dinámicas proporcionan un medio poderoso para interpretar visualmente las características de la secuencia de rocas. La escala estática es fija y en ella se computa el valor máximo y mínimo de resistividad registrado, y se "reparte" la escala de colores. Esta escala es ideal para determinar *electrofacies*, aunque se pierde definición. Por su parte, la escala dinámica no es fija, se va adaptando de tal manera que se ajusta según los rangos de resistividad para que todos los rasgos y objetos sean visibles. La normalización dinámica recalcula la escala de colores a ser aplicada sobre una corta ventana, generalmente no mayor a 90 cm. Como la gama de colores es obtenida a través de una ventana, un determinado color a distintas profundi-

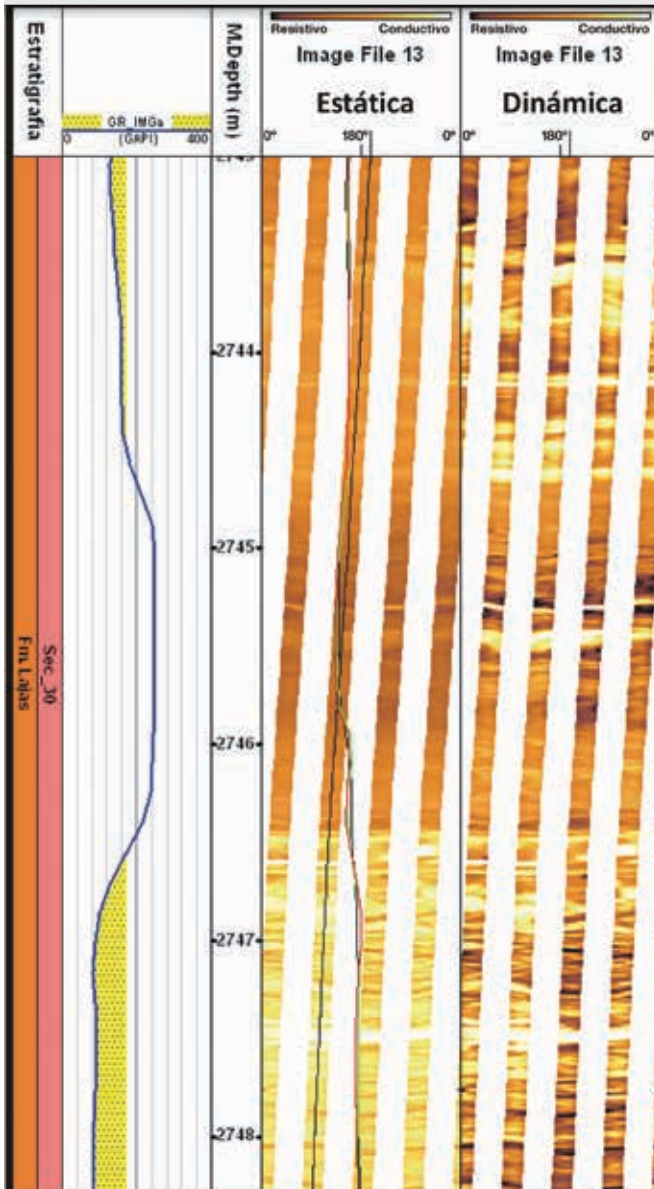
**FIGURA 1.16.**

**A.** Las curvas de resistividad registradas por los sensores presentes en cada patín son promediadas, obteniéndose una curva resultante. **B.** Amplitud de la sinusoide creada al intersectar un plano al pozo, en función del ángulo de inclinación con el que dicho plano intercepta al cilindro.



**FIGURA 1.17.**

Escala estática (izquierda) y dinámica (derecha). En el *track* central se observan perfiles eléctricos convencionales (SP), que marcan la alternancia de estratos conductivos (pelitas, colores oscuros en la escala estática) y resistivos (areniscas, colores claros en la escala estática).



dades puede corresponder a distintos valores de resistividad. (Fig. 1.17).

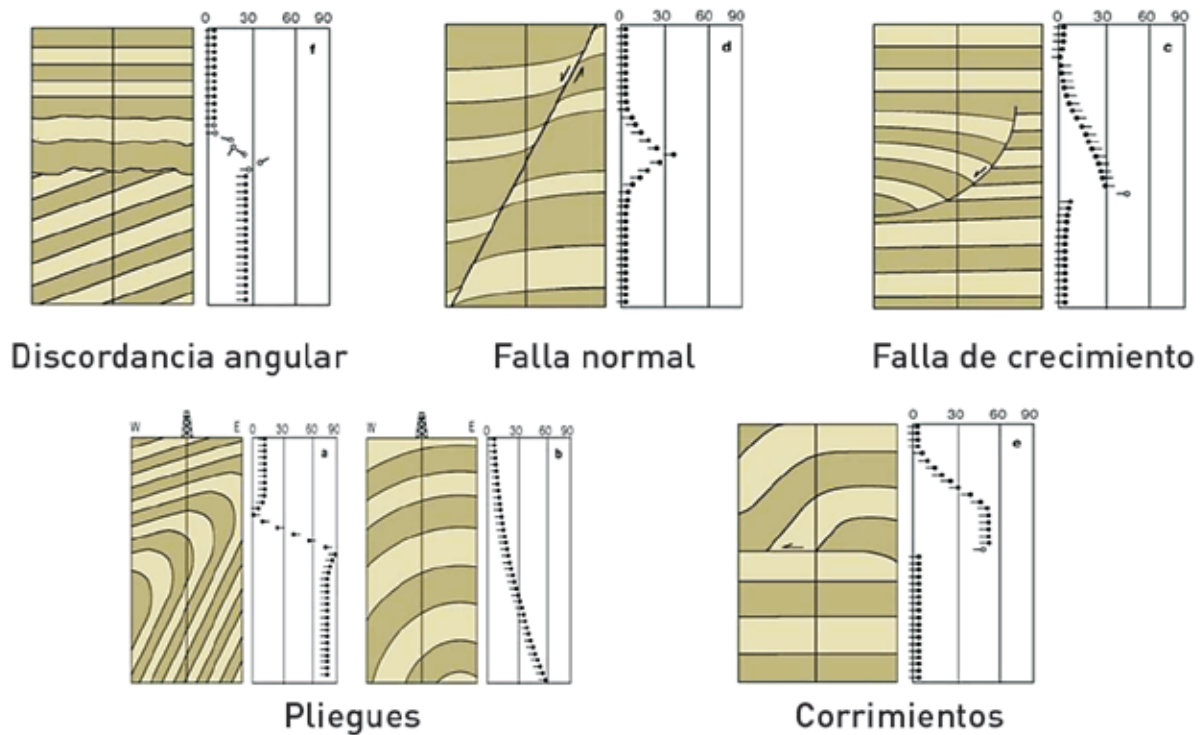
Las variaciones de coloración no sólo pueden darse por variaciones en la litología, sino que también pueden obedecer a cambios en la porosidad. El tipo de fluido de perforación es un factor clave en la determinación de la herramienta a usar, ya que se deben utilizar diferentes herramientas para lodos base agua o base aceite. Generalmente las herramientas diseñadas para lodos base aceite tienen una resolución vertical más pobre en comparación con las herramientas diseñadas para sistemas de lodo base agua.

Si bien hay diferentes tipos de herramientas de imágenes de microrresistividad disponibles en el mercado, las herramientas de *wireline* son las más utilizadas para la adquisición, después de que el pozo es perforado. Sin embargo, las imágenes microrresistivas están también disponibles para aplicaciones de registros mientras se perfora (LWD). Estas herramientas dependen de la rotación de la sarta de perforación y del avance de la perforación para obtener una completa cobertura y resolución vertical. En general, las herramientas que se utilizan mientras se perfora presentan una resolución vertical menor que la de las herramientas diseñadas para sistemas de lodo base agua.

## Interpretación estructural y geomecánica

El objetivo del análisis estructural es la evaluación de la secuencia de roca registrada, definiendo la presencia de fallas, discordancias, pliegues, etc. En el caso particular de las fallas, el objetivo se centra en la evaluación del plano de falla y la distorsión de las capas en los alrededores. Los parámetros que pueden ser determinados son la profundidad a la cual el pozo intercepta el plano, el rumbo del plano, el ángulo del plano de falla (buzamiento), y la distorsión de los bloques adyacentes. La realidad es que más que el perfil de imágenes propiamente dicho, la determinación y análisis de los "*dips*" entregan mejor información al respecto (Figs. 1.18 y 1.19).

**FIGURA 1.18.** Análisis de rasgos estructurales a partir del estudio de "dips" del perfil de imágenes. Tomado de Bertoni (2007).

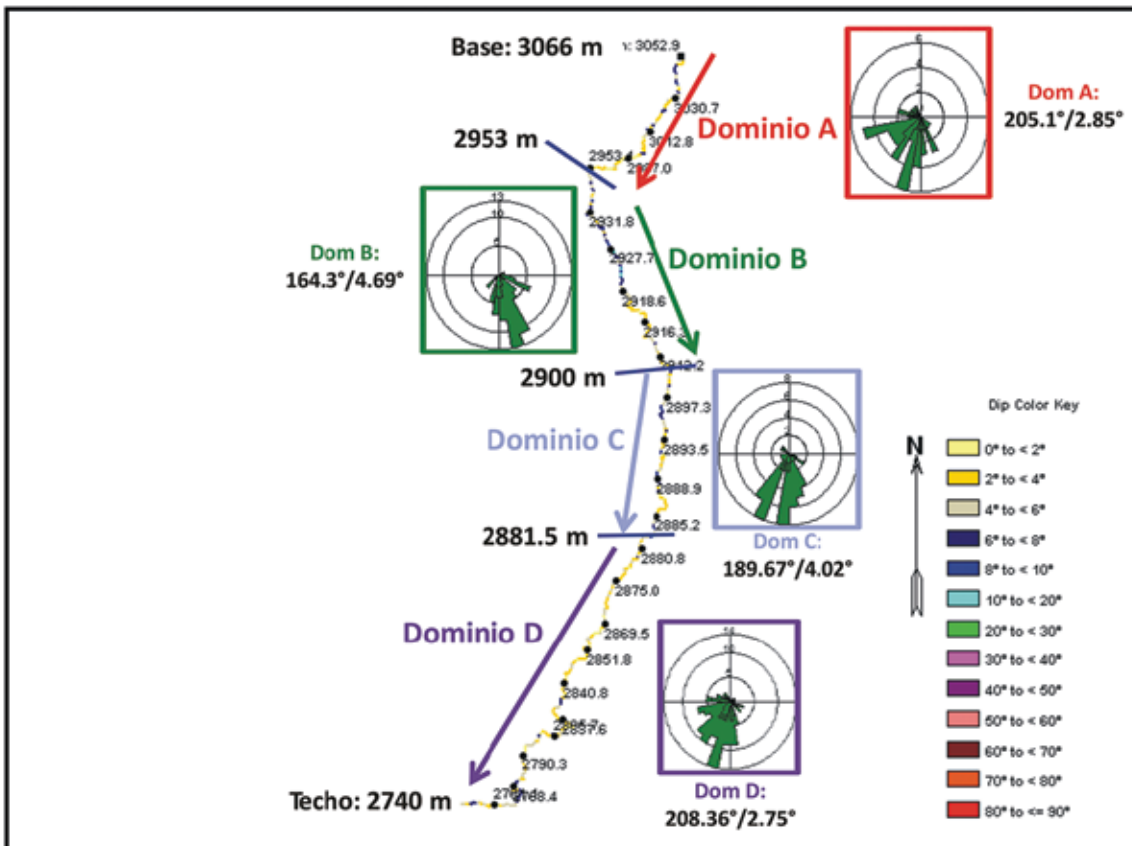
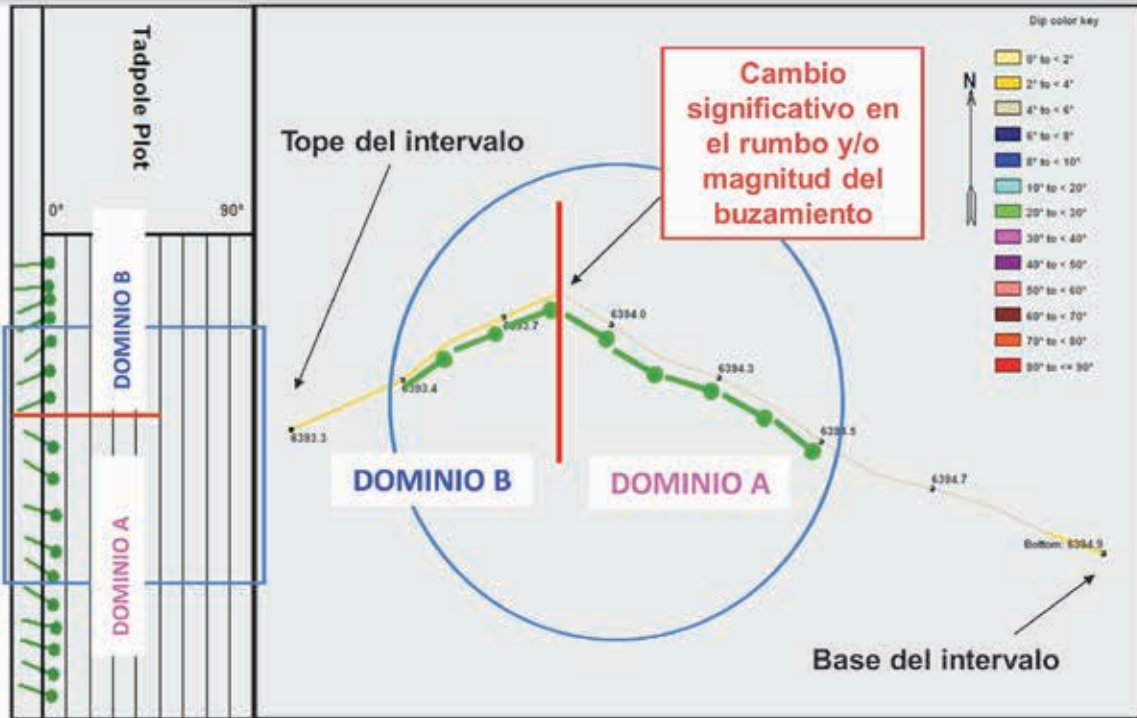


En este sentido, una falla normal y una inversa pueden llegar a exhibir el mismo plano de falla y las mismas características de distorsión que las capas adyacentes. Datos externos, como la geología local o las correlaciones con otros registros, son necesarios para determinar si existe una sección repetida o faltante de manera de identificar el modelo de falla. Un plano de falla tendrá la misma apariencia que una fractura. Sin embargo, las capas no encontrarán correlación a un lado y al otro del plano de falla, mientras que en la fractura sí (Figs. 1.20 y 1.21). En el análisis estructural de las fracturas, los perfiles de imágenes entregan valiosa información sobre el estado hidráulico de las fracturas, ya que si el plano se muestra blanco significa que las fracturas están cerradas (el color claro resistivo puede indicar la presencia de sílice, calcita y/o el mismo material de la roca de caja); mientras que si se presentan en color oscuro, indican fracturas abiertas (el color oscuro conductivo está dado por la presencia de lodo de perforación en el plano de las fracturas) (Fig. 1.20).

En cuanto a la aplicación en geomecánica, los perfiles de imágenes son muy buenas fuentes de determinación de las direcciones de los esfuerzos máximos y mínimos actuales a los que está siendo sometida la secuencia de roca perforada. Esto se debe a que permite detectar las fracturas inducidas por la perforación (desarrolladas a lo largo de la dirección del esfuerzo horizontal máximo), en el caso de tener una densidad de lodo de perforación alta, así como en la determinación de la posible ovalización (*breakouts*), por la ruptura de la pared del pozo en la dirección del esfuerzo mínimo (Figs. 1.22-1.24).



**FIGURA 1.19.**  
Análisis estructural a partir del estudio de "dips" del perfil de imágenes.



**FIGURA 1.20.**

Detección de una falla en el perfil de imágenes. Nótese que las capas no tienen correlación a un lado y al otro del plano.

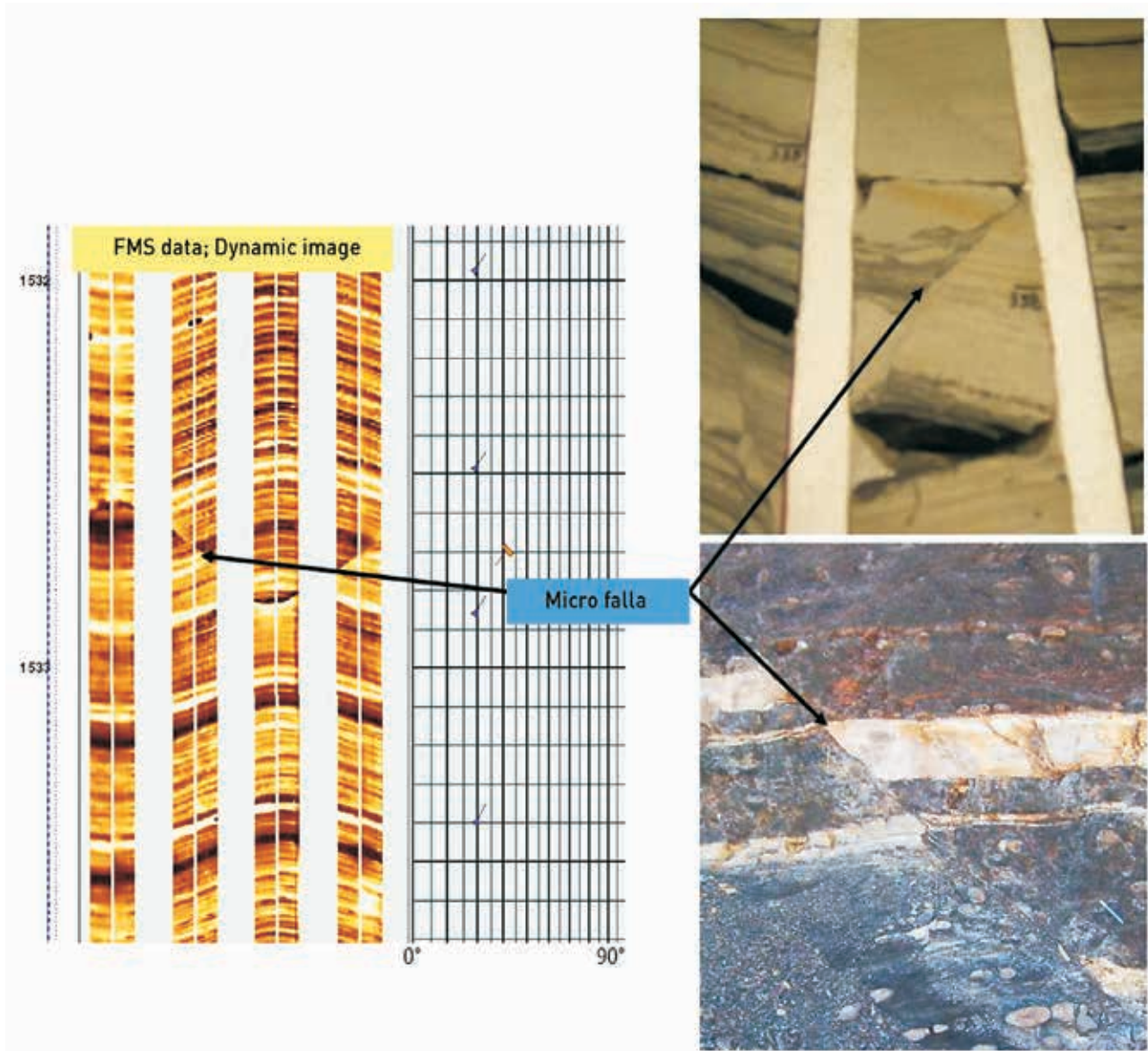
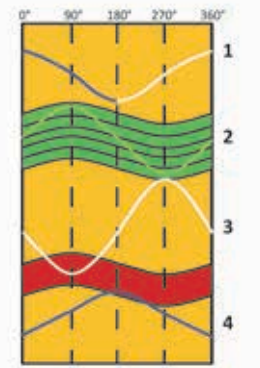
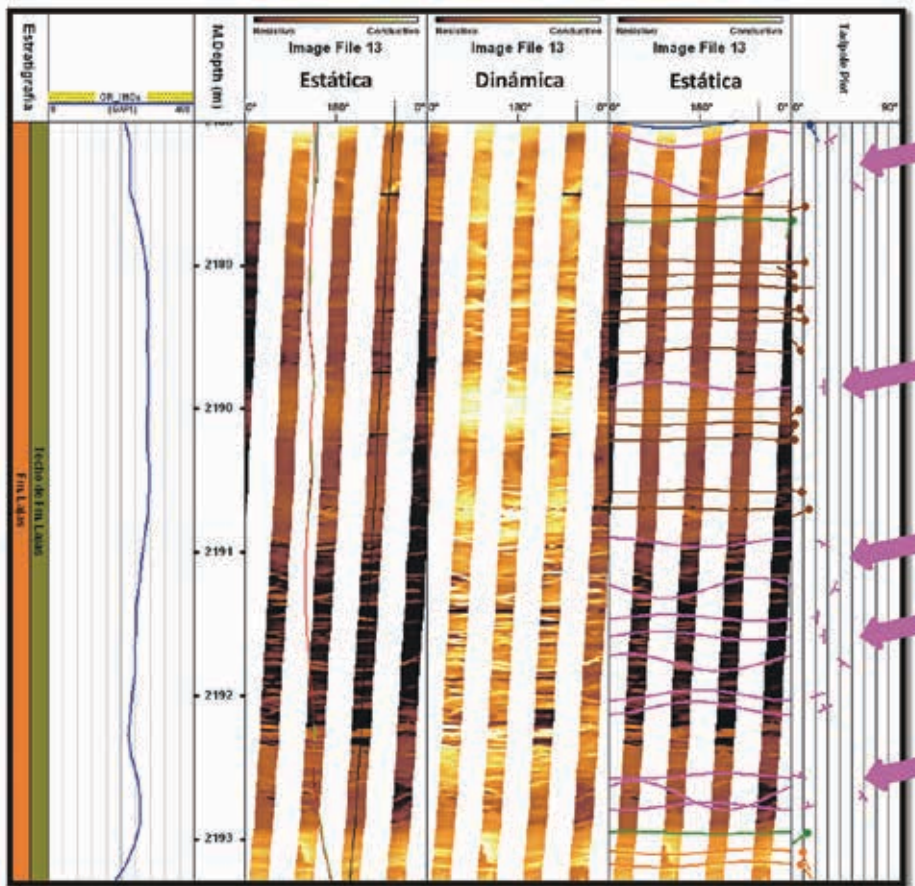


FIGURA 1.21.

Detección de fracturas en función de la naturaleza de las mismas.



**Fracturas parcialmente Conductivas (1)**

Contraste parcialmente claro y parcialmente oscuro a lo largo de la sinusoide.

**Fracturas Cerradas (2)**

Reconocidas a partir de halos con distinta inclinación al bedding, o a partir de pequeñas discontinuidades de planos de estratificación u otras fracturas.

**Fracturas Resistivas (3)**

Muestran alta resistividad en imágenes resistivas y/o "bajo tiempo de tránsito" en imágenes acústicas.

**Fracturas Conductivas (4)**

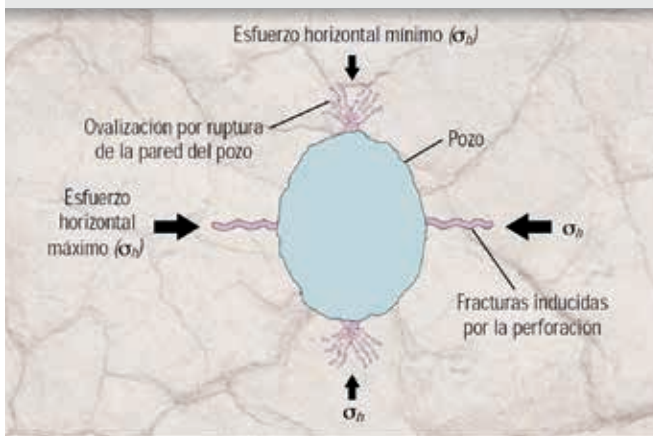
Muestran baja resistividad en imágenes resistivas y/o "alto tiempo de tránsito" en imágenes acústicas.

**Fallas**

Muestran baja resistividad en imágenes resistivas y desplazamiento que sobrepasa los límites del diámetro del pozo.

FIGURA 1.22.

Elementos asociados a los esfuerzos máximos y mínimos.

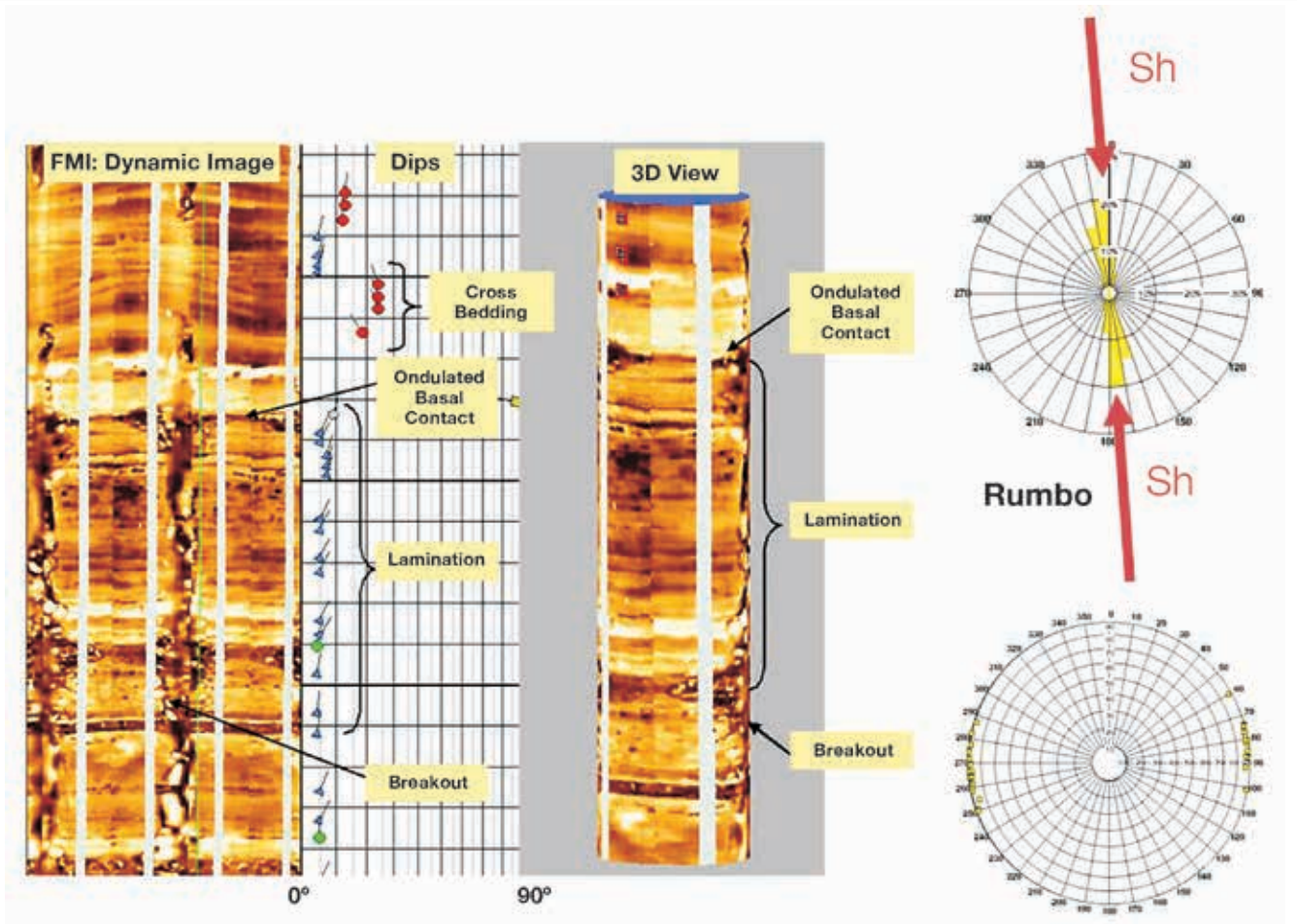


Los *breakouts* no son otra cosa que fallas producidas cuando el máximo esfuerzo es radial y el mínimo esfuerzo es tangencial, que se resuelve en el plano horizontal (plano tangencial/radial). La dirección del mínimo esfuerzo puede ser determinada a partir de la imagen de los *breakouts* en el registro, ya que generan un alargamiento simétrico de la sección transversal del pozo, presentándose en pares, localizados en caras opuestas del pozo (180°). En los registros de imágenes acústicas, de los *breakouts* se caracterizan por regiones rectangulares de tiempos de tránsito altos (largos radios) y bajas amplitudes, localizados simétricamente en cada lado del pozo. En los perfiles de imágenes microrresistivas se

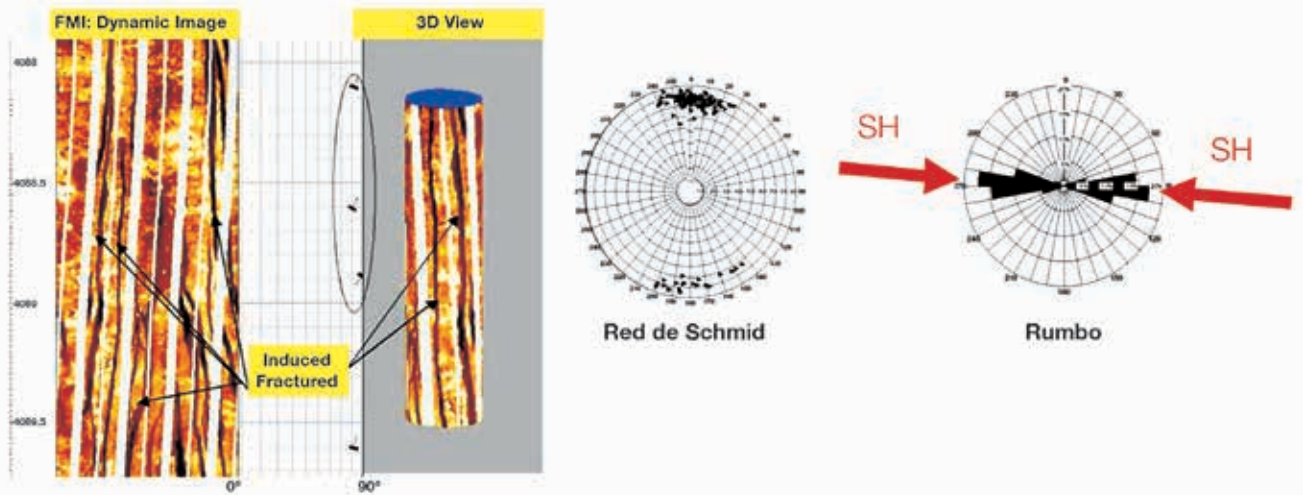
notan como dos zonas verticales irregulares, de colores oscuros por la presencia de lodo de perforación en las ovalizaciones (Fig. 1.23).

Las fracturas a tracción inducidas durante la perforación tienden a ser axialmente paralelas en pozos verticales y también se forman en sus lados opuestos. El análisis digital de las fracturas a tracción inducidas durante la perforación se realiza en forma interactiva, usando una herramienta de medición de fracturas inducidas. Para cada fractura a tracción se registran la profundidad, el azimut y la desviación del pozo, el azimut de la fractura inducida en coordenadas del pozo, su inclinación y su altura (Fig. 1.24).

**FIGURA 1.23.** Determinación del esfuerzo horizontal mínimo (Sh) a partir de la observación y análisis de ovalizaciones (*breakouts*).



**FIGURA 1.24.**  
Determinación del esfuerzo horizontal máximo (SH), a partir de la observación y análisis de fracturas inducidas.



## Interpretación estratigráfica y sedimentológica

Los perfiles de imágenes microrresistivas son excelentes herramientas para apoyar el análisis estratigráfico, litológico, textural y granulométrico de la secuencia de roca perforada y registrada. La identificación de planos de estratificación, laminación y estructuras internas transforma al método de imágenes microrresistivas en un excelente complemento para avanzar en la construcción de modelos paleoambientales.

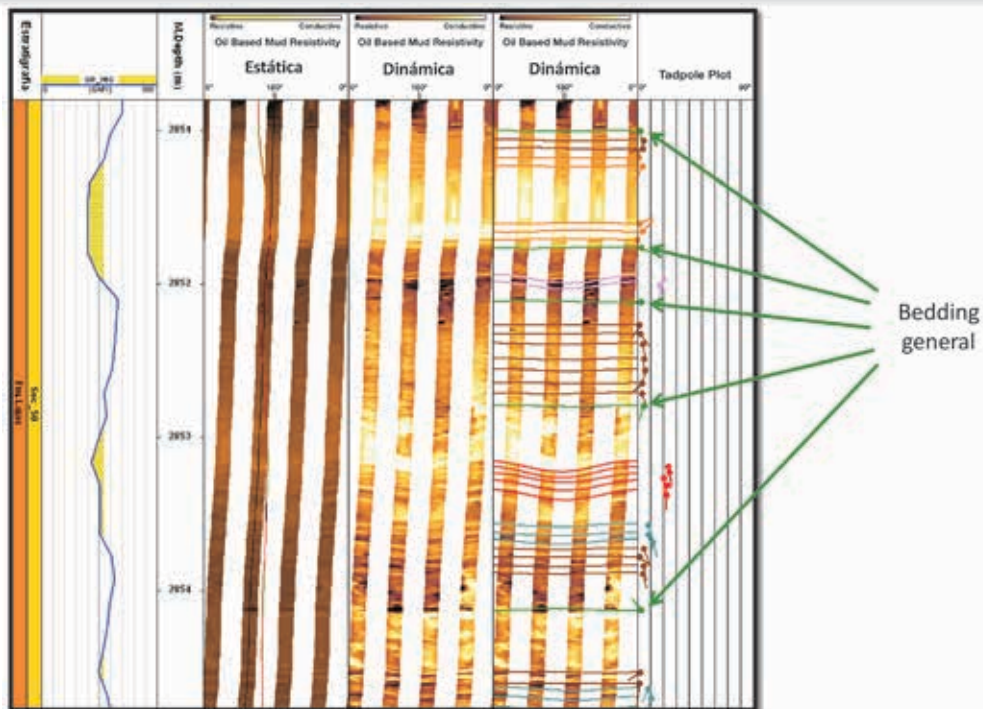
El análisis de imágenes microrresistivas permite reconocer dos tipos de planos denominados estratigráficos y sedimentológicos. Independientemente del hecho de que el picado de estos planos puede hacerse en forma manual y/o automática, existe una normalización de los mismos en función de su naturaleza y jerarquía (Fig. 1.25).

Se denominan planos estratigráficos a los que permiten identificar límites de capa, sin considerar los planos que definen estructuras sedimentarias internas. La identificación de los mismos es muy importante ya que permiten caracterizar la estructura general que atraviesa el pozo, además de ser utilizados para restablecer la inclinación de las capas al momento de su depositación (remoción estructural), para lo cual se utilizan los niveles de pelitas, los cuales se asume fueron acumulados en un plano horizontal. Una vez realizada la remoción estructural se pueden obtener los vectores de paleocorrientes verdaderas (Fig. 1.26).

**FIGURA 1.25.**  
Símbolos utilizados para identificar los planos estratigráficos y sedimentológicos.

| SÍMBOLO | NOMBRE                                      | DESCRIPCIÓN   |
|---------|---|---|
|         | Bedding general                             | Planos que marcan límites de capa evidenciados por diferencias significativas en la resistividad de la imagen.  |
|         | Bedding en pelitas                          | Planos sub-paraletos que marcan cambios litológicos en intervalos de alto GR y baja resistividad (depósitos finos).   |
|         | Bedding en arenas                           | Planos sub-paraletos que marcan cambios litológicos en intervalos de bajo GR y alta resistividad (depósitos arenosos).  |
|         | Bedding irregular                           | Planos que marcan superficies irregulares a crenuladas, poco definidas, observables en zonas de alternancia litológica, frecuentemente en intervalos de resistividad intermedia.          |
|         | Estratificación entrecruzada                | Planos inclinados con respecto a los límites de capa, característicos de zonas de alta resistividad (depósitos arenosos). Presentan una orientación sub-paralela y un ángulo mayor a 15°. |
|         | Estratificación entrecruzada de bajo ángulo | Planos inclinados con respecto a los límites de capa, característicos de zonas de alta resistividad (depósitos arenosos). Presentan una orientación sub-paralela y un ángulo menor a 15°. |
|         | Estratificación heterolítica inclinada      | Planos inclinados característicos en zonas de resistividad intermedia a baja (depósitos heterolíticos a finos), que presentan una orientación sub-paralela y un ángulo mayor de 10°.      |
|         | Capas cementadas                            | Planos deformados asociados a intervalos de muy alta resistividad, que denotan la presencia de capas cementadas.  |
|         | Hardground                                  | Sector en la imagen resistiva con muy alta resistividad, con alto contraste respecto de las capas que lo rodean, cuyo límite superior presenta una superficie crenulada irregular.        |
|         | Superficie de reactivación                  | Superficie que marca la interrupción y/o erosión de una forma de lecho, la cual posteriormente es cubierta por otra forma de lecho con otra orientación.                                  |
|         | Superficie erosiva                          | Superficie inclinada y/o irregular que marca una truncación o cambio significativo de la litología, y por ende, de la energía del ambiente deposicional.                                  |
|         | Capas deformadas                            | Planos de alta inclinación tanto en zonas de alta como de baja resistividad.  |
|         | Bioturbados                                 | Planos de alta resistividad e inclinación en zonas de baja resistividad y baja inclinación.   |
|         | Stumps                                      | Planos de alta inclinación en capas coherentes, con evidencias de deformación.  |
|         | Capas brechadas                             | Formas esferoidales de muy alta resistividad y alta amplitud acústica.  |

**FIGURA 1.26.**  
Ejemplo del picado de planos de origen estratigráfico correspondiente al *bedding* general.



Los planos sedimentológicos son los que marcan las estructuras sedimentarias intraestratales, como es el caso de la estratificación entrecruzada tabular planar, la estratificación heterolítica inclinada, las estructuras de deslizamiento gravitacional (*slumps*), así como las capas cementadas y con concreciones, entre otras (Figs. 1.27 y 1.28).

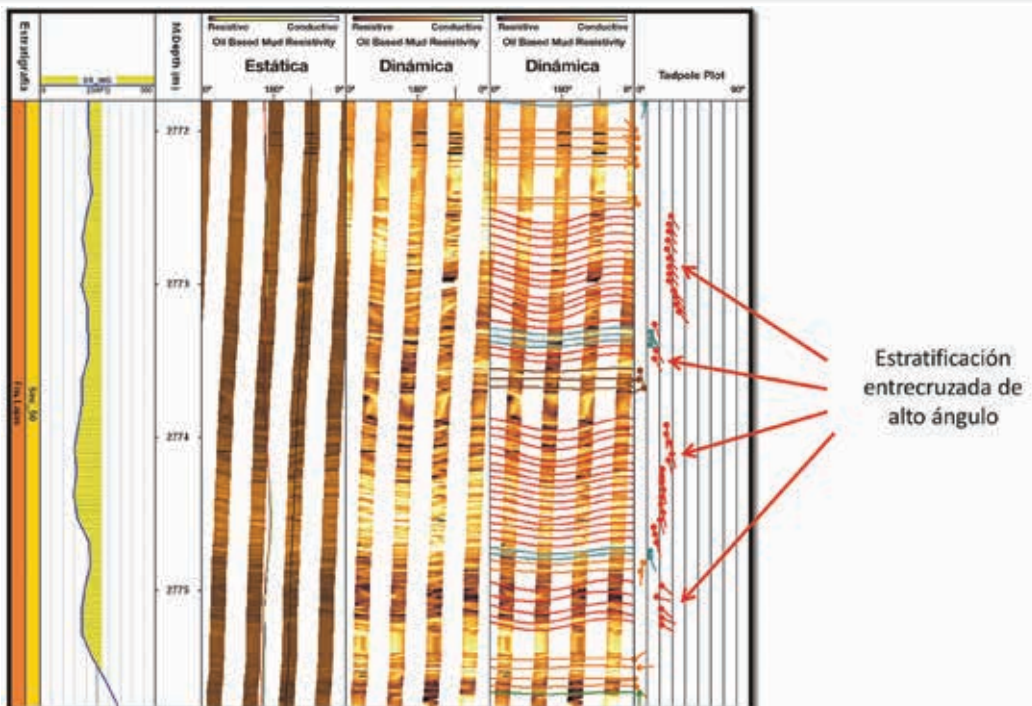
La interpretación de los planos estructurales, estratigráficos y sedimentológicos se hace a partir del rumbo e inclinación de los mismos. En la Figura 1.16 de este capítulo se explicó cómo es la amplitud de la sinusoide en función de la relación entre el ángulo del pozo y el ángulo del plano. Así, en casos de pozos verticales, sinusoides con elevada amplitud indican planos cercanos a la vertical, mientras que planos con escasa o nula amplitud corresponden a planos horizontales.

El ángulo del plano queda representado por un círculo graficado en una escala logarítmica de 0° a 90°, mientras que la dirección de la inclinación es representada por una línea que sale del centro de ese círculo con una dirección determinada, que se lee de 0° a 360° (Figs. 1.27, 1.28, 1.29). De esta forma, las estructuras sedimentarias tienen patrones de ángulos muchas veces característicos. Por ejemplo, una duna eólica presenta

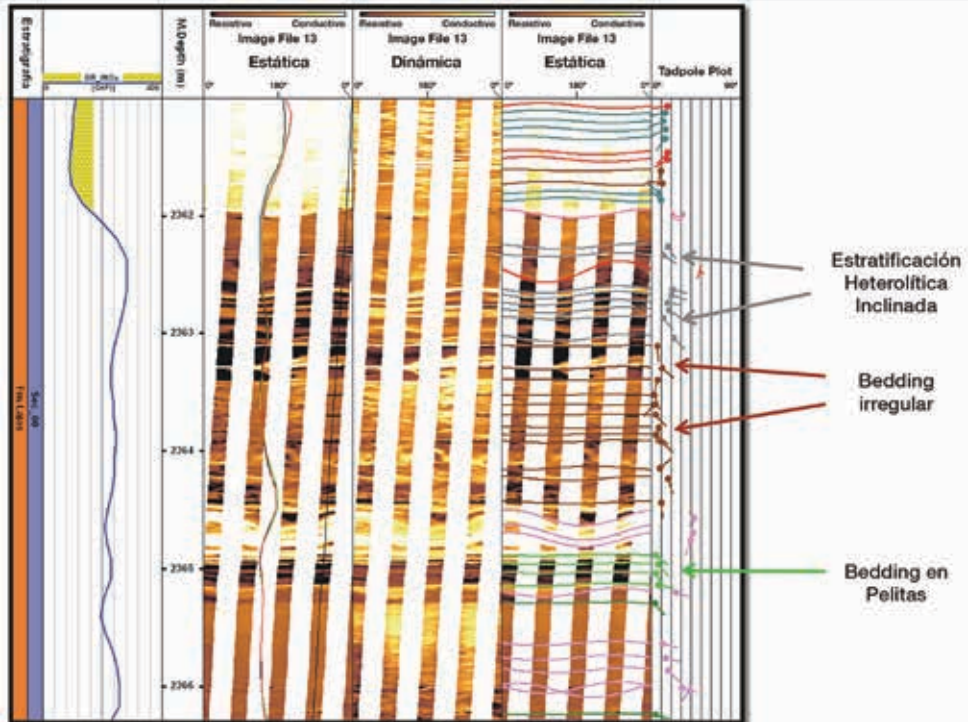
una disposición de base a techo caracterizada por un plano casi horizontal correspondiente a la superficie de reactivación, seguido de una serie de planos de bajo ángulo correspondientes a una estratificación entrecruzada tangencial (pie de duna), para terminar con una sucesión de planos con mayor ángulo correspondientes a estratificación entrecruzada tangencial de alto ángulo o tabular planar (cara de avalancha de la duna próxima a la cresta) (Fig. 1.29). Una estructura producida por deformación (*e.g. slumps*, laminación convoluta) muestra patrones caóticos en la disposición de los ángulos, debido a la deformación interna que este tipo de estructura desarrolla.

**FIGURA 1.27.**

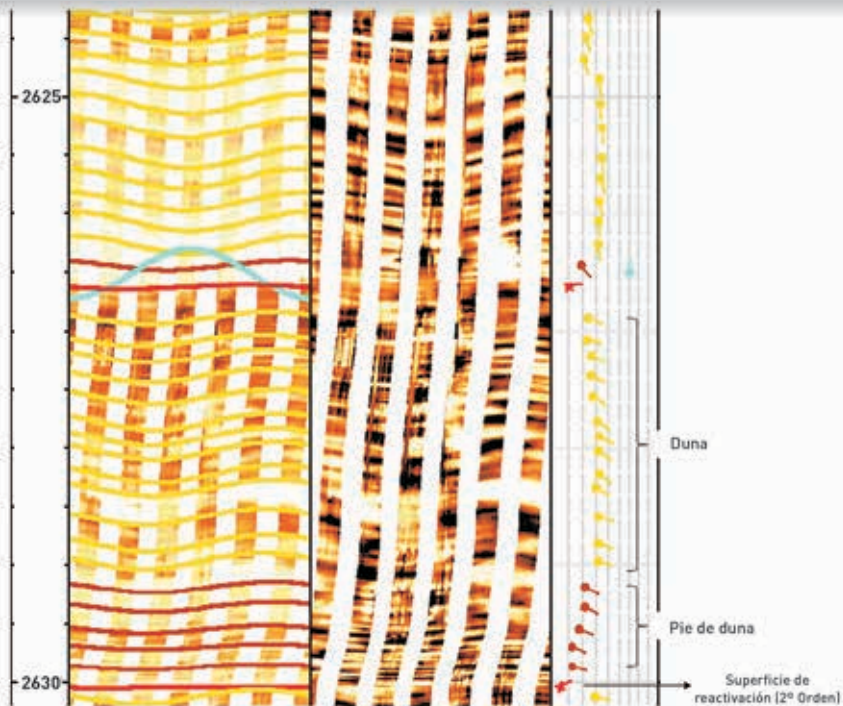
Ejemplo del picado de planos de origen sedimentológico.



**FIGURA 1.28.**  
Ejemplo del picado de planos de orígenes sedimentológicos.



**FIGURA 1.29.**  
Ejemplo del picado de planos de orígenes sedimentológicos en sistemas de dunas eólicas de la Formación Tordillo. Tomado y modificado de Montagna (2012).

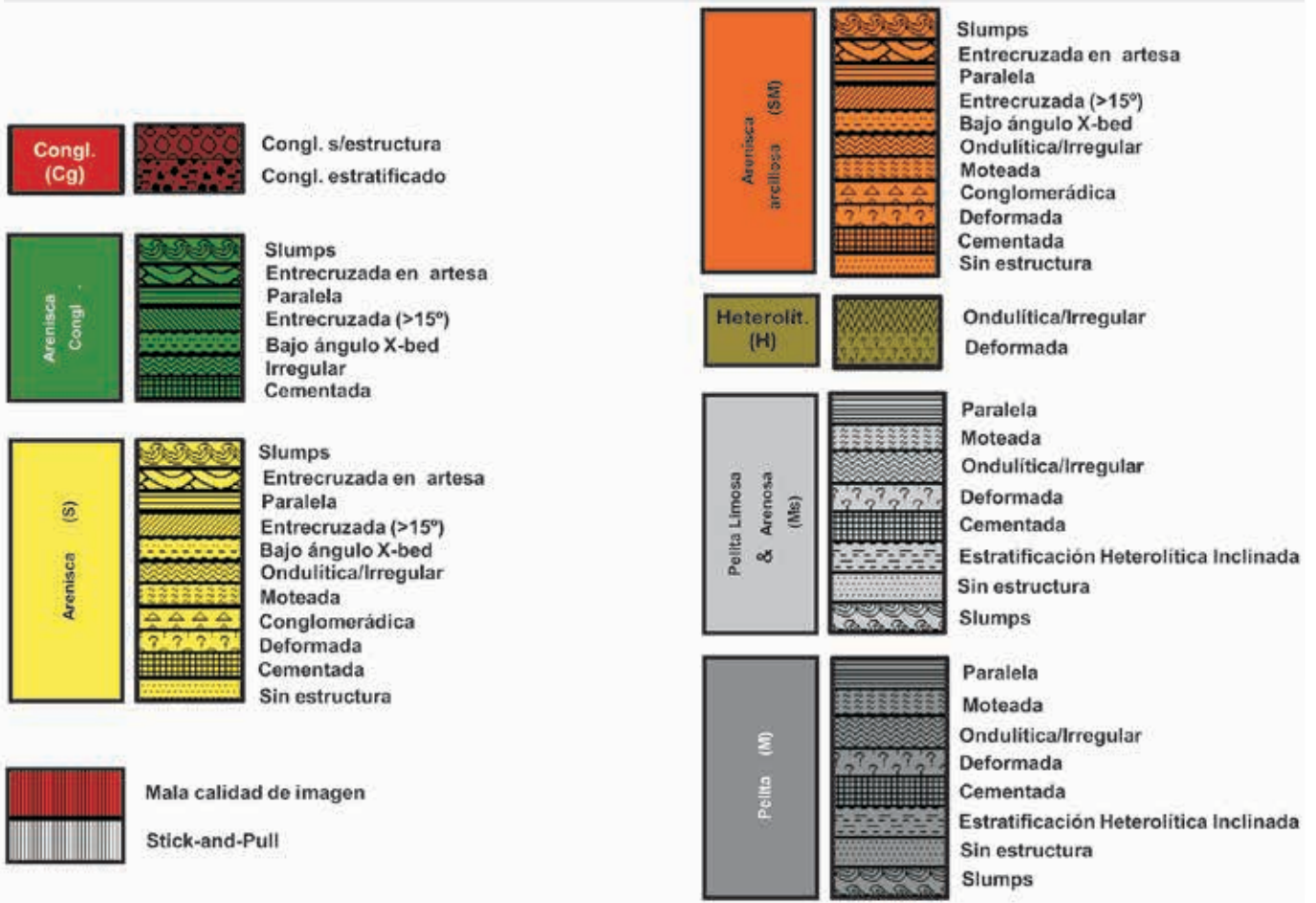




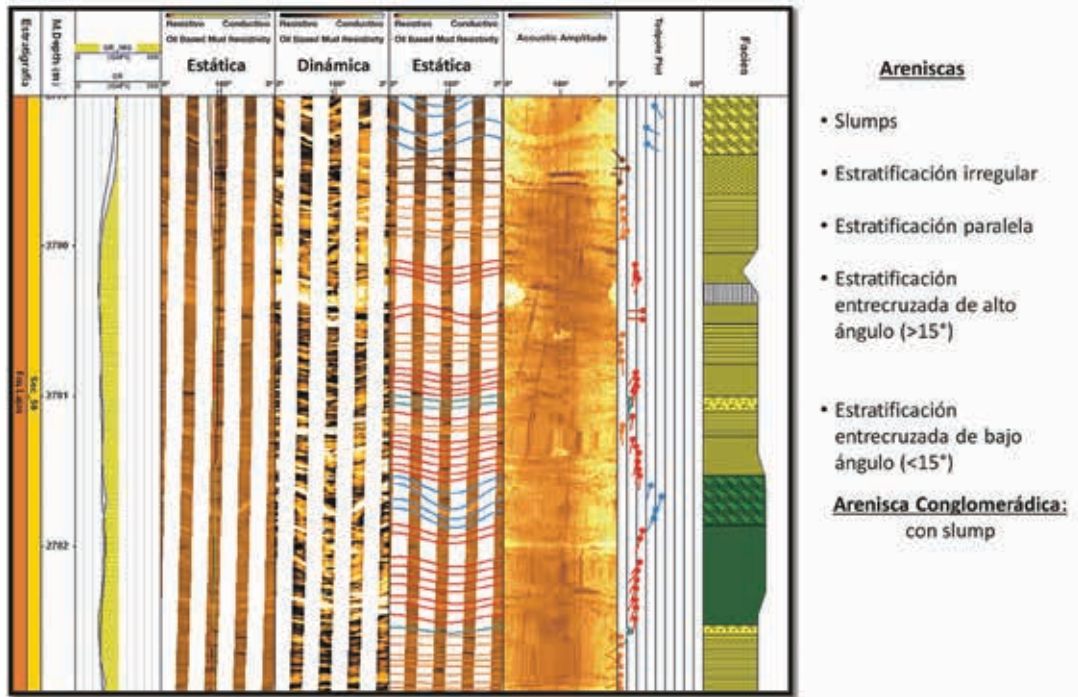
Otro aspecto sumamente interesante es que el estudio de los planos estratigráficos y sedimentológicos permite elaborar facies de imagen, las cuales están definidas sobre la base de: 1- cambios de respuesta resistiva y/o acústica de la litología (textura y contraste de la imagen), y 2- las estructuras sedimentarias y límites de capa reconocidos. Con las facies de imagen se construye un perfil tipo Selley a partir de una determinada simbología (Figs. 1.30, 1.31).

**FIGURA 1.30.**

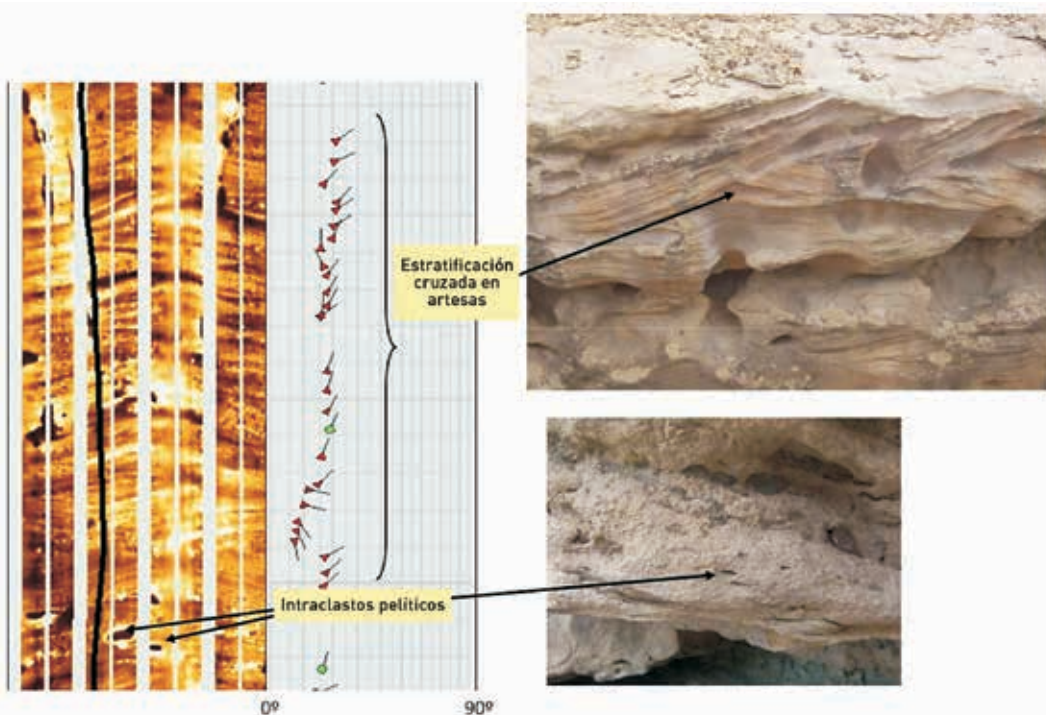
Simbología utilizada para la interpretación de facies de imágenes en secuencias silicoclásticas.



**FIGURA 1.31.**  
Ejemplo de facies de imagen.



**FIGURA 1.32.**  
Identificación y caracterización de una secuencia correspondiente a un depósito de canal.



Las facies de imagen se pueden ajustar con datos de roca (afloramientos análogos, *cutting*, testigos rotados y testigos corona), aumentando de manera considerable la potencialidad de esta fuente de información (Fig. 1.32).

## CAPÍTULO 2

# ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS

*En este capítulo se presenta una clasificación de las estructuras sedimentarias inorgánicas (mecánicas y químicas) más frecuentemente reconocidas en afloramiento. Las estructuras son documentadas con imágenes de afloramiento, y, en los casos posibles, con imágenes de testigos corona e imágenes de pozo. Adicionalmente se explican el o los procesos mecánicos y químicos responsables del origen de cada una de las estructuras, y si indican polaridad, dirección y sentido de una corriente, condiciones de flujo (laminar o turbulento) y los ambientes en los cuales presentan mayor ocurrencia.*

# DEFINICIÓN DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

Las estructuras sedimentarias representan la disposición geométrica que adquieren los sedimentos durante los procesos de sedimentación, o en una etapa posterior muy próxima a su depositación (Cheel, 2005). Es por esto que las estructuras sedimentarias brindan valiosa información sobre los procesos mecánicos, químicos y biológicos que actuaron durante su acumulación, y durante el tiempo que estos sedimentos se encontraban en la superficie o cerca

de ella (Pettijohn, 1957). Por lo tanto, el análisis de las estructuras sedimentarias es de vital importancia ya que permite inferir cuáles fueron los mecanismos de transporte, las condiciones del flujo (turbulento o laminar, alta o baja energía, unidireccional o bidireccional), la dirección de migración de los sedimentos, las condiciones del sustrato, las condiciones paleoambientales, la polaridad de los estratos y la geometría (Fig. 2.1).

**FIGURA 2.1.**  
Información que se puede obtener e inferir a partir del estudio de estructuras sedimentarias.



De lo anteriormente expuesto se desprende que cualquier modificación del sustrato constituye una estructura sedimentaria, no importa cuál sea el agente que la produce. Por lo tanto, para la clasificación de las estructuras sedimentarias se deben tener en cuenta todos los criterios indicados en la Tabla 2.1.

**TABLA 2.1.**  
Criterios utilizados para clasificar las estructuras sedimentarias.

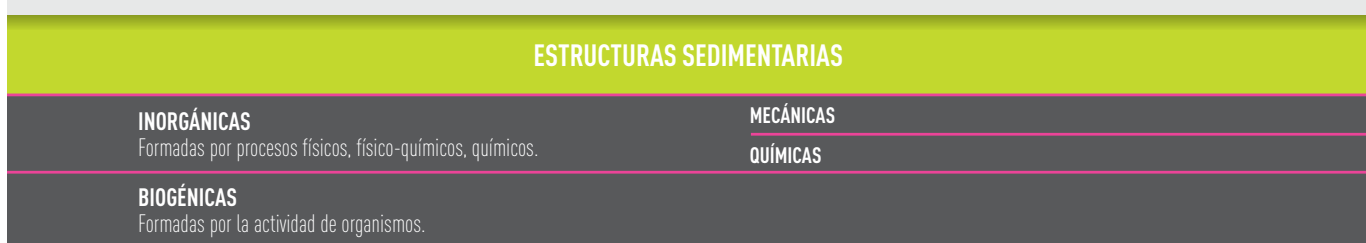
|                                  | PRIMARIAS   |   |
|----------------------------------|---|---|
| SEGÚN EL MOMENTO DE FORMACIÓN    | Formadas al momento de la sedimentación o transcurrido muy poco tiempo después de su depositación, y antes de la consolidación de los sedimentos. Aquí se incluyen aquellas estructuras producidas por la actividad de organismos ocurridas después de la sedimentación, pero antes de la consolidación del sustrato. | -óndulas de corriente<br>-laminación paralela<br>-estratificación entrecruzada tangencial<br>-estratificación entrecruzada tipo <i>hummocky</i> |
|                                  | SECUNDARIAS<br>Generadas con posterioridad a la sedimentación. Las estructuras deformacionales son estructuras postdeposicionales que pueden ocurrir inmediatamente después de la depositación, o estar asociadas al soterramiento y litificación del sedimento (diagenéticas).                                       | -deformación convoluta<br>- <i>slump</i><br>-grietas de desecación<br>-grietas de sinéresis   |
| SEGÚN LA UBICACIÓN EN EL ESTRATO | ESTRATALES<br>Formadas y preservadas al techo de la capa.   | -óndulas de corriente   |
|                                  | ENDOESTRATALES<br>Presentes dentro de la capa.  | -laminación paralela<br>-estratificación entrecruzada tangencial<br>-estratificación entrecruzada en artesa                                     |
|                                  | SUBESTRATALES<br>Generadas y preservadas en la base de los estratos.  | - <i>flute cast</i><br>-marcas de surcos<br>-hoyos de surcos  |

**TABLA 2.1.**  
(continuación)

| SEGÚN SU ORIGEN                    |  | DEPOSITACIONALES    | -laminación paralela<br>-óndulas escalantes  |
|------------------------------------|--|---------------------|--|
| SEGÚN SU ORIGEN                    | <b>CORRIENTE</b>   | EROSIVAS            | -canales<br>- <i>flute cast</i>  |
|                                    | <b>DEFORMACIONALES</b>   |                     | -diques y filones clásticos<br>-calcos de carga  |
|                                    | <b>QUÍMICAS</b>  |                     | -estilolitas<br>-nódulos   |
|                                    | <b>BIOGÉNICAS</b>  |                     | -estromatolitos<br>-perforaciones<br>-excavaciones   |
| SEGÚN LA POLARIDAD DE LOS ESTRATOS | <b>INDICAN POLARIDAD</b><br>Indican techo y base de las capas.   |                     | -óndulas de corriente<br>- <i>flute cast</i><br>-grietas de desecación<br>-pseudomorfos de sal |
|                                    | <b>NO INDICAN POLARIDAD</b><br>No indican techo y base de las capas.   |                     | -laminación paralela<br>-concreciones<br>-diques clásticos<br>-arenas masivas                  |
| SEGÚN LAS PALEOCORRIENTES          | <b>NO DIRECCIONALES</b><br>Estructuras cuya génesis no depende ni se ve influenciada por la dirección y sentido del agente de transporte. La mayor parte de las estructuras secundarias y diagenéticas entran en esta categoría. |                     | -arenas masivas<br>-grietas de desecación<br>-nódulos  |
|                                    | <b>DIRECCIONALES</b><br>Indican dirección y sentido o solamente la dirección del agente de transporte.   | DIRECCIÓN Y SENTIDO | -óndulas de corriente<br>-estratificación entrecruzada tangencial y tabular planar             |
|                                    |  | DIRECCIÓN           | -lineación <i>parting</i><br>-crestas y surcos   |

Teniendo en cuenta todos los criterios mencionados en la Tabla 2.1, las estructuras sedimentarias se clasifican en inorgánicas (mecánicas y químicas), y biogénicas (Fig. 2.2).

**FIGURA 2.2.**  
Clasificación de estructuras sedimentarias.



Asimismo, las estructuras sedimentarias mecánicas (depositacionales) se pueden clasificar en planares y lineales. Las planares se refieren a los rasgos geométricos desarrollados en los planos, tanto por la geometría externa como interna del estrato. Las estructuras lineales se refieren a los rasgos geométricos de la estructura desarrollados en forma lineal, que pueden ser

estratales, que se forman en el sustrato y que quedan representados en el techo de los estratos, o subestratales, calco de las anteriores y quedan representados en la base de los estratos. Los cuadros que presentan la clasificación de las estructuras sedimentarias fueron tomados y modificados de Pettijohn y Potter (1964), Pettijohn (1975) y Spalletti *et al.* (2007).

# ESTRUCTURAS MECÁNICAS DEPOSITACIONALES

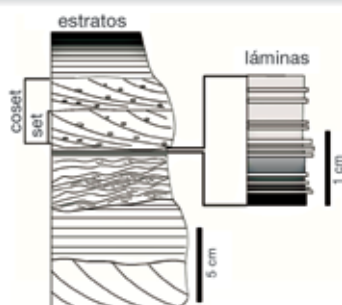
## ESTRATIFICACIÓN Y LAMINACIÓN

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |          |   |
|--|----------|---|
| PLANARES   | EXTERNAS | Estratificación y laminación<br>Estratificación mixta } <i>flaser</i><br>} <i>ondulosa</i><br>} <i>lenticular</i> |
|  | INTERNAS | Masivas<br>Gradadas<br>Imbricación<br>Laminación entrecruzada<br>Estratificación entrecruzada                     |

Las rocas sedimentarias se presentan como sucesiones estratificadas. Los estratos (*beds*) son capas que pueden presentar diferente geometría, integrados por rocas sedimentarias que tienen características (composición, empaquetamiento tamaño, forma y orientación) que permiten distinguirlos de los estratos que los infrayacen y suprayacen. Los estratos poseen espesores muy variables que se encuentran separados por planos de estratificación. Si bien el término estrato es una designación genérica, es más adecuado hablar de estrato cuando la capa tiene un espesor mayor a 1 cm (Figs. 2.3 y 2.4 A, C, E), y de lámina cuando el espesor es menor que 1 cm (McKee y Weir, 1953; Campbell, 1967) (Figs. 2.3 y 2.4 B, D).

**FIGURA 2.3.**

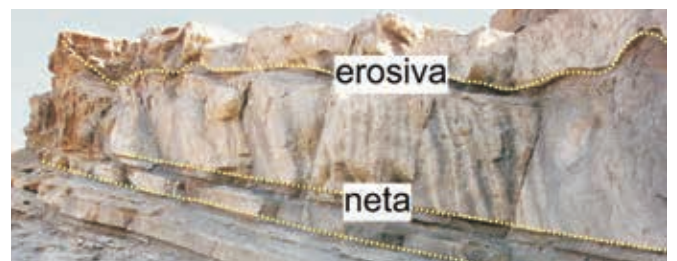
Esquema mostrando la diferencia que existe entre estratos y láminas.



Los estratos individuales que se encuentran separados por planos de estratificación se denominan *sets*, mientras que al grupo de estratos con similares características (e.g. sucesiones de estratos con estratificación entrecruzada tangencial) se lo denomina *coset* (Figs. 2.3 y 2.4 A, C). Un estrato puede caracterizarse por: 1. Composición y textura. 2. Espesor o potencia (distancia perpendicular entre el techo y la base). 3. Por su geometría:



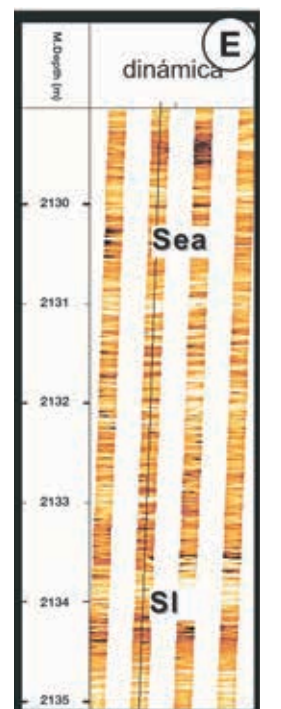
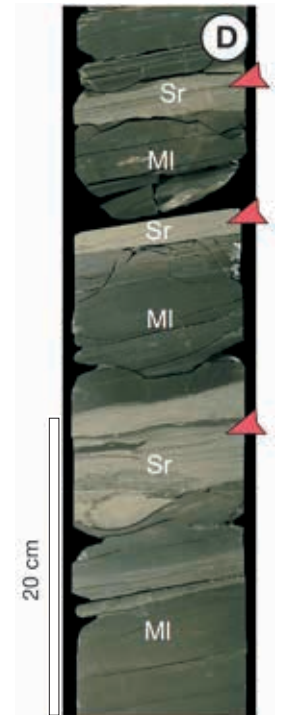
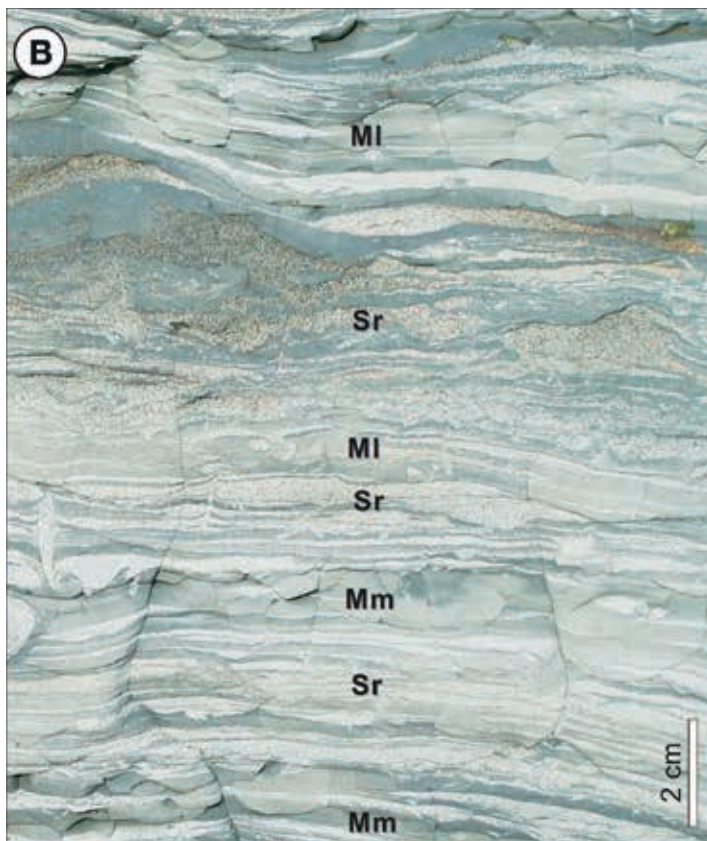
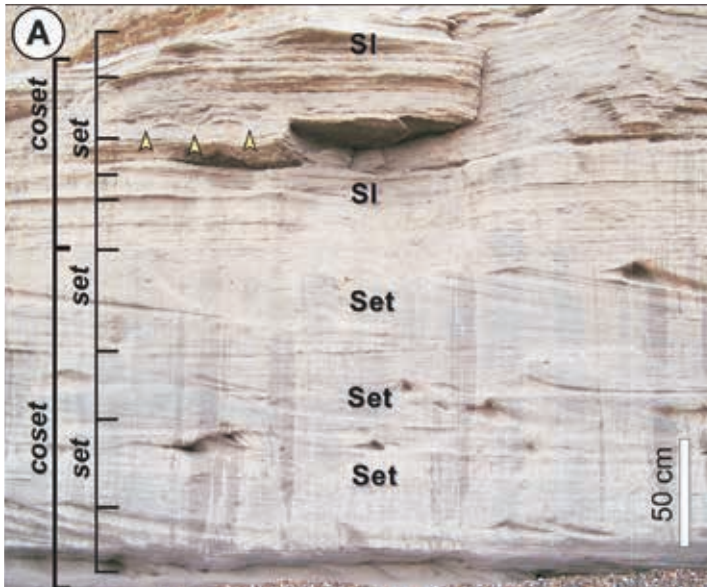
4. Tipo de base que muestra:



5. Por presentarse masivos. 6. Por sus estructuras sedimentarias.

**FIGURA 2.4.**

**A.** Depósitos eólicos de la *Formación Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca del Colorado, donde se indican los *sets* y *cosets* que integran los depósitos de dunas. Las estructuras sedimentarias corresponden a areniscas con laminación paralela (Sl) y estratificación entrecruzada tangencial (Set). Nótese la presencia de icnitas de vertebrados (flechas amarillas), las cuales son muy comunes en esta unidad. **B.** Laminación heterolítica, *Formación Chenque* (Mioceno Inferior), Cuenca Golfo San Jorge. Este arreglo está integrado por una alternancia centimétrica entre areniscas finas con ondulas de corriente (Sr) y fangolitas masivas (Mm) y laminadas (MI). **C.** Testigo corona indicando los *sets* y *cosets* desarrollados en depósitos de barras arenosas, *Formación Mulichinco* (Cretácico Inferior), Cuenca Neuquina. Las barras se encuentran principalmente integradas por areniscas finas con estratificación entrecruzada tangencial (Stg), que muestran niveles bioclásticos a la base. **D.** Testigo corona mostrando niveles de fangolitas laminadas (MI) y masivas (Mm) de la *Formación Centenario* (Cretácico Inferior), Cuenca Neuquina. Nótese la presencia de niveles de areniscas con estratificación ondulítica (Sr) producida por eventos de tormenta (flechas rojas). **E.** Imagen de pozo mostrando estratificación entrecruzada en artesa (Sea) y laminación paralela (Sl), *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina.



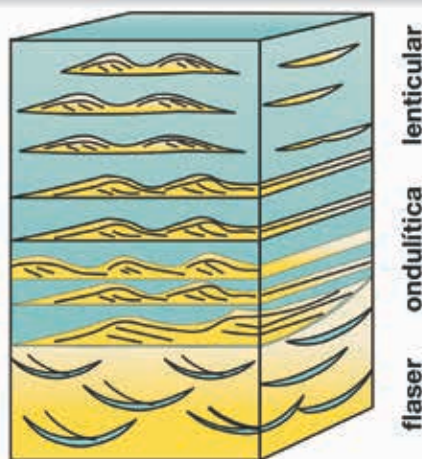


## ESTRATIFICACIÓN MIXTA

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |          |   |
|---|----------|---|
| PLANARES  | EXTERNAS | Estratificación y laminación<br>Estratificación mixta <i>flaser</i><br>ondulosa<br>lenticular |
|   | INTERNAS | Masivas<br>Gradadas<br>Imbricación<br>Laminación entrecruzada<br>Estratificación entrecruzada |

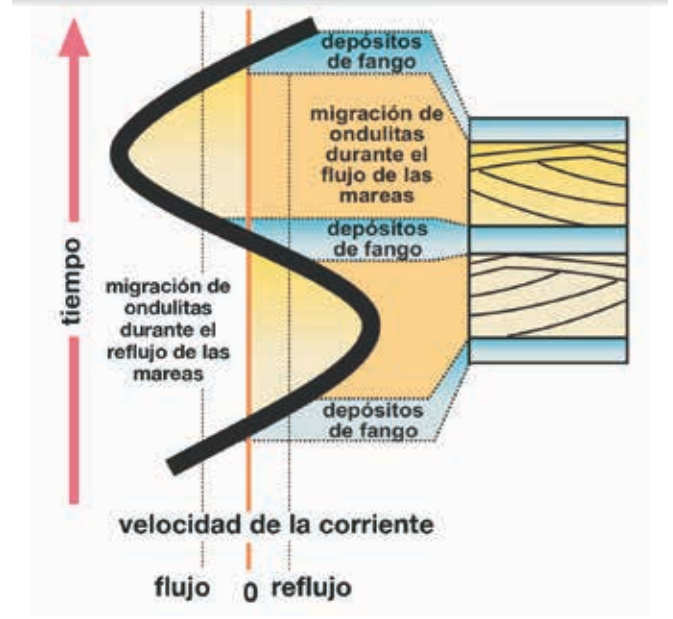
Reineck y Wunderlich (1968) definieron la estratificación mixta como una alternancia centimétrica y regular entre areniscas finas (con desarrollo de diferentes estructuras sedimentarias) y fangolitas (laminadas o masivas). Su origen se relaciona a corrientes que experimentan variaciones en su poder energético y aporte de sedimentos. De este modo, durante condiciones de energía moderada se produce la movilización de arenas como carga de lecho con desarrollo de estructuras sedimentarias tractivas, mientras que durante condiciones de baja o nula energía, se produce la acumulación de las fangolitas (Figs. 2.5, 2.6, 2.7).

**FIGURA 2.5.** Esquema mostrando la estratificación mixta, integrada por laminación *flaser*, ondulítica y lenticular.



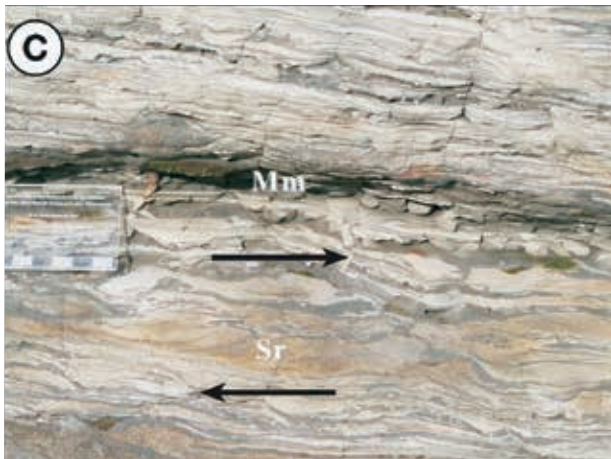
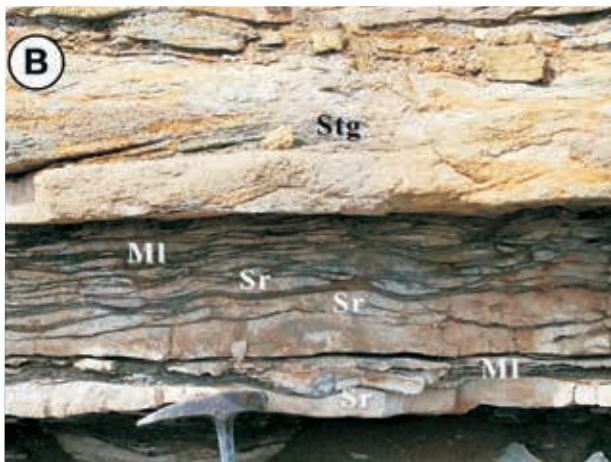
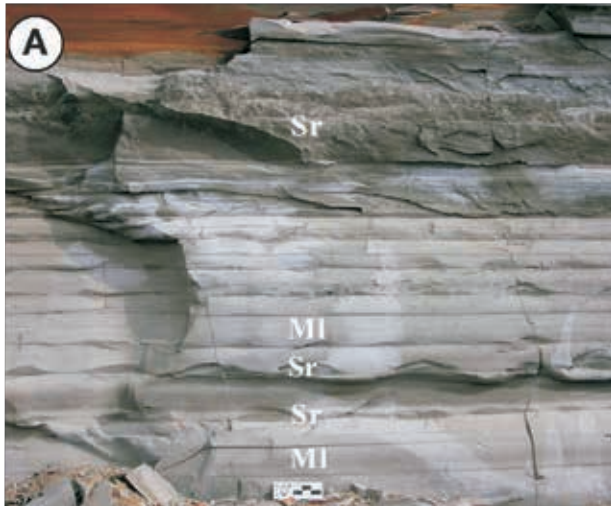
En el caso de la estratificación mixta producida por procesos de difusión mareal, la movilización de las arenas con generación de óndulas se produce durante las condiciones de mayor energía de las mareas (flujo y reflujo), mientras que durante las condiciones de baja energía (producidas durante el máximo y mínimo de las mareas), los depósitos arenosos son tapizados por delgadas cortinas de fango acumuladas por procesos de decantación y/o floculación (Figs. 2.6, 2.7). Estas condiciones de sedimentación generan una estratificación mixta (heterolítica) integrada por la alternancia de fangos y areniscas con laminación ondulítica, lenticular y *flaser*. El desarrollo de estructuras sedimentarias tractivas migrando en direcciones opuestas (bidireccionalidad) es un proceso diagnóstico de la actividad de las mareas (Fig. 2.6), siendo frecuentes en sistemas depositacionales que experimentan mareas simétricas. Sin embargo, las mareas más frecuentes son las de tipo asimétricas, es decir aquellas en las que domina el flujo sobre el reflujo o viceversa. En estos casos, la bidireccionalidad no es frecuentemente observada, ya que es canibalizada por la corriente dominante.

**FIGURA 2.6.** Diagrama mostrando la naturaleza y desarrollo de las capas mareales. Tomado y modificado de Dalrymple (1992).



**FIGURA 2.7.**

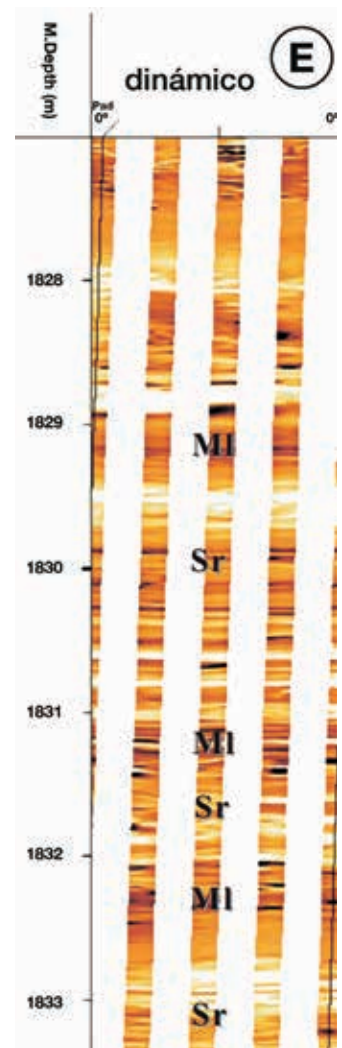
**A.** Depósitos heterolíticos integrados por fangolitas laminadas (MI) y areniscas con laminación ondulítica y lenticular (Sr), correspondientes a depósitos de albardón producidos por flujos hiperpícnicos en ambientes marinos profundos, *Capas del Cabo Viamonte* (Mioceno Inferior), Cuenca Austral. **B.** Alternancia centimétrica entre areniscas con laminación ondulítica y lenticular (Sr) y fango laminado (MI), correspondientes a depósitos de prodelta fluvio-dominado, *Formación Río Turbio* (Eoceno), Cuenca Austral. **C.** Depósitos de heterolitas que muestran una alternancia centimétrica entre fangolitas masivas (Mm) y areniscas con óndulas de corriente deformadas (Sr), interpretadas como depósitos de prodelta en un delta dominado por marea, *Formación Chenque* (Mioceno Inferior), Cuenca Golfo San Jorge. Nótese la bidireccionalidad de las óndulas de corriente (flechas negras) producidas por procesos de difusión mareal. **D.** Testigo corona mostrando una alternancia centimétrica entre niveles de fangolitas laminadas (MI) y masivas (Mm), y areniscas con estratificación ondulítica y lenticular (Sr), correspondientes a depósitos de prodelta, *Formación Centenario* (Cretácico Inferior), Cuenca Neuquina. **E.** Imagen de pozo mostrando estratificación mixta integrada por laminación ondulítica (Sr) y fangolitas laminadas (MI) correspondientes a depósitos de prodelta de la *Formación Lajas*, Cuenca Neuquina.



| CLASIFICACIÓN           |                                     |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Momento de formación    | Primaria                            |
| Ubicación en el estrato | Endostratales                       |
| Origen                  | Corriente (depositacionales)        |
| Polaridad               | Indican                             |
| Paleocorriente          | Direccionales (dirección y sentido) |

| OCURENCIA   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- llanuras de inundación de sistemas fluviales.</li> <li>- prodelta y bahías interdistributarias en deltas continentales y marinos.</li> <li>- planicies y cuenca central de estuarios.</li> <li>- depósitos de <i>offshore</i>.</li> <li>- lóbulos y albardones de corrientes de densidad extra e intracuencales.</li> <li>- corrientes de contorno.</li> </ul> |  |



## ESTRUCTURAS MASIVAS

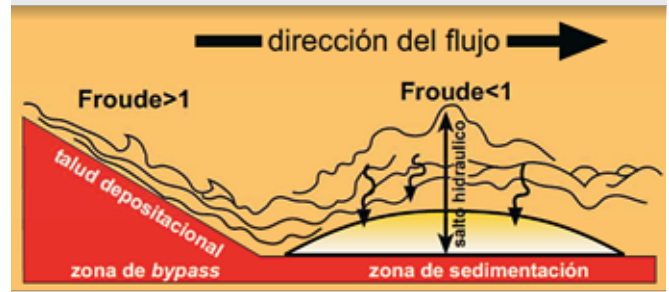
| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |            |                              |          |
|---|------------|------------------------------|----------|
| PLANARES  | EXTERNAS   | Estratificación y laminación |          |
|   |            | Estratificación mixta        | flaser   |
|   |            |                              | ondulosa |
|   | lenticular |                              |          |
|   | INTERNAS   | Masivas                      |          |
|   |            | Gradadas                     |          |
| Imbricación   |            |                              |          |
| Laminación entrecruzada   |            |                              |          |
| Estratificación entrecruzada  |            |                              |          |

Muchos depósitos no muestran estratificación interna; por el contrario se presentan como capas masivas. Estas capas masivas son muy frecuentes en fracciones granulométricas de tamaño arena vinculadas a depósitos generados por corrientes de densidad (turbiditas), llegando a desarrollar capas individuales con espesores superiores a los 8 metros. Las capas masivas pueden generarse por procesos biológicos, como la homogeneización de los sedimentos por la actividad de los organismos en el sustrato (Fig. 2.10 A, E, F), o por procesos mecánicos (Figs. 2.8, 2.9 y 2.10 B, C, D, E). En este último caso, y dependiendo de las características del flujo, concentración de sedimentos, temperatura, salinidad y morfología de la cuenca, la acumulación de capas masivas puede ser explicada por tres mecanismos de sedimentación diferentes: 1- floculación, 2- saltos hidráulicos, y 3- zona de límite inferior de flujo agradacional (Figs. 2.8, 2.9 y 2.10).

1- La floculación ocurre en sistemas que tienen una alta concentración de sedimentos finos en suspensión (e.g. pluma hipopícnica). Ante la presencia de agua salada, las partículas de arcilla producen agregados (flóculos) debido a las fuerzas de atracción de Van der Waals que actúan principalmente en las partículas de arcilla. Los flóculos pueden alcanzar varios centímetros de diámetro (Pryor, 1975), y su resistencia se ve favorecida por la presencia de fitodetrito, que actúa como un pegamento (Kranck, 1973; Mikkelsen y Pejrup, 1998). Superado un tamaño crítico y por acción de la gravedad, los flóculos agrandan de manera continua sobre el lecho, dando lugar a niveles de fangolitas masivas (Fig. 2.10. D).

**FIGURA 2.8.**

Esquema mostrando la acumulación de arenas masivas producidas por un salto hidráulico al pie del talud depositacional. Tomado y modificado de Bursik y Woods (1996).

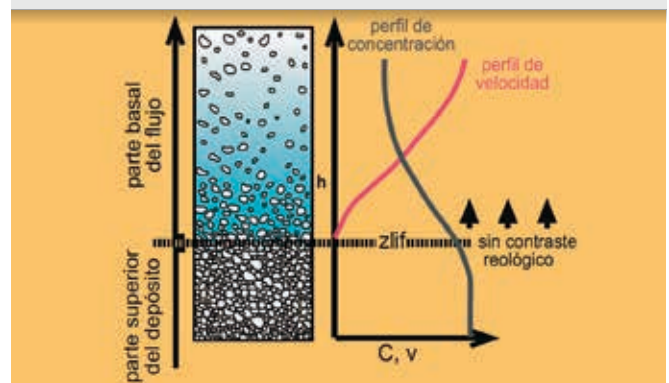


2- Los saltos hidráulicos se producen en zonas con cambios de pendiente, donde los flujos experimentan un pasaje de un estado supercrítico ( $Fr > 1$ ) a uno subcrítico ( $Fr < 1$ ). Durante un salto hidráulico se produce una expansión lateral y vertical del flujo y el colapso de parte de su carga en suspensión (Bursik y Woods, 1996), que produce una rápida acumulación de cuerpos de arenas masivas de diferente espesor (Figs. 2.8 y 2.10 C).

3- La zona de límite inferior de flujo (fbz) se define como la porción más baja de la corriente de densidad y la parte más alta del depósito en formación (Branney y Kokelaar, 1992, 2002). Las variaciones en la naturaleza de este límite dependen de la velocidad de la corriente, de la concentración de partículas y de la duración del evento de sedimentación. Cuando la concentración de partículas al tope del depósito en formación y en la porción basal de la corriente de densidad es la misma, no existe un contraste reológico entre el depósito en formación y el flujo, produciéndose agradación continua con desarrollo de niveles masivos que pueden alcanzar gran espesor (Figs. 2.9 y 2.10 B).

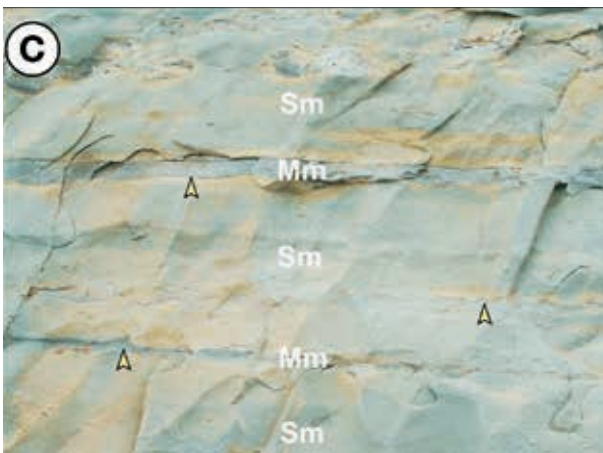
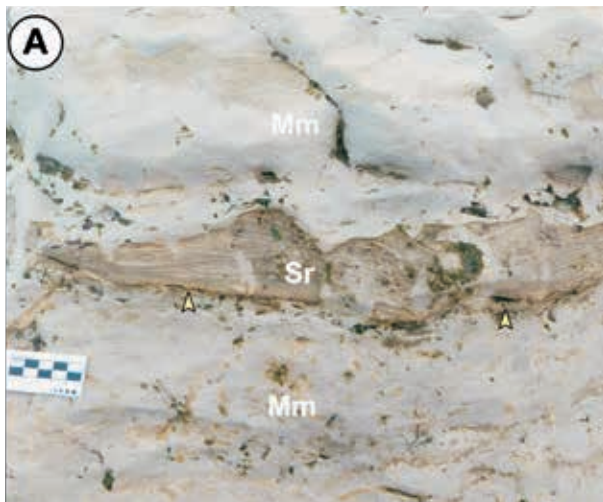
**FIGURA 2.9.**

Esquema mostrando la acumulación de arenas masivas por agradación continua de una corriente de densidad sostenida. Tomado y modificado de Branney y Kokelaar (2002).



**FIGURA 2.10.**

**A.** Depósitos de fangolitas masivas (Mm) por bioturbación que intercalan un evento de tormenta (flechas amarillas), interpretados como depósitos de *offshore* de la *Formación Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca del Colorado. **B.** Areniscas masivas (Sm) y con laminación paralela (Sl) correspondientes a lóbulos hiperpícnicos acumulados en ambientes someros, *Formación Lotena* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **C.** Areniscas finas masivas (Sm) que intercalan delgados niveles de fangolitas masivas (Mm) con estructuras de deformación por carga (flechas amarillas), correspondientes a depósitos de lóbulos hiperpícnicos acumulados en ambiente marino profundo, *Capas del Cabo Ladrillero* (Oligoceno), Cuenca Austral. **D.** Testigo corona mostrando una alternancia centimétrica entre niveles de fangolitas masivas (Mm) (flechas amarillas) y areniscas con estratificación ondulítica (Sr), correspondientes a depósitos de planicie mixta, Miembro Troncoso, *Formación Huitrín* (Cretácico Inferior), Cuenca Neuquina. Hacia el techo de la corona se observan tapetes microbiales (tm). **E-F.** Testigo corona mostrando niveles de areniscas masivas (Sm) acumuladas en un delta dominado por oleaje, *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. Nótese en **E** que las areniscas masivas ubicadas debajo de la línea amarilla punteada son producto de la intensa bioturbación, mientras que las reconocidas en la parte superior son producidas por procesos mecánicos. En **F** la bioturbación que afecta a las areniscas masivas corresponde a ejemplares de *Ophiomorpha* (Op). En **D** y **E** la barra es de 20 cm.



| CLASIFICACIÓN           |                              |
|-------------------------|------------------------------|
| Momento de formación    | Primaria                     |
| Ubicación en el estrato | Endostratales                |
| Origen                  | Corriente (depositacionales) |
| Polaridad               | No indican                   |
| Paleocorriente          | No direccionales             |

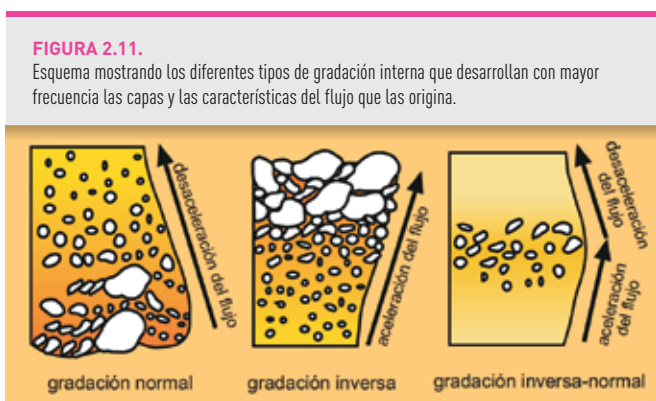
| OCURRENCIA  |  |
|---|--|
| - depósitos de albardón proximal y derrame en sistemas fluviales.               |  |
| - barras de desembocadura de frente deltaico en deltas continentales y marinos. |  |
| - depósitos de <i>shoreface</i> y <i>offshore</i> .                             |  |
| - depósitos de planicies deltaicas, estuarios y bahías.                         |  |
| - depósitos de tormenta.  |  |
| - lóbulos y canales de turbiditas extra e intracuencales.                       |  |
| - corrientes de contorno.   |  |



## GRADACIÓN

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |          |   |
|---|----------|---|
| PLANARES  | EXTERNAS | Estratificación y laminación  |
|   |          | Estratificación mixta   |
|   |          | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 5px;">}</div> <div> <i>flaser</i><br/>                     ondulosa<br/>                     lenticular                 </div> </div> |
|   | INTERNAS | Masivas   |
|   |          | Gradadas  |
|   |          | Imbricación   |
| Laminación entrecruzada<br>Estratificación entrecruzada             |          |   |

La velocidad de sedimentación de las partículas en un fluido depende del tamaño de la partícula, de su diferencia de densidad con el fluido y de la viscosidad del fluido, relación conocida como Ley de Stock. Es por esta situación que el tamaño de grano en una capa es usualmente variable (Bailey, 1930), y muchas capas muestran, desde la base al techo, patrones decrecientes en el tamaño de grano (*gradación normal*), un paulatino incremento del tamaño de grano (*gradación inversa*), o un estrato que muestra *gradación inversa-normal* (Fig. 2.11).



Cuando un flujo experimenta una disminución en su velocidad, pierde capacidad de transporte, acumulando primero las partículas más gruesas y finalmente las más finas. Bajo estas condiciones se producen depósitos que muestran *gradación normal* (Fig. 2.13 A y D).

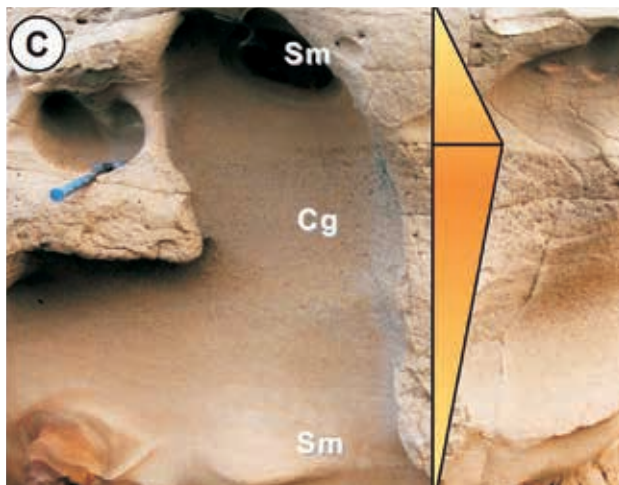
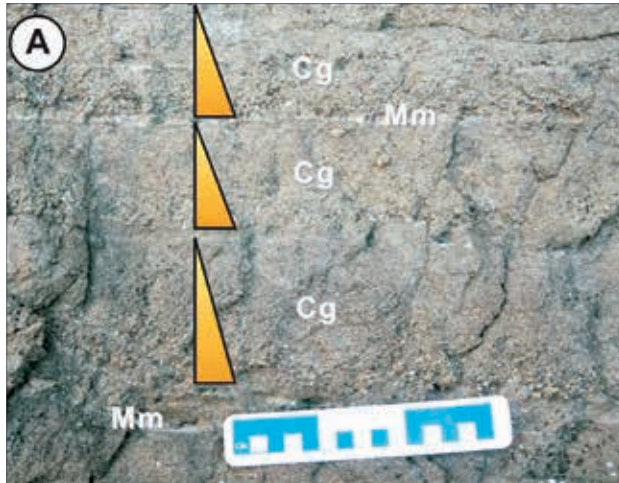
Este tipo de gradación es muy frecuente de observar en depósitos originados por corrientes de densidad que experimentan una desaceleración en su velocidad, como es el caso de las turbiditas con divisiones de Bouma (Allen, 1984; Hiscott, 1994), y los depósitos de tormenta. Cuando la velocidad del flujo se incrementa a través del tiempo, se producen depósitos con *gradación inversa*. Este tipo de arreglo es frecuente durante etapas de aceleración de corrientes de densidad, donde la concentración de partículas y la capacidad de transporte como carga de lecho de poblaciones granulométricas de mayor tamaño se incrementa (Branney y Kokelaar, 1992; 2002) (Fig. 2.13 B). Otro tipo de depósitos con *gradación inversa* ocurre por desestabilización de zonas con altos gradientes, donde se producen sucesivas oleadas de flujos de detritos (Fig. 2.12). Las fuerzas inerciales que operan en estos flujos transportan bloques de gran tamaño por deslizamiento gravitacional, rolo o saltación, los que son acumulados por impacto granular en zonas de cambio de pendiente (Nemec, 1990). La acumulación de sucesivas oleadas de flujos de detritos da lugar a depósitos con *gradación inversa*.



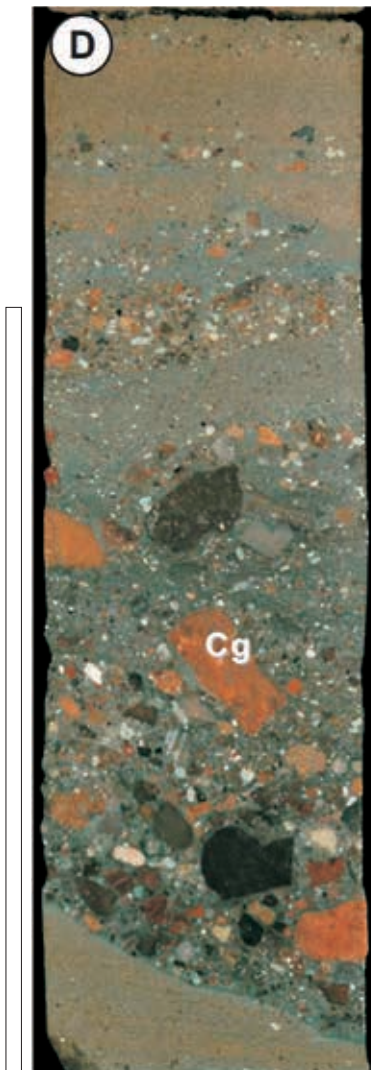
Una situación especial ocurre en depósitos generados por corrientes de densidad de larga duración, como son los flujos piroclásticos y las hiperpicnitas. Estos flujos producen depósitos con *gradación inversa-normal* (Fig. 2.13 C). Este tipo de arreglo interno se debe a la curva de evolución que desarrolla un flujo de densidad sostenido que, a diferencia de la generada por flujos episódicos, muestran importantes fluctuaciones internas de velocidad (Branney y Kokelaar, 2002; Zavala *et al.*, 2006; Ponce y Carmona, 2011).

**FIGURA 2.13.**

**A.** Capas de conglomerados finos (Cg) que muestran gradación normal, separados por delgados niveles de fangolitas masivas (Mm), correspondientes a depósitos de barras mareales de la *Formación Río Turbio* (Eoceno), Cuenca Austral. **B.** Capa de conglomerados finos (Cg) con gradación inversa correspondientes a lóbulos hiperpícnicos de ambiente marino profundo de las *Capas del Cabo San Pablo* (Mioceno Inferior), Cuenca Austral. **C.** Capas con gradación inversa-normal integrada por areniscas masivas (Sm) y conglomerados finos (Cg) que representan un ciclo completo de aceleración y desaceleración de una corriente hiperpícnica, *Capas del Cabo San Pablo* (Mioceno Inferior), Cuenca Austral. **D.** Testigo corona mostrando depósitos de conglomerados (Cg) con gradación normal de la *Formación Sierras Blancas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra representa 20 cm. **E.** Imagen de pozo mostrando depósitos de conglomerados con gradación normal de la *Formación Punta Rosada* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra representa 2 m.



| CLASIFICACIÓN   |                              |
|---|------------------------------|
| Momento de formación  | Primaria                     |
| Ubicación en el estrato   | Endostratales                |
| Origen  | Corriente (depositacionales) |
| Polaridad   | No indican                   |
| Paleocorriente  | No direccionales             |
| OCURRENCIA  |                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- depósitos de barras de canal de albardones y de derrame, en sistemas fluviales.</li> <li>- abanicos aluviales.</li> <li>- barras de desembocadura de frente deltaico en deltas continentales y marinos.</li> <li>- depósitos de <i>shoreface</i>.</li> <li>- depósitos de tormenta.</li> <li>- lóbulos, canales y abardón de turbiditas extra e intracuencales.</li> </ul> |                              |



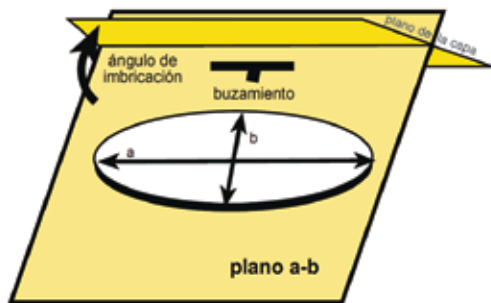
## IMBRICACIÓN

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |                              |                              |          |
|---|------------------------------|------------------------------|----------|
| PLANARES  | EXTERNAS                     | Estratificación y laminación |          |
|   |                              | Estratificación mixta        | flaser   |
|   |                              |                              | ondulosa |
|   |                              | lenticular                   |          |
|   | INTERNAS                     | Masivas                      |          |
| Gradadas  |                              |                              |          |
| Imbricación   |                              |                              |          |
|   | Laminación entrecruzada      |                              |          |
|   | Estratificación entrecruzada |                              |          |

La orientación que muestran los sedimentos en los depósitos se analiza teniendo en cuenta la disposición que adquieren sus ejes respecto al plano horizontal que los contiene (Selley, 2000; Cheel, 2005). Uno de los rasgos más frecuentemente observados en las gravas es la imbricación (Fig. 2.14). La imbricación es el mecanismo por el cual los clastos orientan sus ejes mayores de manera paralela o perpendicular a la dirección del flujo, y adquieren una suave inclinación corriente arriba (Selley, 2000), dependiendo del medio en el que fueron transportados (Fig. 2.15).

**FIGURA 2.14.**

Ilustración mostrando los atributos direccionales de los sedimentos tamaño grava que son comúnmente medidos en afloramiento. Nótese que a-b es el plano que pasa a través del clasto y que involucra al plano de máxima proyección. En la práctica se mide para dicho tipo de clastos el eje a, el rumbo del plano a-b y su dirección de buzamiento, y el ángulo (ángulo de imbricación). Tomado y modificado de Cheel (2005).

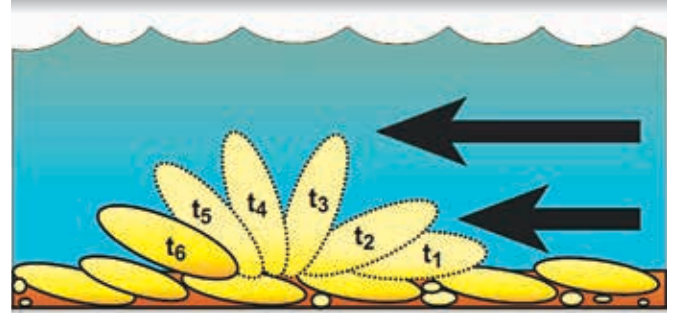


En el caso de clastos transportados por un flujo de agua, la imbricación dispone los ejes mayores de modo perpendicular a la corriente (Jamieson, 1860; Gibbons, 1972) (Fig. 2.16 A).

En el caso de clastos depositados por un glaciar y por un flujo de barro, el eje mayor se orienta paralelo a la dirección del flujo (Lindsay, 1966) (Fig. 2.16 B). La dirección de la imbricación de los clastos discoidales de un conglomerado se puede utilizar para determinar dirección y sentido de las paleocorrientes (Figs. 2.15 y 2.16).

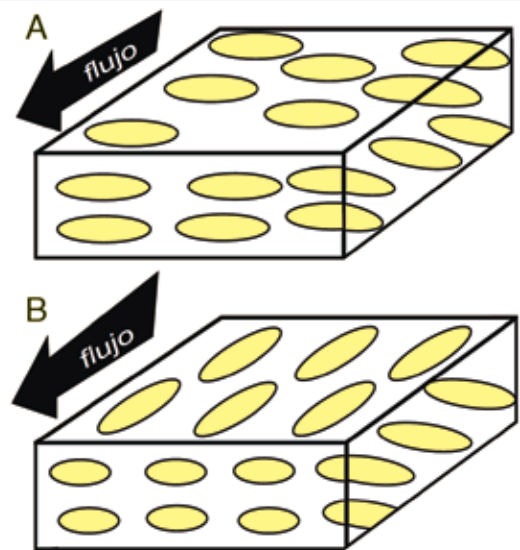
**FIGURA 2.15.**

Esquema mostrando la disposición de los clastos imbricados. La dirección del flujo es de derecha a izquierda como indican las flechas negras. T<sub>1-6</sub> indican el movimiento del clasto a través del tiempo.



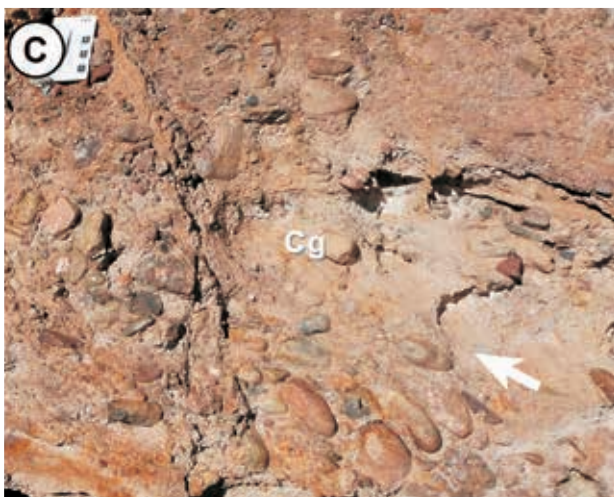
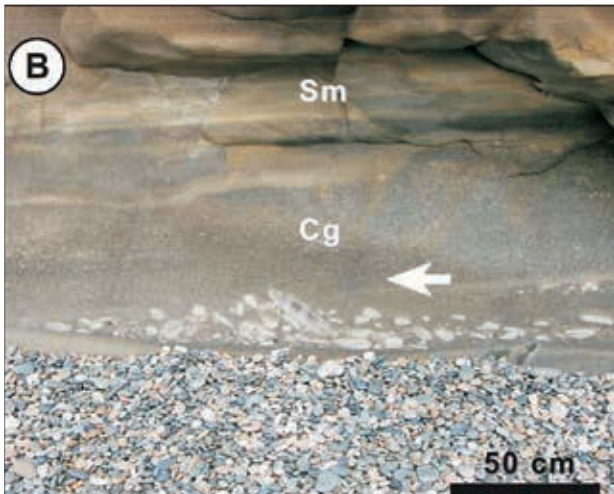
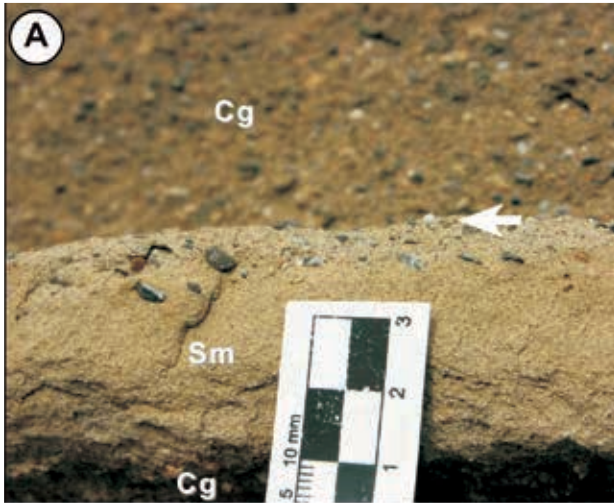
**FIGURA 2.16.**

Esquema mostrando la disposición que adoptan los ejes mayores en clastos imbricados por corrientes de agua (A), y por corrientes de fango y glaciares (B). Tomado y modificado de Cheel (2005).



**FIGURA 2.17.**

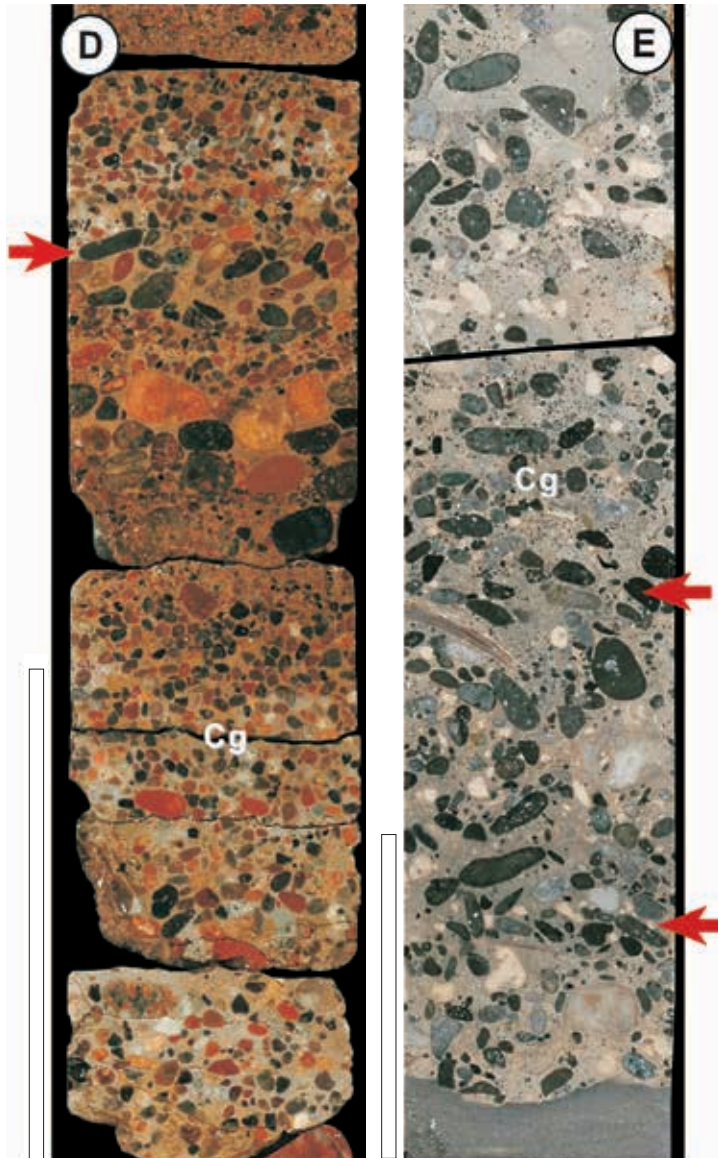
**A-B.** Pasaje transicional entre conglomerados finos (Cg) y areniscas masivas (Sm); nótese la imbricación que muestran los clastos. Estos niveles corresponden a depósitos de canales hiperpícnicos de las *Capas del Cabo Viamonte* (Mioceno), Cuenca Austral. **C.** Niveles de conglomerados con clastos imbricados, correspondientes a depósitos de canales fluviales de la *Formación Lotena* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **D-E.** Testigos corona mostrando depósitos de conglomerados (Cg) imbricados (flechas rojas), acumulados en sistemas fluviales-aluviales de la *Formación Sierras Blancas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra en **D** indica 20 cm, y en **E** indica 5 cm. Las flechas blancas indican la dirección del flujo teniendo en cuenta la imbricación de los clastos.



| CLASIFICACIÓN           |                                     |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Momento de formación    | Primaria                            |
| Ubicación en el estrato | Endostratales                       |
| Origen                  | Corriente (depositacionales)        |
| Polaridad               | No indican                          |
| Paleocorriente          | Direccionales (dirección y sentido) |

| OCURRENCIA   |
|--|
| - depósitos de barras de canal en sistemas fluviales.        |
| - abánicos aluviales.  |
| - barras de desembocadura en deltas continentales y marinos. |
| - canales de turbiditas extra en intracuencales.             |





## LAMINACIÓN Y ESTRATIFICACIÓN ENTRECruzADA

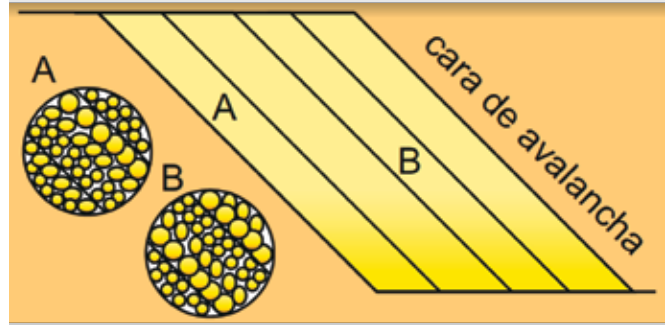
| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |          |   |
|---|----------|---|
| PLANARES  | EXTERNAS | Estratificación y laminación                                  |
|   |          | Estratificación mixta <i>flaser</i><br>ondulosa<br>lenticular |
|   | INTERNAS | Masivas<br>Gradadas<br>Imbricación                            |
|   |          | Laminación entrecruzada<br>Estratificación entrecruzada       |

La migración de formas de lecho (e.g. óndulas, me-gaóndulas o dunas) genera una estructura interna muy característica y diagnóstica que, dependiendo del tamaño, se denomina estratificación o laminación entrecruzada (Collinson y Thompson, 1989). Esta estructura está separada por superficies de erosión o de no deposición, y consiste de una serie de láminas o estratos que inclinan hacia la superficie de sedimentación principal (caras de avalancha).

Cada cara de avalancha (*foreset*) representa un particular evento de depositación. Las láminas o estratos que integran las caras de avalancha individuales pueden mostrar diferencias mineralógicas y/o texturales, producto de los posibles mecanismos de selección que actúan durante su acumulación. De este modo, una cara de avalancha puede presentar gradación inversa. Este arreglo ocurre cuando la avalancha induce el corte (*shearing*) dentro del sedimento que se está deslizando, produciendo un proceso de presión dispersiva por el cual se empuja hacia arriba a los granos más gruesos en relación con los granos más finos (Fig. 2.18 A). Contrariamente, cuando los sedimentos que se desplazan sobre las caras de avalancha lo hacen de manera periódica y en pulsos, se tienden a desarrollar depósitos con gradación normal; esto se debe a que los clastos mayores tienden a alcanzar la superficie de depositación primero que los granos más finos (Fig. 2.18 B).

**FIGURA 2.18.**

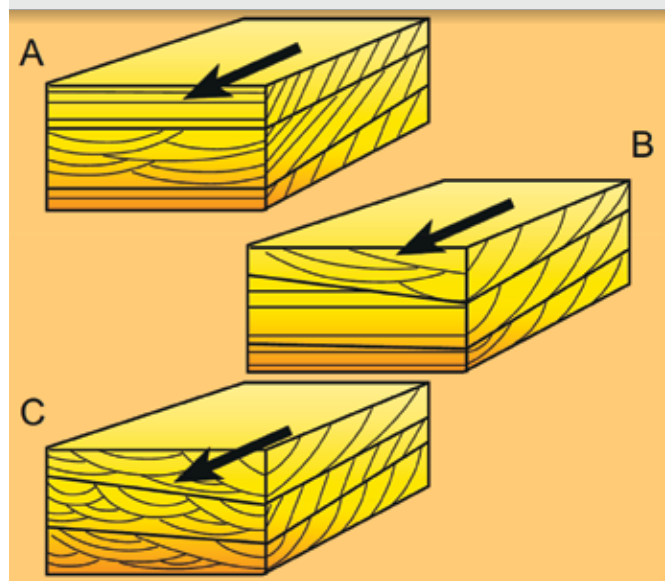
Esquema mostrando el arreglo interno en las caras de avalancha durante la migración de una forma de lecho. **A.** Gradación inversa por presión dispersiva. **B.** Gradación normal producida por aportes pulsantes de sedimentos. Modificado de Cheel (2005).



De acuerdo a su morfología, las caras de avalancha pueden ser clasificadas como estratificación o laminación entrecruzada tabular planar o tangencial, cuando el corte es paralelo a la dirección del flujo (Fig. 2.19 A, B), o en artesa, cuando el corte es transversal a la corriente (Fig. 2.19 C). La clasificación entre laminación o estratificación entrecruzada depende del espesor que los sets desarrollan; en general está en relación directa con el tamaño de las estructuras (e.g. ondulita, megaóndula, duna), las cuales varían desde algunos pocos milímetros hasta varios metros de espesor.

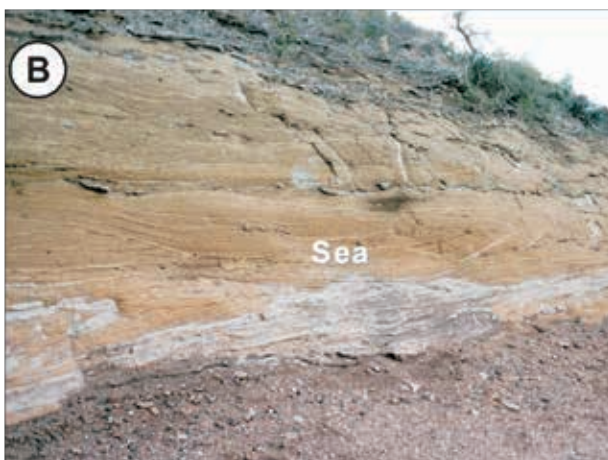
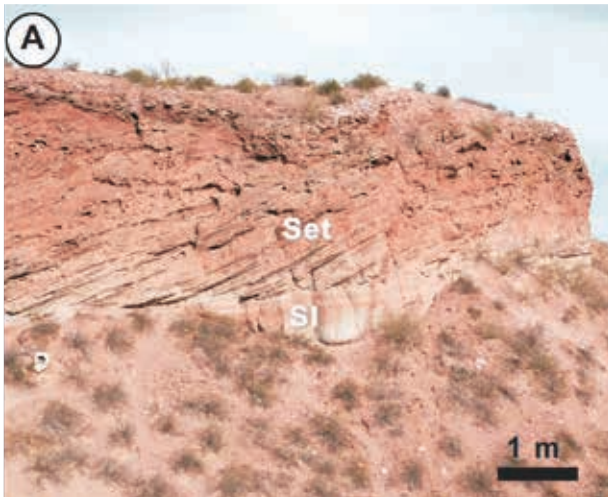
**FIGURA 2.19.**

**A.** Esquema mostrando laminación o estratificación entrecruzada tabular planar en dirección longitudinal al flujo. **B.** Laminación/estratificación entrecruzada tangencial en dirección longitudinal al flujo. **C.** Laminación/estratificación entrecruzada en artesa en dirección transversal al flujo.



**FIGURA 2.20.**

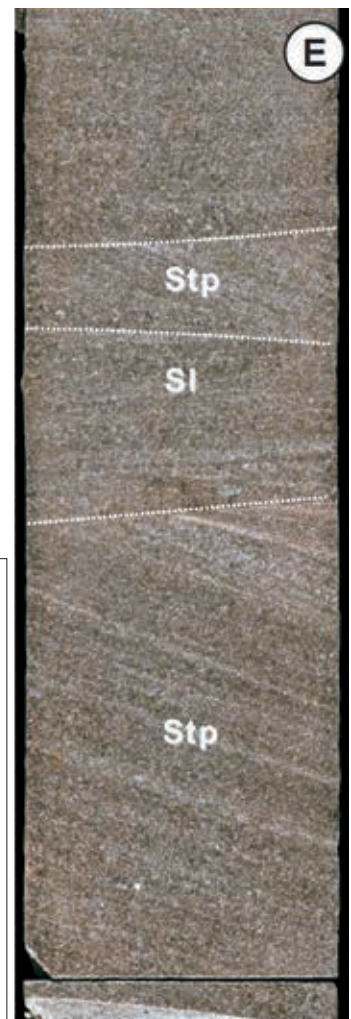
**A.** Arenas finas con laminación paralela (SI) y estratificación entrecruzada tangencial de alto ángulo (Set) correspondientes a depósitos de interduna seca (SI) y duna (Set) respectivamente de la *Formación Allen* (Cretácico Tardío), Cuenca Neuquina. **B.** Areniscas medias a finas con estratificación entrecruzada en artesa (Sea), correspondiente a depósitos de barras en estuarios dominados por marea de la *Formación Chenque* (Mioceno Inferior), Cuenca Golfo San Jorge. **C.** Areniscas gravosas con estratificación entrecruzada tangencial (Set) y laminación paralela (SI), acumuladas en un delta dominado por marea de la *Formación Río Turbio* (Eoceno), Cuenca Austral. **D.** Testigo corona mostrando estratificación entrecruzada en artesa (Sea) correspondiente a depósitos de barras en ambientes marinos someros de la *Formación Mulichinco* (Cretácico), Cuenca Neuquina. La barra indica 20 cm. **E.** Testigo corona mostrando depósitos de areniscas medias a gruesas con estratificación entrecruzada tabular planar (Set), acumuladas en ambientes eólicos de la *Formación Comodoro Rivadavia* (Jurásico), Cuenca Golfo San Jorge. La barra indica 5 cm.



| CLASIFICACIÓN           |  |
|-------------------------|--|
| Momento de formación    | Primaria   |
| Ubicación en el estrato | Endostratales  |
| Origen                  | Corriente (deposicionales)                                   |
| Polaridad               | Indican (tangencial y artesa)<br>No indican (tabular planar) |
| Paleocorriente          | Direccionales (dirección y sentido)                          |

| OCURENCIA  |
|--|
| - barras de canal, albardón proximal y depósitos de derrame en sistemas fluviales. |
| - abanicos aluviales.  |
| - dunas eólicas.   |
| - depósitos de <i>shoreface</i> .  |
| - barras de desembocadura en deltas continentales y marinos.                       |
| - barras de estuarios dominados por oleaje y marea.                                |
| - canales, albardones y lóbulos de turbiditas extra e intracuencales.              |



## ÓNDULAS DE CORRIENTE

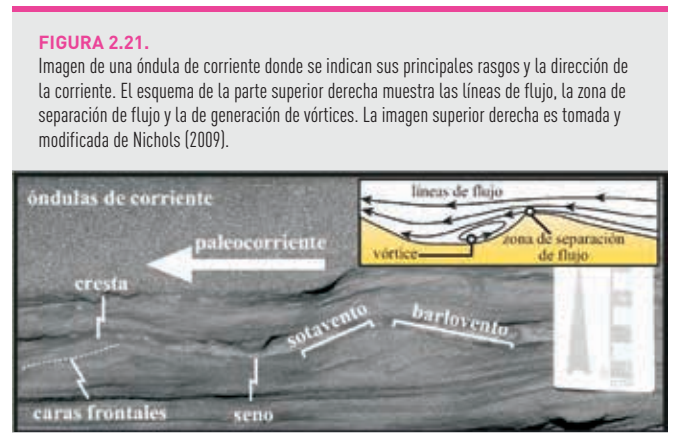
| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |               |               |   |
|---|---------------|---------------|---|
| LINEALES  | ESTRAIALES    | CONSTRUCTIVAS | Óndulas<br>Dunas<br>Barras<br>Laminación paralela y lineación <i>parting</i><br><i>Hummocky-Swaley</i>                |
|   |               | EROSIVAS      | Canales<br>Crestas y surcos<br>Marcas de fondo<br>Marcas acanaladas<br>Marcas de estrías<br>Marcas de gotas de lluvia |
|   | SUBESTRAIALES |               | Calcos de crestas y surcos<br>Calcos de marcas acanaladas<br>Calcos de marcas de estrías                              |

Las óndulas son tal vez las estructuras sedimentarias más comunes presentes en la naturaleza. Se producen por acción de corrientes de agua unidireccionales u oscilatorias diluidas que actúan sobre la superficie no cohesiva de los sedimentos del fondo, los que se reordenan conformando ondulaciones con escalas de tamaño sumamente variable (Leeder, 1999). Las óndulas pueden ser asimétricas (de corriente) o simétricas (de oleaje).

### ÓNDULAS DE CORRIENTE

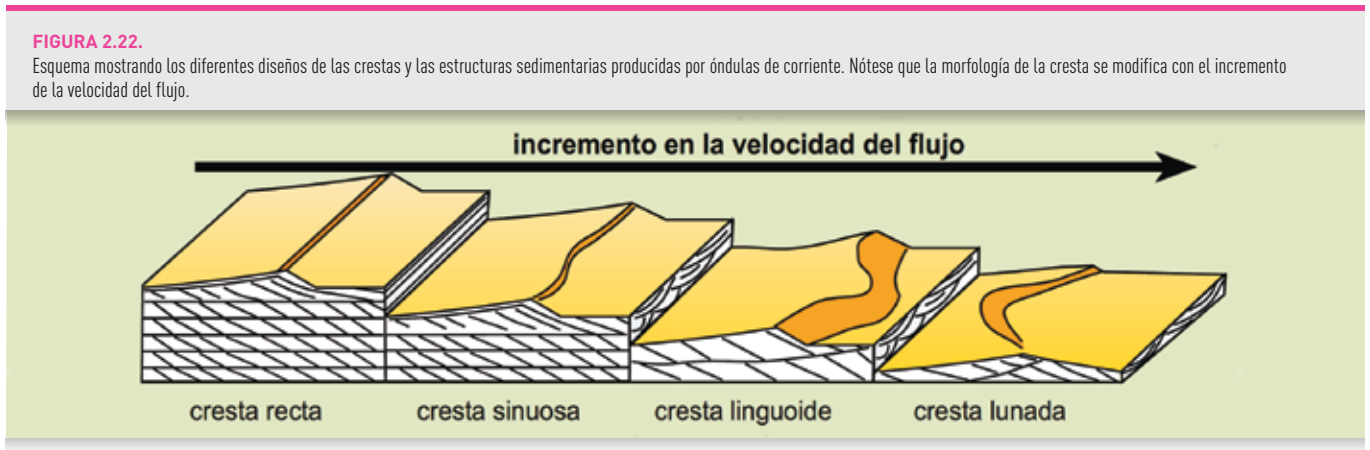
Estructuras sedimentarias generadas por corrientes de agua unidireccionales que presentan un ámbito erosivo (correspondiente al barlovento), y un ámbito depositacional (correspondiente al sotavento). Estas estructuras muestran una zona de separación de flujo en el sotavento, por un incremento brusco en la sección de la corriente.

La depositación y migración de la estructura puede ocurrir por avalancha desde la cresta (*sand flow*), por lluvia de granos (*grain fall*), o por la combinación de ambos (Fig. 2.21).



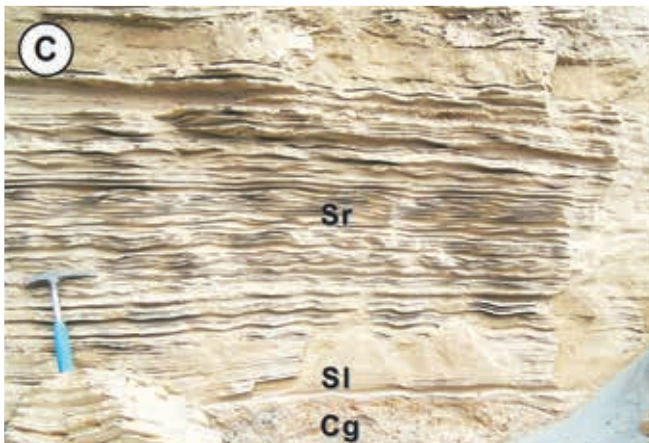
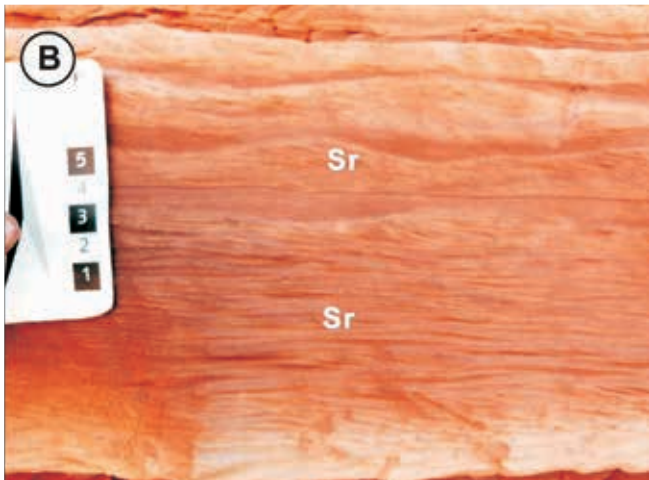
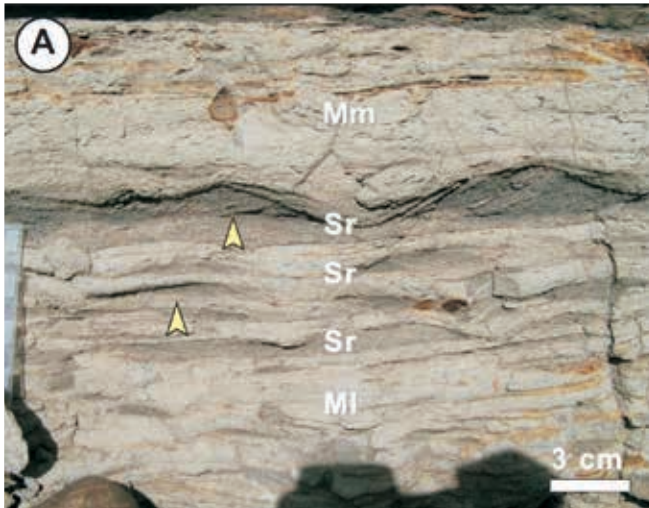
Una característica distintiva de las óndulas de corriente subácueas es que los materiales más pesados se acumulan en el seno de la forma de lecho. Esto permite diferenciarlas de las de origen eólico, que presentan una relación inversa.

Si bien las óndulas de corriente son formas de lecho de bajo régimen de flujo (Southard, 1991), dependiendo de la velocidad del flujo sus crestas suelen presentar diferentes diseños (Fig. 2.22). Dentro de este contexto, si consideramos un flujo unidireccional que aumenta paulatinamente su velocidad, las primeras formas de lecho en generarse son las óndulas de corriente de cresta recta (2D); estas formas de lecho serán sucedidas por óndulas de cresta sinuosa, linguoide y finalmente lunadas (todas ellas corresponden a geometrías 3D).

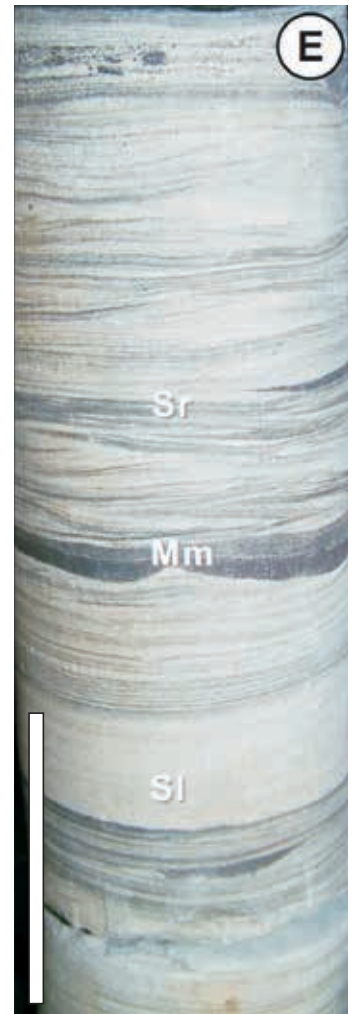
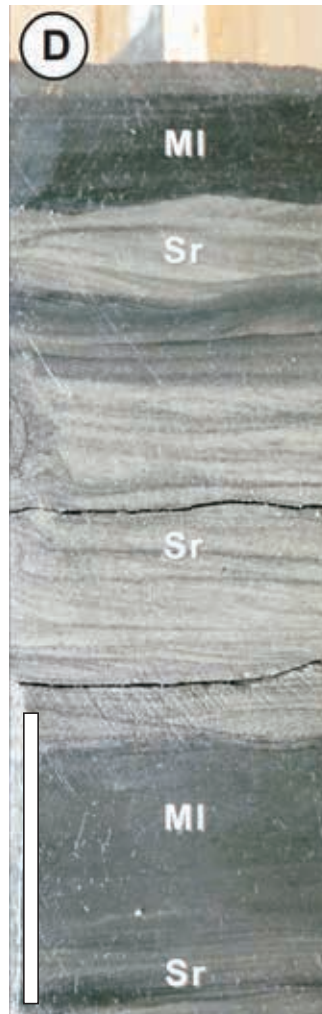


**FIGURA 2.23.**

**A.** Heterolitas con laminación ondulítica y lenticular (Sr), separadas por delgados niveles de fangolitas masivas (Mm). Nótese la bidireccionalidad que muestran las óndulas de corriente generadas por procesos de difusión de las mareas. Estos depósitos corresponden a facies de prodelta de la *Formación Monte León* (Mioceno Inferior), Cuenca Austral. **B.** Heterolitas arenosas con laminación ondulítica (Sr), acumuladas en depósitos de derrame de la *Formación Candeleras* (Cretácico Tardío), Cuenca Neuquina. **C.** Areniscas finas con laminación paralela (Sl), óndulas de corriente (Sr) y conglomerados (Cg) acumulados en sistemas glaciares del Pleistoceno de Cuenca Austral. **D.** Testigo corona mostrando depósitos de heterolitas arenosas, las areniscas muestran laminación paralela (Sl) y óndulas de corriente (Sr), y las fangolitas laminación paralela (Ml), correspondientes a facies de prodelta fluvio-dominado de la *Formación Tunas* (Pérmico), Cuenca del Colorado. La barra indica 5 cm. **E.** Testigo corona mostrando depósitos de heterolitas que alternan areniscas con laminación paralela (Sl) y óndulas de corriente (Sr), y fangolitas masivas (Mm) correspondientes a depósitos de *shoreface-offshore* de la *Formación Río Bonito* (Pérmico), Cuenca de Paraná, Brasil. La barra indica 5 cm.



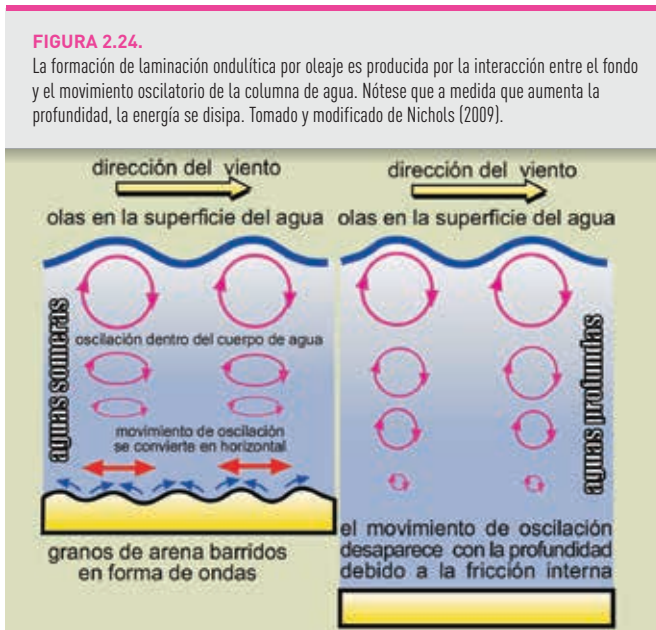
| CLASIFICACIÓN   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Momento de formación  | Primaria                            |
| Ubicación en el estrato   | Estratales<br>Endostratales         |
| Origen  | Corriente (deposicionales)          |
| Polaridad   | Indican                             |
| Paleocorriente  | Direccionales (dirección y sentido) |
| OCURRENCIA  |                                     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- albardón, depósito de derrame y llanura de inundación en sistemas fluviales.</li> <li>- zonas distales de abanicos aluviales.</li> <li>- dunas e interduna húmeda en sistemas eólicos.</li> <li>- depósitos de <i>shoreface</i> y <i>offshore</i> marinos y lacustres.</li> <li>- barras de estuarios dominados por oleaje y marea.</li> <li>- canales, albardones y lóbulos de turbiditas extra e intracanales.</li> <li>- corrientes de contorno.</li> </ul> |                                     |



## ÓNDULAS DE OLEAJE

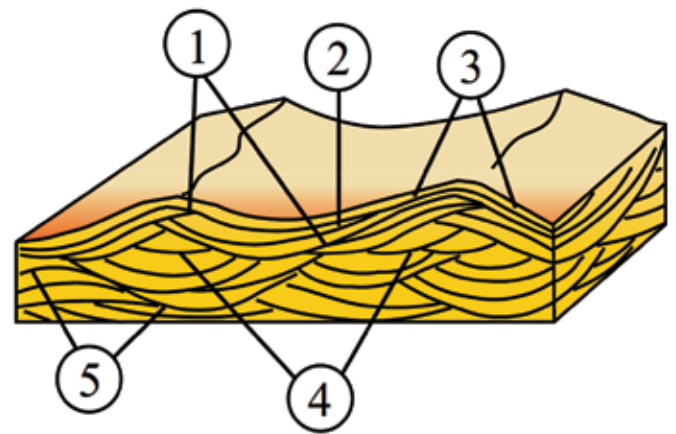
| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |               |               |   |
|---|---------------|---------------|---|
| LINEALES  | ESTRAIALES    | CONSTRUCTIVAS | Óndulas<br>Dunas<br>Barras<br>Laminación paralela y lineación <i>parting Hummocky-Swaley</i>                          |
|   |               | EROSIVAS      | Canales<br>Crestas y surcos<br>Marcas de fondo<br>Marcas acanaladas<br>Marcas de estrías<br>Marcas de gotas de lluvia |
|   | SUBESTRAIALES |               | Calcos de crestas y surcos<br>Calcos de marcas acanaladas<br>Calcos de marcas de estrías                              |

El movimiento oscilatorio producido por el viento sobre la superficie de un cuerpo de agua (lacustre o marino) genera un patrón de movimiento de celdas circulares debajo de la interfase agua-aire. Con el incremento en la profundidad, la fricción interna producida reduce el movimiento de las celdas, por lo que este efecto se disipa. La máxima profundidad a la cual este efecto se produce sobre el fondo se denomina nivel de base de ola, el cual puede ser sensiblemente modificado durante eventos de tormenta (Fig. 2.24).



La interacción entre el movimiento oscilatorio horizontal de las celdas con el lecho genera óndulas de oleaje. En este sentido, si el movimiento del agua es puramente oscilatorio se producen óndulas simétricas; por el contrario, si existe una corriente dominante, se generan óndulas de oleaje asimétricas. En la Figura 2.25 se indican las principales características que muestran la laminación ondulítica de oleaje.

**FIGURA 2.25.**  
Principales características que desarrolla la laminación ondulítica de oleaje. Tomado y modificado de Nichols (2009).

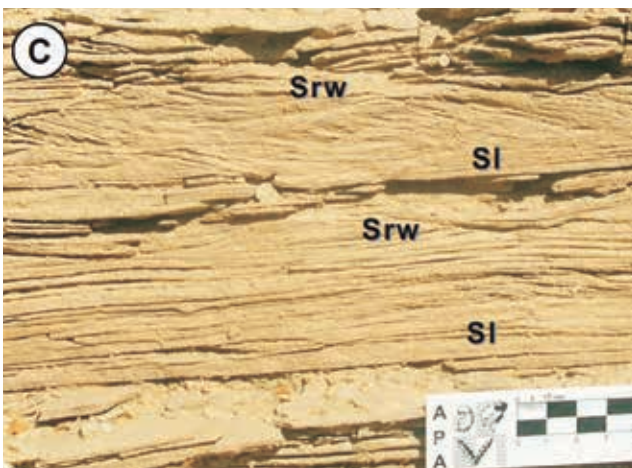


1. Estructuras en chevron (crestas y senos).
2. Láminas frontales que pasan al seno y se elevan sobre la cresta de las óndulas adyacentes.
3. Laminación frontal que inclina en direcciones opuestas.
4. Sets sincrónicos con arreglos internos diferentes.
5. Estratificación interna de alto y bajo ángulo.

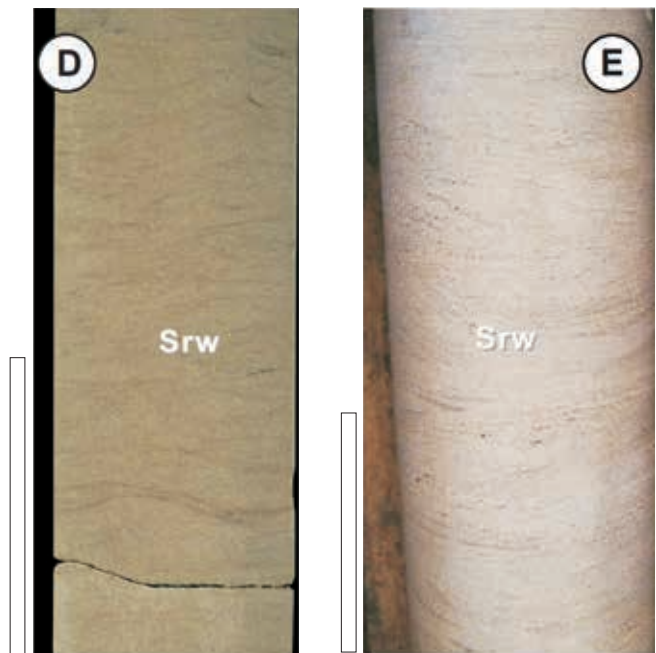
Si la corriente oscilatoria es de baja energía, las partículas se mueven por rolido y la mayor energía se genera en la parte media de cada oscilación. Este tipo de transporte genera crestas filosas. Por el contrario, si el flujo oscilatorio es de mayor energía, las partículas pueden ser puestas temporalmente en suspensión durante cada oscilación, generando crestas de tipo redondeadas.

**FIGURA 2.26.**

**A.** Arenas finas con estratificación *swaley* (Scs) retrabajadas por óndulas de oleaje al techo (Srw), correspondientes a depósitos de transición entre *shoreface-offshore* de la *Formación Agrío* (Cretácico Temprano), Cuenca Neuquina. **B.** Bancos de areniscas calcáreas con laminación paralela (Sl) y ondulas de oleaje al techo (Srw), correspondientes a depósitos de barras del *Supergrupo Belt* (Mesoproterozoico), Canadá. **C.** Areniscas finas con laminación paralela (Sl) y ondulas de oleaje (Srw) acumuladas en un delta fluvio-dominado del *Miembro Ferron Sandstone* (Cretácico), EE.UU. **D.** Testigo corona mostrando areniscas finas con desarrollo de ondulas de oleaje (Srw), en las cuales se puede observar la típica estructura de chevron. Esta corona representa depósitos de *shoreface* de la *Formación Mulichinco* (Cretácico), Cuenca Neuquina. La barra indica 10 cm. **E.** Testigo corona mostrando depósitos de areniscas medias con ondulas de oleaje (Srw) acumuladas en ambientes de *shoreface* de la *Formación Río Bonito* (Pérmico), Cuenca de Paraná, Brasil. La barra indica 10 cm. **F.** Imagen de pozo mostrando ondulas de oleaje (Srw), las flechas amarillas indican la presencia de estructuras de chevron. Estas facies corresponden a depósitos de *shoreface* de la *Formación Agrío* (Cretácico Temprano), Cuenca Neuquina. La barra indica 5 cm.



| CLASIFICACIÓN  |                              |
|--|------------------------------|
| Momento de formación   | Primaria                     |
| Ubicación en el estrato  | Estratales                   |
|  | Endostratales                |
| Origen   | Corriente (depositacionales) |
| Polaridad  | Indican                      |
| Paleocorriente   | Direccionales (dirección)    |
| OCURENCIA  |                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- llanura de inundación en sistemas fluviales.</li> <li>- interduna húmeda en sistemas eólicos.</li> <li>- depósitos de <i>shoreface</i> y <i>offshore</i> marinos y lacustres.</li> <li>- frentes deltaico y prodelta en deltas continentales y marinos.</li> <li>- barras de estuarios dominados por oleaje.</li> </ul> |                              |

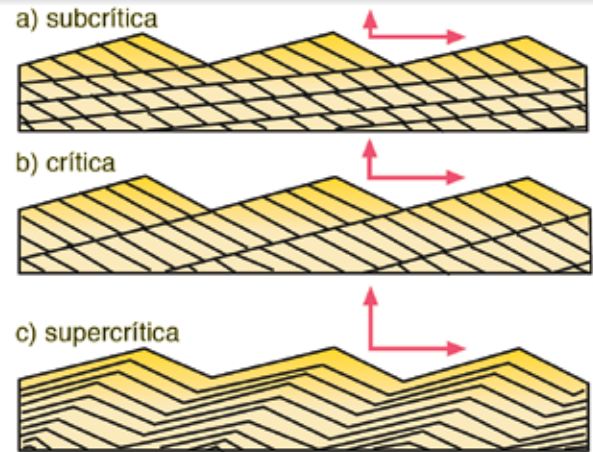


## ÓNDULAS ESCALONADAS (CLIMBING RIPPLES)

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |               |               |   |
|---|---------------|---------------|---|
| LINEALES  | ESTRATALES    | CONSTRUCTIVAS | Óndulas<br>Dunas<br>Barras<br>Laminación paralela y lineación <i>parting</i><br><i>Hummocky-Swaley</i>                |
|   |               | EROSIVAS      | Canales<br>Crestas y surcos<br>Marcas de fondo<br>Marcas acanaladas<br>Marcas de estrías<br>Marcas de gotas de lluvia |
|   | SUBESTRATALES |               | Calcos de crestas y surcos<br>Calcos de marcas acanaladas<br>Calcos de marcas de estrías                              |

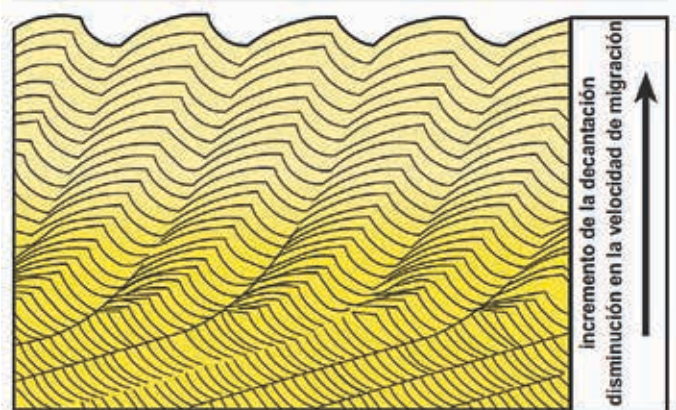
La laminación ondulítica escalante (*climbing ripples*) es característica de corrientes unidireccionales con carga de sedimento en suspensión (Figs. 2.27, 2.28, 2.29). En estas estructuras el ángulo de escalonamiento juega un rol sumamente importante para interpretar las condiciones hidrodinámicas de su formación. Harms (1982) define el ángulo de escalonamiento como el generado por la línea que une las sucesivas posiciones de la cresta, con la línea determinada por la superficie depositacional en la dirección de avance de la estructura. Si este ángulo es igual a cero, no quedará un depósito preservado, ya que la totalidad de lo acumulado en el sotavento será erosionado al avanzar el seno del barlovento subsiguiente. Si este ángulo alcanza la pendiente de barlovento de la óndula, la totalidad de la forma de la ondulita será preservada, y en el barlovento no ocurrirá ni erosión ni depositación. Algunos autores (Jopling y Walker, 1968) han clasificado a las óndulas de acuerdo a su ángulo de escalonamiento. Si el ángulo de escalonamiento es menor que la pendiente de barlovento, se denominan ondulitas *subcríticas*; si es igual a la pendiente se llaman *críticas*, y si es mayor *supercríticas* (Figs. 2.27, 2.29 A, B, D, E, F). El hecho de que el ángulo de escalonamiento adquiera importancia se relaciona con que existe un gran aporte de sedimento al sistema por decantación, lo que en combinación con el proceso tractivo hace de estas estructuras del tipo tracción-decantación.

**FIGURA 2.27.** Clasificación de las ondulitas de acuerdo con su ángulo de escalonamiento. Tomado y modificado de Jopling y Walker (1968).



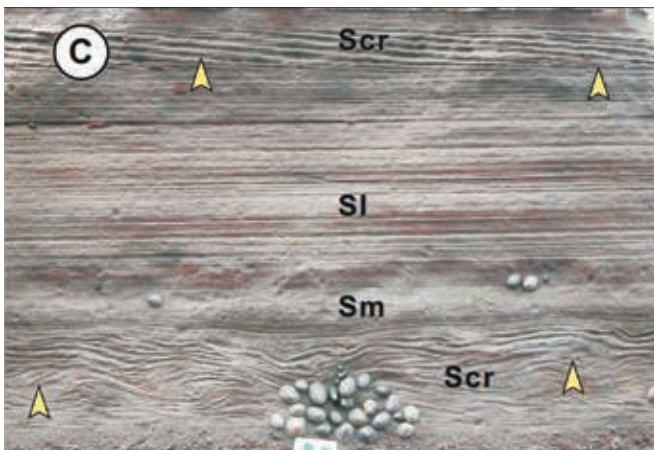
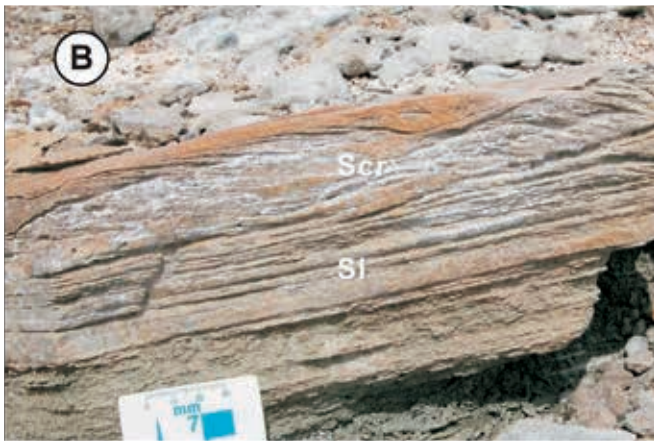
En algunos casos las óndulas escalantes muestran un pasaje transicional desde supercríticas a subcríticas o viceversa. Este tipo de arreglo ocurre cuando los procesos de tracción-decantación que dan origen a estas estructuras sedimentarias experimentan variaciones a través del tiempo (e.g. desaceleración o aceleración del flujo, o incremento de la carga arenosa en suspensión). Bajo estas condiciones se produce un tipo de estructura sedimentaria denominada pseudoestratificación entrecruzada tangencial (Figs. 2.28, 2.29 C), la cual muestra una dirección de paleocorriente opuesta a la verdadera.

**FIGURA 2.28.** Esquema mostrando la generación de pseudoestratificación entrecruzada tangencial. Tomado y modificado de Cheel (2005).



**FIGURA 2.29.**

**A.** Depósitos que muestran un pasaje transicional entre areniscas con laminación paralela (SI), óndulas escalantes (Scr) y deformación por carga (Sdc), correspondientes a depósitos de derrame de la *Formación Candeleros* (Cretácico Tardío), Cuenca Neuquina. **B.** Depósitos de areniscas con laminación paralela (SI) y óndulas escalantes (Scr) acumulados por corrientes de densidad en ambientes marinos someros re TRABAJADOS por marea de la *Formación Snow Hill Island* (Cretácico Tardío), Cuenca James Ross, Antártida. **C.** Depósitos que muestran un pasaje transicional entre areniscas masivas (Sm), con laminación paralela (SI) y óndulas escalantes (Scr) con deformación por carga, y óndulas escalantes que desarrollan pseudoestratificación entrecruzada tangencial hacia el techo, correspondientes a depósitos de lóbulos hiperpícnicos de ambiente marino profundo de las *Capas del Cabo Viamonte* (Mioceno Medio), Cuenca Austral. **D.** Testigo corona mostrando depósitos de areniscas finas con óndulas escalantes (Scr), correspondientes a depósitos de sistemas lacustres de la *Formación Rayoso* (Cretácico Tardío), Cuenca Neuquina. La barra indica 10 cm. **E.** Testigo corona mostrando depósitos de areniscas con óndulas escalantes que contienen materia orgánica particulada (fitodetrito) en sus caras de avalancha, acumuladas en ambientes marinos someros de la *Formación Centenario* (Cretácico Temprano), Cuenca Neuquina. La barra indica 10 cm. **F.** Testigo corona integrado por areniscas con óndulas escalantes (Scr) y fangolitas masivas (Mm), acumuladas en ambientes marinos someros de la *Formación Mulichinco* (Cretácico Tardío), Cuenca Neuquina. La barra indica 10 cm.



| CLASIFICACIÓN           |                                     |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Momento de formación    | Primaria                            |
| Ubicación en el estrato | Estratales                          |
| Origen                  | Corriente (depositacionales)        |
| Polaridad               | Indican                             |
| Paleocorriente          | Direccionales (dirección y sentido) |

| OCURRENCIA  |  |
|---|--|
| - depósitos de derrame y albardones en sistemas fluviales.                        |  |
| - abanicos aluviales.   |  |
| - depósitos de tormenta.  |  |
| - lóbulos, canales y albardones de corrientes de densidad intra y extracuencales. |  |
| - corrientes de contorno.   |  |



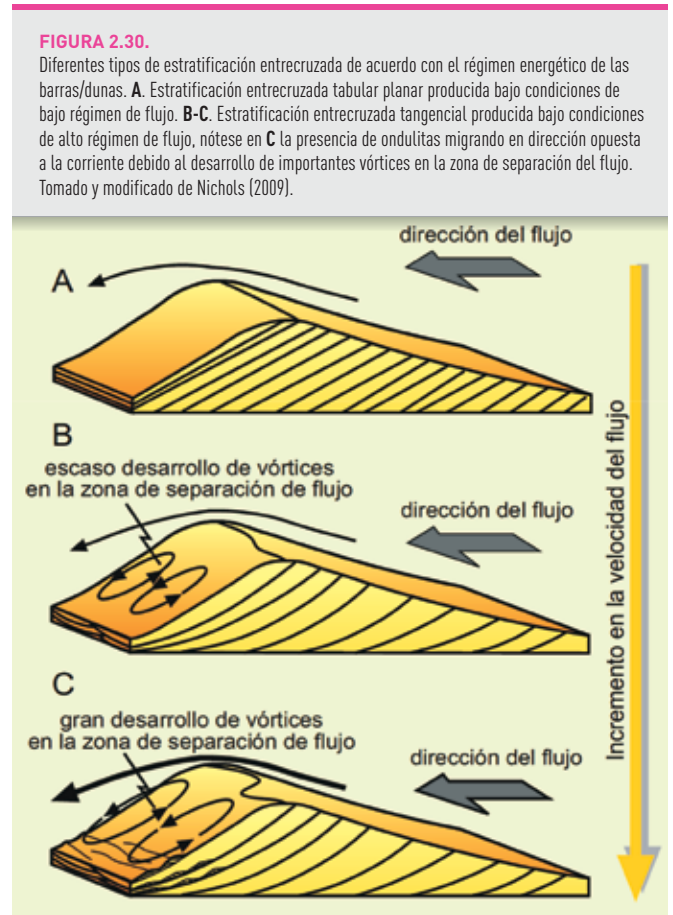


## DUNAS Y BARRAS

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |            |                             |  |
|---|------------|-----------------------------|--|
| LINEALES  | ESTRAIALES | CONSTRUCTIVAS               | Óndulas  |
|   |            |                             | Dunas  |
|   |            |                             | Barras   |
|   | EROSIVAS   | CONSTRUCTIVAS               | Laminación paralela y lineación <i>parting</i><br><i>Hummocky-Swaley</i> |
|   |            |                             | Canales  |
|   |            |                             | Marcas de fondo  |
| SUBESTRAIALES   | EROSIVAS   | Marcas de estrías           |  |
|   |            | Marcas de gotas de lluvia   |  |
|   |            | Calcos de marcas de estrías |  |
|   |            | Calcos de crestas y surcos  |  |
|   |            | Calcos de marcas acanaladas |  |
|   |            | Calcos de marcas de estrías |  |

Las dunas y barras son formas de lecho de gran escala (longitud de onda > 1 m), producidas en granulometrías de arenas medias y gravas (Figs. 2.30, 2.31). Internamente presentan las mismas características que las óndulas, es decir un ámbito erosivo (barlovento) y uno depositacional (sotavento), con una zona de separación de flujo en el sotavento. La formación de estas estructuras es controlada por: 1- la profundidad del agua, 2- la gran turbulencia que se produce dentro del flujo, y 3- el desarrollo de vórtices de mayor o menor magnitud en las zonas de separación del flujo. La profundidad del agua controla la magnitud de la turbulencia que se genera en el flujo, y esto a su vez controla la altura, la longitud de onda y el tipo de duna (Allen, 1982; Leeder, 1999). De este modo, cuando la velocidad del flujo es baja, los vórtices que se generan en la zona de separación del flujo de las barras/dunas no tienen buen desarrollo, y por lo tanto no reelaboran la arena acumulada en la cara de avalancha del sotavento. Bajo estas condiciones de sedimentación se generan barras /dunas de crestas rectas que internamente muestran laminación entrecruzada tabular planar en la dirección del flujo, y paralela en sección transversal al flujo (Fig. 2.30 A). Cuando la velocidad del flujo es alta, los vórtices tienen un buen desarrollo y crean una contracorriente en la base de la cara de deslizamiento lo suficientemente fuerte como para generar ondulitas que migran sobre y en dirección contraria a las caras de avalancha de la estructura mayor.

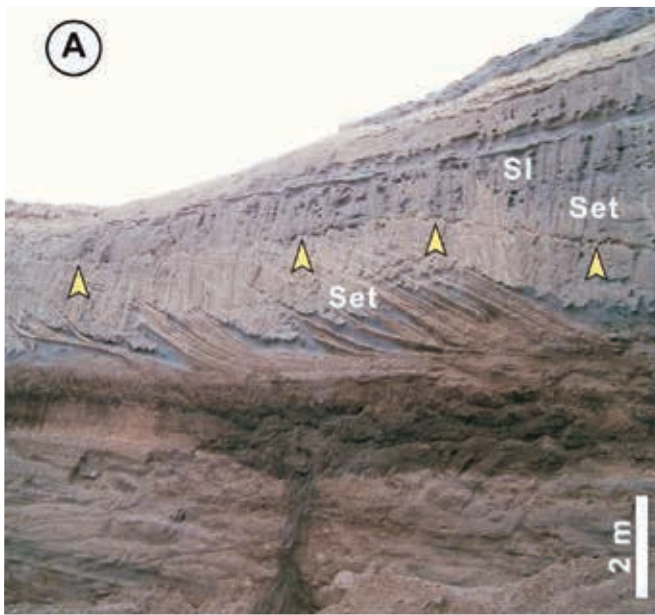
Las crestas de estas barras/dunas pueden ser sinuosas o estar divididas dando dunas de tipo linguoide. Internamente estas estructuras muestran estratificación entrecruzada tangencial en la dirección del flujo, y en artesa en su sección transversal (Fig. 2.30 B, C).



En general, las barras son formas de lecho de mayor escala que las dunas (Fig. 2.31). Las barras desarrollan estratificación entrecruzada de gran escala en arena, grava o mezcla de tamaños de grano. A menudo, sobre la superficie de las barras se puede reconocer la migración de sistemas de dunas y óndulas (detalle en Fig. 2.31 B). Las barras de canal se clasifican en función de la posición que ocupan dentro de su lecho como longitudinales, transversales y de acreción lateral.

**FIGURA 2.31.**

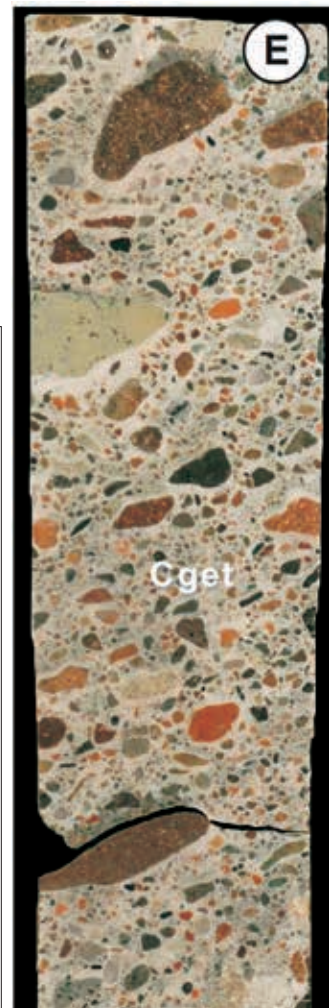
**A.** Areniscas finas con estratificación entrecruzada tangencial (Set) y laminación paralela (SI), nótese la presencia de clastos de arcilla (flechas amarillas) interpretados como superficies de deflación eólica. Estos depósitos corresponden a sistemas de dunas e interdunas secas de la *Formación Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca Colorado. **B.** Areniscas medias a finas con estratificación entrecruzada tangencial (Set) de gran escala y laminación paralela (SI), correspondientes a barras de desembocadura deltaica. Las flechas amarillas y el detalle del recuadro inferior derecho muestran la presencia de dunas migrando sobre el techo de las barras de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **C.** Areniscas medias a gruesas con estratificación entrecruzada tangencial (Set) de bajo ángulo correspondiente a depósitos de barras de frente deltaico distal de la *Formación Río Turbio* (Eoceno), Cuenca Austral. **D.** Testigo corona mostrando areniscas finas con estratificación entrecruzada tabular planar (Setp) y abundante materia orgánica correspondiente a facies de frente deltaico de la *Formación Centenario* (Cretácico Temprano), Cuenca Neuquina. La barra indica 5 cm. **E.** Testigo corona mostrando conglomerados con estratificación entrecruzada tangencial difusa (Cget) correspondientes a depósitos de sistemas fluviales-aluviales de la *Formación Sierras Blancas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra indica 10 cm.



| CLASIFICACIÓN           |                                     |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Momento de formación    | Primaria                            |
| Ubicación en el estrato | Estratales                          |
| Origen                  | Corriente (depositacionales)        |
| Polaridad               | Indican                             |
| Paleocorriente          | Direccionales (dirección y sentido) |

| OCURRENCIA  |  |
|---|--|
| - depósitos de canal en sistemas fluviales.                           |  |
| - abanicos aluviales.   |  |
| - dunas eólicas.  |  |
| - estuarios dominados por marea y oleaje.                             |  |
| - frente deltaico de deltas marinos y continentales.                  |  |
| - lóbulos y canales de corrientes de densidad intra y extracuencales. |  |
| - corrientes de contorno.   |  |



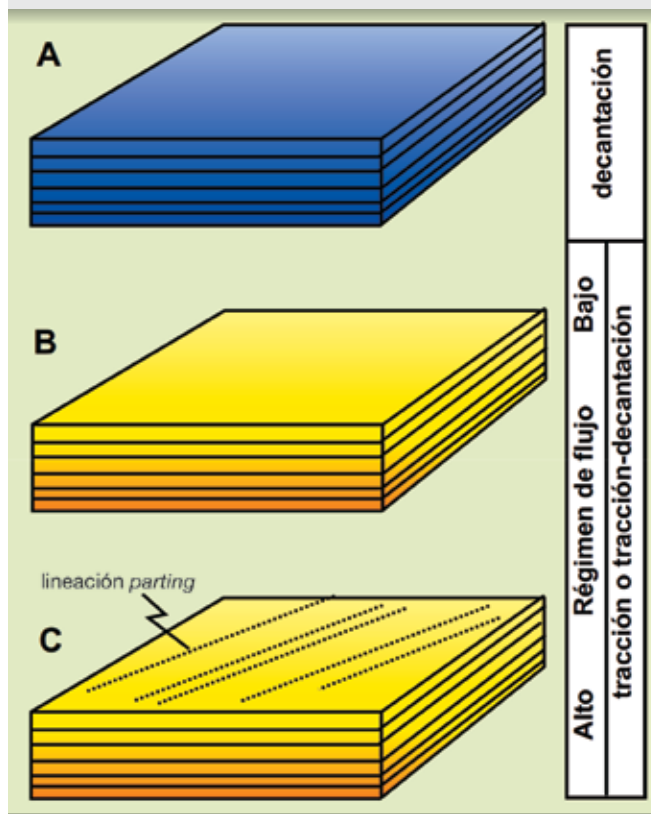
## LAMINACIÓN PARALELA Y LINEACIÓN PARTING

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |               |               |   |
|---|---------------|---------------|---|
| LINEALES  | ESTRATALES    | CONSTRUCTIVAS | Óndulas<br>Dunas<br>Barras<br>Laminación paralela y lineación <i>parting</i><br><i>Hummocky-Swaley</i>                |
|   |               | EROSIVAS      | Canales<br>Marcas de fondo<br>Crestas y surcos<br>Marcas acanaladas<br>Marcas de estrías<br>Marcas de gotas de lluvia |
|   | SUBESTRATALES |               | Calcos de crestas y surcos<br>Calcos de marcas acanaladas<br>Calcos de marcas de estrías                              |

La laminación paralela es una estructura sedimentaria que se puede producir en granulometrías que van desde arcillas hasta arenas gruesas (Fig. 2.32). En fracciones de arcilla, limo y hasta arena muy fina, la laminación paralela se genera por procesos de decantación (Figs. 2.32 A, 2.33 A), en tanto que en texturas de arenas medias a gruesas, se produce por procesos tractivos o de tracción-decantación en condiciones de bajo o alto régimen de flujo (Bridge, 1978; Allen, 1982) (Figs. 2.32 B, C; 2.33 B, D, E). Distinguir entre laminación paralela de alto y bajo régimen de flujo es sumamente difícil si las capas no presentan lineación "parting" (Allen, 1984; Weedman y Slingerland, 1985). Este tipo de lineación aparece como surcos elongados con un relieve frecuentemente menor a 1 mm, son indicativas de la dirección (pero no del sentido) de la paleocorriente, y son diagnósticas de condiciones de alto régimen de flujo (Fig. 2.32 C, 2.33 C). Uno de los tipos más frecuentes de lineaciones de corriente asociadas al alto régimen de flujo se reconoce en el caso de existir minerales pesados, los que tienden a ubicarse elongados en la dirección de la corriente. La laminación paralela de bajo régimen de flujo se produce en sedimentos mayores a 0,7 mm (areniscas gruesas). Esta estructura se caracteriza por desarrollar una superficie plana y por presentar una tasa de transporte de sedimentos relativamente baja. La laminación paralela de alto régimen de flujo es sumamente común en capas de arenas finas (Cheel, 2005).

FIGURA 2.32.

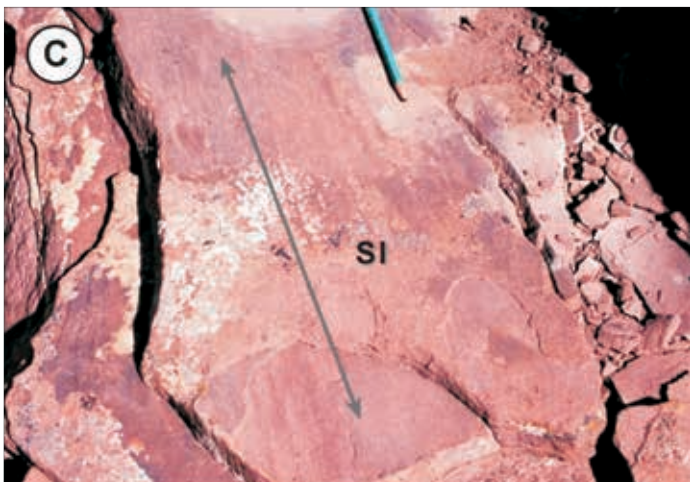
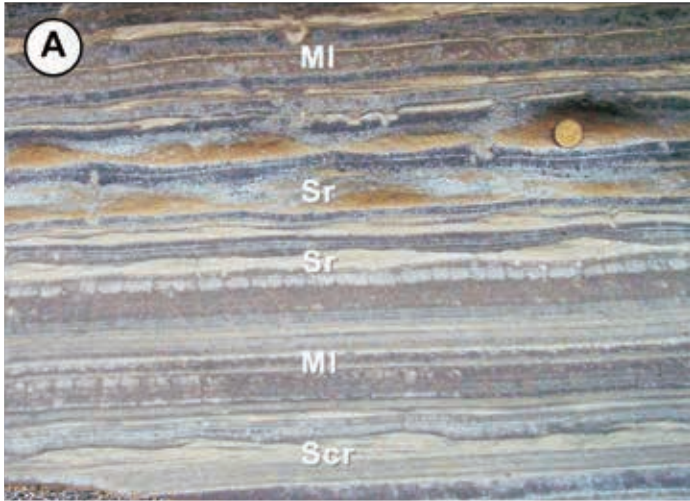
Esquema mostrando los diferentes tipos de laminación paralela que pueden ocurrir, teniendo en cuenta la granulometría, velocidad del flujo y procesos de sedimentación. **A.** Laminación paralela producida en arcillas y limos por procesos de decantación. **B.** Laminación paralela de bajo régimen de flujo producida en sedimentos de granulometría mayor a 0,7 mm. Nótese que en este caso no se produce lineación *parting* al techo de las capas. **C.** Laminación paralela de alto régimen de flujo, con desarrollo de lineación *parting* al techo, la cual indica dirección de paleocorriente, pero no sentido.



La laminación paralela puede ocurrir también por precipitación química de minerales, como es el caso de la alternancia entre la calcita, halita, yeso/anhidrita, así como por la precipitación de plancton en zonas de alta productividad. Gran parte de la laminación paralela de grano fino (arcilla y limo) se acumula en ambientes protegidos como son los *lagoons*, lagos y llanuras abisales (Selley, 2000).

**FIGURA 2.33.**

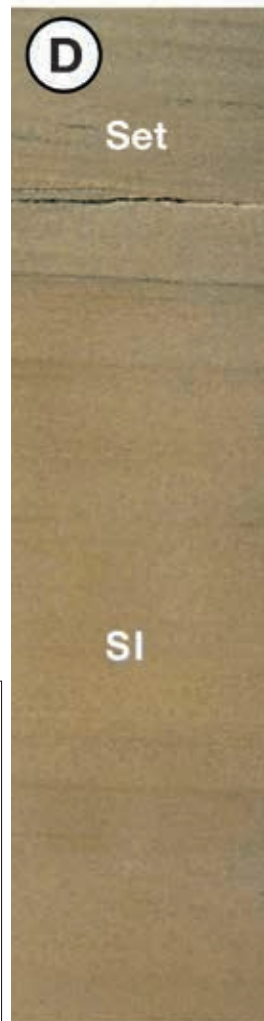
**A.** Laminación mixta heterolítica integrada por una alternancia entre óndulas de corriente (Sr) y fangolitas laminadas (MI), interpretada como depósitos de albardón de canales hiperpícnicos desarrollados al pie de un talud depositacional de las *Capas del Cabo Viamonte* (Mioceno Medio), Cuenca Austral. **B.** Areniscas medias a finas con estratificación entrecruzada tangencial (Set) y laminación paralela (SI) correspondientes a sistemas de dunas e interdunas secas del Miembro Avilé (Cretácico), Cuenca Neuquina. **C.** Areniscas finas con lineación *parting* (la flecha indica la dirección de la corriente), correspondiente a depósitos de canales hiperpícnicos de la *Formación Rayosa* (Cretácico Inferior), Cuenca Neuquina. **D.** Testigo corona mostrando areniscas finas con laminación paralela (SI) y estratificación entrecruzada tangencial (Set) correspondientes a depósitos de barras de la *Formación Centenario* (Cretácico), Cuenca Neuquina. La barra indica 5 cm. **E.** Testigo corona mostrando areniscas finas con laminación paralela (SI) correspondientes a depósitos de barras deltaicas de la *Formación Tunas* (Pérmico) Cuenca Colorado. La barra indica 10 cm.



| CLASIFICACIÓN           |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| Momento de formación    | Primaria                   |
| Ubicación en el estrato | Estratales                 |
|                         | Endostratales              |
| Origen                  | Corriente (deposicionales) |
| Polaridad               | No indican                 |
| Paleocorriente          | Direccionales (dirección)  |

| OCURRENCIA  |  |
|---|--|
| - depósitos de derrame, albardones y canales en sistemas fluviales.             |  |
| - abanicos aluviales.   |  |
| - interduna seca y húmeda en sistemas eólicos.                                  |  |
| - <i>shoreface</i> y <i>offshore</i> en ambientes marinos y continentales.      |  |
| - estuarios dominados por oleaje y marea.                                       |  |
| - depósitos de tormenta.  |  |
| - lóbulos, canales y albardones de corrientes de densidad intra y extracanales. |  |
| - llanura abisal.   |  |
| - corrientes de contorno.   |  |



## HUMMOCKY-SWALEY

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |               |               |   |
|---|---------------|---------------|---|
| LINEALES  | ESTRAIALES    | CONSTRUCTIVAS | Óndulas<br>Dunas<br>Barras<br>Laminación paralela y lineación <i>parting</i><br><i>Hummocky-Swaley</i>                |
|   |               | EROSIVAS      | Canales<br>Crestas y surcos<br>Marcas de fondo<br>Marcas acanaladas<br>Marcas de estrías<br>Marcas de gotas de lluvia |
|   | SUBESTRAIALES |               | Calcos de crestas y surcos<br>Calcos de marcas acanaladas<br>Calcos de marcas de estrías                              |

La estratificación entrecruzada *hummocky* se caracteriza por la presencia de una superficie basal erosiva sobre la que se depositan láminas subparalelas o suavemente inclinadas (~12°), que muestran un adelgazamiento lateral con desarrollo de convexidades en la superficie. Estas formas de domos (*hummocks*) generalmente tienen longitudes de onda del orden de 1 metro o superiores. Si bien en la descripción original (Harms *et al.*, 1975) se las reconoce como desarrolladas en areniscas finas a medias, no es extraño encontrar esta estructura sedimentaria en granulometrías de areniscas gruesas a conglomerados finos.

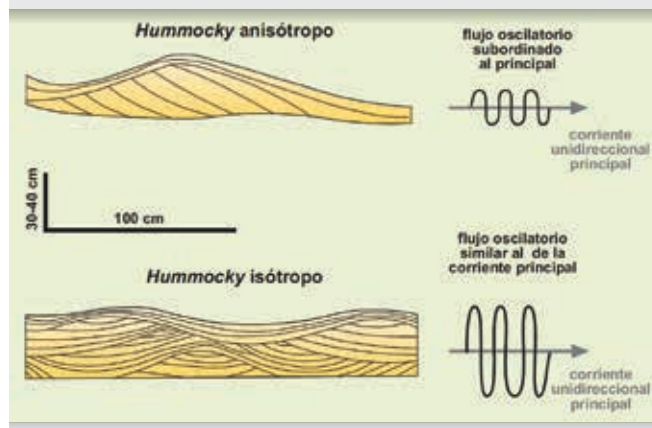
La estratificación entrecruzada de tipo *hummocky* (Hcs) es generada por flujos de tipo combinado, integrados por una corriente unidireccional y un flujo oscilatorio subordinado (Duke *et al.*, 1991). Mutti *et al.* (1994) sugirieron que dependiendo de las relaciones de magnitud que presentan las componentes de los flujos combinados, los *hummocky* pueden ser clasificados en anisótropos e isótropos (Fig. 2.34). Los *hummocky* anisótropos se producen en zonas confinadas de una corriente (canales fluviales y turbidíticos). Mutti *et al.* (1996) sugirieron que se producen cuando la componente unidireccional del flujo es dominante respecto a la oscilatoria, mientras que Duke *et al.* (1991) lo atribuyeron a fuertes flujos oscilatorios dominantes. Por el contrario, los *hummocky* isótropos resultan frecuentes en zonas no confinadas de los sistemas depositacionales, como son los lóbulos

deltaicos o turbidíticos, y los depósitos de *shoreface* y *offshore*, entre otros. Mutti *et al.* (1996) sugirieron que estas estructuras ocurren cuando las componentes unidireccionales y oscilatorias del flujo son equivalentes, mientras que Duke *et al.* (1991) indicaron que su origen se relaciona a un flujo puramente oscilatorio o a flujos combinados predominantemente oscilatorios (Figs. 2.34, 2.35 A, C, D, E).

La estratificación entrecruzada *swaley* (Scs) (Leckie y Walker, 1982) consiste de estructuras sedimentarias que muestran truncamientos erosivos basales de bajo ángulo con láminas aproximadamente paralelas a dicha superficie, y que disminuyen su ángulo de deposición hacia el techo del banco hasta llegar a ser láminas horizontales (Fig. 2.35 B, D, E). Estas estructuras se consideran transicionales entre los diferentes tipos de *hummocky* anteriormente descritos y, en consecuencia, su origen se relaciona con los mismos procesos de sedimentación.

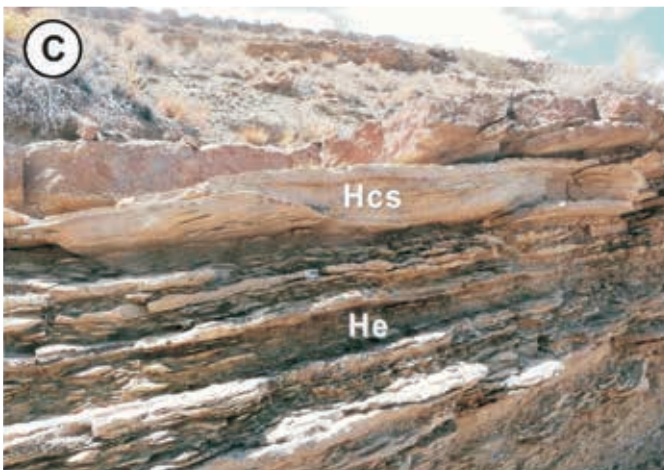
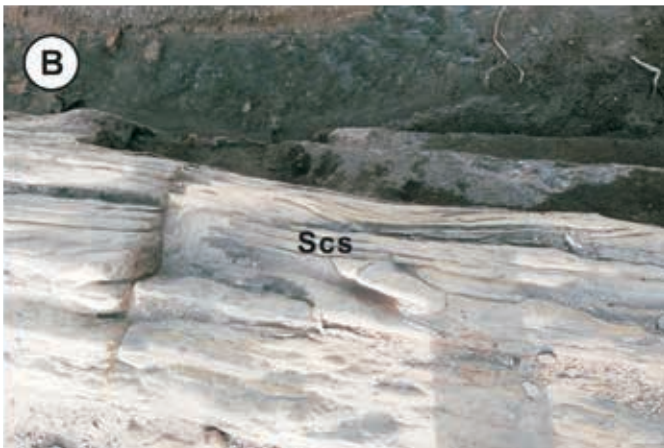
**FIGURA 2.34.**

Diagrama que muestra las estructuras de *hummocky* anisótropo e isótropo, y la relación que existe entre la velocidad de la corriente principal y el flujo oscilatorio asociado. Modificado de Mutti *et al.* (1994).

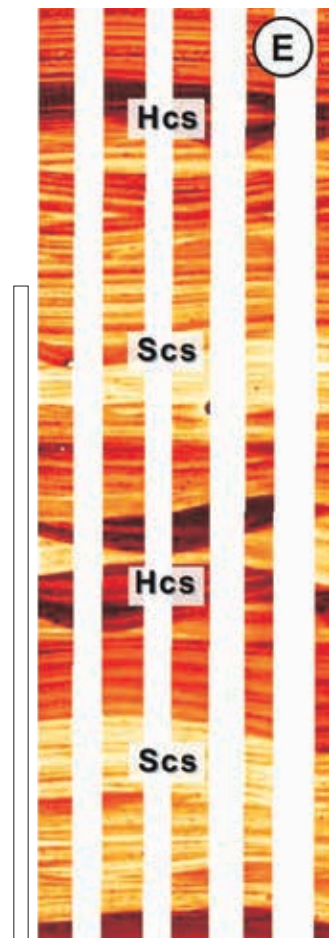
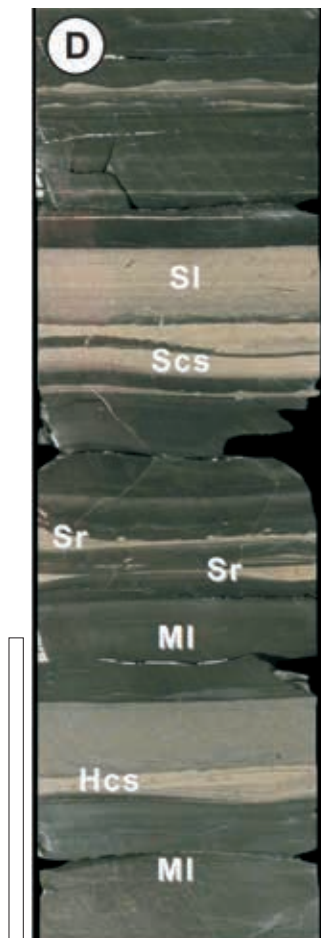


**FIGURA 2.35.**

**A.** Areniscas medias a finas con laminación entrecruzada de tipo *hummocky* isótropo, correspondiente a eventos de tormenta que retrabajan sistemas de barras de desembocadura deltaicas de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **B.** Areniscas medias a finas con estratificación entrecruzada de tipo *swaley* (Scs), correspondientes a eventos de tormenta retrabajando depósitos de barras acumuladas en *shoreface* de la *Formación Mulichinco* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **C.** Bancos de heterolitas (He) que alternan depósitos de areniscas calcáreas con laminación entrecruzada de tipo *hummocky* isótropo (Hcs), correspondiente a depósitos de *offshore proximal* de la *Formación Agrio* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **D.** Testigo corona mostrando heterolitas que alternan fangolitas laminadas (MI) y óndulas de corriente (Sr) truncadas por niveles de areniscas finas con laminación entrecruzada tipo *swaley* (Scs) y *hummocky* (Hcs), correspondientes a depósitos de *offshore* de la *Formación Mulichinco* (Cretácico), Cuenca Neuquina. La barra indica 10 cm. **E.** Imagen de pozo mostrando areniscas finas con laminación entrecruzada de tipo *hummocky* isótropo (Hcs) y *swaley* (Scs), correspondientes a depósitos de tormenta acumulados en un *shoreface* distal de la *Formación Agrio* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra indica 10 cm.



| CLASIFICACIÓN   |  |
|---|--|
| Momento de formación  | Primaria   |
| Ubicación en el estrato   | Estratales   |
| Origen  | Corriente (depositacionales)   |
| Polaridad   | Indican  |
| Paleocorriente  | Direccionales (dirección y sentido)<br>(Hcs anisótropo)<br>No direccionales (Hcs isótropo) |
| OCURENCIA   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>shoreface</i> y <i>offshore</i> marinos.</li> <li>- estuarios dominados por oleaje y marea.</li> <li>- deltas de ambientes marinos y continentales.</li> <li>- depósitos de tormenta.</li> <li>- lóbulos y canales de corrientes de densidad intra y extracanales.</li> </ul> |  |



## CANALES

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |               |               |   |
|---|---------------|---------------|---|
| LINEALES  | ESTRAIALES    | CONSTRUCTIVAS | Óndulas<br>Dunas<br>Barras<br>Laminación paralela y lineación <i>parting</i><br><i>Hummocky-Swaley</i>                |
|   |               | EROSIVAS      | Canales<br>Crestas y surcos<br>Marcas de fondo<br>Marcas acanaladas<br>Marcas de estrías<br>Marcas de gotas de lluvia |
|   | SUBESTRAIALES |               | Calcos de crestas y surcos<br>Calcos de marcas acanaladas<br>Calcos de marcas de estrías                              |

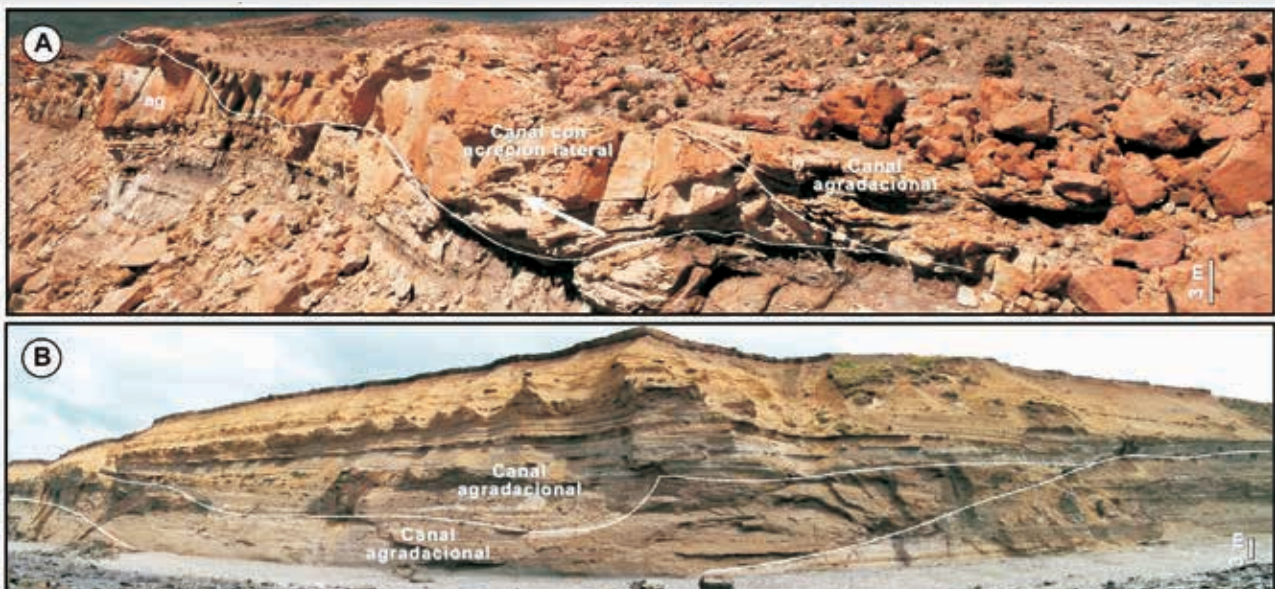
Los canales son depresiones alargadas por donde circula un flujo turbulento unidireccional. Uno de los criterios para reconocer depósitos canalizados dentro de una sucesión de estratos es la presencia de una superficie de erosión con geometría lenticular. El tamaño de los canales puede variar desde menos de un metro a

muchas decenas de metros de profundidad, y alcanzar decenas de metros de ancho. Una de las principales características de los canales es que el flujo que los genera se mantiene confinado dentro de la superficie erosiva, a diferencia de otros tipos de flujos que producen superficies erosivas y que no se encuentran confinados (e.g. marcas de escurrimiento, marcas de surcos). Según su trazado, los canales pueden ser de alta sinuosidad, caracterizados por mostrar en su relleno estructuras de acreción lateral (Fig. 2.36 A), o de baja sinuosidad, caracterizados por mostrar en su relleno una marcada relación de *onlap* en sus márgenes (Figs. 2.36 B, 2.37 A, B). Los canales aparecen en ambientes sedimentarios muy distintos, desde fluviales a abanicos turbidífticos abisales, pasando por deltas, llanuras de marea y abanicos aluviales, entre otros. Estas estructuras sedimentarias sirven como criterio de polaridad e indican la dirección de las paleocorrientes.

Debido a que las coronas y las imágenes de pozo son datos puntuales (ver Capítulo 1), el reconocimiento de canales a partir de su análisis es sumamente difícil y debe ser complementado con estudios de líneas sísmicas o datos de afloramiento. En general los canales muestran superficies erosivas y arreglos con gradación normal, y pueden incluir diferentes granulometrías (Fig. 2.37 C-G).

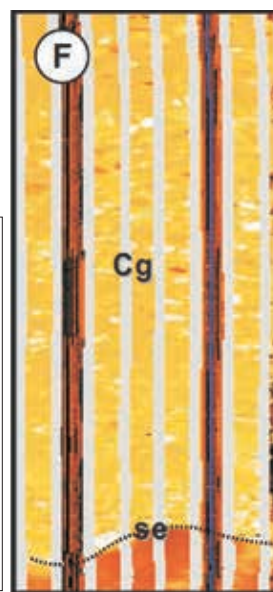
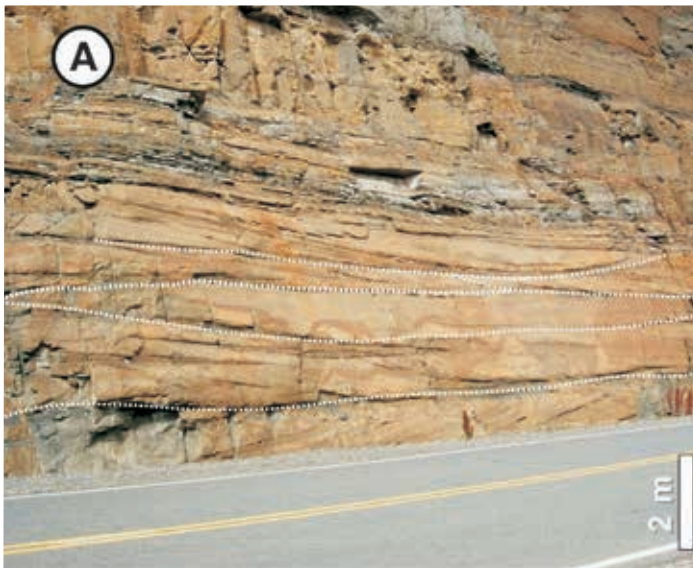
**FIGURA 2.36.**

**A.** Canales de alta sinuosidad con desarrollo de estructuras de acreción lateral (la flecha indica la dirección de migración del canal), generados durante descargas hiperpícnicas en áreas de frente del-taico proximal de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **B.** Canales multievento y multihistoria de baja sinuosidad, producidos por descargas hiperpícnicas en ambientes marinos profundos de las *Capas del Cabo Viamonte* (Mioceno Medio), Cuenca Austral.



**FIGURA 2.37.**

**A.** Areniscas medias a finas acumuladas en sistemas de canales (líneas punteadas) correspondientes a sistemas deltaicos fluvio-dominados de la *Formación Río Turbio* (Eoceno), Cuenca Austral.  
**B.** Areniscas medias a finas acumuladas en sistemas de canales (líneas punteadas) y lóbulos, correspondientes a depósitos de derrame en sistemas fluviales de la *Formación Candeleros* (Cretácico), Cuenca Neuquina.  
**C.** Testigo corona mostrando depósitos de heterolitas deformadas (He) y conglomerados (Cg) con gradación normal, separados por una superficie erosiva (se), correspondientes a depósitos de canales hiperpícnicos de la *Formación Los Molles* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra indica 10 cm.  
**D.** Testigo corona mostrando conglomerados con estratificación entrecruzada tangencial (Cget) acumulados sobre una superficie erosiva (es), correspondientes a corrientes de densidad fluvio-derivadas de la *Formación Sierras Blancas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra indica 5 cm.  
**E.** Testigo corona mostrando depósitos de conglomerados masivos (Cg) acumulados sobre una superficie erosiva (se), correspondientes a corrientes de densidad fluvio-derivadas de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra indica 10 cm.  
**F.** Imagen de pozo mostrando depósitos de conglomerados (Cg) con gradación normal y base erosiva (se), correspondientes a depósitos de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra representa 2 m.  
**G.** Imagen de pozo mostrando depósitos de conglomerados (Cg) con gradación normal y base erosiva (se), correspondientes a depósitos de la *Formación Punta Rosada* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra indica 1 m.



**CLASIFICACIÓN**

|                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| Momento de formación    | Primaria                  |
| Ubicación en el estrato | Estratales                |
| Origen                  | Corriente (erosivas)      |
| Polaridad               | Indican                   |
| Paleocorriente          | Direccionales (dirección) |

**OCURRENCIA**

- sistemas fluviales.
- abanicos aluviales proximales.
- estuarios dominados por marea.
- en frentes deltaicos de ambientes marinos y continentales.
- posiciones proximales de corrientes de densidad intra y extracuencales.
- corrientes de contorno.



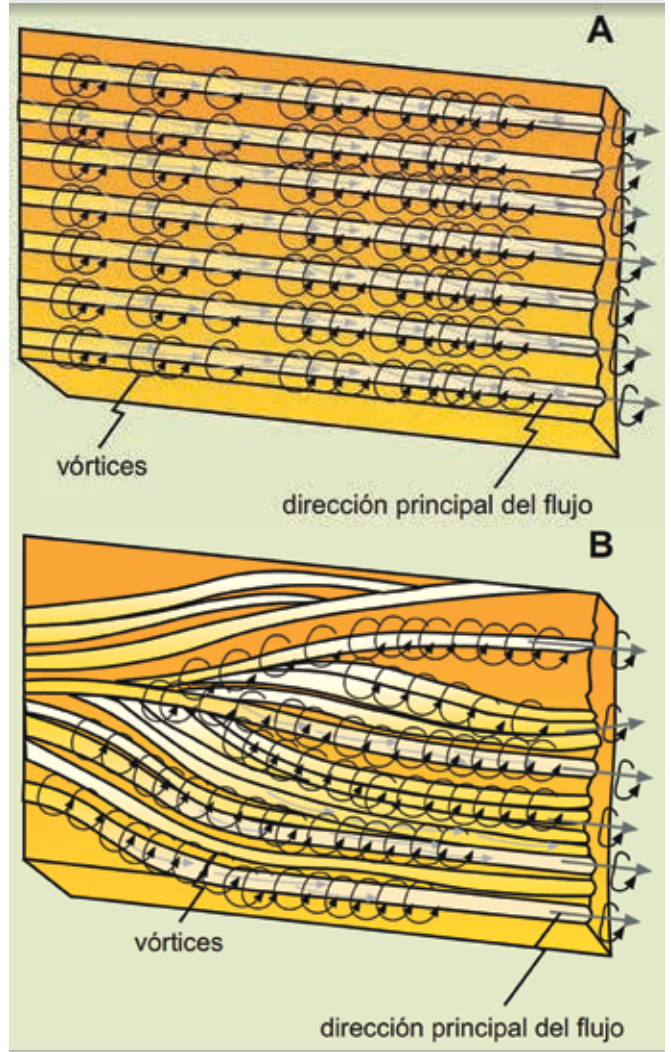
## MARCAS DE FONDO: CRESTAS Y SURCOS

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |               |               |   |
|---|---------------|---------------|---|
| LINEALES  | ESTRAIALES    | CONSTRUCTIVAS | Óndulas<br>Dunas<br>Barras<br>Laminación paralela y lineación <i>parting Hummocky-Swaley</i>                          |
|   |               | EROSIVAS      | Canales<br>Marcas de fondo<br>Crestas y surcos<br>Marcas acanaladas<br>Marcas de estrías<br>Marcas de gotas de lluvia |
|   | SUBESTRAIALES |               | Calcos de crestas y surcos<br>Calcos de marcas acanaladas<br>Calcos de marcas de estrías                              |

Estas estructuras comprenden un conjunto alternante de pequeñas crestas y surcos desarrollados de manera paralela a la corriente. La separación entre ambos puede ser de unos pocos milímetros a varios centímetros. Su origen se debe al desarrollo de pequeños vórtices perpendiculares a la dirección principal del flujo y cercanos a la superficie del sustrato (Allen, 1971). Estos vórtices generan zonas de máxima erosión que dejan su impronta en el sustrato, y cuyos ejes son paralelos a la dirección principal del flujo (Fig. 2.38). Existe una relación entre la velocidad del flujo y la intensidad y ángulo de bifurcación de los cordones. Altas velocidades tienden a producir cordones paralelos (Figs. 2.38 A, 2.39 A, B), mientras que bajas velocidades muestran cordones coalescentes (Figs. 2.38 B, 2.39 C). Estas estructuras indican dirección del flujo y generalmente se encuentran preservadas a la base de niveles arenosos donde constituyen calcos de surco (estructura sedimentaria subestratal). Este tipo de estructuras sedimentarias son sumamente difíciles de reconocer en testigos corona e imágenes de pozo.

**FIGURA 2.38.**

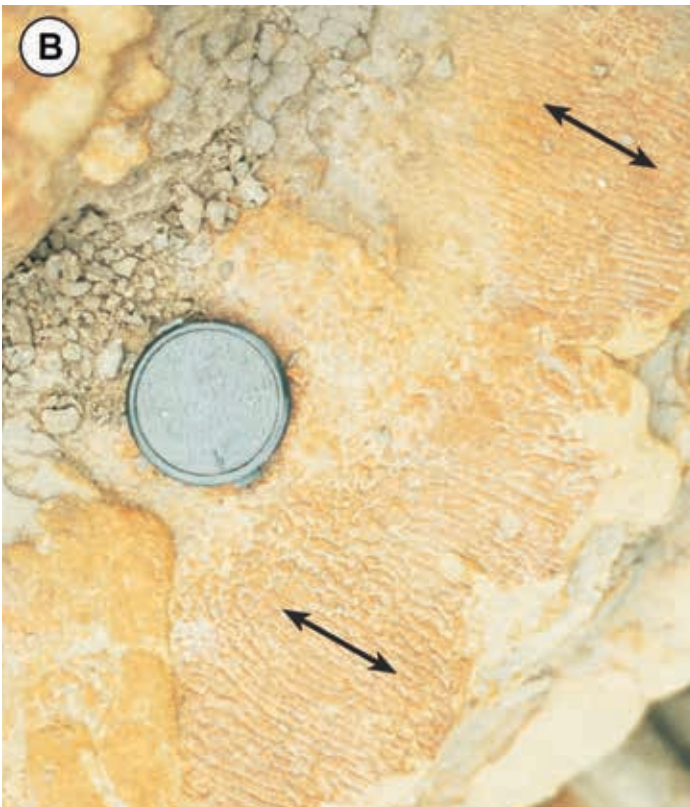
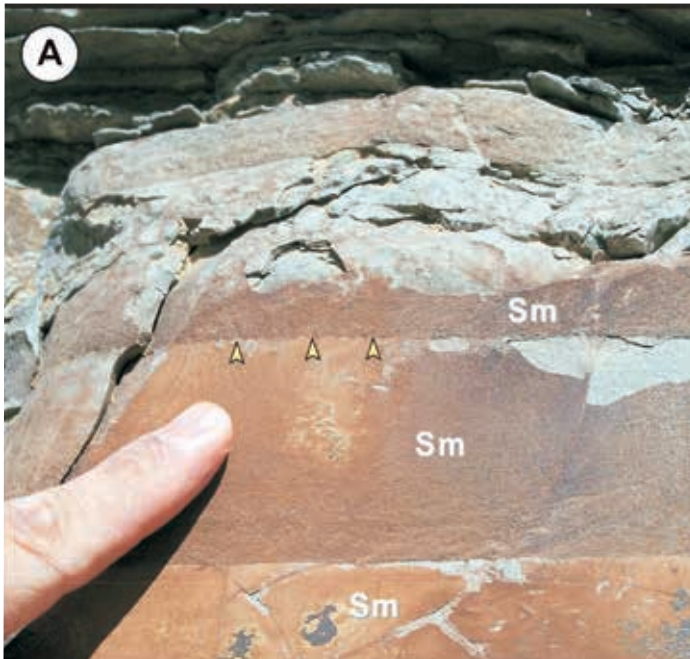
Esquemas que muestran el patrón de movimiento de los filetes de flujo asociados con el desarrollo de los surcos y crestas longitudinales. **A.** Filetes de flujo paralelos desarrollados a altas velocidades. **B.** Filetes de flujo coalescentes producidos a bajas velocidades. Tomado y modificado de Conybeare y Crook (1968).



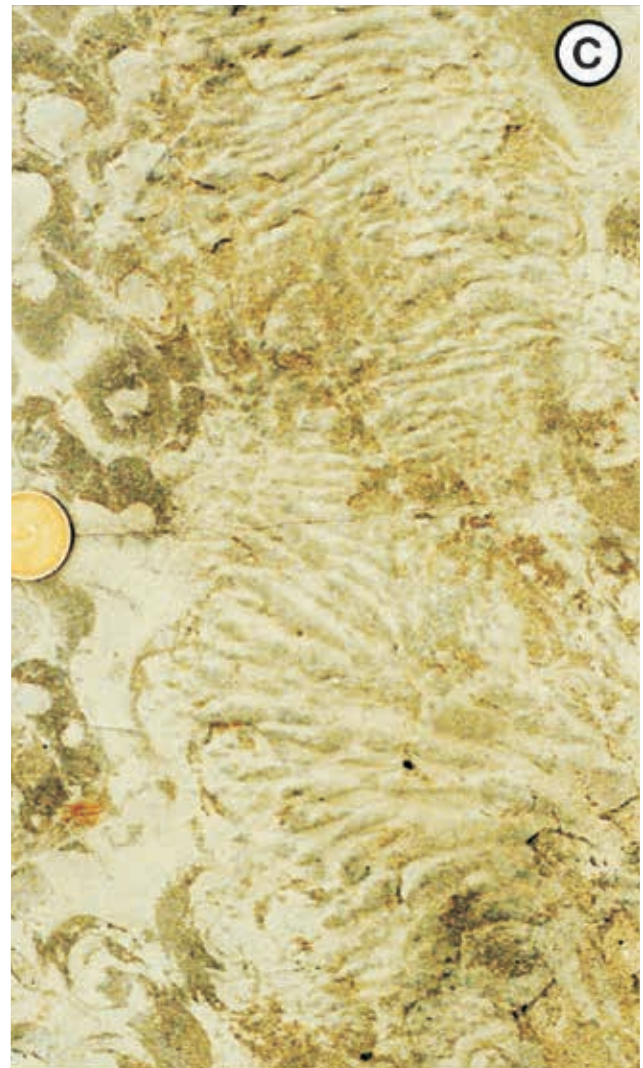
Conybeare, C.E.B., y K.A.W. Crook, 1968. *Manual of sedimentary structures*. Department of National Development, Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Bull. 102-327.

**FIGURA 2.39.**

**A.** Vista en sección de niveles de areniscas masivas (Sm) con estructuras de crestas y surcos (flechas amarillas), correspondientes a depósitos de albardón de canales turbidíticos desarrollados en ambientes marinos profundos, *Capas del Cabo Viamonte* (Mioceno Medio), Cuenca Austral. **B.** Vista en planta de un nivel arenisca fina con estructuras de crestas y surcos con cordones paralelos, correspondientes a depósitos de lóbulos turbidíticos desarrollados en ambientes marinos profundos, *Capas del Cabo San Pablo* (Mioceno Medio), Cuenca Austral. **C.** Vista en planta de niveles de areniscas finas con estructuras de crestas y surcos que muestran cordones divergentes, correspondientes a depósitos de lóbulos turbidíticos desarrollados en ambientes marinos profundos, *Capas del Cabo San Pablo* (Mioceno Medio), Cuenca Austral.



| CLASIFICACIÓN  |                           |
|--|---------------------------|
| Momento de formación   | Primaria                  |
| Ubicación en el estrato  | Estratales                |
| Origen   | Corriente (erosivas)      |
| Polaridad  | No indican                |
| Paleocorriente   | Direccionales (dirección) |
| OCURRENCIA   |                           |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- sistemas fluviales.</li> <li>- abanicos aluviales proximales.</li> <li>- estuarios dominados por oleaje y marea.</li> <li>- deltas de ambientes marinos y continentales.</li> <li>- <i>shoreface</i> marino y lacustre.</li> <li>- depósitos de tormenta.</li> <li>- canales, abardones y lóbulos de corrientes de densidad intra y extracuencales.</li> <li>- corrientes de contorno.</li> </ul> |                           |



## MARCAS DE FONDO: ACANALADAS Y DE ESTRÍAS

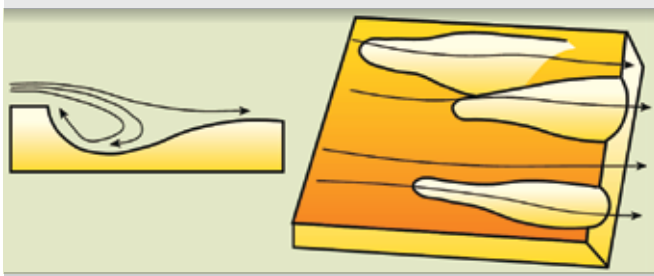
| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |             |               |   |
|---|-------------|---------------|---|
| LINEALES  | ESTRALES    | CONSTRUCTIVAS | Óndulas<br>Dunas<br>Barras<br>Laminación paralela y lineación <i>parting</i><br><i>Hummocky-Swaley</i>                |
|   |             | EROSIVAS      | Canales<br>Marcas de fondo<br>Crestas y surcos<br>Marcas acanaladas<br>Marcas de estrías<br>Marcas de gotas de lluvia |
|   | SUBESTRALES |               | Calcos de crestas y surcos<br>Calcos de marcas acanaladas<br>Calcos de marcas de estrías                              |

### MARCAS ACANALADAS

Las marcas acanaladas (*flute mark*) son depresiones discontinuas provocadas por la aceleración y separación de flujo que una corriente experimenta cuando circula por pequeñas depresiones (Collinson y Thompson, 1989). Las marcas de acanaladura pueden ser simétricas cuando se las observa en un corte perpendicular al flujo, o asimétricas en el caso de corresponder a una sección longitudinal al flujo. Pueden medir hasta 50 cm de largo y tener una profundidad de hasta 25 cm. En planta el extremo proximal es redondeado y de contornos netos, mientras que en la zona distal se va atenuando el relieve hasta desaparecer (Fig. 2.40). Generalmente lo que se preserva es el molde o calco de la acanaladura (*flute cast*) a la base de la capa suprayacente, el cual es generalmente arenoso. Estas estructuras sirven como criterio de pola-

**FIGURA 2.40.**

Esquema que muestra las características de las marcas de flujos en sección y en planta.



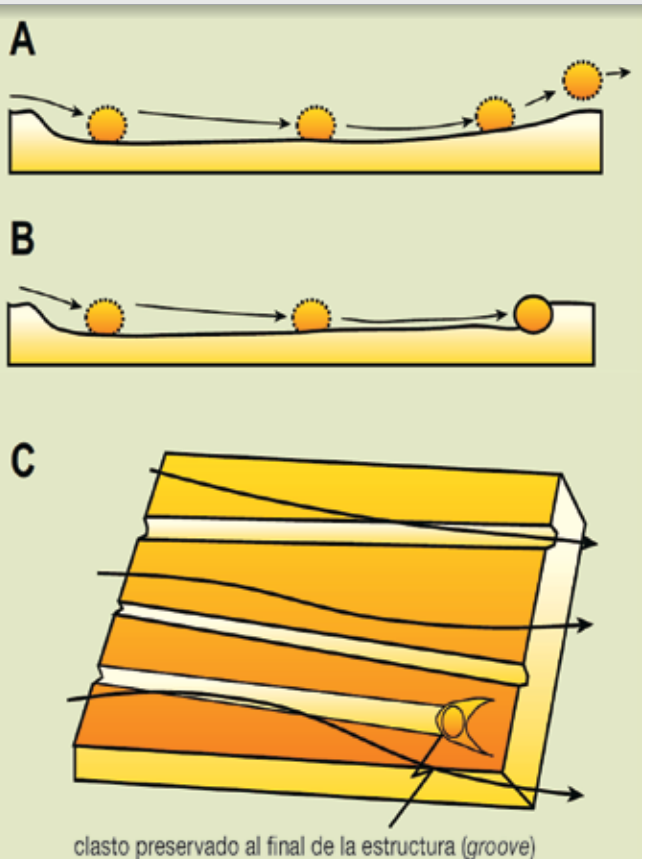
ridad (techo y base de un estrato), e indican dirección y sentido (si el perfil longitudinal es asimétrico).

### MARCAS DE ESTRÍAS

Las marcas de estrías son surcos de forma alargada, frecuentemente semicilíndricos y estriados en dirección longitudinal (Figs. 2.41, 2.42 A, B). Son las impresiones formadas por objetos transportados en el flujo (marcas de herramientas) sobre el techo de un estrato pelítico no consolidado (Allen, 1982), o de areniscas finas a muy finas (Fig. 2.42 A, B). Los objetos que producen estas estructuras (e.g. clastos, fósiles, etc.) pueden o no quedar hundidos al final del surco (*groove*), y generar marcas de obstáculos (Figs. 2.41 B, C; flecha amarilla en 2.42 B). Estas estructuras erosivas sirven como criterio de polaridad y de paleocorriente (dirección). Es más frecuente encontrar el calco de la estructura en la base del estrato suprayacente que la marca en el techo del infrayacente.

**FIGURA 2.41.**

Esquema que muestra la generación de las marcas de estrías sin y con preservación del objeto (A-B respectivamente). C. Vista en planta de las marcas de estrías donde se indica la preservación de un objeto (*groove*) y la sombra de flujo que produce.



**FIGURA 2.42.**

**A.** Marcas de estrias producidas al techo de un banco de areniscas finas, correspondiente a sistemas de canales de la *Formación Chinle* (Triásico), EE.UU. **B.** Marcas de objetos al techo de un banco de areniscas medias a gruesas con marcas de objetos, correspondiente a depósitos de lóbulo de las *Capas del Cabo San Pablo* (Mioceno Inferior), Cuenca Austral. **C.** Marcas de estrias y obstáculos producidas al techo de niveles de areniscas finas, acumulados por depósitos de tormenta de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. Nótese que las flechas en **A-B** marcan dirección, mientras que en **C** marcan dirección y sentido.



| CLASIFICACIÓN           |                                     |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Momento de formación    | Primaria                            |
| Ubicación en el estrato | Estratales                          |
| Origen                  | Corriente (erosivas)                |
| Polaridad               | Indican                             |
| Paleocorriente          | Direccionales (dirección y sentido) |

| OCURRENCIA  |  |
|---|--|
| - canales de sistemas fluviales.  |  |
| - abanicos aluviales proximales.  |  |
| - deltas de ambientes marinos y continentales.                                    |  |
| - depósitos de tormenta.  |  |
| - canales, albardones y lóbulos de corrientes de densidad intra y extracuencales. |  |
| - corrientes de contorno.   |  |



## MARCAS DE GOTAS DE LLUVIA

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |               |               |   |
|---|---------------|---------------|---|
| LINEALES  | ESTRATALES    | CONSTRUCTIVAS | Óndulas<br>Dunas<br>Barras<br>Laminación paralela y lineación <i>parting Hummocky-Swaley</i>                          |
|   |               | EROSIVAS      | Canales<br>Crestas y surcos<br>Marcas de fondo<br>Marcas acanaladas<br>Marcas de estrías<br>Marcas de gotas de lluvia |
|   | SUBESTRATALES |               | Calcos de crestas y surcos<br>Calcos de marcas acanaladas<br>Calcos de marcas de estrías                              |

Estas marcas constituyen rasgos erosivos producidos por el impacto de las gotas de agua sobre un sustrato poco consolidado (limos y arcillas). Estas estructuras sedimentarias conforman pequeñas depresiones de geometría circular a semicircular de diferentes diámetros (Fig. 2.43). Las marcas de gotas de lluvia indican polaridad de las capas, y cuando se encuentran asociadas a grietas de desecación, exposición subaérea (Fig. 2.43 A). El reconocimiento de las estructuras de gotas de lluvia debe descartar un origen bacteriano (tapetes microbiales), ya que la actividad de estos organismos genera escapes de gas (*gas domes*) que pueden quedar preservados como molde negativo y ser confundidos con estas estructuras (Fig. 2.43 B). Este tipo de estructuras sedimentarias son difíciles de reconocer en testigos corona y en imágenes de pozo.

| CLASIFICACIÓN           |            |
|-------------------------|------------|
| Momento de formación    | Primaria   |
| Ubicación en el estrato | Estratales |
| Origen                  | Erosivas   |
| Polaridad               | Indican    |

**OCURRENCIA**

- llanuras de inundación en sistemas fluviales.
- interdunas húmedas.
- planicies de estuarios y deltas.

**FIGURA 2.43.**

**A.** Vista en planta de niveles de fangos y limos laminados (MI) con grietas de desecación y marcas de gotas de lluvia, correspondientes a una llanura de inundación actual. **B.** Vista en planta de areniscas muy finas con óndulas de corriente (Sr) que muestran estructuras de escape de gas (*gas domes*) producidas por actividad bacteriana, correspondiente a depósitos de llanuras de inundación del Jurásico de Canadá.



## CALCOS DE CRESTAS Y SURCOS

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |               |               |   |
|---|---------------|---------------|---|
| LINEALES  | ESTRATALES    | CONSTRUCTIVAS | Óndulas<br>Dunas<br>Barras<br>Laminación paralela y lineación <i>parting</i><br><i>Hummocky-Swaley</i>                |
|   |               | EROSIVAS      | Canales<br>Crestas y surcos<br>Marcas de fondo<br>Marcas acanaladas<br>Marcas de estrías<br>Marcas de gotas de lluvia |
|   | SUBESTRATALES |               | Calcos de crestas y surcos<br>Calcos de marcas acanaladas<br>Calcos de marcas de estrías                              |

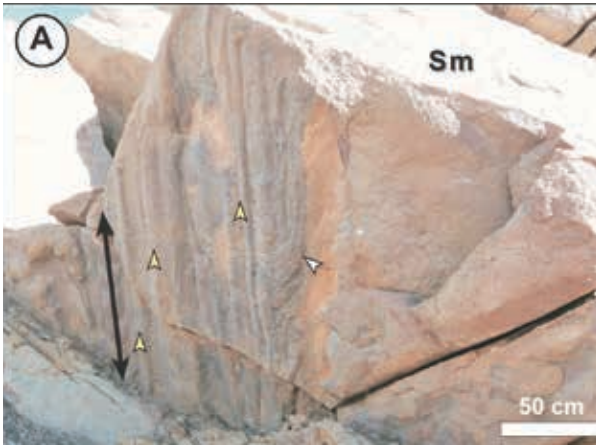
| CLASIFICACIÓN           |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| Momento de formación    | Primaria                  |
| Ubicación en el estrato | Substratales              |
| Origen                  | Corriente (erosivas)      |
| Polaridad               | Indican                   |
| Paleocorriente          | Direccionales (dirección) |

| OCURENCIA  |
|--|
| - canales de sistemas fluviales.   |
| - depósitos de tormenta.   |
| - canales, lóbulos y albardones proximales de turbiditas extra e intracuencales. |
| - corrientes de contorno.  |

**FIGURA 2.44.**

**A.** Vista basal de marcas de crestas y surcos en areniscas masivas muy finas (Sm), correspondientes a lóbulos turbidíticos de la *Formación Las Molles* (Jurásico), Cuenca Neuquina. Nótese que los surcos son paralelos (flechas amarillas) y coalescentes (flechas blancas), dependiendo de la velocidad del flujo. **B-D.** Vista basal de areniscas finas con laminación paralela (Sl) y marcas de crestas y surcos, correspondientes a depósitos de albardón de canales hiperpícnicos de las *Capas del Cabo Viamonte* (Mioceno Medio), Cuenca Austral. La flecha negra indica la dirección de paleocorriente.



## CALCOS DE MARCAS ACANALADAS

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |               |               |   |
|---|---------------|---------------|---|
| LINEALES  | ESTRATALES    | CONSTRUCTIVAS | Óndulas<br>Dunas<br>Barras<br>Laminación paralela y lineación <i>parting</i><br><i>Hummocky-Swaley</i>                |
|   |               | EROSIVAS      | Canales<br>Marcas de fondo<br>Crestas y surcos<br>Marcas acanaladas<br>Marcas de estrías<br>Marcas de gotas de lluvia |
|   | SUBESTRATALES |               | Calcos de crestas y surcos<br>Calcos de marcas acanaladas<br>Calcos de marcas de estrías                              |

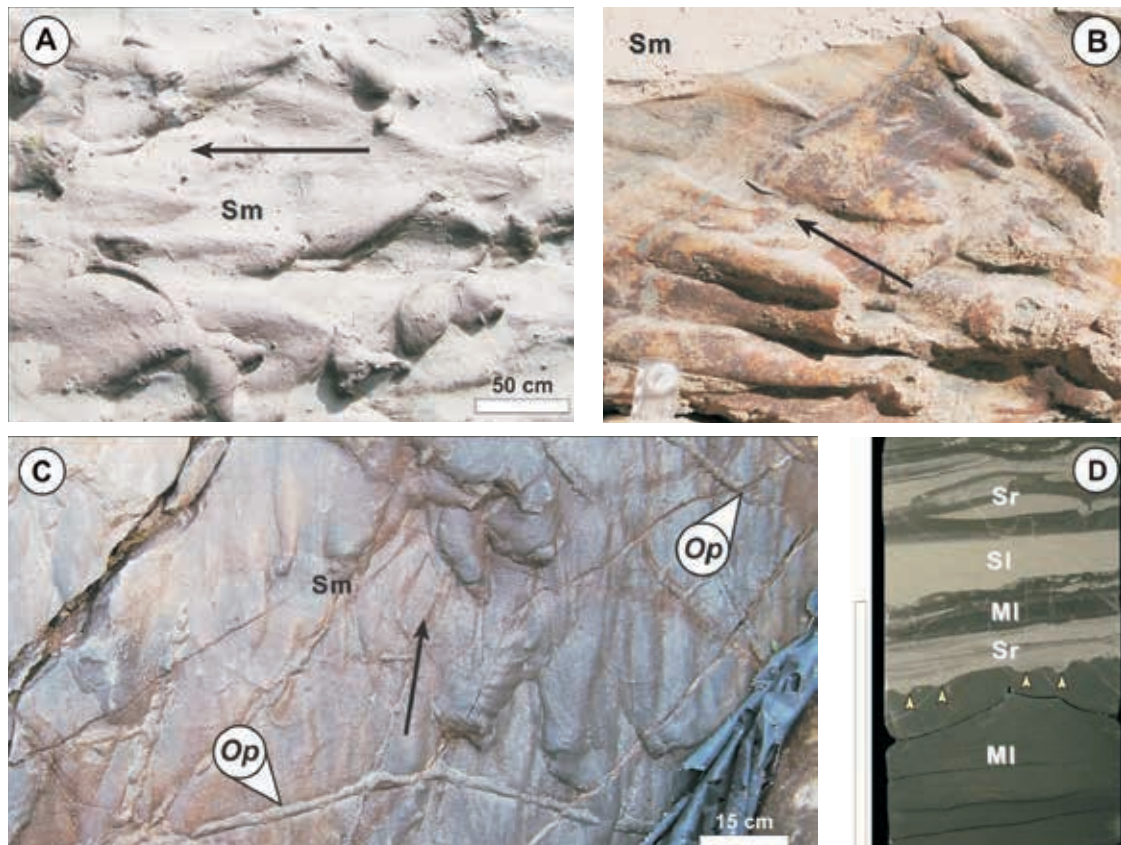
| CLASIFICACIÓN           |                                     |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Momento de formación    | Primaria                            |
| Ubicación en el estrato | Substratales                        |
| Origen                  | Corriente (erosivas)                |
| Polaridad               | Indican                             |
| Paleocorriente          | Direccionales (dirección y sentido) |

| OCURRENCIA   |
|--|
| - canales y depósitos de derrame fluvial.  |
| - depósitos de tormenta.   |
| - canales, lóbulos y albardones proximales de turbiditas extra e intracuencales. |
| - corrientes de contorno.  |

**FIGURA 2.45.**

**A.** Vista basal de un banco de areniscas finas masivas (Sm) con calcos de marcas de flujo, correspondiente a lóbulos hiperpícnicos de las *Capas del Cabo Viamonte* (Mioceno Medio), Cuenca Austral. **B.** Vista basal de areniscas medias a gruesas masivas (Sm) con calcos de marcas de flujo, producidos a la base de un canal turbidítico de la *Formación Los Molles* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **C.** Vista basal de un banco de areniscas muy finas masivas (Sm) con calcos de marcas de flujo y trazas asignadas a *Ophiomorpha*, correspondientes a depósitos de lóbulos turbidíticos de la *Formación Beloveza* (Eoceno), Cárpatos. Nótese que las flechas en **A-C** marcan dirección y sentido de la corriente. **D.** Testigo corona mostrando niveles de fangolitas laminadas (MI) y areniscas muy finas con óndulas de corriente (Sr) y calcos de marcas de flujo (flechas amarillas), correspondiente a depósitos de tormenta de la *Formación Centenario* (Cretácico Temprano), Cuenca Neuquina. La barra indica 10 cm.



## CALCOS DE MARCAS DE ESTRÍAS

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-DEPOSITACIONALES |  |                   |         |
|---|--|-------------------|---------|
| LINEALES  | ESTRATALES   | CONSTRUCTIVAS     | Óndulas |
|   |  |                   | Dunas   |
|   |  |                   | Barras  |
|   | Laminación paralela y lineación <i>parting</i><br><i>Hummocky-Swaley</i> |                   |         |
| EROSIVAS  | EROSIVAS   | Canales           |         |
|   |  | Marcas de fondo   |         |
|   |  | Marcas de estrías |         |
| Marcas de gotas de lluvia   |  |                   |         |
| SUBESTRATALES   | Calcos de crestas y surcos   |                   |         |
|   | Calcos de marcas acanaladas  |                   |         |
|   | Calcos de marcas de estrías  |                   |         |

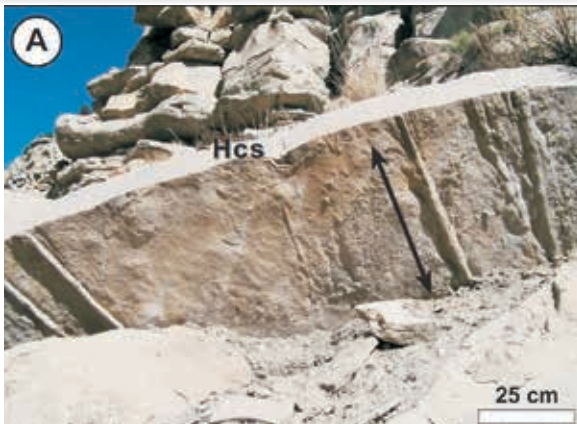
| CLASIFICACIÓN           |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| Momento de formación    | Primaria                  |
| Ubicación en el estrato | Subestratales             |
| Origen                  | Corriente (erosivas)      |
| Polaridad               | Indican                   |
| Paleocorriente          | Direccionales (dirección) |

| OCURRENCIA   |
|--|
| - canales y depósitos de derrame de sistemas fluviales.                          |
| - depósitos de tormenta.   |
| - canales, lóbulos y albardones proximales de turbiditas extra e intracuencales. |
| - corrientes de contorno.  |

**FIGURA 2.46.**

**A.** Vista basal de un banco de areniscas finas con estratificación entrecruzada tipo *hummocky* (Hcs) y calcos de marcas de estrías, correspondiente a tempestitas de *shoreface* de la *Formación Blackhawk* (Cretácico), EE.UU. **B.** Vista basal de areniscas medias a gruesas con calcos de marcas de estrías y trazas asignadas a *Cardioichnus* (Ca), producidos a la base de un lóbulo turbidítico de las *Capas del Cabo San Pablo* (Mioceno Inferior), Cuenca Austral. **C.** Vista basal de marcas de estrías con los objetos preservados al final de la estructura (flechas amarillas), generadas a la base de canales turbidíticos de la *Formación Los Molles* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **D.** Vista basal de niveles de areniscas calcáreas con marcas de obstáculos (flechas amarillas), correspondientes a depósitos de barras submareales de la *Formación Quintuco* (Cretácico), Cuenca Neuquina. Nótese que las flechas marcan dirección (**A-C**), y dirección y sentido (**D**) de la corriente.





# ESTRUCTURAS MECÁNICAS POSTDEPOSITACIONALES (DEFORMACIONALES)

## PLIEGUES POR DESLIZAMIENTO GRAVITACIONAL (SLUMPS)

### ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS MECÁNICAS-POSTDEPOSITACIONALES (DEFORMACIONALES)

#### Pliegues por deslizamiento gravitacional (*Slumps*)

Laminación y estratificación convoluta

Calcos de carga

Estructuras en almohadilla

Diques y filones clásticos

Estructuras de escape de fluidos

Grietas de desecación

Grietas de sinéresis

Estructuras en plato  
Volcanes de arena

Los pliegues por deslizamiento gravitacional (*slumps*) son deformaciones contemporáneas a la sedimentación, formadas por deslizamiento de una masa de estratos previamente depositados en ambientes subaéreos y subacuáticos (Maltman, 1994). El nombre de *slump* se reserva para designar procesos de deslizamientos por gravedad restringidos a zonas de quiebre de pendiente cuya magnitud de movimiento horizontal es pequeña (Figs. 2.47, 2.48). Los *slumps* se producen en una gran variedad de ambientes depositacionales que generalmente involucran zonas con una sustancial proporción de materiales finos, y sus dimensiones varían de pocos metros a centenares de metros de espesor. Se diferencian de los plegamientos tectónicos porque se encuentran limitados en base y techo por estratos no deformados. En algunos casos, las deformaciones que se producen dentro de los pliegues por deslizamiento gravitacional pueden estar preferencialmente orientadas, llegando a indicar la dirección de inclinación del paleotalud (Figs. 2.47, 2.48 C).

**FIGURA 2.47.**

**A.** Vista de un pliegue por deslizamiento gravitacional (*slump*), producido en flujos cohesivos de la *Formación Desdémona* (Oligoceno), Cuenca Austral. **B.** Vista de un pliegue por deslizamiento gravitacional (*slump*), producido en sistemas de dunas eólicas de las *Navajo Sandstones* (Jurásico), Estados Unidos.



**FIGURA 2.48.**

**A-B.** Estructuras de pliegues por deslizamiento gravitacional (*slumps*), producidos en un talud deposicional de la *Formación Los Molles* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **C.** Estructuras de pliegues por deslizamiento gravitacional (*slumps*, flecha amarilla), correspondientes a depósitos de albardón de canales hiperpícnicos de la *Formación Cerro Colorado* (Eoceno-Oligoceno), Cuenca Austral. **D.** Testigo corona mostrando estructuras de pliegues por deslizamiento gravitacional (*slumps*), producidos al frente de un sistema de barras de desembocadura deltaica de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra indica 20 cm. **E.** Imagen de pozo mostrando estructuras de pliegues por deslizamiento gravitacional (*slumps*) de la *Formación Agrio* (Cretácico), Cuenca Neuquina. La barra indica 2 m.



| CLASIFICACIÓN           |   |
|-------------------------|---|
| Momento de formación    | Secundaria  |
| Ubicación en el estrato | Endostratales   |
| Origen                  | Deformacionales   |
| Polaridad               | No indican  |
| Paleocorriente          | Direccionales (dirección de inclinación del paleotalud) |

| OCURRENCIA  |
|---|
| - albardones en sistemas fluviales.                           |
| - caras de avalancha de dunas eólicas.                        |
| - albardones de turbiditas extra e intracuencales.            |
| - talud deposicional de barras de deltas marinos y lacustres. |
| - talud.  |



## LAMINACIÓN Y ESTRATIFICACIÓN CONVOLUTA

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-POSTDEPOSITACIONALES (DEFORMACIONALES) |   |
|---|---|
| Pliegues por deslizamiento gravitacional ( <i>Slumps</i> )                                |   |
| Laminación y estratificación convoluta  |   |
| Calcos de carga   |   |
| Estructuras en almohadilla  |   |
| Diques y filones clásticos  |   |
| Estructuras de escape de fluidos  | Estructuras en plato<br>Volcanes de arena |
| Grietas de desecación   |   |
| Grietas de sinéresis  |   |

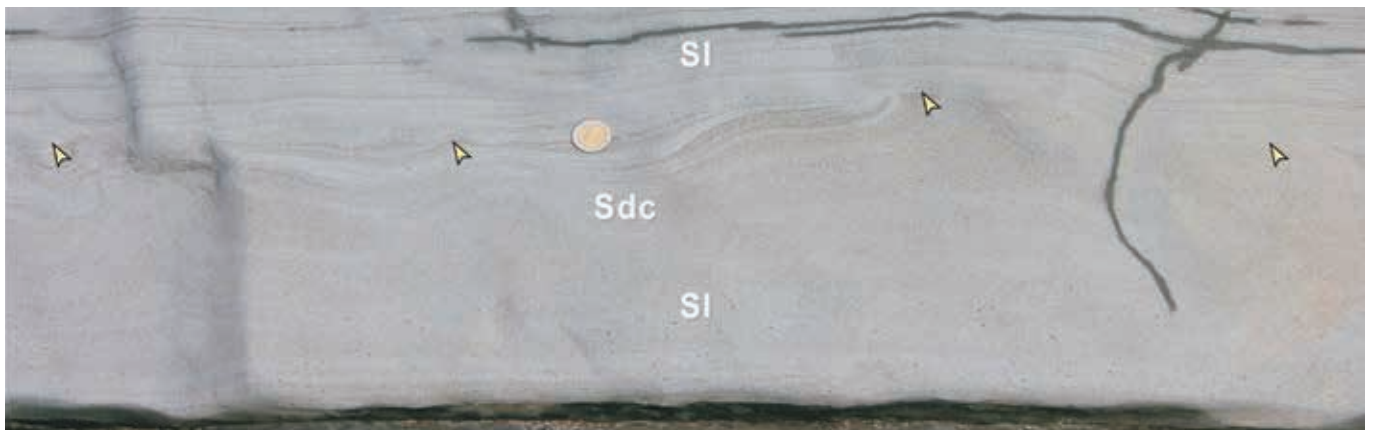
La laminación convoluta es una estructura integrada por una sucesión de láminas contorsionadas y reple-

gadas, producidas dentro de un estrato generalmente integrado por arenas finas o limos (Kuenen, 1953). Estas estructuras son más fáciles de reconocer en sección que en planta, y a menudo aparecen asociadas a estructuras de escape de fluidos (Collinson y Thompson, 1989). Internamente muestran geometrías complejas integradas por láminas que presentan pliegues de formas diversas y planos axiales perpendiculares u oblicuos a la estratificación. La deformación crece hacia la parte superior y el tope de la estructura puede estar truncado por erosión (Fig. 2.49).

Su génesis se relaciona con procesos concomitantes de deslizamiento de sedimentos plásticos y deformación por carga, asociados a una licuefacción parcial del material. La laminación convoluta es muy frecuente en depósitos turbidíticos (Figs. 2.49, 2.50 A), pero también ha sido reconocida en sedimentos de llanuras mareales, deltaicas y fluviales (Fig. 2.50 B-D). Estructuras de laminación convoluta vinculadas a deformación por carga producida por huellas de vertebrados han sido ampliamente documentadas en el registro fósil (Fig. 2.50 C).

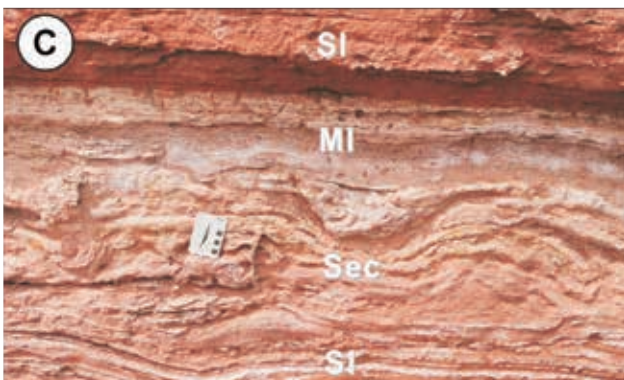
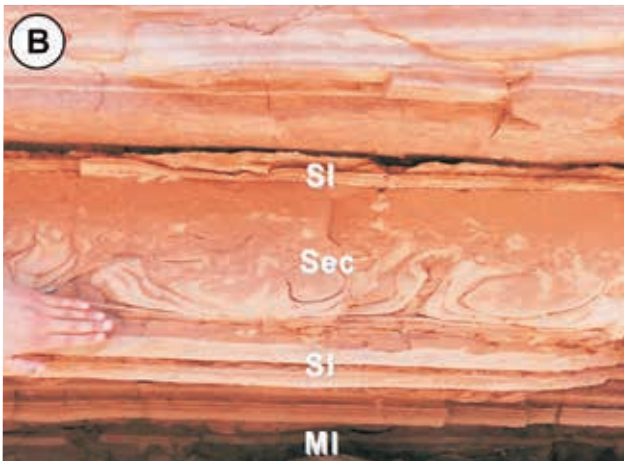
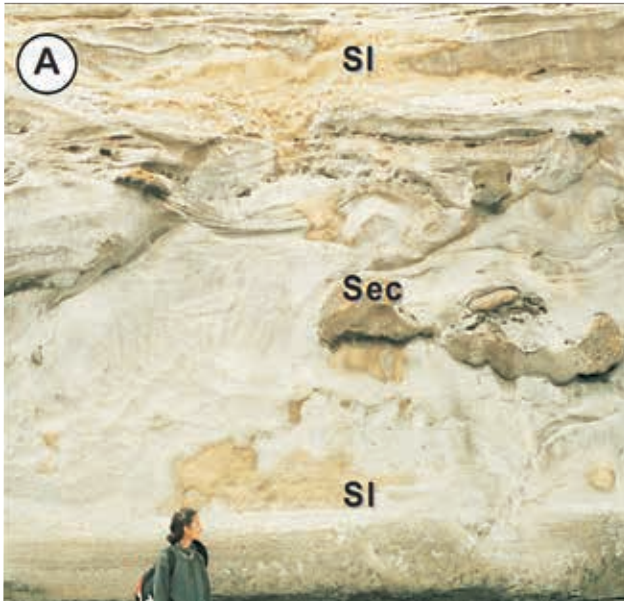
**FIGURA 2.49.**

Vista en sección de bancos de areniscas con estructuras de laminación paralela (SI) y deformación convoluta (Sdc), producidos en sistemas de lóbulos turbidíticos de la *Formación Cerro Colorado* (Eoceno), Cuenca Austral. Las flechas amarillas indican la presencia de una superficie de truncación al techo de las estructuras de laminación convoluta.



**FIGURA 2.50.**

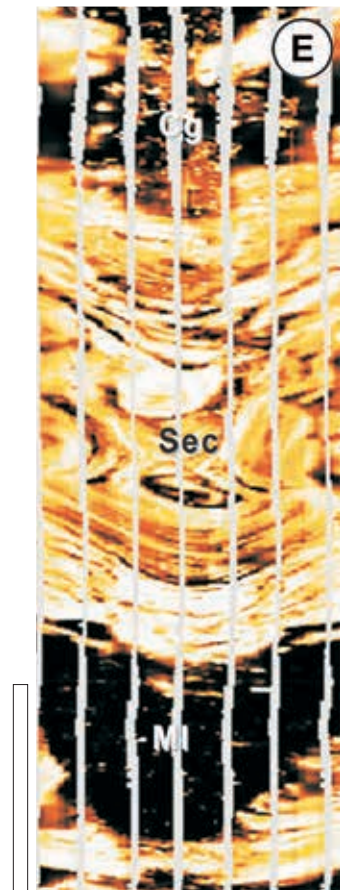
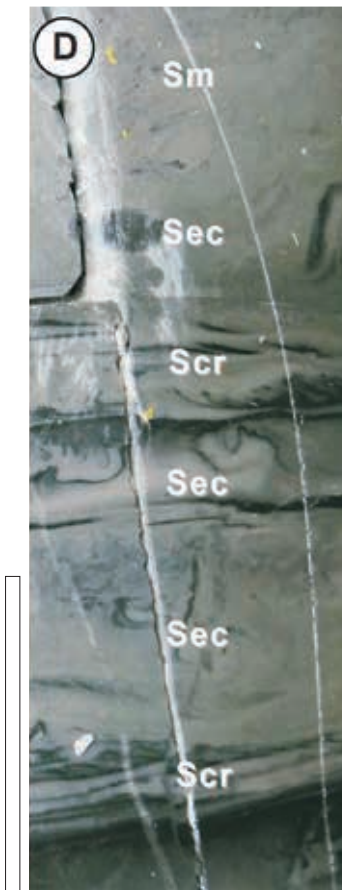
**A.** Areniscas medias a finas con laminación paralela (SI) y estratificación convoluta (Sec), correspondientes a sistemas de lóbulos y canales hiperpícnicos de las *Capas del Cabo San Pablo* (Mioceno), Cuenca Austral. **B.** Niveles de fangolitas laminadas (MI) y areniscas finas con laminación paralela (SI) y estratificación convoluta (Sec), correspondientes a depósitos de derrame de sistemas fluviales de la *Formación Candeleros* (Cretácico) Cuenca Neuquina. **C.** Areniscas finas con laminación paralela (SI) y estratificación convoluta (Sec), y fangolitas laminadas (MI), correspondientes a depósitos de interduna seca y húmeda. La deformación por carga que origina la laminación convoluta en estos depósitos es producida por pisadas de dinosaurios. Estos depósitos corresponden a la *Formación Allen* (Cretácico Tardío), Cuenca Neuquina. **D.** Testigo corona mostrando areniscas finas masivas (Sm), con óndulas escalantes (Scr) y estratificación convoluta (Sec), correspondiente a depósitos turbidíticos originados por desestabilización de un frente deltaico de la *Formación Tunas* (Pérmico), Cuenca Colorado-Claromecó. La barra indica 5 cm. **E.** Imagen de pozo mostrando fangolitas laminadas (MI), areniscas con laminación convoluta (SIc) y conglomerados (Cg) correspondientes a depósitos de frente deltaico de la *Formación Agrío* (Cretácico), Cuenca Neuquina. La barra indica 1 m.



| CLASIFICACIÓN           |                  |
|-------------------------|------------------|
| Momento de formación    | Secundaria       |
| Ubicación en el estrato | Endoestratales   |
| Origen                  | Deformacionales  |
| Polaridad               | No indican       |
| Paleocorriente          | No direccionales |

| OCURRENCIA  |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- canales y albardones en sistemas fluviales.</li> <li>- interdunas secas en sistemas eólicos.</li> <li>- barras de desembocadura en deltas marinos y lacustres.</li> <li>- barras de canales mareales en estuarios.</li> <li>- depósitos de tormenta.</li> <li>- canales y albardones de turbiditas extra e intracuencales.</li> <li>- corrientes de contorno.</li> </ul> |  |



## CALCOS DE CARGA Y ESTRUCTURAS EN ALMOHADILLA

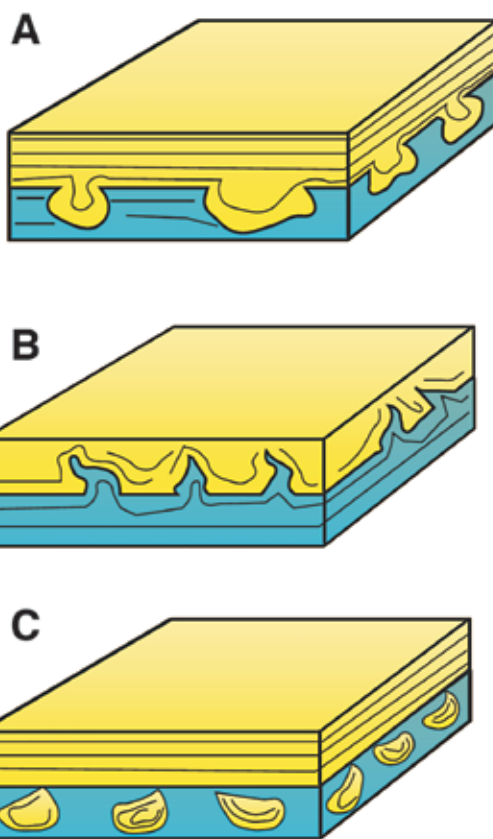
| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-POSTDEPOSITACIONALES (DEFORMACIONALES) |   |
|---|---|
| Pliegues por deslizamiento gravitacional ( <i>Slumps</i> )                                |   |
| Laminación y estratificación convoluta  |   |
| Calcos de carga   |   |
| Estructuras en almohadilla  |   |
| Diques y filones clásticos  | Estructuras en plato<br>Volcanes de arena |
| Estructuras de escape de fluidos  |   |
| Grietas de desecación   |   |
| Grietas de sinéresis  |   |

Los calcos de carga son protuberancias irregulares que sobresalen de la base de un estrato generalmente arenoso (Allen, 1982). El tamaño de las estructuras oscila entre pocos milímetros y varios centímetros, y pueden aparecer de manera aislada o conformando grupos apretados (Figs. 2.51 A, 2.52 A, D). Son estructuras que permiten determinar polaridad. El mecanismo básico de formación es la gravedad actuando sobre la diferencia de densidad que existe entre las capas (Collinson y Thompson, 1989). La porosidad de los fangos es generalmente más elevada respecto a la de las areniscas, aun en aquellas depositadas rápidamente. Por lo tanto, si una capa de arena se deposita rápidamente sobre una capa de fango, la arena (debido a su mayor densidad) se hundirá dentro del fango por carga. Si la viscosidad entre los estratos es similar, las deformaciones son simétricas; si por el contrario hay mucha diferencia de viscosidad, los materiales pelíticos se deforman a modo de crestas agudas que se elevan como llamas (*flame*), y penetran en el nivel arenoso (Figs. 2.51 B, 2.52 B, E). La génesis de las estructuras en almohadilla es semejante a la de las estructuras de calcos de carga; la diferencia radica en que en las estructuras de almohadilla hay ruptura de los estratos (Figs. 2.51 C, 2.52 C, E), llegando a formarse en algunos casos pseudonódulos. Estas estructuras fueron descriptas por primera vez por

Smith (1916), y se caracterizan por presentar formas variables, aunque generalmente son planas o cóncavas hacia el techo y convexas hacia la parte inferior, con diámetros que oscilan entre algunos centímetros a una decena de metros. Frecuentemente se desarrollan en fangolitas, en las que las almohadillas son de areniscas. En ambos casos las almohadillas quedan rodeadas parcial o totalmente por el estrato infrayacente. Al igual que las estructuras de calcos de carga, las estructuras en almohadilla sirven como criterios de polaridad.

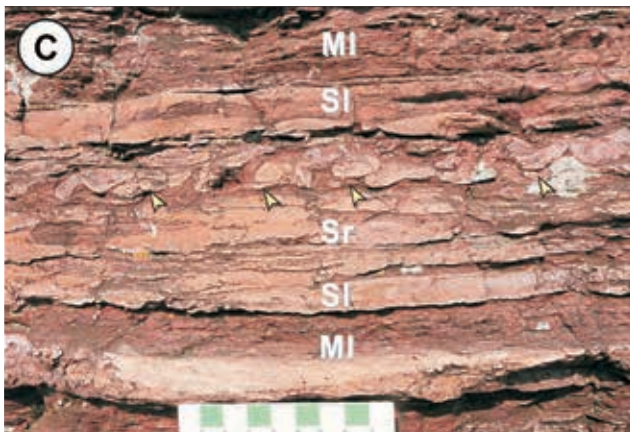
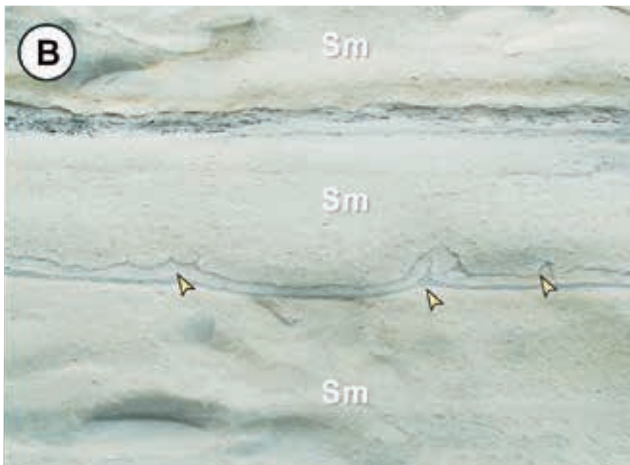
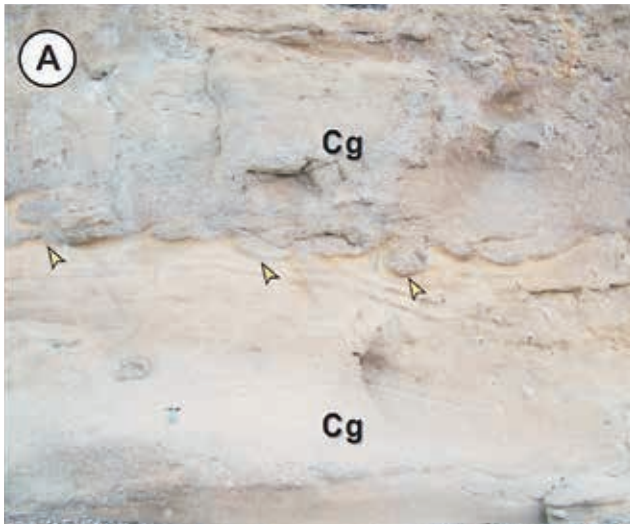
**FIGURA 2.51.**

Esquemas que muestran los diferentes tipos de estructuras de calcos de carga y en almohadilla. **A.** Calco de carga producido cuando la viscosidad entre los estratos es similar. **B.** Calco de carga producido cuando la viscosidad entre capas es diferente (*flame*). **C.** Estructuras en almohadilla generadas cuando existe ruptura de estratos.



**FIGURA 2.52.**

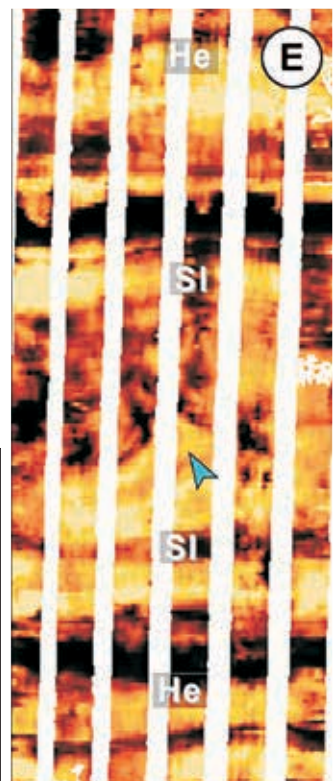
**A.** Conglomerados finos y gruesos (Cg) con estructuras de calco de carga (flechas amarillas), producidos a la base de canales turbidíticos de las *Capas del Cabo Viamonte* (Mioceno Medio), Cuenca Austral. **B.** Areniscas finas masivas (Sm) y fangolitas masivas con estructuras de calcos de carga (*flame*, flechas amarillas), correspondientes a depósitos de lóbulos hiperpícnicos de las *Capas del Cabo Ladrillero Inferior* (Mioceno Inferior), Cuenca Austral. **C.** Niveles de heterolitas con estructuras en almohadilla (flechas amarillas), correspondientes a facies de prodelta de la *Formación Grinnell* (Mesoproterozoico), Canadá. **D.** Testigo corona mostrando fangolitas masivas (Mm) y areniscas finas con óndulas de corriente (Sr), óndulas escaltantes (Scr), calcos de carga (flecha blanca) y pequeñas estructuras en almohadilla (flechas amarillas), correspondientes a depósitos de prodelta de la *Formación Centenario* (Cretácico), Cuenca Neuquina. La barra representa 10 cm. **E.** Imagen de pozo mostrando niveles de heterolitas (He), y areniscas con laminación paralela (Sl) y calcos de carga (*flame*, flecha azul), correspondientes a depósitos de albardón de la *Formación Rayoso* (Cretácico), Cuenca Neuquina. La barra representa 1 m.



| CLASIFICACIÓN           |                  |
|-------------------------|------------------|
| Momento de formación    | Secundaria       |
| Ubicación en el estrato | Subestratales    |
| Origen                  | Deformacionales  |
| Polaridad               | Indican          |
| Paleocorriente          | No direccionales |

| OCURRENCIA  |  |
|---|--|
| - canales, albardones y depósitos de derrame en sistemas fluviales.   |  |
| - abanicos aluviales.   |  |
| - barras de desembocadura y prodelta de deltas marinos y lacustres.   |  |
| - barras de canales mareales en estuarios.                            |  |
| - <i>shoreface</i> y <i>offshore</i> proximal.                        |  |
| - depósitos de tormenta.  |  |
| - canales, albardones y lóbulos de turbiditas extra e intracuencales. |  |
| - corrientes de contorno.   |  |



## DIQUES Y FILONES CLÁSTICOS

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-POSTDEPOSITACIONALES (DEFORMACIONALES) |                      |
|---|----------------------|
| Pliegues por deslizamiento gravitacional ( <i>Slumps</i> )                                |                      |
| Laminación y estratificación convoluta  |                      |
| Calcos de carga   |                      |
| Estructuras en almohadilla  |                      |
| Diques y filones clásticos  |                      |
| Estructuras de escape de fluidos  | Estructuras en plato |
| Grietas de desecación   | Volcanes de arena    |
| Grietas de sinéresis  |                      |

Estas estructuras constituyen cuerpos irregulares de areniscas dispuestos de manera concordante o discordante con la estratificación. Se pueden producir en

varias escalas, generalmente tienen algunos centímetros de ancho y pueden alcanzar centenares de metros de longitud (Figs. 2.53, 2.54).

Su génesis está ligada a la licuefacción de arenas de grano fino a muy fino saturadas en agua, que se comportan plásticamente y se inyectan, tanto hacia arriba como hacia abajo (Peterson, 1968; Allen, 1984). Aunque en general se encuentran integrados por areniscas finas, en algunos casos se han reconocido diques clásticos de conglomerados. Un caso particular ocurre cuando se generan diques clásticos de pequeña escala en sucesiones que alternan delgados niveles de areniscas y fangolitas (Fig. 2.54 C-E). En este tipo de sucesiones los diques clásticos pueden ser confundidos con grietas de sinéresis; la diferencia entre estos dos tipos de estructuras sedimentarias reside en que los microdiques clásticos conectan niveles de arena separados por fangolitas, mientras que las grietas de sinéresis se adelgazan rápidamente dentro de los niveles de fangolitas. La correcta interpretación de ambas estructuras sedimentarias es de gran importancia por la implicancia que tienen en cuanto a los procesos que las originan.

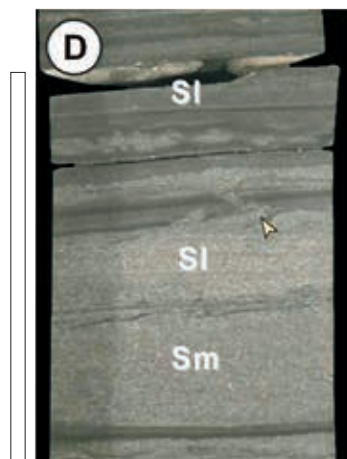
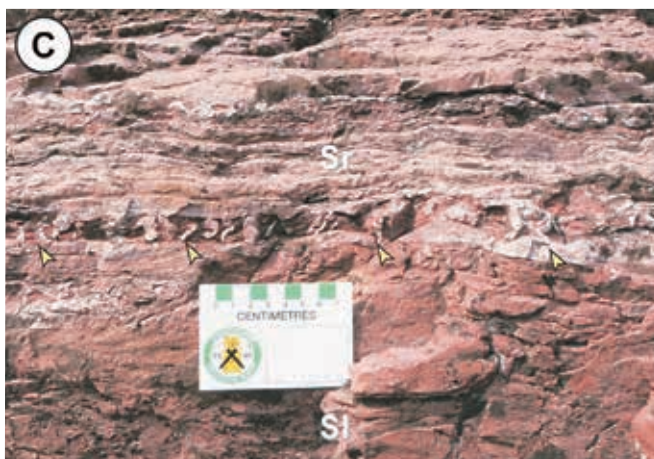
**FIGURA 2.53.**

Cuerpos tabulares de fangolitas con diques y filones clásticos (flechas amarillas), correspondientes a lóbulos turbidíticos distales (A), y bancos de areniscas y fangolitas con diques y filones clásticos (flechas amarillas), correspondientes a depósitos de canales y lóbulos hiperpícnicos (B), acumulados en las *Capas del Cabo Ladrillero* (Mioceno Inferior), Cuenca Austral.



**FIGURA 2.54.**

**A-B.** Niveles de areniscas gruesas con intraclastos de fangolitas cortados por diques clásticos (flechas amarillas), producidos en sistemas de canales y albardones turbidíticos de las *Capas del Cabo Viamonte* (Mioceno Medio), Cuenca Austral. **C.** Niveles de areniscas finas con laminación paralela (Sl), óndulas de corriente (Sr) y diques clásticos (flechas amarillas), correspondientes a depósitos de prodelta de la *Formación Grinnell* (Mesoproterozoico), Canadá. **D.** Testigo corona que muestra areniscas finas con laminación paralela (Sl) y diques clásticos (flechas amarillas) correspondientes a depósitos de barras de desembocadura deltaica de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra representa 10 cm. **E.** Testigo corona que muestra areniscas finas masivas (Sm), óndulas escalantes (Scr) y diques clásticos (flechas amarillas), correspondientes a depósitos de barras en zonas de *shoreface-offshore* de la *Formación Mulichinco* (Cretácico), Cuenca Neuquina. La barra representa 10 cm.



**CLASIFICACIÓN**

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| Momento de formación    | Secundaria       |
| Ubicación en el estrato | Endostratales    |
| Origen                  | Deformacionales  |
| Polaridad               | No indican       |
| Paleocorriente          | No direccionales |

**OCURRENCIA**

- al pie de frentes deltaicos marinos y lacustres.
- canales, albardones y lóbulos de turbiditas extra e intracaucales generados en un talud deposicional.



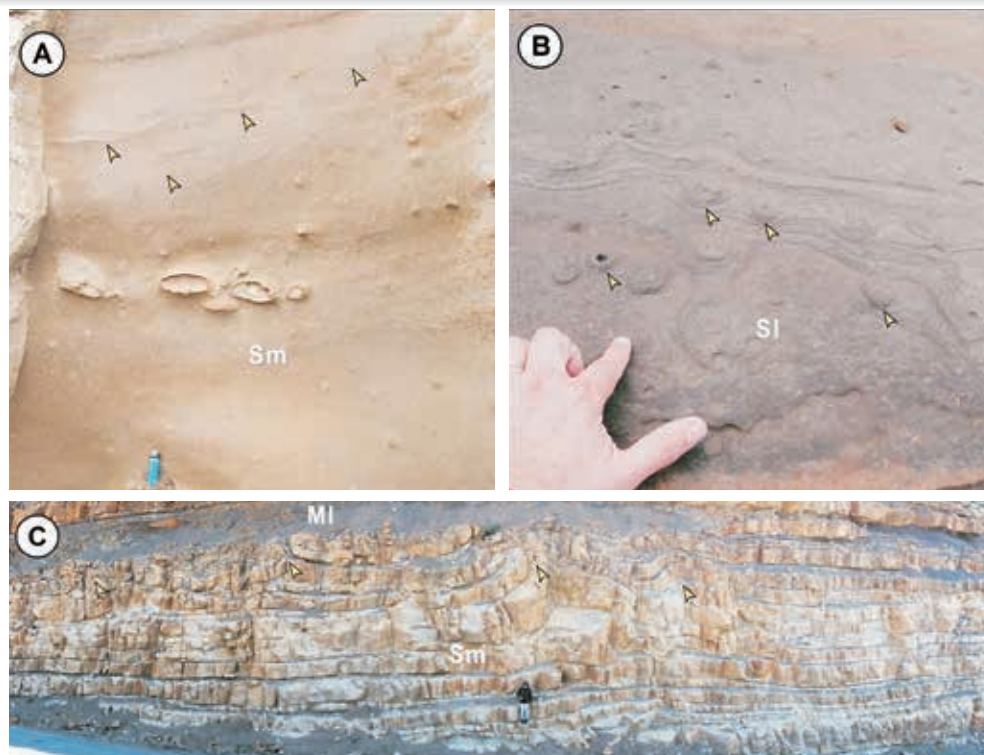
## ESTRUCTURAS DE ESCAPE DE FLUIDOS: EN PLATO Y VOLCANES DE ARENA

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-POSTDEPOSITACIONALES (DEFORMACIONALES) |   |
|---|---|
| Pliegues por deslizamiento gravitacional ( <i>Slumps</i> )                                |   |
| Laminación y estratificación convoluta  |   |
| Calcos de carga   |   |
| Estructuras en almohadilla  |   |
| Diques y filones clásticos  |   |
| Estructuras de escape de fluidos  | Estructuras en plato<br>Volcanes de arena |
| Grietas de desecación   |   |
| Grietas de sinéresis  |   |

Estas estructuras sedimentarias están formadas por la licuefacción e inyección de fluidos generalmente asociadas con depósitos de alta densidad (corrientes de turbidez, hiperpicnitas) (Allen, 1982). En algunos casos estas estructuras pueden estar relacionadas a terremotos (sismitas). Estas estructuras resultan de la expulsión de fluidos por fluidización desde un sustrato arenoso saturado en agua debido a una rápida carga de sedimentos (Lowe, 1975). Los escapes de fluidos pueden ser producidos dentro de un estrato generando estructuras en plato (*dish*) y pilares (*pillar*) (Figs. 2.55 A, 2.56 A), o en la superficie, generando volcanes de arena (Fig. 2.55 B). En otras ocasiones, los escapes de fluidos pueden afectar a un conjunto de capas, alcanzando varios metros de potencia (Figs. 2.55 C, 2.56 B-D).

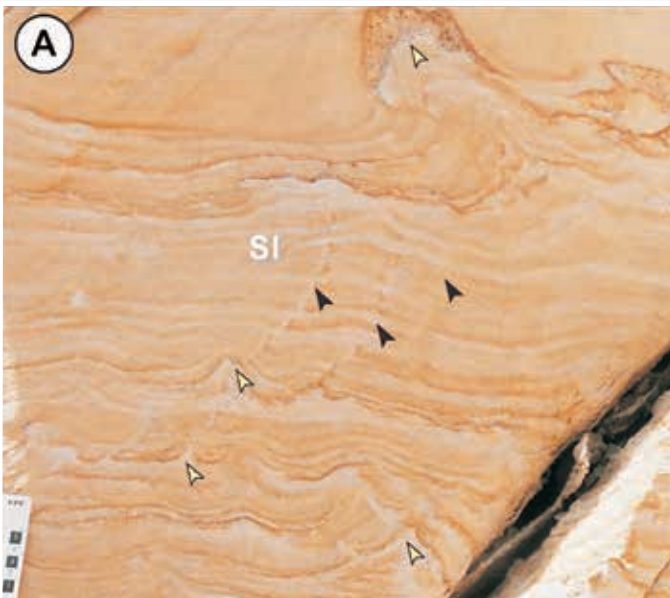
**FIGURA 2.55.**

**A.** Areniscas finas masivas (Sm) con intraclastos de arcilla y estructuras en plato (*dish*, flechas amarillas), correspondientes a lóbulos hiperpicnicos de las *Capas del Cabo San Pablo* (Mioceno Inferior), Cuenca Austral. **B.** Areniscas finas con laminación paralela (SI) y estructuras de volcanes de arena (flechas amarillas), correspondientes a depósitos de interdunas secas de la *Formación Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca Colorado. **C.** Areniscas finas masivas (Sm) con estructuras de escape de fluidos (flechas amarillas), producidas en canales y lóbulos turbidíticos de la *Formación Los Molles* (Jurásico), Cuenca Neuquina.



**FIGURA 2.56.**

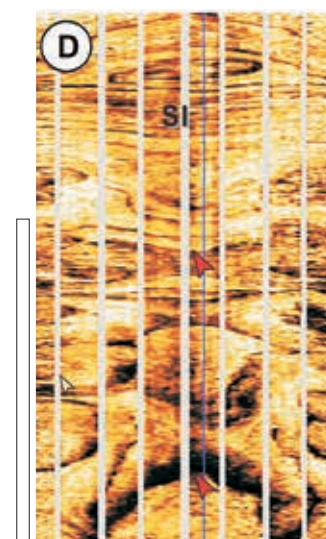
**A-C.** Areniscas finas con laminación paralela (Sl) en **A**, estratificación entrecruzada en artesa (Sea) en **B**, y óndulas de corriente (Sr) en **C**, correspondiente a depósitos deltaicos de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. Las flechas amarillas indican estructuras de escape de fluidos, mientras que las flechas negras en **A** indican la presencia de estructuras de pilares. **D.** Imagen de pozo donde se muestran areniscas finas con laminación paralela (Sl) y estructuras de escape de fluidos (flechas rojas), correspondiente a depósitos de frente deltaico de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra representa 1 m.



| CLASIFICACIÓN           |                  |
|-------------------------|------------------|
| Momento de formación    | Secundaria       |
| Ubicación en el estrato | Estratales       |
|                         | Endostratales    |
| Origen                  | Deformacionales  |
| Polaridad               | Indican          |
| Paleocorriente          | No direccionales |

| OCURRENCIA   |
|--|
| - frentes deltaicos distales marinos y lacustres.  |
| - abanicos aluviales.  |
| - dunas e interdunas secas de sistemas eólicos.  |
| - depósitos de tormenta.   |
| - canales y lóbulos de turbiditas extra e intracuencales generados en un talud deposicional. |
| - sismitas.  |



## GRIETAS DE DESECACIÓN Y DE SINÉRESIS

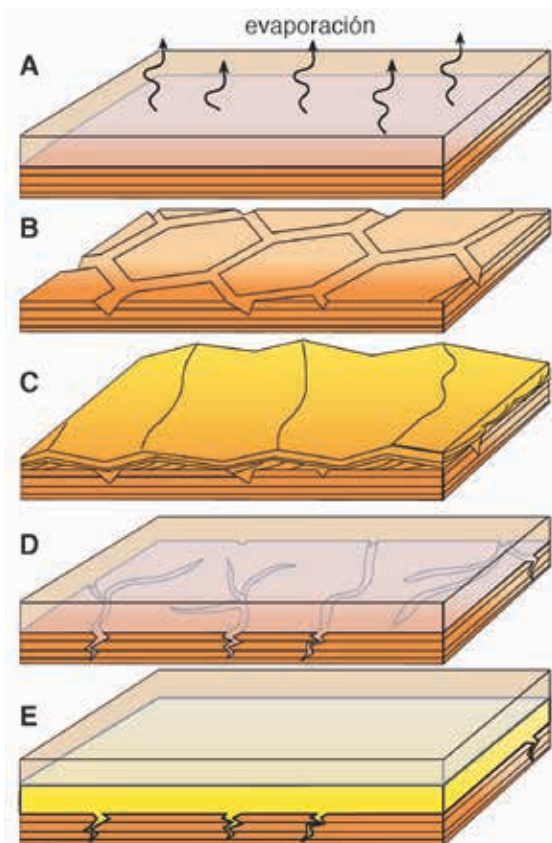
| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>MECÁNICAS-POSTDEPOSITACIONALES (DEFORMACIONALES) |   |
|---|---|
| Pliegues por deslizamiento gravitacional ( <i>Slumps</i> )                                |   |
| Laminación y estratificación convoluta  |   |
| Calcos de carga   |   |
| Estructuras en almohadilla  |   |
| Diques y filones clásticos  |   |
| Estructuras de escape de fluidos  | Estructuras en plato<br>Volcanes de arena |
| Grietas de desecación   |   |
| Grietas de sinéresis  |   |

Las grietas de desecación son estructuras muy frecuentes en superficies desecadas de diversos ambientes sedimentarios ricos en fangolitas, como son las llanuras aluviales y zonas supra e intermareales. Las grietas de desecación generalmente forman polígonos de centímetros a metros de diámetro, muestran forma de V en sección, y se encuentran rellenas de arena (Allen, 1984, 1987). Su génesis, en todos los casos, está ligada a la desecación y contracción del material fangoso (Figs. 2.57 A-C, 2.58 A, B, F, G). El espaciamiento de las grietas de desecación depende del espesor de la capa de fango húmedo, siendo mayor en depósitos más gruesos. Los bordes superiores de las grietas se pueden curvar y ser eliminados por erosión, produciendo clastos de arcilla (*clay chips*). La presencia de grietas de desecación es un buen criterio de polaridad de las capas y de exposición de los sedimentos a condiciones subaéreas. Las grietas de sinéresis son grietas de contracción que se forman bajo el agua en los sedimentos arcillosos (Astin, 1991; Tanner, 2003). Estas grietas se producen por la expulsión de líquido que genera la contracción espontánea que experimenta una arcilla recientemente depositada, en contacto con una solución salina. A diferencia de las grietas de desecación, las de sinéresis tienen formas más irregulares (radiales, rectas o ligeramente curvadas) (Figs. 2.57 D, E, 2.58 C-E). Debido a que

su origen se relaciona a cambios de salinidad, este tipo de grietas es sumamente frecuente en ambientes de transición como son los estuarios, deltas, y también en corrientes de densidad hiperpícnicas debido al importante aporte de agua dulce que producen estas descargas. Ni las grietas de desecación ni las de sinéresis se forman en limos o arenas, ya que estos materiales no son cohesivos.

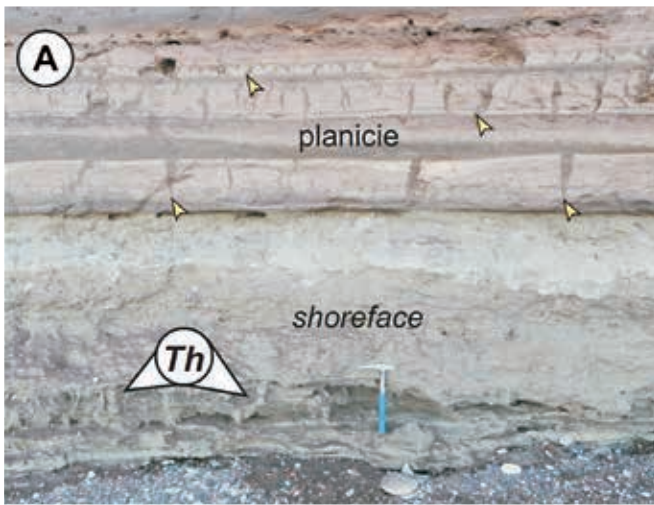
**FIGURA 2.57.**

**A-C.** Esquema que muestra la evolución de un sustrato en el que se producen grietas de desecación. Durante una etapa inicial se produce la inundación de un sustrato fangoso (**A**); posteriormente, y debido a la evaporación, se produce la contracción de los fangos expuestos y la generación de las grietas (**B**), y finalmente se produce el relleno por una litología diferente (**C**). **D-E.** Esquema que muestra la generación de grietas de sinéresis. Se produce la contracción de los fangos por variaciones de salinidad bajo el agua (**D**), y su posterior relleno por material de diferente litología (**E**).

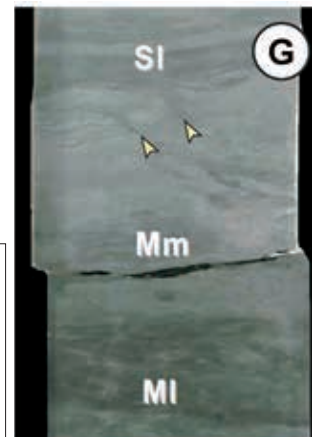
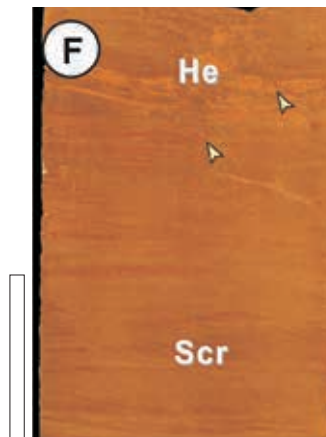
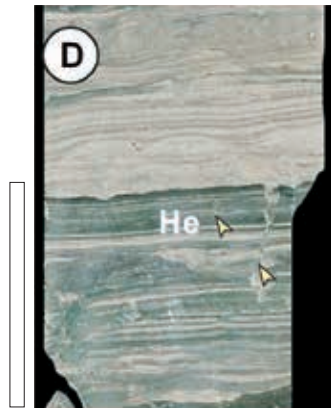


**FIGURA 2.58.**

**A.** Heterolitas de *shoreface* con *Thalassinoides* (Th), sucedidas por heterolitas fangosas y arenosas de depósitos de planicies fangosas y mixtas con grietas de desecación (flechas amarillas), *Formación Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca Colorado. **B.** Fangolitas laminadas (MI) y areniscas con óndulas de corriente (Sr), donde se reconocen grietas de desecación preservadas a la base de las areniscas (flechas amarillas), *Formación Allen* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **C.** Heterolitas fangosas con grietas de desecación (flechas amarillas), correspondientes a depósitos de prodelta de la *Formación Chenque* (Mioceno Inferior), Cuenca Golfo San Jorge. **D.** Testigo corona mostrando depósitos de heterolitas con grietas de sinéresis (flechas amarillas), correspondientes a facies de prodelta de la *Formación Agrío* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **E.** Testigo corona mostrando depósitos de heterolitas con grietas de sinéresis (flechas amarillas), correspondientes a depósitos de prodelta de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **F.** Testigo corona mostrando depósitos de óndulas escalantes (Scr) y heterolitas (He), correspondientes a depósitos de interdunas húmedas con grietas de desecación (flechas amarillas) de la *Formación Avilé* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **G.** Fangolitas laminadas (MI) y masivas (Mm), y areniscas con laminación paralela (SI) y grietas de desecación (flechas amarillas), correspondientes a depósitos de planicie interdistributaria deltaica de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. Las barras representan 10 cm.



| CLASIFICACIÓN   |                  |
|---|------------------|
| Momento de formación  | Secundaria       |
| Ubicación en el estrato   | Estratales       |
|   | Endostratales    |
| Origen  | Deformacionales  |
| Polaridad   | Indican          |
| Paleocorriente  | No direccionales |
| OCURRENCIA  |                  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- llanura de inundación en sistemas fluviales.</li> <li>- interdunas húmedas edáficas.</li> <li>- planicies de marea, bahías y deltas en deltas marinos y continentales.</li> <li>- cuenca central de estuarios.</li> <li>- albardones y lóbulos distales en turbiditas extracuencales.</li> </ul> |                  |



# ESTRUCTURAS QUÍMICAS DIAGENÉTICAS

## NÓDULOS Y CONCRECIONES

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>QUÍMICAS-DIAGENÉTICAS |                                 |
|--|---------------------------------|
| PRECIPITACIÓN  | Nódulos                         |
|  | Concreciones                    |
|  | Cristales y moldes de cristales |
| DISOLUCIÓN   | Estilolitas                     |
|  | Superficies estilolíticas       |

El término nódulo se utiliza a menudo como sinónimo de concreción, pero algunos autores prefieren reservar el término nódulo para las concentraciones de minerales autigénicos que no encierran granos detríticos (Selles-Martínez, 1996), y que en parte reemplazan a los minerales originales (Bates y Jackson, 1987). Los nódulos tienen generalmente formas esféricas a subesféricas y se diferencian de las concreciones debido a que los nódulos desplazan el sedimento durante su formación (Fig. 2.59).

Las concreciones son más frecuentes en ambientes someros que profundos (Dietrich, 1999), y se forman por una precipitación preferencial de minerales (cementación) en porciones localizadas de la roca. Coleman y Raiswell (1993) indican como requisito para el crecimiento de una concreción, la permanencia dentro de un ambiente geoquímico específico (e.g. zona de reducción de sulfato) durante un tiempo considerable (> 7000 años). En ambientes dominados por material fino silico-clástico, un hiato en la sedimentación o una superficie de erosión puede estar indicada por el desarrollo de un horizonte de concreciones diagenéticas. Estudios realizados por Fürsich (1979) revelan una compleja historia que incluye: 1- formación de la concreción; 2- exhumación de la concreción; 3- perforaciones y/o incrustaciones; 4- enterramiento, y 5- precipitación de cemento.

La bioturbación puede ser un proceso sumamente importante en la generación de niveles concrecionados. Las concreciones pueden presentar una gran diversidad de formas, aunque comúnmente son subesféricas. A menudo se forman alrededor de un núcleo (fósil o un fragmento de materia orgánica) debido a que éste constituye un sitio más favorable para la precipitación de cementos. Torrijo *et al.* (2004) sugiere que el crecimiento de un cuerpo concrecionario depende del momento de su formación, el modo de emplazamiento y, finalmente, del mecanismo de crecimiento.

Un caso particular documentado por Rodrigues *et al.* (2009) en la sección basal de la Formación Vaca Muerta es la presencia de concreciones asociadas a *beef*. Los *beef* son venillas de calcita fibrosa paralelas a la estratificación, que son muy comunes en algunas cuencas sedimentarias, especialmente en pelitas negras ricas en materia orgánica y carbonatos (Fig. 2.59 B). En general, el espesor de *beef* tiende a permanecer constante alrededor de las concreciones, aunque en algunos casos es más grueso que la concreción. De acuerdo al crecimiento que muestran las fibras de calcita (en algunos casos radiales sobre la concreción y en otros casi perpendicular a las capas), se puede inferir si los *beef* crecieron durante o con posterioridad al desarrollo de la concreción (Rodrigues *et al.*, 2009).

**FIGURA 2.59.**

**A-B.** Fangolitas laminadas (MI), que muestran horizontes con concreciones (flechas amarillas) y nódulos (flechas blancas) correspondientes a depósitos de *offshore* de la *Formación Vaca Muerta* (Cretácico), Cuenca Neuquina. Nótese en **B** la presencia de venillas de calcita fibrosa (*beef*, flechas rojas), asociado a una concreción. **C.** Fangos laminados (MI) con niveles de concreciones (flechas amarillas), correspondientes a depósitos de ambiente marino profundo de la *Formación Desdémona* (Oligoceno), Cuenca Austral. **D.** Testigo corona mostrando areniscas carbonáticas finas con concreciones (flechas blancas), correspondientes a depósitos submareales de la *Formación Quintuco* (Cretácico), Cuenca Neuquina. La barra indica 20 cm. **E.** Imagen de pozo que muestra niveles con concreciones (flechas blancas), que son sucedidos por niveles de areniscas muy finas con laminación paralela (SI) y ondulática (Sr), correspondientes a depósitos de planicie deltaica de la *Formación Escarpment* (Carbonífero Tardío), Cuenca de Tarija. La barra representa 1 m.



| CLASIFICACIÓN   |                  |
|---|------------------|
| Momento de formación  | Secundaria       |
| Ubicación en el estrato   | Estratales       |
|   | Endostratales    |
| Origen  | Químicas         |
| Polaridad   | No indican       |
| Paleocorriente  | No direccionales |
| OCURENCIA   |                  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- depósitos de <i>offshore</i> marinos y lacustres.</li> <li>- depósitos de plataforma.</li> <li>- talud depositacional.</li> <li>- llanura abisal.</li> <li>- paleosuelos.</li> </ul> |                  |



## CRISTALES Y MOLDES DE CRISTALES

| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>QUÍMICAS-DIAGENÉTICAS |                                 |
|--|---------------------------------|
| PRECIPITACIÓN  | Nódulos                         |
|  | Concreciones                    |
|  | Cristales y moldes de cristales |
| DISOLUCIÓN   | Estilolitas                     |
|  | Superficies estilolíticas       |

Los cristales de sal se originan por nucleación desde la superficie de un cuerpo de agua que experimenta una intensa evaporación. Cuando estos cristales en formación alcanzan un tamaño crítico, vencen la tensión superficial, y “llueven” desde la superficie del cuerpo de agua (lacustre o marino), a través de la columna de agua donde continúan su crecimiento. En las zonas marginales del cuerpo de agua, los cristales de halita generados pueden experimentar disolución por aporte de agua dulce (e.g. sistemas deltaicos activos). Bajo estas condiciones los cristales de halita se disuelven, quedando su cicatriz como único registro de su presencia. Este tipo de preservación es frecuente en sistemas lacustres, marinos marginales y en interdunas húmedas, donde se produce una alternancia entre etapas en la que la columna de agua se encuentra totalmente saturada en sales y otras en las que presenta estratificación (Lowenstein y Hardie, 1985).

Como consecuencia de estos procesos, los cristales de sal pueden quedar preservados como cristales esqueléticos o como pseudomorfos. La presencia de cristales esqueléticos dentro de materiales pelíticos indica que la columna de agua alcanzó una saturación completa de sales. Durante estos períodos, los cristales de halita crecen desde el fondo y dentro de los sedimentos hospedantes (Figs. 2.60, 2.61 A, B). Los pseudomorfos

de halita, constituidos por cubos de hasta 0,3-5 cm, se preservan a la base de depósitos de areniscas finas (Figs. 2.60, 2.61 C-D). Esta preservación indica etapas de dilución de la columna de agua, con la consecuente disolución de los cristales y posterior relleno de sus moldes.

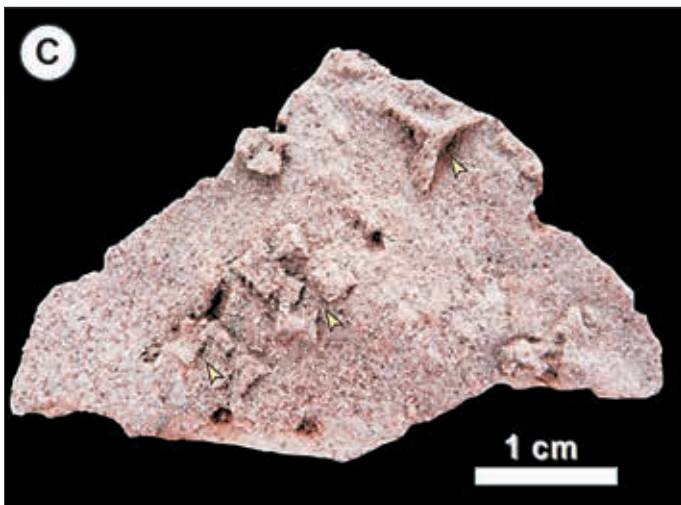
**FIGURA 2.60.**

Esquema que muestra de arriba hacia abajo la nucleación de sales y el crecimiento de los cristales, la disolución de los cristales por ingreso de agua dulce al sistema, y el relleno arenoso de las cicatrices y la generación de pseudomorfos de halita.



**FIGURA 2.61.**

**A-B.** Depósitos de fangolitas laminadas (MI) y cristales esqueléticos de halita, correspondientes a depósitos de *offshore* lacustres de la *Formación Rayoso* (Cretácico Tardío), Cuenca Neuquina. **C.** Vista basal de un nivel de areniscas medias masivas con preservación de pseudomorfos de halita, acumulados en ambientes lacustres de la *Formación Anacleto* (Cretácico Tardío), Cuenca Neuquina. **D.** Vista basal de un nivel de areniscas finas masivas con pseudomorfos de halita, preservados en barras de desembocadura deltaica lacustre de la *Formación Rayoso* (Cretácico Tardío), Cuenca Neuquina.



| CLASIFICACIÓN   |  |
|---|--|
| Momento de formación  | Primaria (cristales esqueléticos)<br>Secundaria (pseudomorfos) |
| Ubicación en el estrato   | Estratales<br>Substratales                                     |
| Origen  | Químicas   |
| Polaridad   | Indican  |
| Paleocorriente  | No direccionales   |
| OCURENCIA   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- sistemas lacustres cerrados.</li> <li>- depósitos de planicies mareales.</li> <li>- interdunas húmedas.</li> </ul> |  |





## ESTILOLITAS Y SUPERFICIES ESTILOLÍTICAS

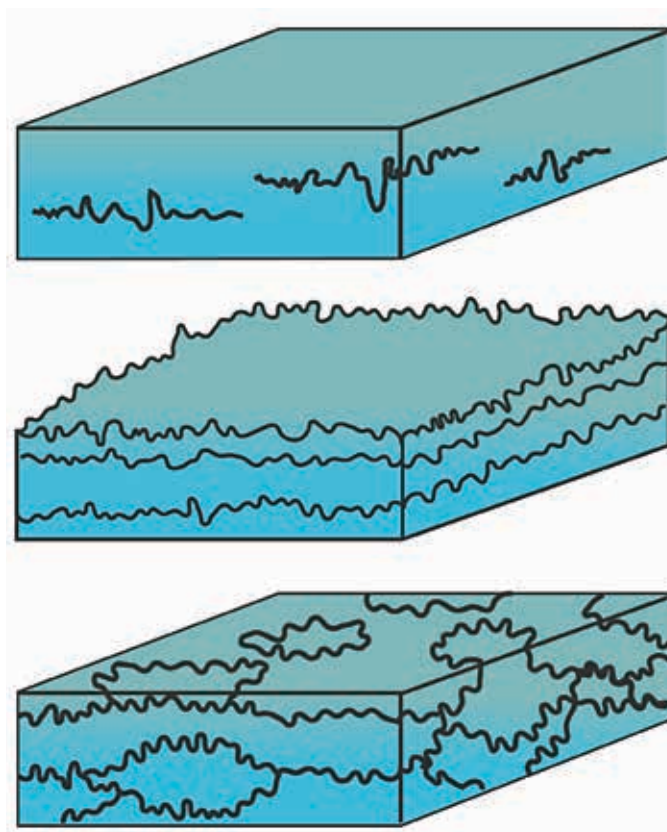
| ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS<br>QUÍMICAS-DIAGENÉTICAS |  |
|--|--|
| PRECIPITACIÓN  | Nódulos                                  |
|  | Concreciones                             |
|  | Cristales y moldes de cristales          |
| DISOLUCIÓN   | Estilolitas<br>Superficies estilolíticas |

Las estilolitas son superficies dentadas irregulares muy frecuentes en rocas carbonáticas. Se forman por un proceso de disolución por presión, en el que las porciones de los minerales que se encuentran bajo condiciones de estrés, como son las zonas de contactos entre granos, se someten a la disolución preferencial debido a un aumento de la solubilidad inducida por la presión (Kaplan, 1976, Railsback, 1993). Estas estructuras se forman en dirección perpendicular a la máxima compresión, la cual comúnmente es vertical (debido a la presión de carga), dando una superficie con estilolitas horizontales (Fig. 2.62). En áreas tectonizadas, la dirección de máxima compresión puede ser horizontal, produciendo estilolitas subverticales que atraviesan las capas. Andrews y Railsback (1997) indicaron que la heterogeneidad litológica parece ser la variable principal en el control de la morfología de las estilolitas. Si la roca es relativamente homogénea, la disolución es igual a lo largo de las estilolitas, mientras que una alta heterogeneidad resulta en una disolución desigual. La pérdida de material por disolución a lo largo de las estilolitas puede tener un impacto significativo en el registro sedimentario. Bathurst (1975) indicó que las reducciones de espesor vertical debido al desarrollo de estilolitas pueden alcanzar un 20-35%, y que el acortamiento en estilolitas tectónicamente generadas puede exceder el causado por plegamiento u otros mecanismos de deformación. Es frecuente que las superficies estilolíticas muestren variaciones de permeabilidad y porosidad. La reducción de permeabilidad es producida por el material que se disuelve en la estilolita, y precipita

en los poros adyacentes (Ehrenberg, 2006; Leehee *et al.*, 2015), mientras que un incremento en la porosidad y la permeabilidad ocurre frecuentemente en sus puntos de contacto (Carozzi y Vonbergen de 1987), zona en la que se puede producir un flujo de fluido a lo largo de su superficie (Leehee *et al.*, 2015).

**FIGURA 2.62.**

Esquema que muestra diferentes tipos de superficies estilolíticas. Tomado y modificado de Leehee *et al.* (2015).



**FIGURA 2.63.**

**A.** Depósitos de calizas acumulados en sistemas de rampas carbonáticas y mixtas que muestran superficies estilolíticas (flechas amarillas), *Formación Chachil* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **B.** Vista en sección de niveles de calizas y yesos laminados con desarrollo de superficies estilolíticas (flechas amarillas), acumuladas en ambientes marinos restringidos de la *Formación Tábanos* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **C.** Vista en sección de niveles de carbonatos y areniscas carbonáticas con desarrollo de una superficie estilolítica, correspondientes a depósitos de plataformas carbonáticas y mixtas del Supergrupo Belt (Mesoproterozoico), Canadá. **D.** Testigo corona mostrando areniscas y conglomerados carbonáticos con desarrollo de estilolitas (flechas blancas), correspondientes a depósitos marinos someros mixtos de la *Formación Loma Montosa* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **E.** Imagen de pozo que muestra niveles de carbonatos y areniscas carbonáticas acumulados en sistemas de rampas carbonáticas y mixtas de la *Formación Chachil* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra en **D** representa 1 m, mientras que en **E** representa 50 cm.



| CLASIFICACIÓN                               |                  |
|---|------------------|
| Momento de formación                        | Secundaria       |
| Ubicación en el estrato                     | Endostratales    |
| Origen                                      | Químicas         |
| Polaridad                                   | No indican       |
| Paleocorriente                              | No direccionales |
| OCURRENCIA                                  |                  |
| - diversos ambientes carbonáticos y mixtos. |                  |



## CAPÍTULO 3

# ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS BIOGÉNICAS

*En este capítulo se presentan algunos conceptos básicos de Icnología (e.g. las principales características que tienen las trazas fósiles, la clasificación de acuerdo al tipo de preservación y a la etología de los organismos, etc.). Se realiza además una breve caracterización de las diferentes icnofacies marinas y continentales. A continuación se presentan algunas de las principales estructuras biogénicas reconocidas en afloramiento. Estas estructuras son documentadas con ejemplos de afloramiento y, en los casos posibles, con ejemplos de testigos corona e imágenes de pozo. Finalmente, se documentan y caracterizan las principales estructuras sedimentarias inducidas por actividad microbiana (MISS).*

# MARCO CONCEPTUAL

## ICNOLOGÍA

Es la disciplina encargada del estudio de las estructuras biogénicas producidas por animales y plantas, generadas dentro o sobre el sustrato. Incluye todos los aspectos relacionados con la bioturbación, bioerosión y biodepositación, tanto recientes (neoi cnología), como fósiles (paleoicnología) (Pemberton *et al.*, 1992; Bromley, 1990, 1996; Buatois y Mángano, 2011).

**CUADRO 3.1.**  
Clasificación de las estructuras sedimentarias biogénicas. Tomado y modificado de Buatois *et al.* (2002).

### ESTRUCTURAS BIOGÉNICAS

#### Estructuras sedimentarias biogénicas

Incluyen a las estructuras de bioturbación (*e.g.* huellas, excavaciones), a las estructuras de biodepositación (*e.g.* pellets fecales), y a las estructuras de bioestratificación (*e.g.* tapetes microbiales, estromatolitos y estratificación gradada biogénica).



estructuras de bioturbación

#### Estructuras de bioerosión

Incluyen perforaciones, marcas de raspaduras, etc.



estructuras de bioerosión

#### Otras evidencias de actividad

Incluye cáscaras de huevos, telas de araña, etc.

#### estructuras de biodepositación



#### estructuras de bioestratificación



# TRAZAS FÓSILES

## CARACTERÍSTICAS

**A. Registro temporal extenso.** La mayoría de las trazas fósiles presentan un rango temporal extenso, llegando algunas estructuras a abarcar la totalidad del Fanerozoico. Esto constituye una característica fundamental que favorece la comparación de rocas pertenecientes a diferentes edades (Pemberton *et al.*, 2001).



**B. Rango facial restringido.** Las trazas fósiles constituyen la respuesta de los organismos frente a las condiciones del ambiente, lo que implica que la asociación de ciertas estructuras biogénicas va a responder a parámetros ambientales determinados. En este sentido puede considerarse a los icnofósiles como fósiles de facies (Buatois *et al.*, 2002), los cuales aportan información valiosa en cuanto a las condiciones paleoecológicas y paleoambientales dominantes en el momento de la depositación.

**C. Ausencia de transporte.** Las trazas fósiles representan la evidencia de la actividad biológica *in situ*, presentando una estrecha relación con el sustrato (Pemberton *et al.*, 2001). De este modo las trazas fósiles, al carecer usualmente de desplazamiento secundario, reflejan las condiciones originales del ambiente de depositación.



**D. Presencia en rocas no fosilíferas.** Las condiciones de preservación de las trazas fósiles y los cuerpos fósiles son distintas, por lo que es común encontrar estructuras biogénicas en rocas no fosilíferas. En muchos casos, los procesos diagenéticos que destruyen los cuerpos fósiles pueden resaltar a las estructuras biogénicas (Pemberton *et al.*, 2001).

**E. Producción por biotas de cuerpo blando.** Los estudios icnológicos rescatan la información de los organismos de cuerpo blando, ya que es común que se preserve el registro de su actividad por medio de las trazas fósiles. Esto permite obtener una visión más global de la estructura trófica y de la riqueza total de las comunidades (Buatois *et al.*, 2002).

**F. Evidencia de comportamiento.** Los estudios sobre la morfología y los patrones arquitecturales en la construcción de los icnofósiles permiten no sólo reconocer en muchos casos los organismos constructores, sino también sus características tróficas, modo de vida, forma de desplazamiento, etc. (Buatois *et al.*, 2002).

**G. Una misma estructura biogénica puede estar generada por diferentes organismos.** Este principio está basado en el concepto de convergencia etológica; organismos diferentes pueden responder funcionalmente de la misma manera frente a condiciones ambientales similares (Bromley, 1996).

**H. El mismo organismo puede producir más de una estructura biogénica.** Este principio se basa en el hecho de que un mismo organismo presenta diferentes comportamientos de acuerdo con las funciones que realiza y con las condiciones ecológicas del medio que habita (Bromley, 1996).



**I. La misma estructura biogénica generada en sustratos diferentes se puede preservar de manera distinta.**

La misma técnica de excavación puede generar estructuras aparentemente distintas si se producen en sustratos con diferente consistencia, tamaño de grano y diferente disposición dentro del sustrato (Buatois y Mángano, 2011).

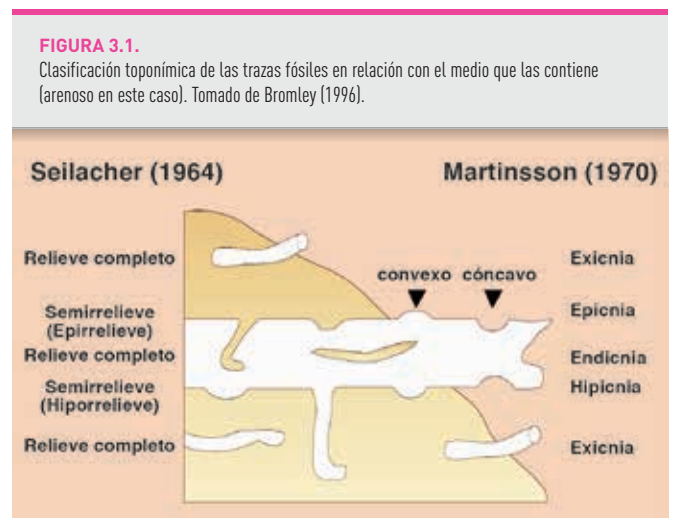


**J. Una misma estructura puede estar reflejando la acción de varios organismos distintos.** Este principio se basa en el hecho de que organismos distintos pueden habitar y modificar una misma estructura, ya sea al mismo tiempo o en períodos diferentes (Buatois *et al.*, 2002).

## CLASIFICACIONES PRESERVACIONALES

Para la identificación de las trazas fósiles y para interpretar su modo de construcción, es necesario analizar y entender el modo de preservación de las mismas. La toponimia (o estratinomia) comprende la descripción y clasificación de los icnofósiles de acuerdo al modo de preservación y ocurrencia (posición dentro del sustrato) y, de manera secundaria, incluye los procesos mecánicos-sedimentológicos de preservación de las trazas fósiles (Fig. 3.1) (Buatois *et al.*, 2002).

Seilacher (1964) propuso tres categorías de preservación de las trazas fósiles: *relieve completo* (dentro de una capa), *semirrelieve* (interfase litológica, diferenciando *hiporrelieve* y *epirrelieve*), y *biodeformacionales* (afectan la estratificación). Por su parte, Martinsson (1970) propuso cuatro categorías: *epicnia* (al tope de las capas), *hipicnia* (a la base de las capas), *endicnia* (dentro de las capas) y *exicnia* (preservadas fuera de las capas) (Fig. 3.1).



## ETOLOGÍA

Las trazas fósiles constituyen el registro de la actividad de los organismos en el pasado, y por lo tanto son consideradas como señales de comportamiento (Buatois *et al.*, 2002). Las trazas fósiles reflejan no sólo el modo de vida de los individuos, sino también evidencian aspectos ecológicos y funcionales de los mismos, así como la relación con los parámetros ambientales dominantes (Pemberton *et al.*, 2001) (Fig. 3.2.).

**Cubichnia** (trazas de descanso): incluyen aquellas impresiones dejadas por los organismos cuando éstos están en reposo (*Asteriacites*, *Lockeia*).

**Repichnia** (trazas de locomoción): estructuras realizadas por organismos que se desplazan de un punto a otro (*Cruziana*, *Diplichnites*).

**Mortichnia** (trazas de muerte): incluyen a aquellas estructuras que reflejan los últimos movimientos de los organismos antes de morir (*Telsonichnus*).

**Pascichnia** (trazas de pastoreo): combinan la actividad de locomoción y de alimentación (*Gordia*, *Scolicia*).

**Fodinichnia** (trazas de alimentación): esta categoría incluye estructuras de domicilio y alimentación (*Asterosoma*, *Rosselia*).

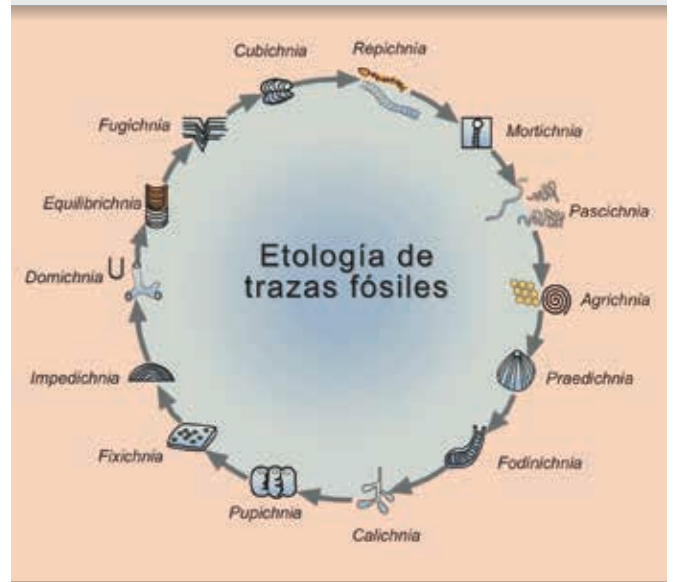
**Domichnia** (trazas de habitación): estructuras de habitación de suspensívoros, depositívoros y, en algunos casos, predadores (*Skolithos*).

**Agrichnia** (trazas de cultivo o trampas de alimento): estructuras de domicilio y cultivo de bacterias (*Paleodictyon*).

**Equilibrichnia** (trazas de equilibrio): estructuras de ajuste en respuesta a los eventos de agradación o erosión del sedimento (*Diplocraterion*).

**Fugichnia** (trazas de escape): estructuras generadas por el rápido movimiento hacia arriba o hacia abajo de los organismos.

**FIGURA 3.2.** Clasificación etológica de las trazas fósiles. Tomado y modificado de Buatois y Mángano (2011).



**Calichnia** (trazas de nidificación): nidos construidos con materiales del sustrato (*Coprinisphaera*, *Celliforma*).

**Pupichnia**: incluyen trazas producidas por insectos para su protección durante los períodos de pupación (*Fictovichnus*, *Rebuffoichnus*).

**Praedichnia** (trazas de predación): trazas de predación generalmente preservadas en sustratos duros (*Oichnus*).

**Fixichnia** (trazas de fijación): estructuras superficiales producidas por la fijación o anclaje de los organismos al sustrato (*Podichnus*).

**Impedichnia** (trazas de bioclustración): estructuras generadas por organismos endosimbiontes (*Tremichnus*, *Hicetes*).



# ICNOFACIES

El concepto de icnofacies se refiere a las asociaciones de trazas fósiles que se generan recurrentemente frente a condiciones ambientales semejantes, y que por lo tanto pueden ser reconocidas a lo largo del registro geológico (Seilacher, 1964, 1967). Según Bromley (1996), una icnofacies refleja en forma directa condiciones ambientales, tales como batimetría, salinidad y tipo de sustrato.

## ICNOFACIES MARINAS DE SUSTRATOS BLANDOS

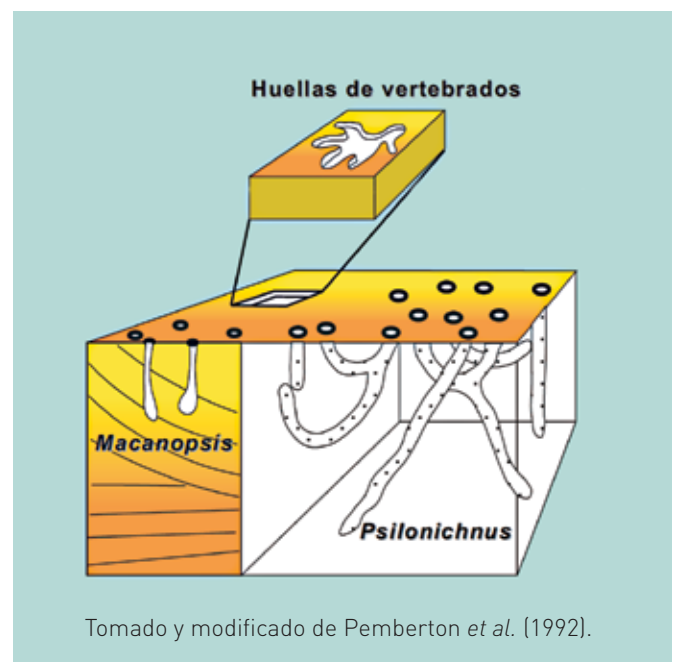
Constituyen las icnofacies más tradicionales. Dentro de este grupo se reconocen cinco icnofacies.

### Icnofacies de *Ppsilonichnus*

**Estructuras dominantes:** Excavaciones de decápodos utilizadas como domicilios. Predominio de componentes verticales, en J, Y o U. También hay huellas de vertebrados, estructuras de raíces, y, en algunos casos, tapetes microbiales. La icnodiversidad y abundancia de las estructuras es baja.

**Características:** Esta asociación presenta una mezcla de condiciones marinas y continentales, debido a su desarrollo en ambientes supramareales a intermareales superiores. La energía en general es media a baja, con influencia de condiciones tanto marinas como eólicas.

**Ocurrencia:** Ambientes supramareales a intermareales superiores en costas carbonáticas y silicoclásticas, incluyendo islas barreras, planicies deltaicas, estuarios, *lagoons* y bahías (Buatois y Mángano, 2011).



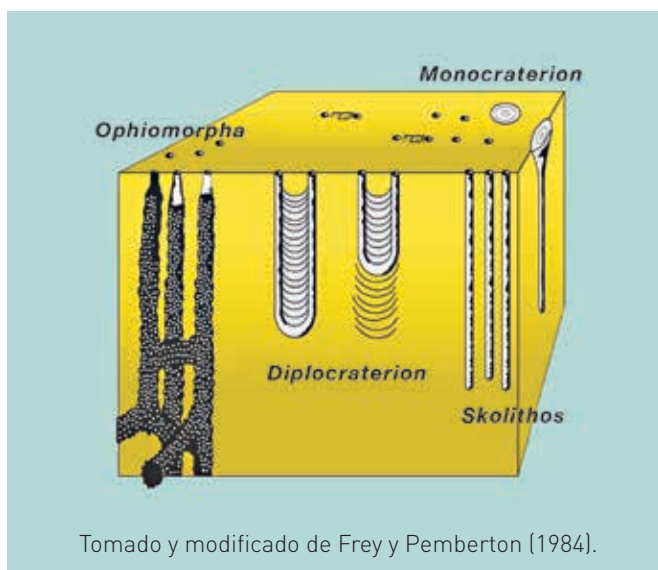
Tomado y modificado de Pemberton *et al.* (1992).

## ICNOFACIES DE *SKOLITHOS*

**Estructuras dominantes:** Dominio de excavaciones verticales cilíndricas o en forma de U (especialmente de domicilio), y pocas trazas horizontales. En general las estructuras corresponden a organismos suspensívoros y predadores pasivos. La icnodiversidad es baja y la abundancia es variable.

**Características:** Esta asociación se relaciona a condiciones de energía moderada a alta. El dominio de estructuras verticales de suspensívoros sugiere una gran abundancia de material orgánico particulado y aguas bien oxigenadas.

**Ocurrencia:** En costas dominadas por oleaje, típicamente en ambientes de *foreshore* a *shoreface* superior y medio, y en tempestitas en el *shoreface* inferior hasta el *offshore* inferior (suites post-evento). En costas dominadas por mareas ocurre en las barras arenosas submareales hasta las planicies intermareales arenosas inferiores. En ambientes marginales, esta icnofacies ocurre en frentes deltaicos, *inlets* mareales, deltas de flujo y refluo, complejos de boca de estuario, y deltas de bahía de desembocadura. En ambientes marinos profundos ocurre en zonas marginales de canales, en albardones y lóbulos (Buatois y Mángano, 2011).



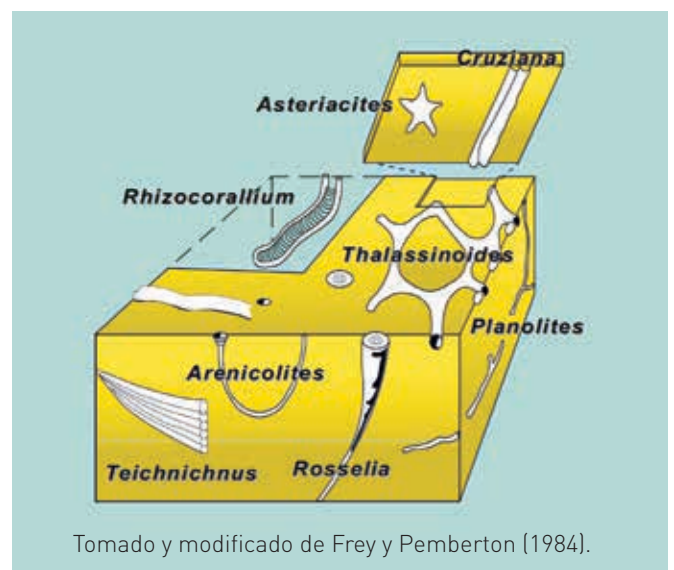
Tomado y modificado de Frey y Pemberton (1984).

## ICNOFACIES DE *CRUZIANA*

**Estructuras dominantes:** Dominio de estructuras horizontales generadas por organismos depositívoros y detritívoros, aunque también hay estructuras de organismos suspensívoros. Los elementos más comunes corresponden a trazas de locomoción, reposo, alimentación, domicilio y pastoreo. La icnodiversidad y abundancia de estructuras biogénicas es alta.

**Características:** El dominio de estructuras horizontales en esta icnofacies refleja la acumulación de detrito orgánico en el sedimento, en ambientes con condiciones de energía moderada a baja (Buatois y Mángano, 2011). Los sustratos están integrados por intercalaciones de niveles arenosos y pelíticos que forman sucesiones heterolíticas, lo cual favorece la preservación de las estructuras horizontales (Buatois y Mángano, 2011).

**Ocurrencia:** Es característica en la zona que comprende desde el *shoreface* inferior al *offshore* inferior en costas dominadas por oleaje, mientras que en costas con dominio mareal, ocurre en las áreas ubicadas entre la alta y la baja marea (MacEachern y Pemberton, 1992; MacEachern *et al.*, 1999; Mángano y Buatois, 2004). También puede ocurrir en zonas protegidas de ambientes marinos marginales (MacEachern y Pemberton, 1994; Buatois y Mángano, 2011).



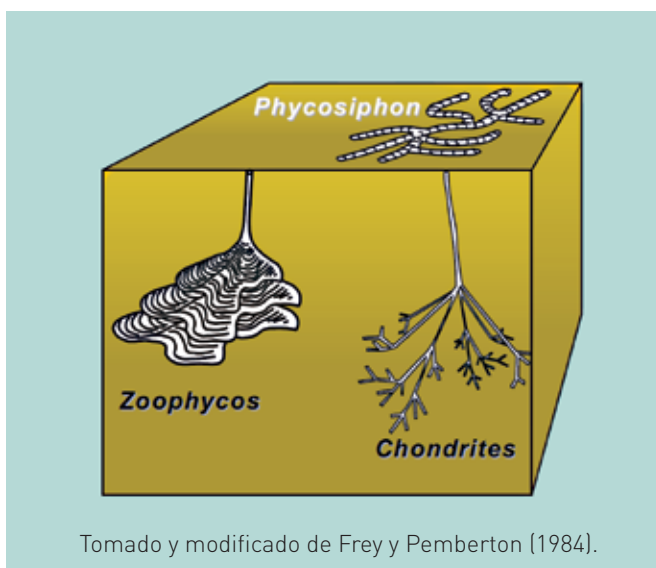
Tomado y modificado de Frey y Pemberton (1984).

## Iconofacies de *Zoophycos*

**Estructuras dominantes:** Hay un dominio de estructuras de alimentación que pueden presentar patrones simples a relativamente complejos con *spreiten*, y, de manera subordinada, hay estructuras de pastoreo. En general hay un predominio de trazas profundas de organismos depositívoros. Esta iconofacies se caracteriza por presentar una icnodiversidad baja, aunque la abundancia de estructuras es en general muy importante (Buatois y Mángano, 2011).

**Características:** Típicamente esta iconofacies se presenta en ambientes con sedimentos finos que se acumulan lentamente por decantación, lo cual proporciona el tiempo suficiente para un completo retrabajo por bioturbación (MacEachern *et al.*, 2007), aunque también ha sido reconocida en sustratos arenosos.

**Ocurrencia:** Esta iconofacies es característica en ambientes de aguas calmas por debajo del nivel de ola de tormenta, especialmente en las zonas de plataforma y de talud, aunque también hay registros de esta asociación en zonas más someras y más profundas (Buatois y Mángano, 2011).

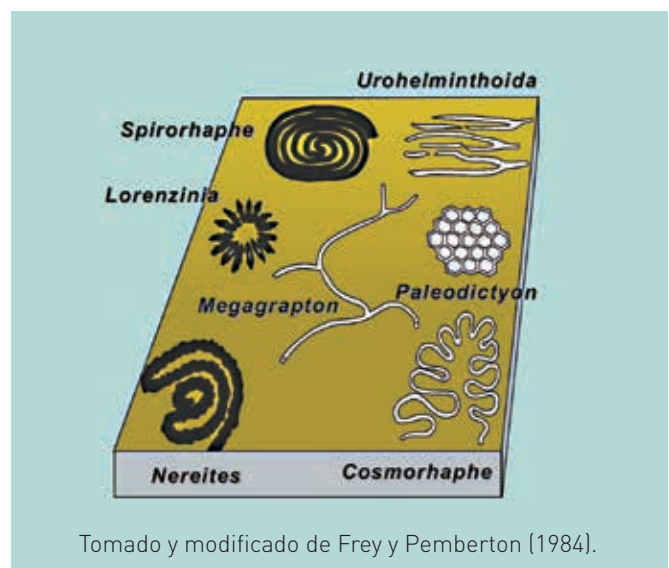


## Iconofacies de *Nereites*

**Estructuras dominantes:** Dominio de estructuras con patrones muy complejos (grafoglíptidos), producidas para el cultivo de bacterias y atrapamiento de microorganismos. También son comunes las trazas de pastoreo con patrones sofisticados de organismos depositívoros y detritívoros. La icnodiversidad es alta y la abundancia es variable.

**Características:** Esta asociación se desarrolla en ambientes tranquilos y con aguas oxigenadas. Las estructuras biogénicas que caracterizan esta asociación son muy someras y delicadas, y se preservan gracias al relleno arenoso instantáneo que ocurre durante el evento turbidítico (Buatois *et al.*, 2002).

**Ocurrencia:** Esta asociación se presenta en la base del talud de sistemas turbidíticos y son especialmente comunes en las turbiditas de grano fino de los depósitos de derrame y albardones (Buatois y Mángano, 2011).



## ICNOFACIES SUSTRATO-CONTROLADAS

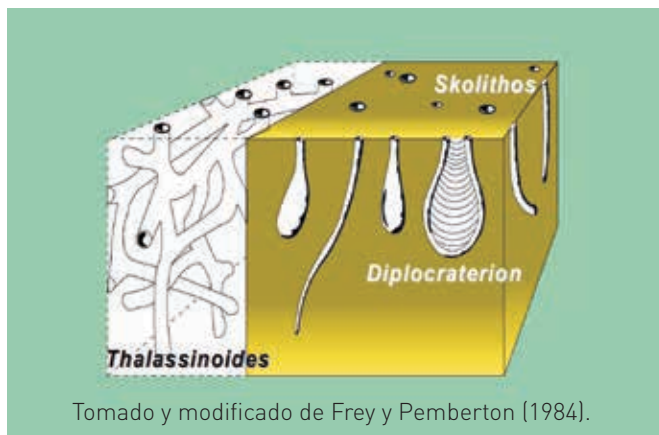
En los últimos años, los estudios sobre icnofacies sustrato-controladas han sido el foco de gran parte de las investigaciones en icnología, debido a su utilidad en el reconocimiento de superficies con implicancias estratigráfico-secuenciales (MacEachern *et al.*, 1992; Pemberton *et al.*, 1992).

### Icnofacies de *Glossifungites*

**Estructuras dominantes:** Está caracterizada por el dominio de estructuras verticales a subverticales de organismos suspensívoros y predadores, que presentan márgenes netos, bien definidos y relleno pasivo. En algunos casos pueden preservarse las marcas de los apéndices de los organismos constructores. También son frecuentes las estructuras en U simples y con *spreite*. La icnodiversidad es baja y la abundancia es generalmente alta.

**Características:** Esta icnofacies se desarrolla sobre sustratos firmes, cohesivos, no litificados, generalmente en fangos que han sufrido procesos de compactación y exhumación erosiva.

**Ocurrencia:** Característicamente esta icnofacies se reconoce en ambientes marinos someros y marginales, generalmente asociada a superficies aloestratigráficas, como las superficies transgresivas (Buatois y Mángano, 2011), aunque también se han registrado algunos ejemplos en ambientes marinos profundos (e.g. Ponce y Carmona, 2011).



### Icnofacies de *Teredolites*

**Estructuras dominantes:** Las trazas fósiles que dominan esta icnofacies consisten en perforaciones en forma de clava, asignadas a la actividad de bivalvos perforantes (Bromley *et al.*, 1984). Pueden ocurrir también estructuras como *Thalassinoides* (Gingras *et al.*, 2004). La icnodiversidad es baja, formando en general suites monoespecíficas, y la densidad puede ser alta.

**Características:** Esta icnofacies se desarrolla sobre sustratos xílicos o con alto contenido carbonoso (Pemberton *et al.*, 2001). Los sustratos xílicos se caracterizan por ser flexibles, están compuestos por materia orgánica en vez de minerales como en el caso de los sustratos líticos y, además, se degradan con rapidez (Bromley *et al.*, 1984). Estas condiciones son las que determinan las diferencias en las asociaciones de estructuras biogénicas presentes en sustratos xílicos y sustratos líticos.

**Ocurrencia:** Se asocia comúnmente a superficies de omisión formadas en ambientes marinos marginales y marinos someros (Bromley *et al.*, 1984; Pemberton *et al.*, 1992).

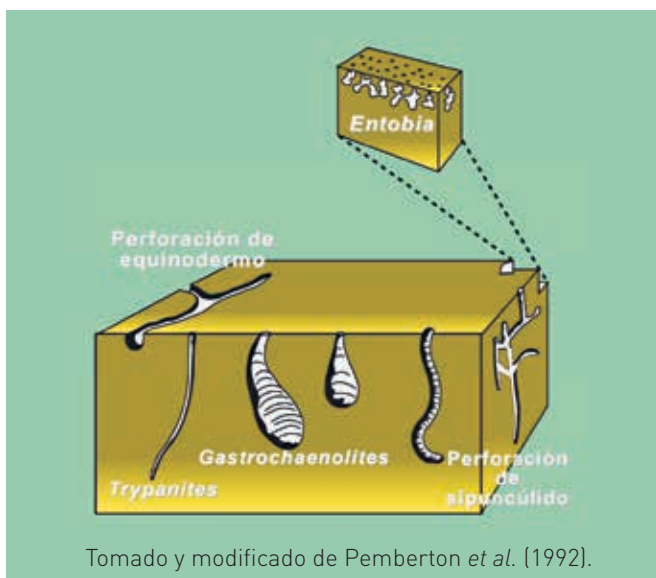


## ICNOFACIES DE *Trypanites*

**Estructuras dominantes:** Perforaciones cilíndricas, en forma de vaso, de gota o en U, aunque también pueden presentar una morfología irregular. Estas estructuras presentan relleno pasivo, y límites netos. Generalmente se disponen en forma perpendicular al sustrato y representan domicilios de organismos suspensívoros o predadores (Frey y Pemberton, 1984, 1985). La icnodiversidad en general es baja a moderada, mientras que la abundancia puede ser alta (Buatois y Mángano, 2011).

**Características:** Esta icnofacies se desarrolla sobre sustratos totalmente cementados (e.g. en costas rocosas, acantilados, arrecifes), o también en sustratos constituidos por material orgánico como acumulaciones de huesos o coquinas (Frey y Pemberton, 1984; Pemberton y MacEachern, 1995). Su desarrollo indica largos períodos de bioerosión sin pausa por sedimentación (Buatois y Mángano, 2011).

**Ocurrencia:** Se desarrolla tanto en sustratos silicoclásticos como carbonáticos, aunque es más común en estos últimos (MacEachern *et al.*, 2007). En ambientes silicoclásticos ocurre asociada a superficies de exhumación erosiva (Pemberton *et al.*, 1992, 2004).

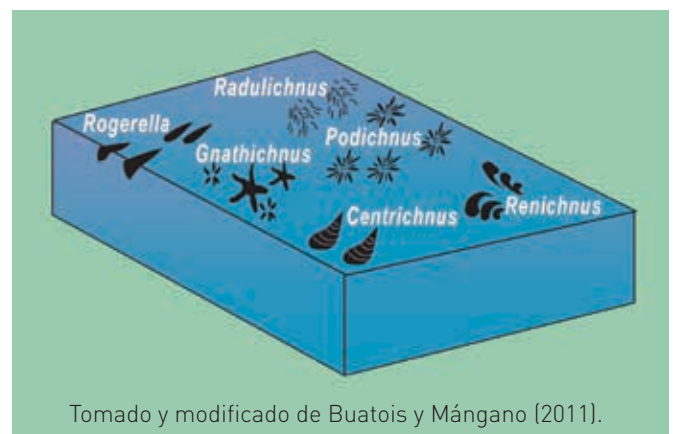


## ICNOFACIES DE *Gnathichnus*

**Estructuras dominantes:** Esta icnofacies está caracterizada por estructuras someras a muy someras de pastadores algales, y subordinadamente se pueden presentar estructuras más profundas. La icnodiversidad es baja a moderada y la abundancia es alta.

**Características:** Esta asociación caracteriza aquellos sustratos en los que la actividad bioerosiva es interrumpida por eventos de sedimentación rápida, lo cual evita la destrucción de las estructuras superficiales (Bromley y Asgaard, 1993).

**Ocurrencia:** Comúnmente esta icnofacies se asocia a sustratos de conchillas (*shellgrounds*), especialmente restringidos, que se forman bajo condiciones de energía moderada (Gibert *et al.*, 2007).



## ICNOFACIES CONTINENTALES DE INVERTEBRADOS

El modelo icnofacial para ambientes continentales experimentó un importante desarrollo en los últimos años, en los que se definieron y sumaron nuevas icnofacies de invertebrados a la originalmente propuesta por Seilacher (1967). Cabe mencionar que también existe una clasificación de icnofacies continentales de vertebrados, las que no serán tratadas en este libro. Para una revisión de las mismas ver Buatois y Mángano (2011).

### Icnofacies de *Scoyenia*

**Estructuras dominantes:** Esta icnofacies se caracteriza por la presencia de estructuras horizontales de alimentación meniscadas producidas por depositívoros móviles, trazas de locomoción continuas y tubos verticales de domicilio. Esta asociación presenta una mezcla de trazas de invertebrados, vertebrados y plantas. La icnodiversidad es baja a moderada y la abundancia es alta de manera localizada (Buatois y Mángano, 2011).

**Características:** El dominio de estructuras horizontales de organismos depositívoros sugiere su desarrollo en ambientes de baja energía (Buatois y Mángano, 2011). Esta asociación es característica de sustratos subaéreos con inundaciones periódicas, así como sedimentos subácueos con emersiones ocasionales.

**Ocurrencia:** Esta icnofacies es característica de planicies de inundación fluviales (e.g. albardones, depósitos de derrame), y en áreas marginales de ambientes lacustres. Puede ocurrir también en interdunas húmedas de sistemas eólicos (Frey y Pemberton, 1984; Buatois *et al.*, 2002; Buatois y Mángano, 2011).



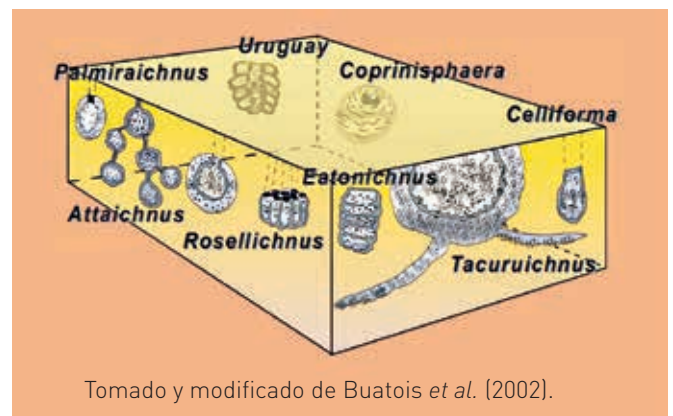
Tomado y modificado de Buatois y Mángano (1996).

### Icnofacies de *Coprinisphaera*

**Estructuras dominantes:** Las estructuras características incluyen nidos de invertebrados y en menor medida, estructuras de alimentación. Son comunes las estructuras de insectos sociales y de otros artrópodos, las estructuras de vertebrados y las marcas de raíces. La diversidad es moderada a alta, mientras que la abundancia es generalmente alta (Genise *et al.*, 2000).

**Características:** Esta icnofacies se correlaciona con la presencia de ecosistemas herbáceos, como sabanas y praderas, tanto de climas fríos y secos como cálidos-templados y húmedos (Genise *et al.*, 2000).

**Ocurrencia:** Los ambientes sedimentarios en los que se puede encontrar esta icnofacies incluyen planicies aluviales, planicies de inundación desecadas, barras fluviales abandonadas, albardones y depósitos eólicos vegetados (Genise *et al.*, 2000).



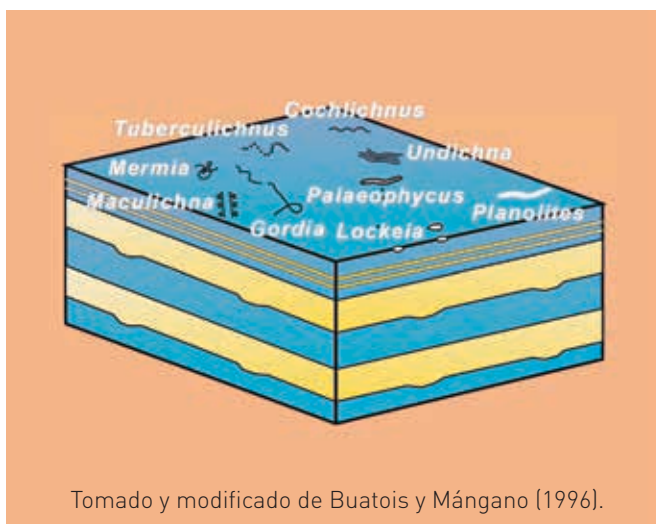
Tomado y modificado de Buatois *et al.* (2002).

## Icnofacies de *Mermia*

**Estructuras dominantes:** Esta icnofacies se caracteriza por la presencia de trazas de pastoreo horizontales a subhorizontales producidas por organismos detritívoros y depositívoros, con patrones poco especializados. También son comunes las trazas de locomoción, aunque se encuentran menos representadas. La icnodiversidad de estructuras es generalmente alta a moderada, mientras que la abundancia es alta.

**Características:** El dominio de trazas de pastadores horizontales de organismos depositívoros y detritívoros sugiere ambientes de baja energía, mientras que la icnodiversidad moderada indica sustratos estables, bien oxigenados (Buatois y Mángano, 2011).

**Ocurrencia:** Esta icnofacies se desarrolla en ambientes permanentemente subácueos, especialmente en sedimentos lacustres de grano fino, en cuerpos de agua en planicies de inundación, y en ambientes de fiordos (Buatois y Mángano, 2011).



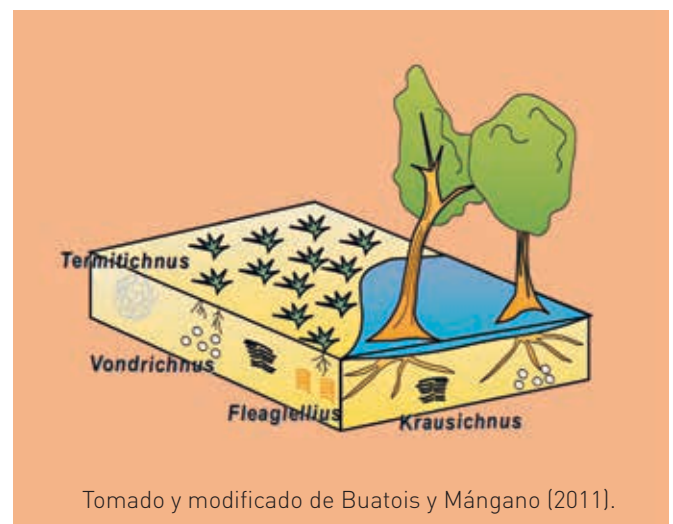
Tomado y modificado de Buatois y Mángano (1996).

## Icnofacies de *Termitichnus*

**Estructuras dominantes:** Se caracteriza por el dominio de estructuras de termitas. Las trazas de raíces también son comunes. La icnodiversidad es baja a moderada y la abundancia es moderada.

**Características:** Esta icnofacies es característica de paleosuelos desarrollados bajo condiciones cálidas y húmedas (Genise *et al.*, 2000, 2004, 2010).

**Ocurrencia:** Es característica de paleosuelos formados en bosques cerrados, con plantas creciendo bajo condiciones cálidas y húmedas.



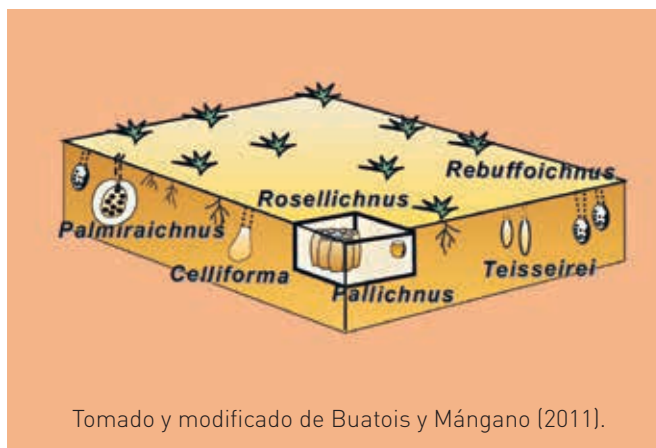
Tomado y modificado de Buatois y Mángano (2011).

## ICNOFACIES DE *Celliforma*

**Estructuras dominantes:** Desarrollo de nidos de abejas de la familia *Halictidae*, la presencia de restos de gasterópodos de agua dulce y terrestres, el dominio de *calichnia* y la presencia de *pupichnia*. Se reconocen estructuras meniscadas y trazas de raíces. La icnodiversidad es moderada, y la abundancia es alta (Genise, 2004; Genise *et al.*, 2010; Buatois y Mángano, 2011).

**Características:** Esta icnofacies es característica en paleosuelos ricos en carbonatos, y sería indicativa de condiciones climáticas más áridas que la icnofacies de *Coprinisphaera* (Genise *et al.*, 2010).

**Ocurrencia:** La mayoría de los ejemplos de esta icnofacies corresponden a ambientes desarrollados bajo condiciones palustres, aunque también se han registrado en calcretes (Buatois y Mángano, 2011).

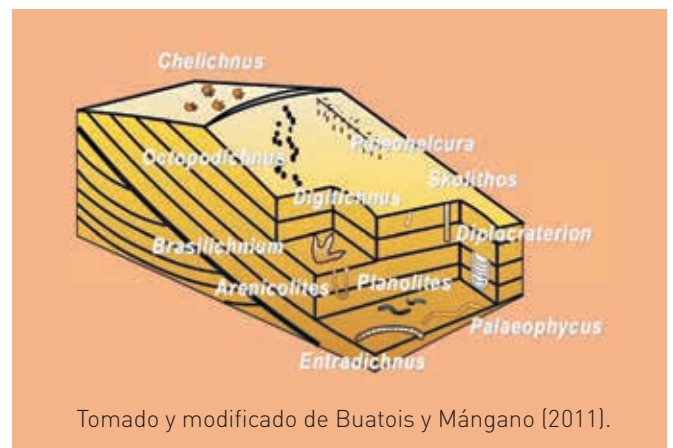


## ICNOFACIES DE *Octopodichnus-Entradichnus*

**Estructuras dominantes:** Se caracteriza por la presencia de trazas de artrópodos, domicilios verticales y trazas meniscadas.

**Características:** Esta icnofacies fue definida en dos estudios independientes. Por un lado Hunt y Lucas (2007) definieron a la icnofacies de *Octopodichnus* (dominada por trazas de artrópodos), mientras que Ekdale *et al.* (2007) propusieron la icnofacies de *Entradichnus* (dominada por trazas someras de artrópodos, domicilios verticales y trazas meniscadas). Krapovickas *et al.* (2016) realizaron una revisión integradora de las icnofacies vinculadas a sistemas desérticos.

**Ocurrencia:** Esta icnofacies se desarrolla en ambientes de dunas eólicas.





## ICNOFÁBRICAS

El concepto de Icnofábricas se utiliza para describir la textura y estructura interna del sedimento, producto de la bioturbación y bioerosión a distintas escalas (Ekdale y Bromley, 1984; Bromley y Ekdale, 1986).

Según Taylor y Goldring (1993), los análisis de icnofábricas involucran el registro de las condiciones de sedimentación primarias, de las estructuras de la comunidad endobentónicas y de la subsiguiente historia tafonómica de una o más fases de actividad biogénica. Este tipo de estudio permite evaluar las relaciones de corte entre las trazas fósiles y los escalonamientos o posiciones (*tiers*) que cada una presenta verticalmente. Esto posibilita incorporar en los análisis de trazas fósiles a todas aquellas estructuras de difícil asignación taxonómica (Buatois *et al.*, 2002).

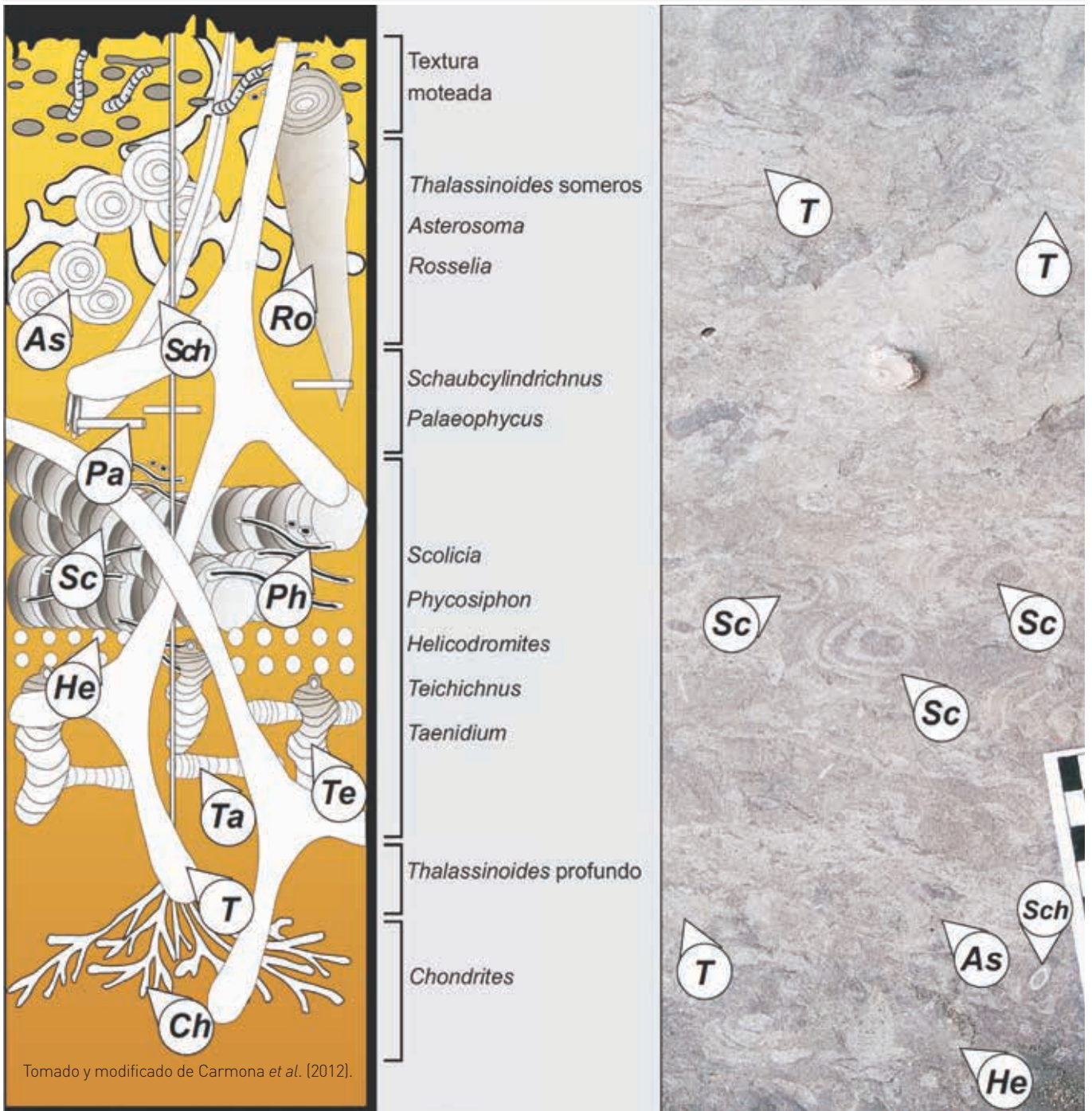
Los análisis de icnofábricas incluyen información sobre el grado de bioturbación, la icnodiversidad reflejada por la estructura de la comunidad, el posicionamiento vertical y el desarrollo de la comunidad bentónica en tiempo y espacio. Hay que tener en cuenta que el potencial de preservación aumenta a medida que las estructuras biogénicas penetran más profundamente en el sedimento, aunque en general la abundancia de las mismas disminuye (Werner y Wetzel, 1982).

La información obtenida a partir de los análisis de icnofábricas constituye un complemento para los estudios tradicionales de icnofacies, ya que ambos tipos de análisis se diferencian en la escala con la que se aborda el estudio de las estructuras biogénicas. En este sentido, los análisis de icnofábricas proporcionan una resolución más fina y detallada que los análisis de icnofacies, aunque carecen de la visión más amplia y general que los estudios icnofaciales (Gerard y Bromley, 2008). Esta concepción integradora debe ser la que dirija los trabajos icnológicos, permitiendo una visión más completa y tridimensional de la comunidad bentónica (Buatois y Mángano, 2011).

**FIGURA 3.3.**

*Shoreface inferior- transición offshore, Formación Chenque (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge.*

*Asterosoma (As), Chondrites (Ch), Helicodromites (He), Palaeophycus (Pa), Phycosiphon (Phy), Rosselia (Ro), Schaubcylindrichnus (Sch), Scolicia (Sc), Taenidium (Ta), Teichichnus (Te), Thalassinoides (T).*



## IMPLICANCIAS DE LA BIOTURBACIÓN EN LOS RESERVORIOS

Si bien durante mucho tiempo se consideró que la bioturbación generaba una importante reducción en la porosidad y permeabilidad de los reservorios, en los últimos años, una importante cantidad de estudios demuestran que esto no es siempre así (Buatois y Mángano, 2011). Uno de estos trabajos fue realizado por Buatois *et al.* (1999), quienes analizaron las relaciones de porosidad-permeabilidad en reservorios clásticos del Carbonífero de Kansas. Estos autores concluyeron que es común una disminución en la permeabilidad y porosidad cuando los sedimentos son bioturbados por organismos depositívoros, mientras que si los sedimentos presentan bioturbación generada por organismos suspensívoros (los cuales producen estructuras con relleno pasivo), se puede registrar un importante incremento en la porosidad y permeabili-

dad del sustrato, ya que hay un aumento en el grado de interconectividad entre las capas de sedimento (Buatois *et al.*, 1999). En el mismo sentido, Gerard y Bromley (2008) indican que debido a que los fluidos fluyen preferencialmente a través de rocas más permeables, el relleno de las excavaciones, que tiende a ser más heterogéneo y más permeable que la roca hospedante, puede actuar como conducto para los fluidos. Buatois y Mángano (2000) sugirieron que las excavaciones que cruzan varios niveles o colonizadores multicapas, en general causan un aumento de permeabilidad en la dirección vertical, siendo clásicos los ejemplos de las galerías de crustáceos que atraviesan paquetes arenosos turbidíticos, y que actúan como canales de migración de fluidos a través de las intercalaciones pelíticas.

**FIGURA 3.4.**

Testigos corona que muestran sucesiones de pelitas con *Thalassinoides* completamente impregnados en hidrocarburo. A la derecha, se presenta un modelo esquemático donde se muestra cómo las galerías de crustáceos favorecen la migración de fluidos, en sucesiones que intercalan areniscas y pelitas (esquema modificado de Pemberton *et al.*, 2001).

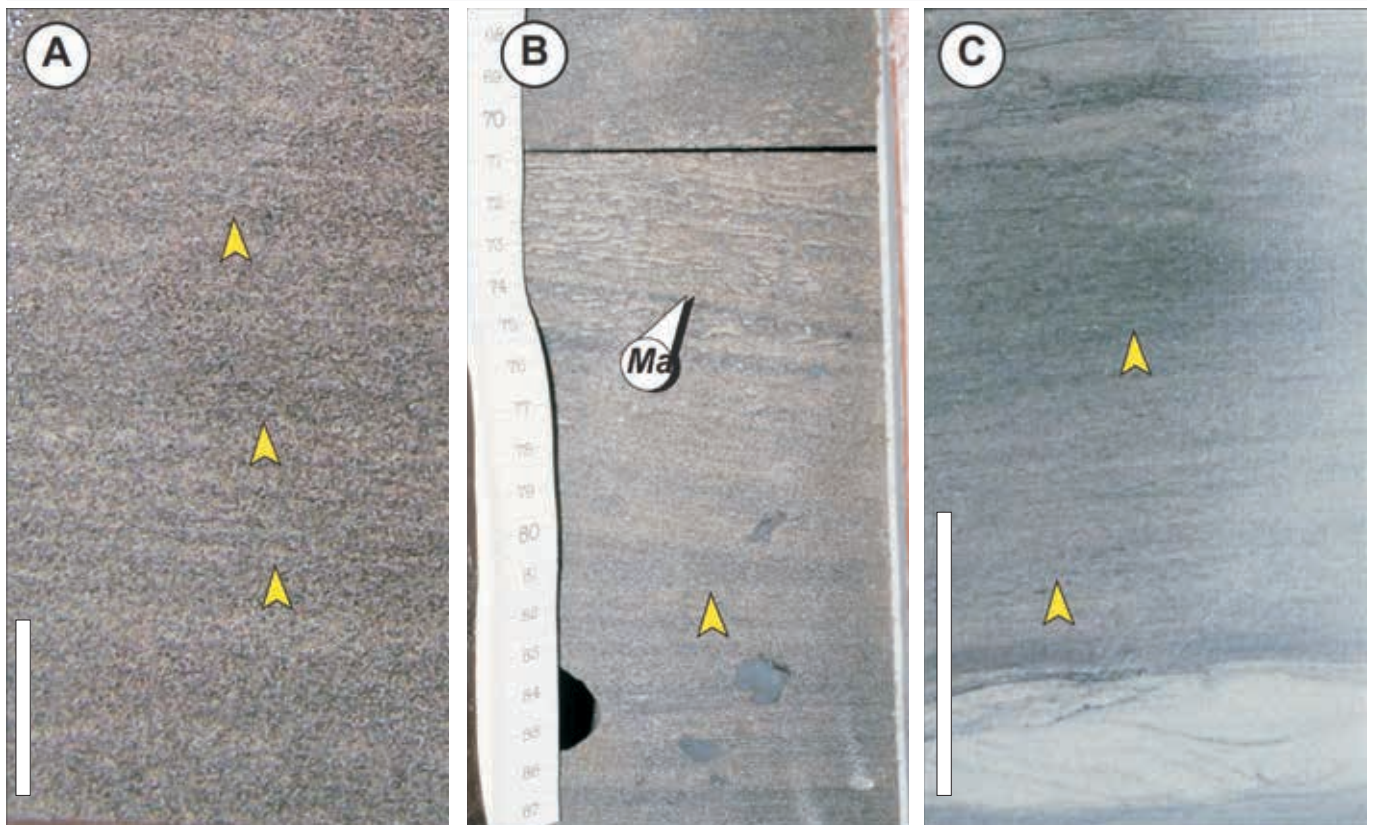


La criptobioturbación constituye otro importante concepto que debe tenerse en cuenta al realizar los análisis icnológicos. Usualmente se considera que una bioturbación total del sedimento (100%) produce una destrucción completa de la fábrica sedimentaria y de las estructuras sedimentarias asociadas (Pemberton *et al.*, 2008). Sin embargo, en algunos casos pueden darse condiciones en las que por más que la bioturbación del sedimento sea total, haya una destrucción muy baja de la estratificación primaria (Howard, 1978). En este sentido, recientemente se ha empezado a prestar mayor atención a todos aquellos aspectos de bioturbación más sutiles generados por la meiofauna (especies pequeñas que viven en la lámina de agua que rodea a los granos de arena), o por la infauna más pequeña. El término de criptobioturbación incluye a todas estas estructuras pequeñas que, a diferencia de las otras

estructuras de bioturbación, tienden a preservar más que a destruir las estructuras físicas primarias (Pemberton *et al.*, 2008). Cuando se analiza un nivel con criptobioturbación se visualiza claramente la estratificación primaria, y nos damos cuenta de que el sustrato está bioturbado porque el nivel presenta un aspecto algo borroso. La presencia de niveles con criptobioturbación es común en depósitos marinos someros a marinos marginales (Buatois y Mángano, 2011). Otro punto a destacar es la importante influencia de la criptobioturbación sobre la permeabilidad y porosidad de los sedimentos, disminuyendo las heterogeneidades internas del sustrato, y generando una distribución de la permeabilidad más uniforme (Pemberton *et al.* 2008). Como plantean Gingras *et al.* (2014), ignorar que la porosidad puede estar afectada por bioturbación puede generar errores en la estimación de las reservas de hidrocarburos.

**FIGURA 3.5.**

Testigos corona afectados por criptobioturbación (flechas amarillas). **A.** Miembro *Cadotte* de la *Formación Peace River* (Cretácico), Canadá. **B.** *Campo Pirital* (Oligoceno-Mioceno), Venezuela. Nótese la presencia de *Macaronichnus* (*Ma*). Gentileza Andreas Wetzel. **C.** *Formación Lajas* (Jurásico), Argentina. Las barras representan 3 cm.



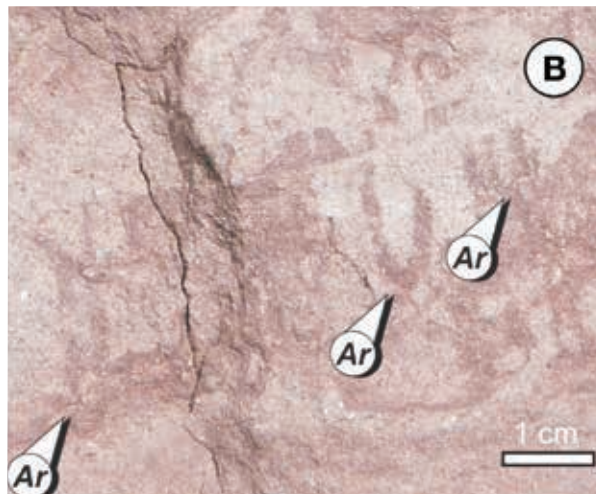
## TRAZAS FÓSILES COMUNES EN AFLORAMIENTO Y CORONAS

**FIGURA 3.6.**

**A.** Vista en sección de ejemplares de *Arenicolites* de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **B.** Vista en sección de ejemplares de *Arenicolites* (Ar) de la *Formación Rayoso* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **C.** Vista en sección de ejemplares de *Arenicolites* (Ar) y *Skolithos* (Sk) de la *Formación Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca Colorado.



| ARENICOLITES                 |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Estructura vertical en U, sin <i>spreite</i> .  |
| <b>Interpretación:</b>       | <i>Arenicolites</i> es interpretado como una estructura de domicilio de organismos vermiformes suspensivos (e.g. poliquetos), aunque también se han propuesto como posibles productores a crustáceos y holoturoideos. |
| <b>Ocurrencia:</b>           | En ambientes marinos y continentales, siendo más comunes en áreas costeras de alta energía.   |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.  |

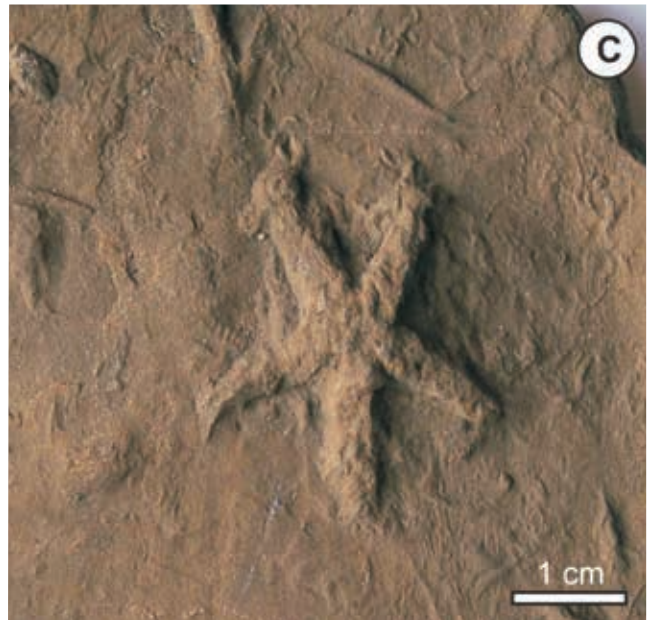


**FIGURA 3.7.**

**A.** Ejemplares de *Asteriacites* de la *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. Gentileza de Nerina Canale. **B.** Ejemplares de *Asteriacites* de la *Formación Neill Klinter* (Jurásico), Groenlandia. Colección de Richard Bromley. **C-D.** Ejemplares de *Asteriacites* del Ordovícico, República Checa.

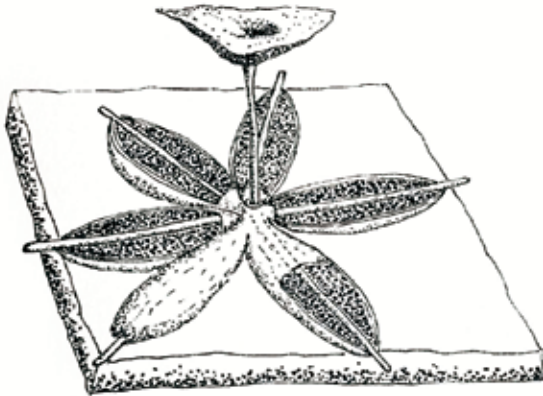


| <b>ASTERIACITES</b>          |  |
|------------------------------|--|
| <b>Descripción:</b>          | Estructuras en forma de estrella preservadas como hipicnias o epicnias.  |
| <b>Interpretación:</b>       | Estructuras de reposo ( <i>Cubichnia</i> ) de asterozoos (asteroideos y ophiuroideos) depositóvoros, suspensívoros o predadores. |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Ambientes marinos normales, marginales y profundos.  |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.   |

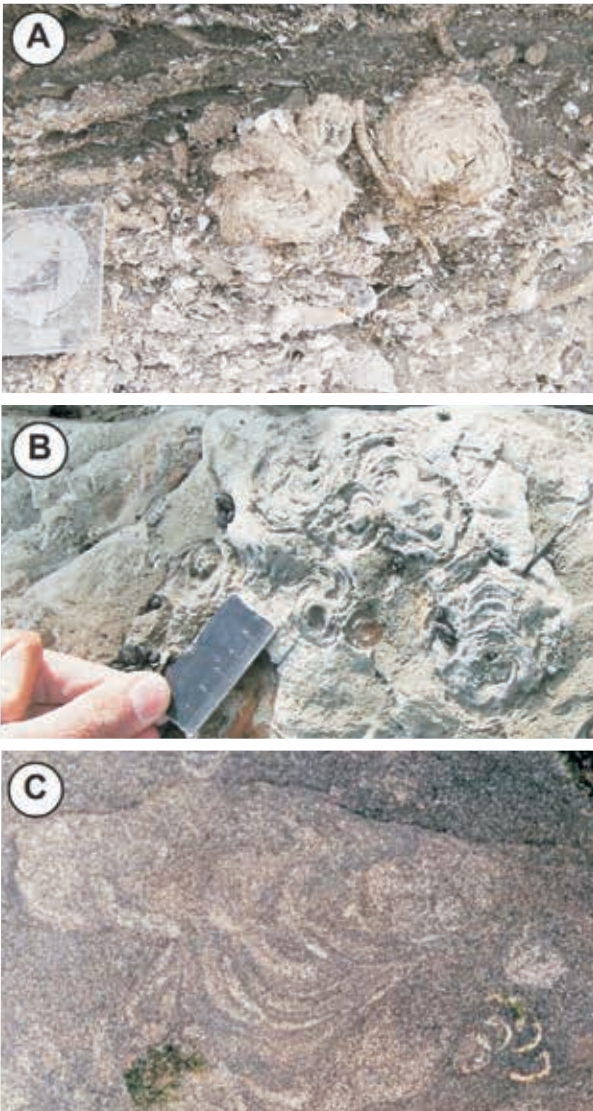


**FIGURA 3.8.**

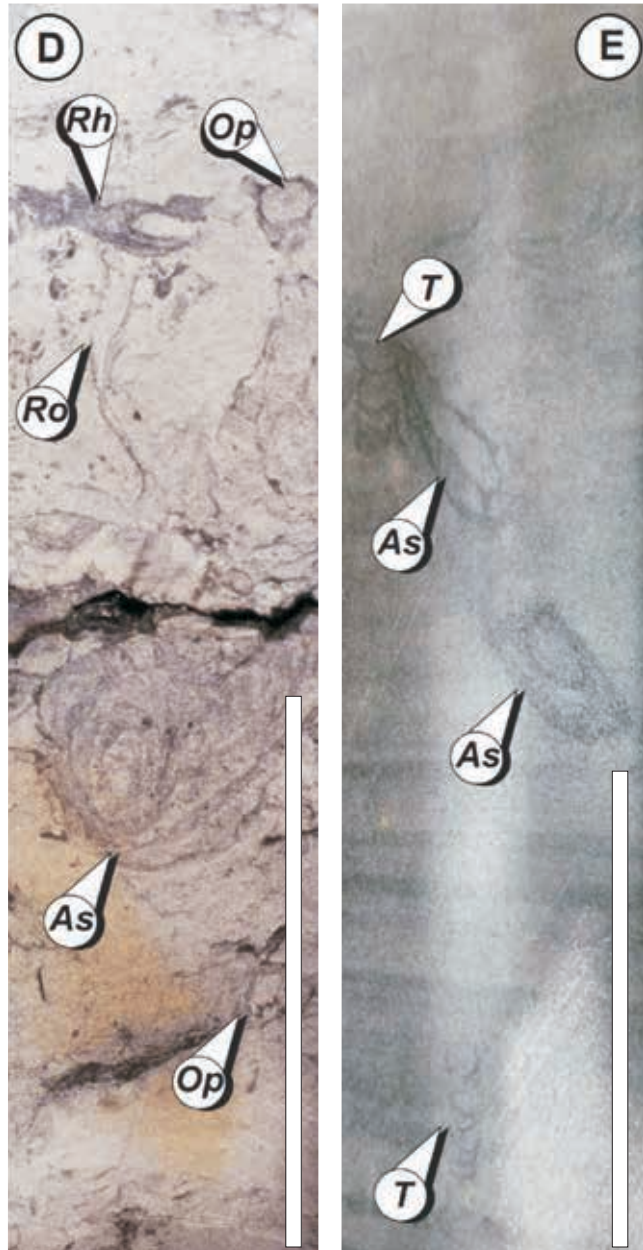
**A-B.** Ejemplares de *Asterosoma* de la *Formación Monte León* (Mioceno), Cuenca Austral. **C.** Ejemplares de *Asterosoma* de la *Formación Chenque* (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **D.** Corona con ejemplares de *Asterosoma* (*As*), *Ophiomorpha* (*Op*), *Rhizocorallium* (*Rh*) y *Roselia* (*Ro*) Campo Pirital, Cuenca Oriental de Venezuela. Gentileza de Andreas Wetzel. La barra representa 10 cm. **E.** Corona con ejemplares de *Asterosoma* (*As*) y *Teichichnus* (*T*) de la *Formación Tunas* (Pérmico), Cuenca Claromecó-Colorado. La barra representa 10 cm.



Modificado de Pemberton *et. al.* (2001).

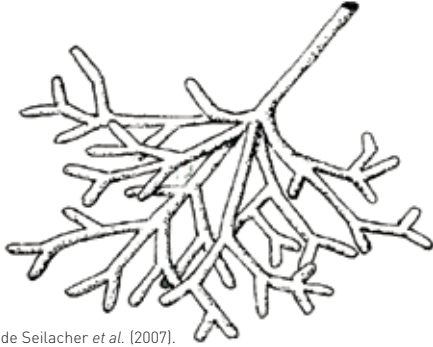


| <b>ASTEROSOMA</b>            |  |
|------------------------------|--|
| <b>Descripción:</b>          | Estructuras predominantemente horizontales compuestas por bulbos dispuestos de manera radial o en forma de abanico.  |
| <b>Interpretación:</b>       | <i>Asterosoma</i> es interpretado como la excavación de alimentación de organismos vermiformes (probablemente poliquetos) depositivos/detritivores, o como producto de la actividad de crustáceos decápodos. |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Preferentemente en depósitos marinos someros.  |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.   |



**FIGURA 3.9.**

**A.** Ejemplares de *Chondrites* (Ch). Nótese que algunos ejemplares de *Chondrites* se encuentran retrabajando un ejemplar de *Thalassinoides* (T), *Capas del Cabo Ladrillero* (Mioceno), Cuenca Austral.  
**B.** Vista en sección de ejemplares de *Chondrites*, *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina.  
**C.** Vista en planta de ejemplares de *Chondrites* de la *Formación Cerro Colorado* (Eoceno), Cuenca Austral.  
**D.** Corona que muestra ejemplares de *Chondrites* (Ch), *Thalassinoides* (T) y *Planolites* (Pl), del Eoceno-Mioceno de la costa de New Jersey. Gentileza Andreas Wetzel. La barra representa 5 cm.  
**E.** Corona que muestra ejemplares de *Chondrites* (Ch), *Asterosoma* (As) y *Thalassinoides* (T), *Formación Agrio* (Cretácico), Cuenca Neuquina. La barra representa 5 cm.



Modificado de Seilacher et al. (2007).

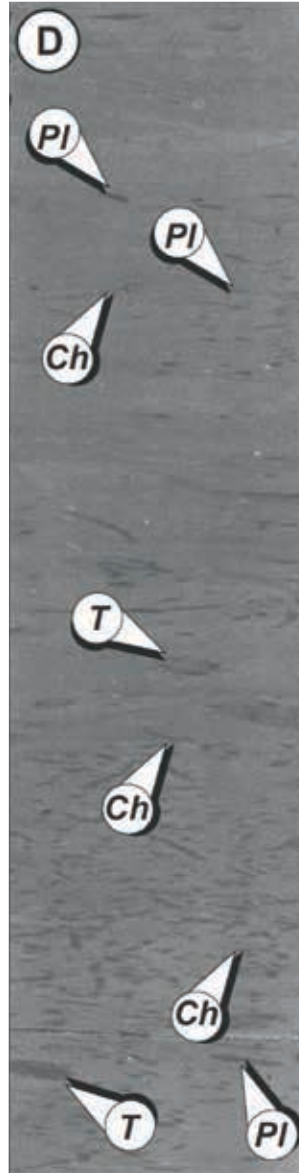
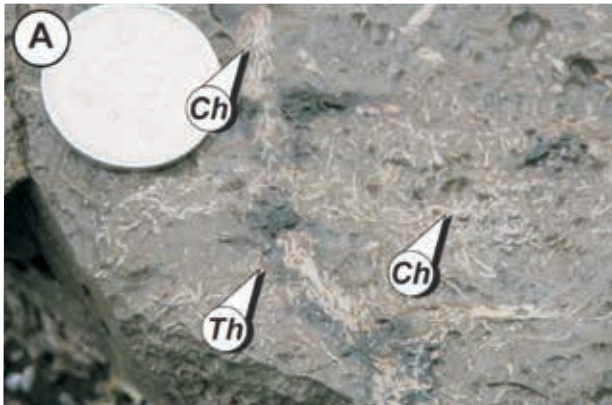
### CHONDRITES

**Descripción:** El icnogénero *Chondrites* consiste en un sistema de túneles dispuestos principalmente de manera vertical, que se comunican con la superficie, ramificándose a cierta profundidad y formando una red dendrítica regular, con túneles horizontales a subhorizontales. El color del relleno de los túneles es diferente al de la roca hospedante.

**Interpretación:** Esta estructura ha sido interpretada como la excavación de organismos depositívoros infaunales o quimiosimbiontes (preferentemente organismos vermiformes como poliquetos y sipuncúlidos).

**Ocurrencia:** Se registra desde ambientes marinos someros a profundos.

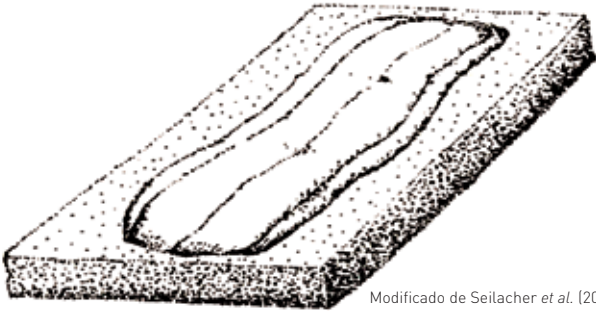
**Rango estratigráfico:** Ordovícico-Reciente.





**FIGURA 3.10.**

**A-B.** Vista en planta de ejemplares de *Curvolithus* (*Cu*), Formación Lotena (Jurásico), Cuenca Neuquina. **C.** Vista en planta de ejemplares de *Curvolithus* (*Cu*) (Cretácico), Canadá.



### CURVOLITHUS

**Descripción:** Esta estructura endostratal tiene la apariencia de una cinta aplanada que presenta tres lóbulos en su superficie superior.

**Interpretación:** *Curvolithus* es interpretado como una estructura de locomoción de organismos infaunales predadores (e.g. platelmintos y nemertinos).

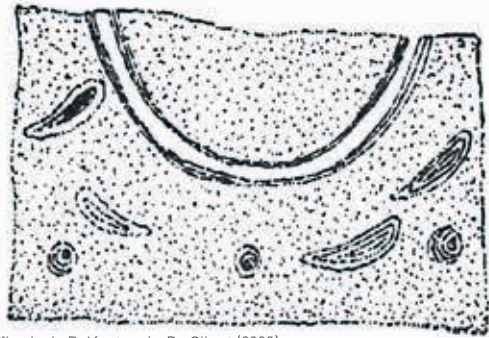
**Ocurrencia:** Ambientes marinos someros normales y marginales.

**Rango estratigráfico:** Cámbrico-Reciente.

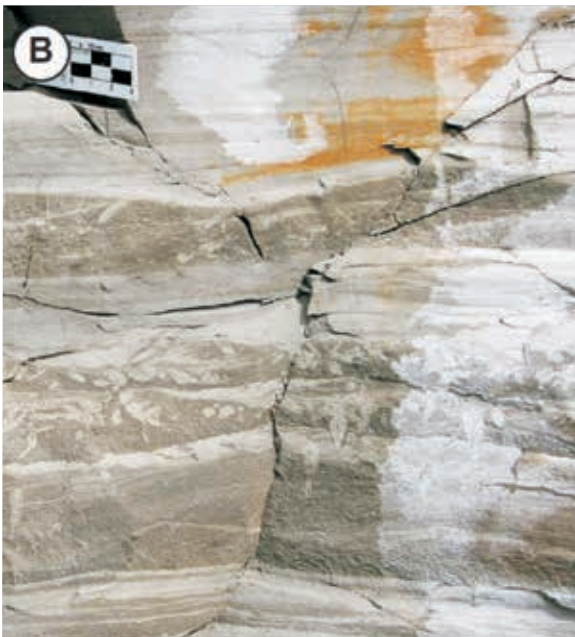
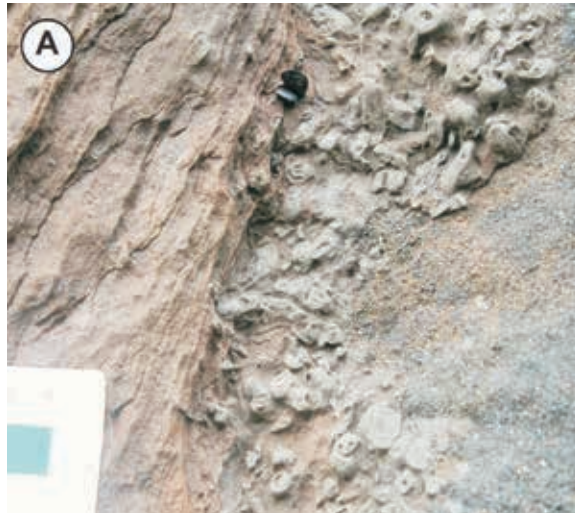


**FIGURA 3.11.**

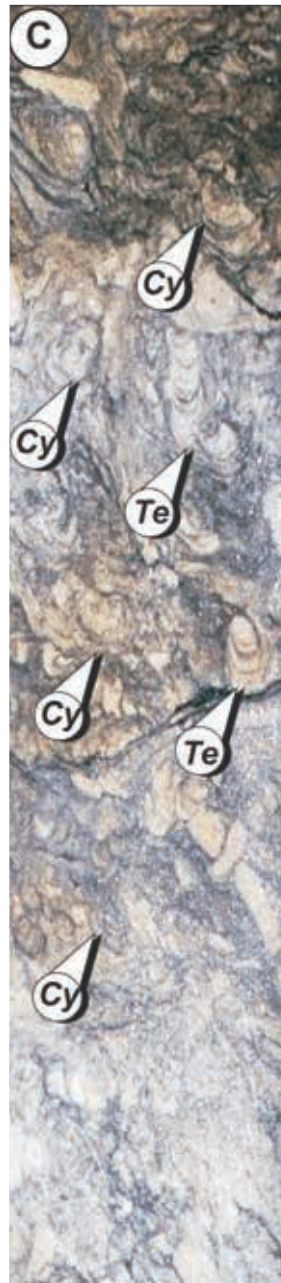
**A-B.** Vista en planta (**A**) y en sección (**B**) de ejemplares de *Cylindrichnus* (*Cy*), *Capas del Cabo Viamonte* (Mioceno), Cuenca Austral. **C.** Corona que muestra ejemplares de *Cylindrichnus* (*Cy*) y *Teichichnus* (*Te*), Subcuenca de Maturín, Venezuela. La barra representa 5 cm. **D.** Corona que muestra ejemplares de *Cylindrichnus* (*Cy*), *Formación Palermo* (Pérmico), Cuenca de Paraná, Brasil. La barra representa 4 cm. **E.** Corona que muestra ejemplares de *Cylindrichnus* (*Cy*) de la *Formación Tunas* (Pérmico), Cuenca Claromecó-Colorado. La barra representa 5 cm.



Modificado de Beláustegui y De Gibert (2009).



| <b>CYLINDRICHNUS</b>         |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Excavaciones con laminación concéntrica, con forma arqueada o en U.       |
| <b>Interpretación:</b>       | Esta estructura es interpretada como domicilio de poliquetos terebélicos. |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Ambientes de <i>shoreface-offshore</i> .                                  |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.  |

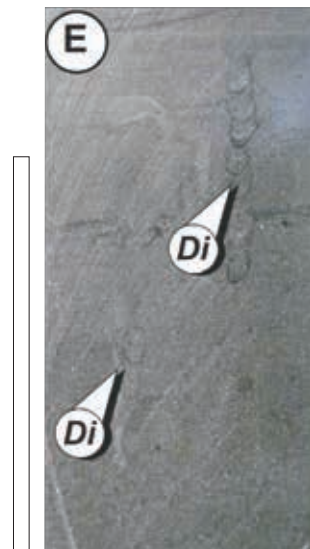


**FIGURA 3.12.**

**A-C.** Vista en planta (**A**) y en sección (**B-C**) de ejemplares de *Diplocraterion*, *Capas del Cabo San Pablo* (Mioceno), Cuenca Austral. **D.** Testigo corona que muestra ejemplares de *Diplocraterion* (*Di*), Canadá. **E.** Testigo corona que muestra ejemplares de *Diplocraterion* (*Di*), *Formación Tunas* (Pérmico), Cuenca Claromecó-Colorado. La barra representa 4 cm. **F.** Testigo corona que muestra ejemplares de *Diplocraterion* (*Di*), Subcuenca Maturín, Venezuela. La barra representa 3 cm.



| <b>DIPLOCRATERION</b>        |  |
|------------------------------|--|
| <b>Descripción:</b>          | Excavación vertical en forma de U con <i>spreite</i> protrusivo (más común), o retrusivo, que conecta con la superficie por medio de aberturas en forma de embudo.                                   |
| <b>Interpretación:</b>       | <i>Diplocraterion</i> es interpretado como una estructura de domicilio y de equilibrio de poliquetos suspensivos y posiblemente crustáceos.  |
| <b>Ocurrencia:</b>           | <i>Diplocraterion</i> ocurre en una gran variedad de ambientes, desde marinos someros a profundos, y también en ambientes continentales. Generalmente se asocia a ambientes someros de alta energía. |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.   |



**FIGURA 3.13.**

**A.** Vista en sección de *Gastrochaenolites*, Formación Río Turbio (Eoceno), Cuenca Austral. **B.** Vista basal de ejemplares de *Gastrochaenolites*, Formación Chenque (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **C.** Vista en sección de ejemplares de *Gastrochaenolites*, Formación Puerto Madryn (Mioceno). **D-E.** Molde interno con preservación basal del icnofósil (*Gastrochaenolites*), Formación Chenque (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **F.** Vista basal de un ejemplar de *Gastrochaenolites*, Formación Chenque (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. La barra representa 1 cm.

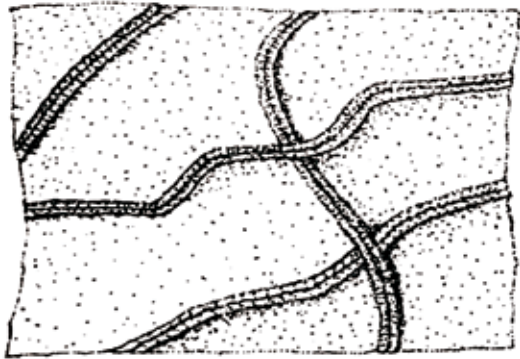


| <b>GASTROCHAENOLITES</b>     |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Esta estructura presenta una forma de clava o de gota en sección vertical, y es circular o con forma de corazón en sección transversal, con una parte superior o cuello más angosto que la parte basal. |
| <b>Interpretación:</b>       | <i>Gastrochaenolites</i> es interpretado como una estructura de domicilio de bivalvos perforantes suspensivos.  |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Los organismos productores ocurren en sustratos rocosos, cementados de ambientes marinos someros, aunque también se han registrado en sustratos firmes.   |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Ordovícico-Reciente.  |



**FIGURA 3.14.**

**A.** Vista en planta (A) y basal (B) de ejemplares de *Gyrochorte*, Formación Mulichinco (Cretácico), Cuenca Neuquina. **C-D.** Vista en planta de ejemplares de *Gyrochorte*, Formación Lajas (Jurásico), Cuenca Neuquina.



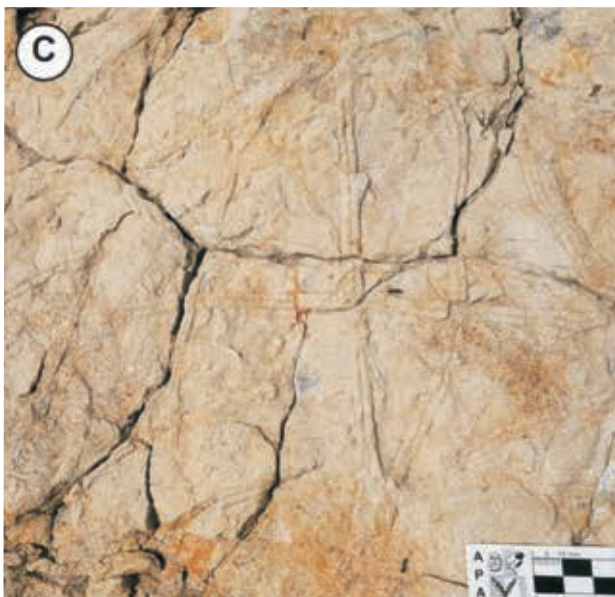
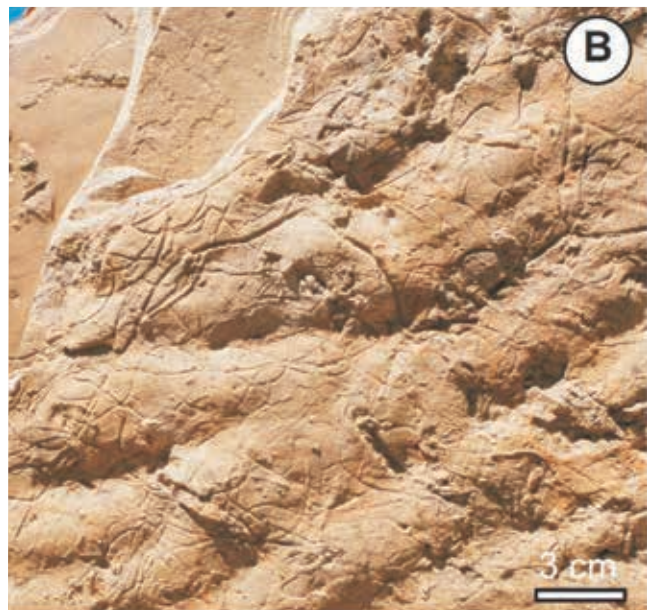
### GYROCHORTE

**Descripción:** *Gyrochorte* consiste en una excavación que penetra verticalmente y muestra curvas y meandros, y que se caracteriza por presentar en la superficie superior dos lóbulos convexos y un surco medio, mientras que hacia la base se presentan dos surcos separados por un margen medio. Tanto la superficie superior como la basal pueden presentar estrías transversales.

**Interpretación:** Esta estructura es interpretada como la excavación de un organismo vermiforme detritívoro (e.g. anélidos).

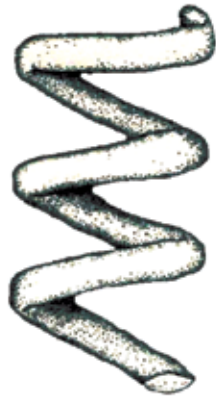
**Ocurrencia:** Este icnotaxón ocurre generalmente en ambientes marinos someros de energía moderada.

**Rango estratigráfico:** Ordovícico-Reciente.



**FIGURA 3.15.**

**A-B.** Vista en sección de ejemplares de *Gyrolithes* (G) y *Ophiomorpha* (Op) del Plioceno de la Cuenca de Guadalquivir, España. **C-D.** Testigos corona que muestran ejemplares de *Gyrolithes* (G), *Ophiomorpha* (Op), *Thalassinoides* (T) y *Haentzschelinia* (Ha), Formación Lajas (Jurásico), Cuenca Neuquina. Las barras representan 5 cm.



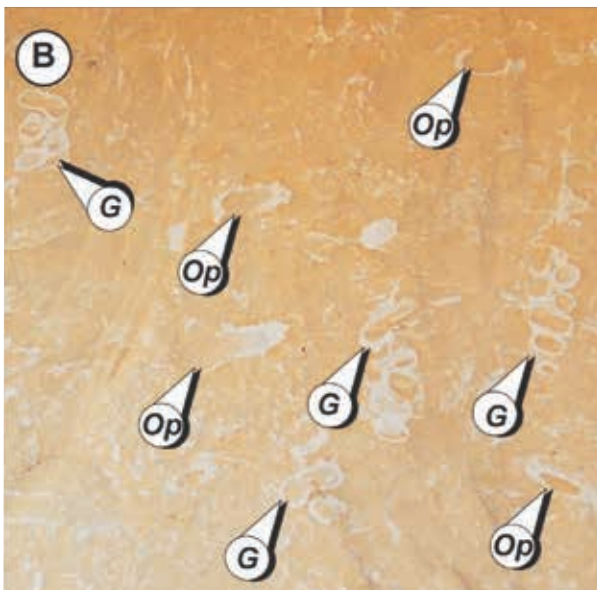
### GYROLITHES

**Descripción:** Excavaciones helicoidales verticales, que pueden carecer de pared, presentar un revestimiento indistinto, una pared construccional o bioglífos. Usualmente se conectan con ejemplares de *Thalassinoides* o de *Ophiomorpha*.

**Interpretación:** Es interpretado como una estructura de alimentación de poliquetos (especialmente para los ejemplares paleozoicos), y crustáceos (para los ejemplares más robustos desde el Mesozoico en adelante).

**Ocurrencia:** Ambientes marinos someros y suelen ser dominantes en ambientes marinos marginales.

**Rango estratigráfico:** Cámbrico-Reciente.



**FIGURA 3.16.**

**A-B.** Vista en planta (**A**) y en sección (**B**) de ejemplares de *Haentschelina* (*Ha*), Formación Lajas (Jurásico), Cuenca Neuquina. **C.** Vista en planta y sección pulida de ejemplares de *Haentschelina* (*Ha*), colección Richard Bromley. **D-E.** Testigos corona que muestran ejemplares de *Haentschelina* (*Ha*), Formación Lajas (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra en **D** representa 2 cm, y en **E** 5 cm.



### HAENTZSCHELINIA

**Descripción:** Estructura con morfología radial que presenta brazos horizontales o inclinados, con ramificaciones terminales y un túnel central que conecta con la superficie. Los sistemas radiales presentan material mejor seleccionado que el de la roca hospedante.

**Interpretación:** Correspondería a una estructura de alimentación de organismos vermiformes depositivos-detríticos.

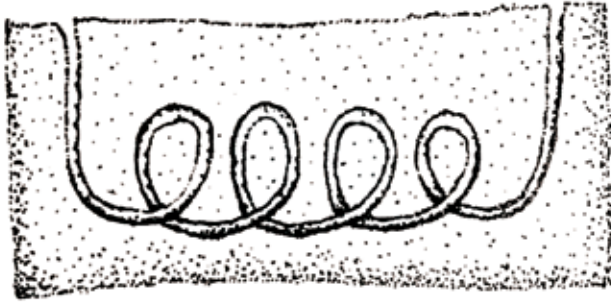
**Ocurrencia:** Usualmente ocurre en areniscas silicoclásticas ricas en material fitodetrítico, principalmente en ambientes marinos transicionales.

**Rango estratigráfico:** Jurásico-Reciente.



**FIGURA 3.17.**

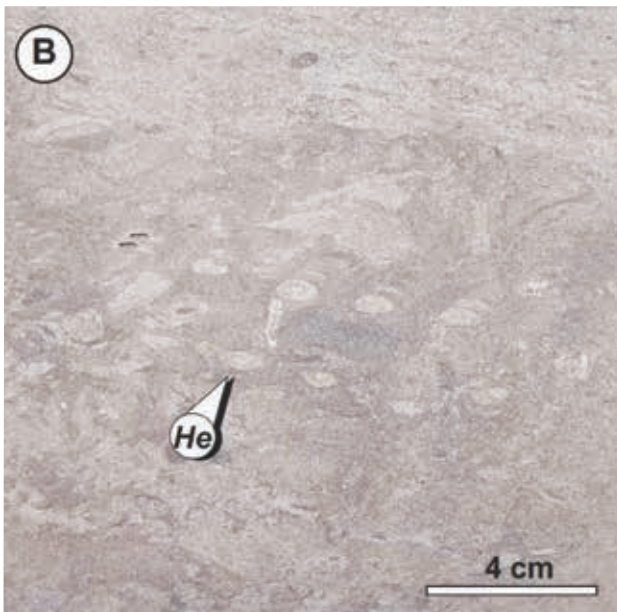
**A.** Vista en planta de ejemplares de *Helicodromites* (*He*), Formación *Chenque* (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **B.** Vista en sección de ejemplares de *Helicodromites* (*He*), Formación *Chenque* (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **C.** Vista en planta de ejemplares de *Helicodromites* (*He*), Formación *Monte León* (Mioceno), Cuenca Austral.



Modificado de Seilacher (2007).

### HELICODROMITES

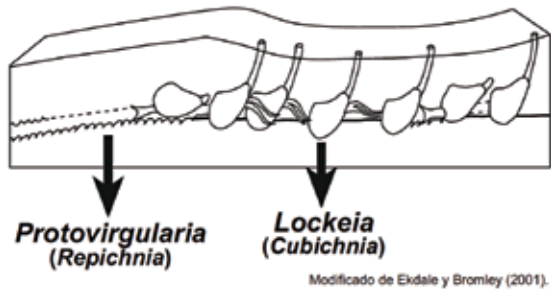
|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Esta estructura comprende excavaciones espiraladas dispuestas en el plano horizontal, usualmente de tamaño pequeño, con relleno más claro que el sedimento de la roca hospedante. |
| <b>Interpretación:</b>       | Se considera que este tipo de estructuras constituye una excavación de alimentación de organismos vermiformes ( <i>e.g.</i> poliquetos o enteropneustos).                         |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Es común tanto en ambientes marinos someros como profundos, especialmente en sectores de baja energía.  |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Devónico-Reciente.  |





**FIGURA 3.18.**

**A-B.** Vista basal de ejemplares de *Lockeia* (*Lo*) y *Gyrochorte* (*Gy*), Formación Mulichinco (Cretácico), Cuenca Neuquina. **C-D.** Vista en planta de ejemplares de *Lockeia* (*Lo*), Formación Río Negro (Mioceno-Plioceno), Cuenca Colorado.



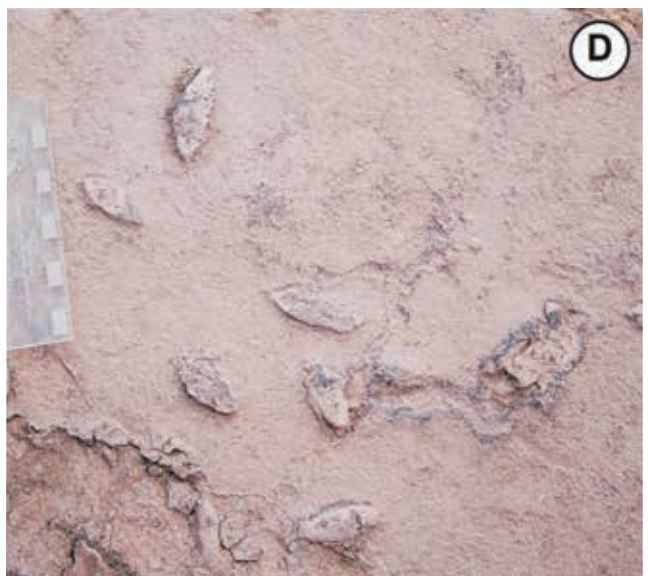
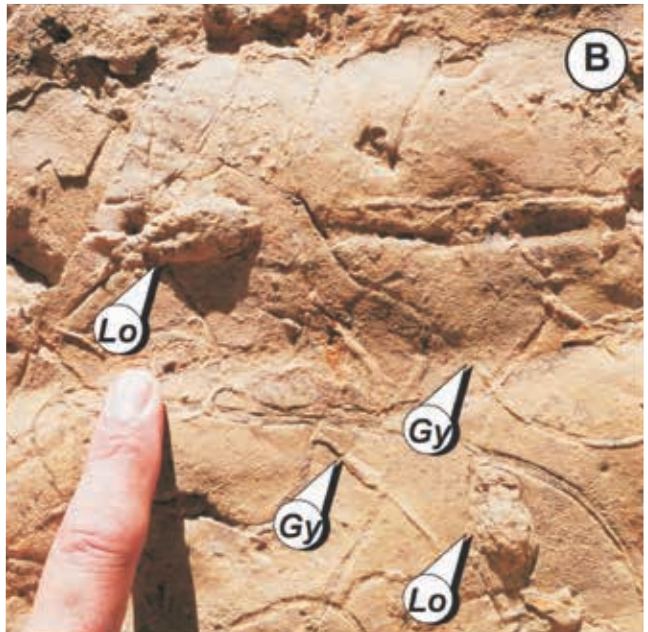
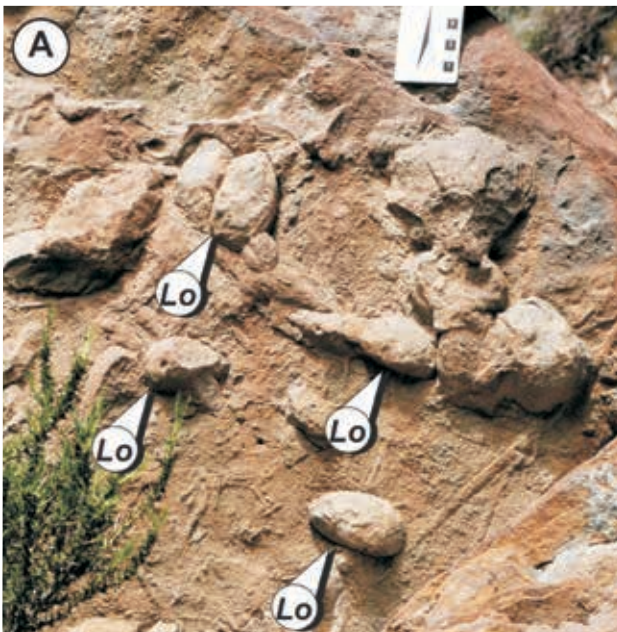
### LOCKEIA

**Descripción:** Comprende estructuras en forma ovalada o almendrada, que se estrechan en general en una punta, y son más redondeadas en la terminación opuesta.

**Interpretación:** Estructura de descanso y/o domicilio permanente de bivalvos.

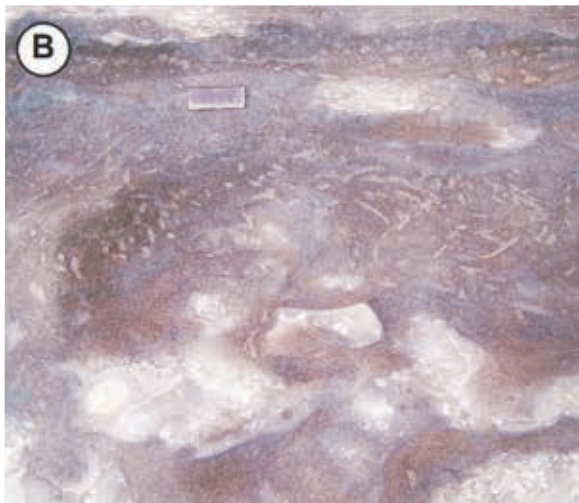
**Ocurrencia:** Se ha documentado en ambientes marinos someros y profundos, marino-marginales y en ambientes continentales.

**Rango estratigráfico:** Cámbrico-Reciente.



**FIGURA 3.19.**

**A-B.** Vista en planta (**A**) y en sección (**B**) de ejemplares de *Macaronichnus*, Formación *Chenque* (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **C.** Vista en sección de ejemplares de *Macaronichnus*, Formación *Horseshoe Canyon* (Cretácico), Canadá. **D.** Testigo corona que muestra ejemplares de *Macaronichnus* (*Ma*), Venezuela. La barra representa 5 cm. Gentileza Andreas Wetzel. **E.** Testigo corona que muestra ejemplares de *Macaronichnus* (*Ma*), Canadá. **F.** Testigo corona mostrando ejemplares de *Macaronichnus* (*Ma*), Formación *Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina.



### MACARONICHNUS

**Descripción:** Estructuras horizontales, sinuosas, meandriformes o espiraladas, sin ramificación, que se caracterizan por la presencia de un halo litológicamente diferente al de la roca hospedante y al del sedimento que rellena la excavación. En general se presentan en grandes densidades.

**Interpretación:** La construcción de estas estructuras se atribuye a la actividad de poliquetos depositívoros de la familia *Ophelidae*.

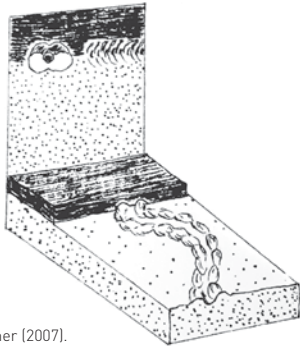
**Ocurrencia:** *Macaronichnus* es una estructura común en ambientes someros energéticos, y ocurre principalmente en depósitos de *foreshore* y *shoreface* superior.

**Rango estratigráfico:** Pérmico-Reciente.



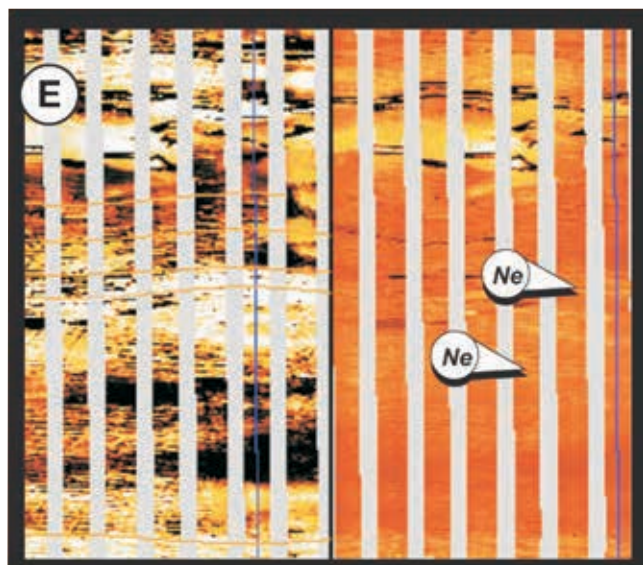
**FIGURA 3.20.**

**A-B.** Vista en planta de ejemplares de *Nereites*, Formación López de Bertodano (Cretácico), Cuenca James Ross, Antártida. **B.** Vista en planta de ejemplares de *Nereites* (*Ne*) y *Phycosiphon* (*Phy*), Formación Monte León (Mioceno), Cuenca Austral. **C.** Vista en planta de ejemplares de *Nereites*, Formación Chenque (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **D.** Vista en sección de ejemplares de *Nereites* (*Ne*), Formación Cerro Colorado (Eoceno), Cuenca Austral. **E.** Imagen de pozo donde se reconocen ejemplares de *Nereites* (*Ne*), Formación Los Molles (Jurásico), Cuenca Neuquina, controlado con el testigo corona. La barra representa 20 cm.



Modificado de Seilacher [2007].

| NEREITES                     |  |
|------------------------------|--|
| <b>Descripción:</b>          | Estructuras horizontales generalmente sinuosas a meandriformes, que poseen un canal central con sedimento más oscuro, rodeado por una zona de sedimento retrabajado más claro. Generalmente se preserva la parte externa de esta estructura como cadenas densamente empaquetadas de pequeñas depresiones o pústulas uni a multiseriadas. |
| <b>Interpretación:</b>       | Se interpreta como una estructura de locomoción y alimentación de organismos vermiformes depositivos, probablemente enteropneustos.  |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Ocurre en ambientes marinos someros y profundos.   |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.   |

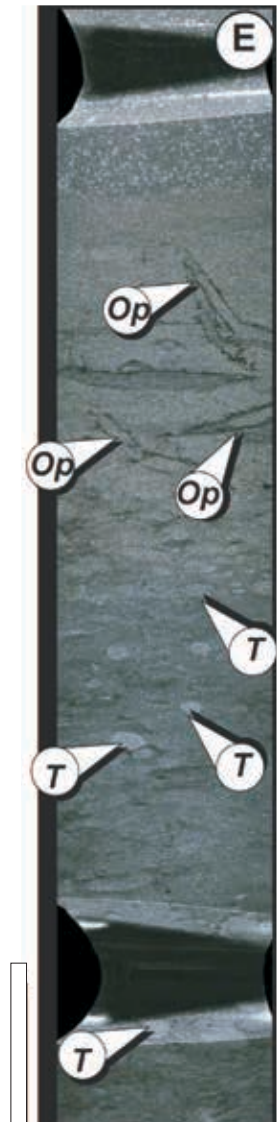
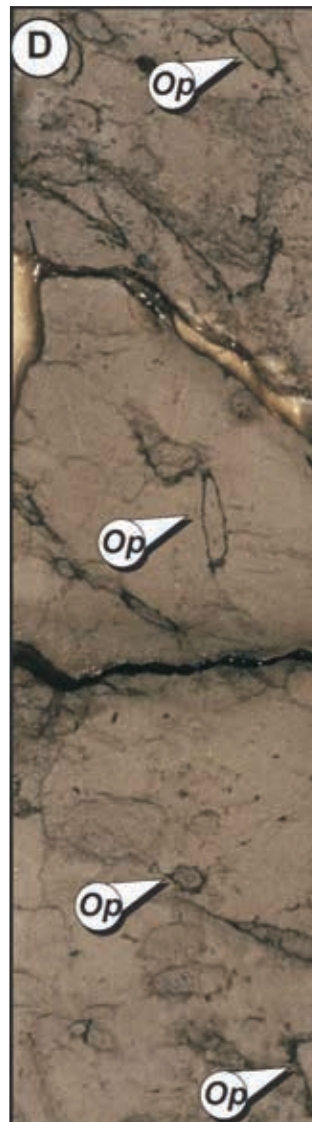


**FIGURA 3.21.**

**A.** Vista en planta de ejemplares de *Ophiomorpha*, Formación *Desdémona* (Oligoceno), Cuenca Austral. **B.** Vista en sección de ejemplar de *Ophiomorpha*, Formación *Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca Colorado. **C.** Vista en sección de ejemplares de *Ophiomorpha*, Formación *Monte León* (Mioceno), Cuenca Austral. **D.** Testigo corona mostrando ejemplares de *Ophiomorpha* (*Op*) del Oligoceno-Mioceno, Cuenca Oriental de Venezuela. **E.** Testigo corona que muestra ejemplares de *Ophiomorpha* (*Op*) y *Thalassinoides* (*T*), Formación *Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. Las barras representan 5 cm.



| <b>OPHIOMORPHA</b>           |  |
|------------------------------|--|
| <b>Descripción:</b>          | Este icnogénero comprende a aquellos sistemas de excavaciones simples a complejas, con ramificaciones, que presentan como característica diagnóstica una pared construccional formada por pellets.   |
| <b>Interpretación:</b>       | Esta estructura es comúnmente relacionada a la actividad de crustáceos decápodos (en particular callianásidos y thalassinídeos). Se considera que la construcción de excavaciones con paredes peletadas es una estrategia de los organismos para vivir en ambientes energéticos. |
| <b>Ocurrencia:</b>           | <i>Ophiomorpha</i> ocurre tanto en ambientes someros como profundos, en depósitos silicoclásticos y carbonáticos.  |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Triásico-Reciente.   |



**FIGURA 3.22.**

**A-C.** Ejemplares de *Paleodictyon*, *Capas del Cabo Viamonte* (Mioceno), Cuenca Austral. **D.** Ejemplar de *Paleodictyon*, *Formación Cerro Colorado* (Eoceno), Cuenca Austral. **E.** Ejemplares de *Paleodictyon*, *Formación Beloveza* (Eoceno), Cárpatos.

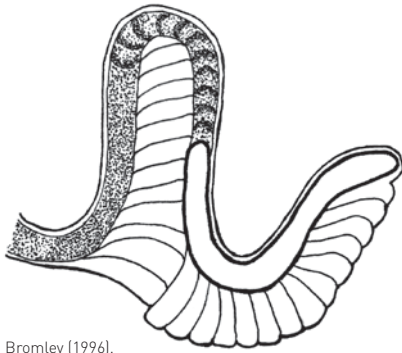


| <b>PALEODICTYON</b>          |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Estructura horizontal tridimensional conformada por una red regular de hexágonos y salidas verticales.  |
| <b>Interpretación:</b>       | <i>Paleodictyon</i> es comúnmente interpretado como una estructura para el entrapamiento o cultivo de microorganismos.  |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Este grafoglúptido ha sido encontrado en ambientes marinos someros del Cámbrico y en ambientes marinos profundos a partir del Ordovícico, donde ocurre casteado a la base de turbiditas distales. |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.  |



**FIGURA 3.23.**

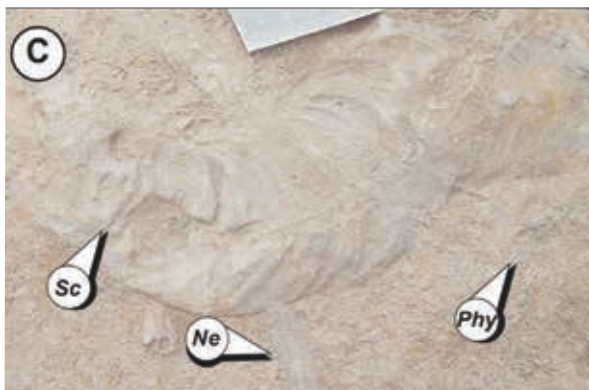
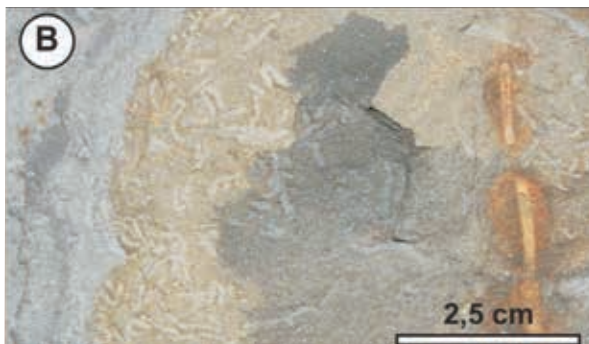
**A.** Vista en sección de ejemplares de *Phycosiphon* (*Phy*), *Thalassinoides* (*Th*) y *Nereites* (*Ne*), Formación *Desdémona* (Oligoceno), Cuenca Austral. **B.** Vista en planta de ejemplares de *Phycosiphon*, Formación *Los Molles* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **C.** Vista en planta de ejemplar de *Phycosiphon* (*Phy*), *Nereites* (*Ne*) y *Scolicia* (*Sc*), Formación *Monte León* (Mioceno), Cuenca Austral. **D.** Vista en sección de ejemplares de *Phycosiphon* (*Phy*), *Nereites* (*Ne*) y *Diplocraterion* (*Di*), Capas del *Cabo Viamonte* (Mioceno), Cuenca Austral. **E.** Testigo corona mostrando ejemplares de *Phycosiphon* (*Phy*), Formación *Viking* (Cretácico), Canadá.



Modificado de Bromley (1996).

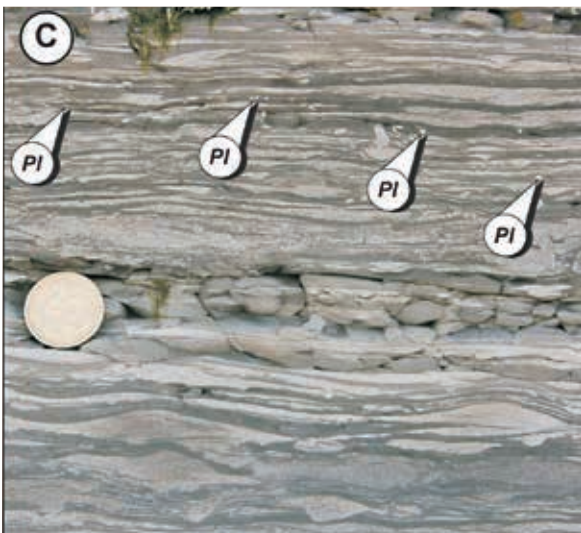
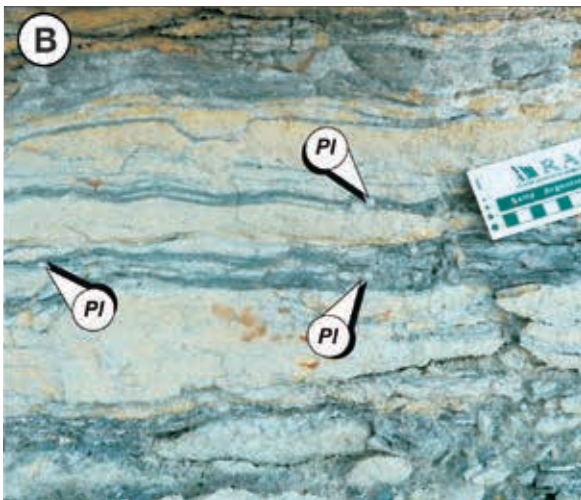
**PHYCOSIPHON**

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Este icnogénero incluye estructuras biogénicas pequeñas formadas por lóbulos en forma de U que se recurvan en el plano horizontal, y que presentan un <i>spreite</i> milimétrico a centimétrico. Característicamente presenta un núcleo más oscuro rodeado por un halo más claro. |
| <b>Interpretación:</b>       | <i>Phycosiphon</i> es interpretado como una estructura de alimentación de organismos vermiformes, probablemente poliquetos.   |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Este icnogénero está restringido a ambientes marinos, tanto someros como profundos.   |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Ordovícico-Reciente.  |



**FIGURA 3.24.**

**A-B.** Vista en planta de ejemplares de *Planolites* (PI), Formación *Chenque* (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **C.** Vista en sección de ejemplar de *Planolites* (PI), Formación *Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **D.** Testigo corona que muestra ejemplares de *Planolites* (PI), *Thalassinoides* (T) y *Nereites* (Ne), Miembro *Troncoso* (Cretácico), Cuenca Neuquina. La flecha amarilla marca una grieta de sinéresis. La barra representa 10 cm. **E.** Testigo corona que muestra ejemplares de *Planolites* (PI) y *Ophiomorpha* (Op), Formación *Viking* (Cretácico), Canadá. La barra representa 3 cm.

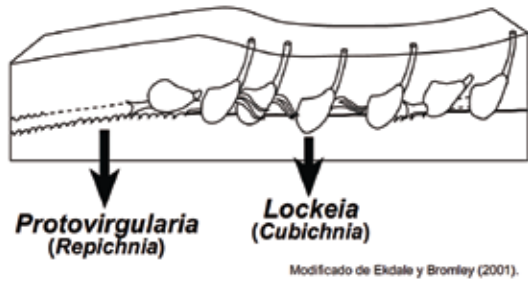


| PLANOLITES                   |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Comprende excavaciones simples, rectas a sinuosas, sin ramificación, que carecen de una pared distintiva. En sección transversal estas estructuras son cilíndricas a elípticas y de variadas dimensiones. El relleno difiere de la roca hospedante y se preservan como estructuras endocéntricas. |
| <b>Interpretación:</b>       | Es interpretado como una estructura de alimentación de organismos depositívoros (posiblemente poliquetos).  |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Esta estructura está documentada en ambientes marinos someros, marginales, profundos y continentales.   |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.  |



**FIGURA 3.25.**

**A-B.** Vista en planta de ejemplares de *Protovirgularia*, Formación Monte León (Mioceno), Cuenca Austral. **C-D.** Vista en planta de ejemplares de *Protovirgularia*, Formación Chenque (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge.



### PROTOVIRGULARIA

**Descripción:** Comprende estructuras horizontales a inclinadas que se caracterizan por la presencia de paquetes de sedimento en forma de V o U dispuestos de manera transversal al eje longitudinal.

**Interpretación:** Este icnogénero es interpretado como la estructura de locomoción de bivalvos protobranquios (con pie bifurcado), o por escafópodos.

**Ocurrencia:** Ambientes marinos marginales, someros y profundos.

**Rango estratigráfico:** Ordovícico-Reciente.



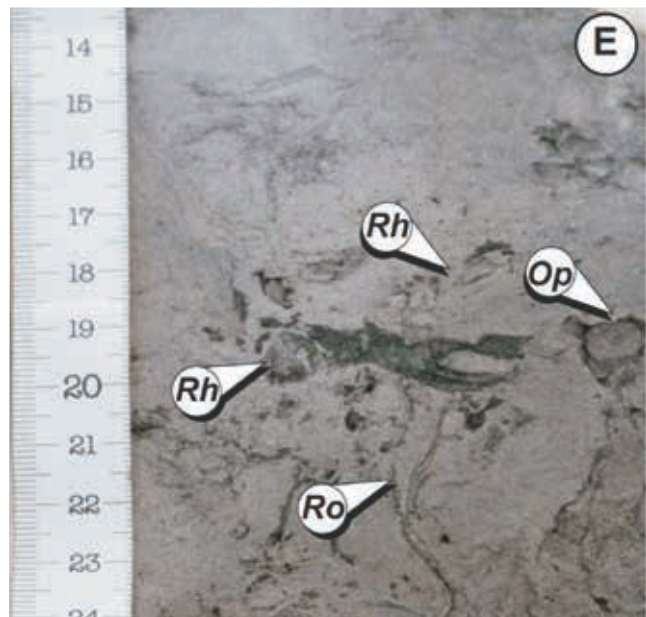


**FIGURA 3.26.**

**A-B.** Vista en planta de ejemplares de *Rhizocorallium*, Formación Lajas (Jurásico), Cuenca Neuquina. **C.** Vista en planta de un ejemplar de *Rhizocorallium*, Formación Agrio (Cretácico), Cuenca Neuquina. **D.** Vista en planta de un ejemplar de *Rhizocorallium*, Formación Snow Hill Island (Cretácico), Cuenca James Ross, Antártida. **E.** Testigo corona que muestra ejemplares de *Rhizocorallium* (*Rh*), *Rosselia* (*Ro*) y *Ophiomorpha* (*Op*) del Oligoceno-Mioceno, Cuenca Oriental de Venezuela. Gentileza Andreas Wetzel.

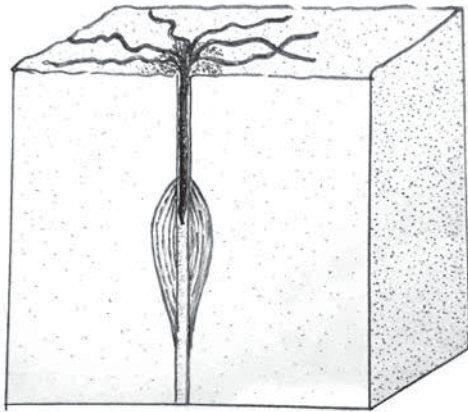


| <b>RHIZOCORALLIUM</b>        |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Comprende excavaciones en forma de U, con <i>spreiten</i> (generalmente protrusivos). Usualmente las ramas tienen una disposición vertical en los sectores superiores, mientras que a cierta profundidad, se inclinan adquiriendo una posición oblicua a horizontal. Es común la presencia de marcas de rasguñaduras en los márgenes externos de las ramas. |
| <b>Interpretación:</b>       | Estructura de domicilio y/o alimentación de organismos vermiformes y/o crustáceos suspensivos o depositívoros.  |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Principalmente ocurre en ambientes marinos someros y profundos, aunque también hay menciones para ambientes fluviales.  |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.  |



**FIGURA 3.27.**

**A.** Vista en sección de ejemplares de *Rosselia*, Formación Puerto Madryn (Mioceno). **B-C.** Vista en sección de ejemplares de *Rosselia*, Formación Chenque (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **D.** Testigo corona que muestra ejemplares de *Rosselia* (Ro) y *Teichichnus* (Te), Formación Tunas (Pérmico), Cuenca Claromecó-Colorado. La barra representa 2 cm.



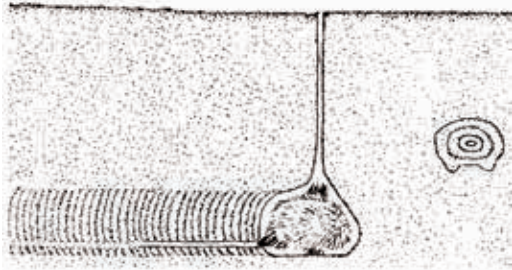
Modificado de Nara (1997).

| <b>ROSSELIA</b>              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Excavaciones verticales o algo inclinadas, en forma de embudo, con un tubo central arenoso, rodeado por láminas concéntricas de material principalmente pelítico. |
| <b>Interpretación:</b>       | Estructura de habitación de organismos detritívoros (e.g. poliquetos terebétidos) que consumen los detritos de la superficie del sedimento.                       |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Esta estructura es común en ambientes marinos someros, salobres y marinos profundos.  |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.  |



**FIGURA 3.28.**

**A-B.** Vista en sección **(A)** y en planta **(B)** de ejemplares de *Scolicia* (*Sc*). Nótese en **B** la presencia del productor asociado a la traza fósil (flecha amarilla), *Formación Chenque* (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **C.** Vista en planta de ejemplares de *Scolicia*, Capas del Cabo San Pablo (Mioceno), Cuenca Austral. **D.** Vista en planta de ejemplar de *Scolicia* (*Sc*) y *Phycosiphon* (*Phy*), *Formación Monte León* (Mioceno), Cuenca Austral.



Modificado de Bromley (1996).

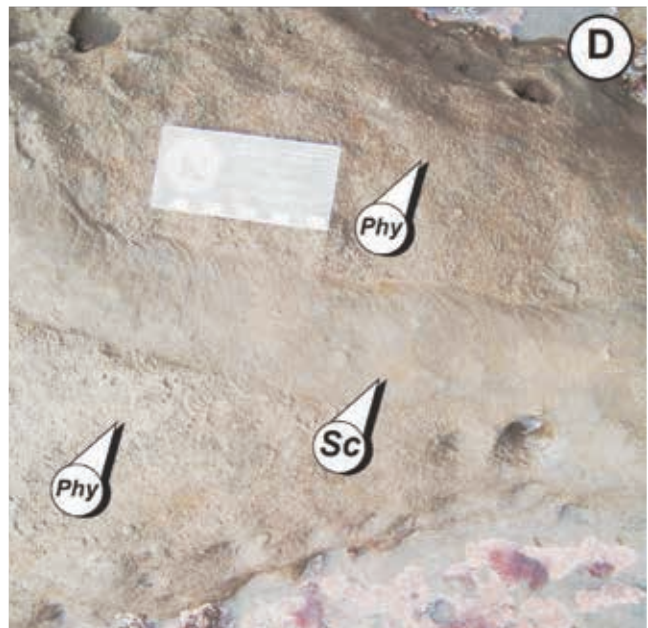
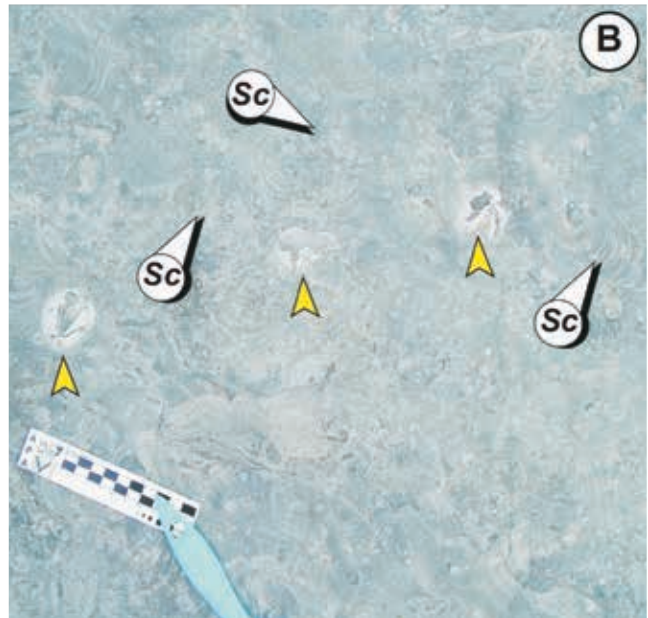
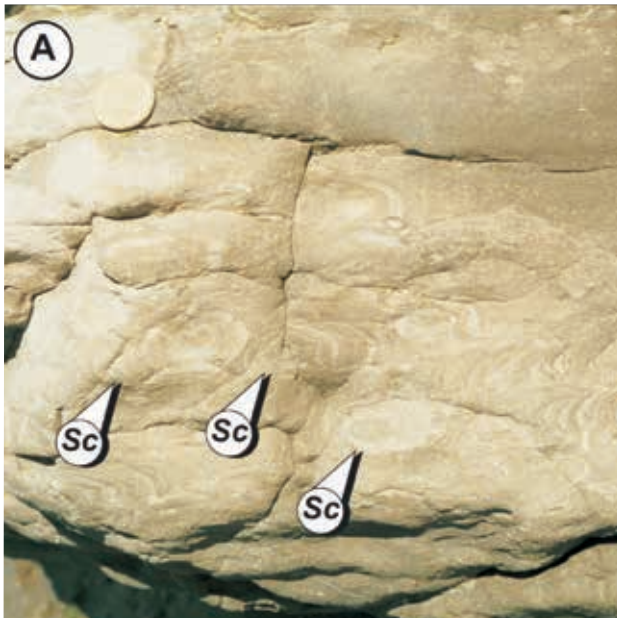
### SCOLICIA

**Descripción:** Estructuras biogénicas horizontales meniscadas y con dos canales paralelos a la base, que se visualizan en secciones transversales y en preservaciones hipónicas.

**Interpretación:** *Scolicia* se interpreta como una estructura combinada de locomoción y alimentación de erizos irregulares (e.g. espatangoideos).

**Ocurrencia:** Ambientes marinos someros y profundos.

**Rango estratigráfico:** Jurásico-Reciente.

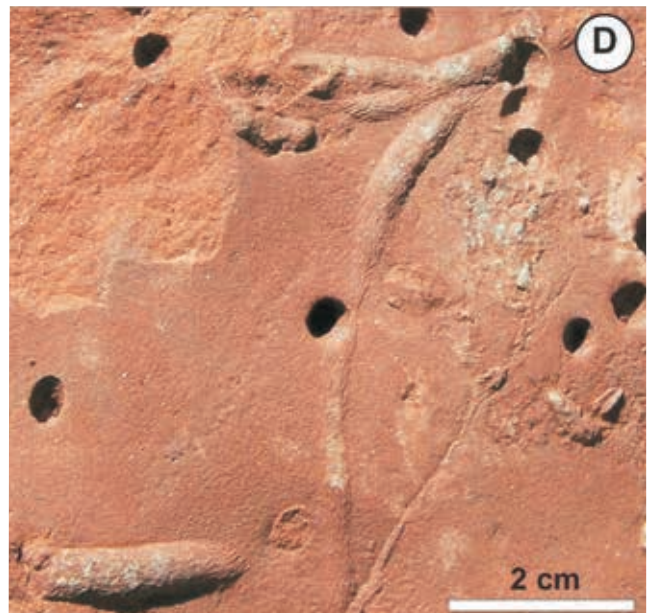
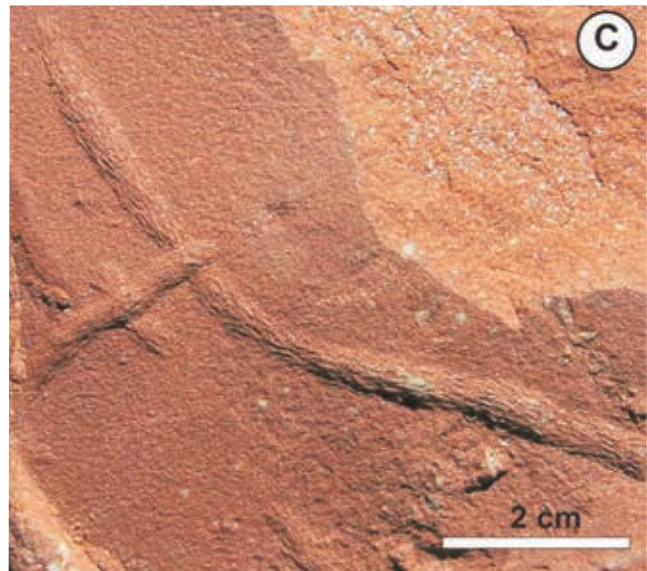


**FIGURA 3.29.**

**A-B.** Vista en planta de ejemplares de *Scoyenia*, Formación *Candeleros* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **C-D.** Vista en planta de ejemplares de *Scoyenia*, Formación *Kayenta* (Jurásico), Estados Unidos.

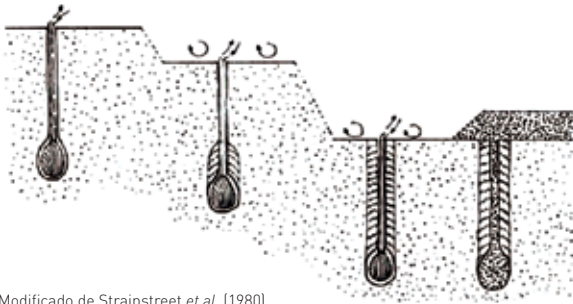


| <b>SCOYENIA</b>              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Estructuras horizontales con relleno meniscado y paredes con estrías longitudinales.  |
| <b>Interpretación:</b>       | Estructura de alimentación de artrópodos, insectos, poliquetos y crustáceos.  |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Comúnmente ocurre en ambientes no marinos, en sustratos húmedos que sufren exposición subaérea ocasional, y en depósitos expuestos que sufren inundación periódica. |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Pérmico-Reciente.   |

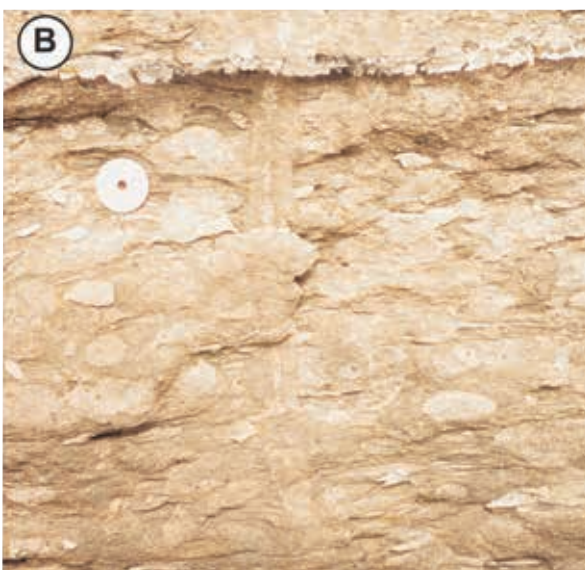
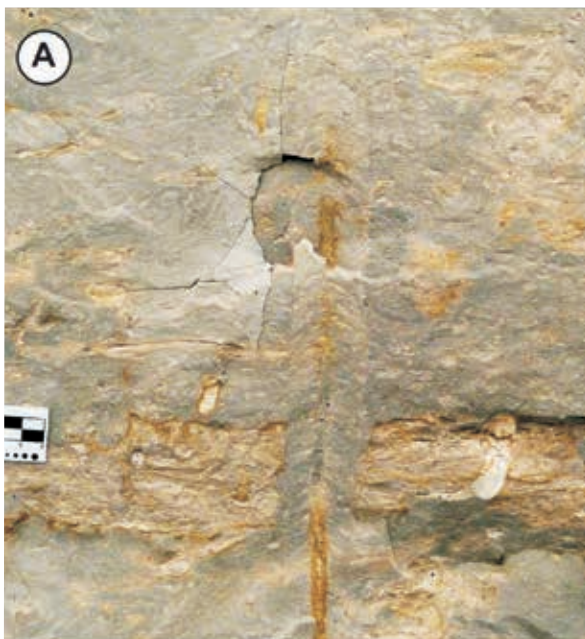


**FIGURA 3.30.**

**A.** Vista en sección de ejemplar de *Siphonichnus*, Formación Río Negro (Mioceno-Plioceno), Cuenca Colorado. **B.** Vista en sección de ejemplar de *Siphonichnus*, Formación Chenque (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **C.** Testigo corona que muestra un ejemplar de *Siphonichnus*, Formación Oficina (Mioceno), Venezuela.



Modificado de Strainstreet et.al. (1980).



| <b>SIPHONICHNUS</b>          |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Excavaciones principalmente verticales con menisco cóncavo hacia abajo, atravesadas por un tubo relleno de sedimento claro. |
| <b>Interpretación:</b>       | <i>Siphonichnus</i> es interpretado como una estructura de equilibrio producto del movimiento hacia abajo de bivalvos.      |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Ambientes marinos marginales y marinos someros.   |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Carbonífero-Reciente.   |



**FIGURA 3.31.**

**A-B.** Vista en sección de ejemplar de *Skolithos*, Formación Lajas (Jurásico), Cuenca Neuquina. **C.** Vista en sección de ejemplar de *Skolithos*, Formación Rayoso (Cretácico), Cuenca Neuquina. **D.** Testigo corona que muestra un ejemplares de *Skolithos* (Sk), Formación Tunas (Pérmico), Cuenca Claromecó-Colorado. La barra representa 10 cm. **E.** Testigo corona que muestra ejemplares de *Skolithos* (Sk), *Ophiomorpha* (Op), *Diplocraterion* (Di) y *Thalassinoides* (Th), Formación Lajas (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra representa 5 cm.

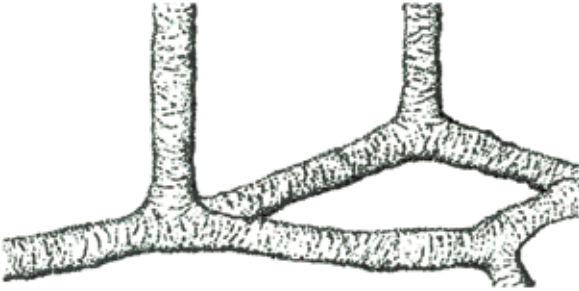


| SKOLITHOS                    |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Comprende excavaciones verticales, simples, con o sin revestimiento y sin ramificaciones.   |
| <b>Interpretación:</b>       | Este icnogénero es interpretado como el domicilio de organismos vermiformes (e.g. forónidos y poliquetos).  |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Se reconocen ejemplares en diferentes ambientes deposicionales tanto marinos como continentales, siendo común en sectores energéticos de ambientes marinos someros. |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.  |



**FIGURA 3.32.**

**A.** Vista basal de ejemplares de *Spongliomorpha*, Formación Cerro Colorado (Eoceno), Cuenca Austral. **B.** Vista en planta de ejemplar de *Spongliomorpha*, Formación Chenque (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **C-E.** Ejemplares de *Spongliomorpha* (Mioceno) de España.



### SPONGLIOMORPHA

**Descripción:** Comprende sistemas de excavaciones ramificadas con marcas de rasguñaduras que cubren su superficie.

**Interpretación:** Han sido interpretadas como estructuras de domicilio de decápodos suspensívoros, o como estructuras de cría o cultivo bacteriano.

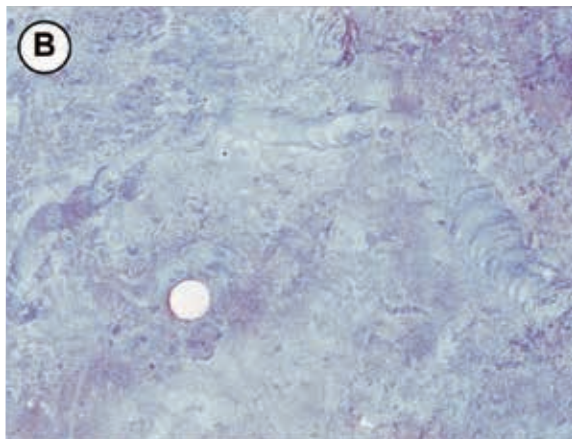
**Ocurrencia:** Se reconocieron ejemplares de *Spongliomorpha* en depósitos marinos someros y profundos, así como en depósitos continentales.

**Rango estratigráfico:** Triásico-Reciente.

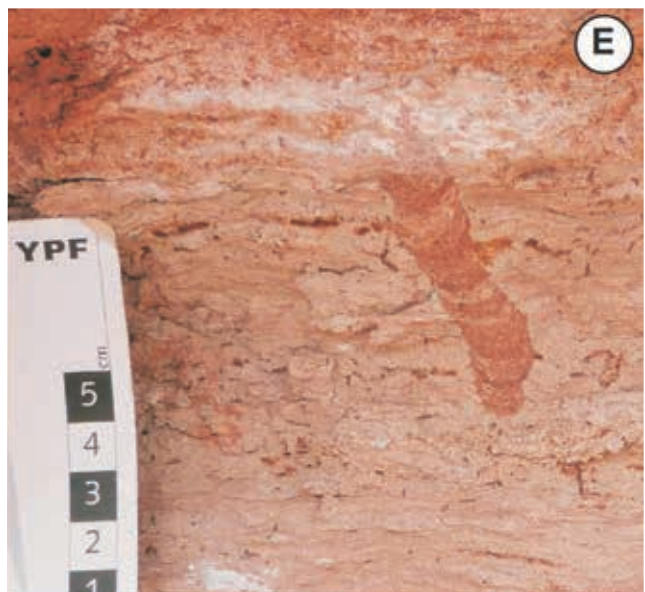


**FIGURA 3.33.**

**A-B.** Vista en planta de ejemplar de *Taenidium*, Formación *Chenque* (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **C.** Vista en planta de ejemplares de *Taenidium*, Formación *Rayoso* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **D-E.** Vista en sección de ejemplares de *Taenidium*, Formación *Allen* (Cretácico), Cuenca Neuquina.



| <b>TAENIDIUM</b>             |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Excavaciones cilíndricas sinuosas a rectas, sin ramificaciones ni revestimiento o con revestimiento muy delgado, y relleno meniscado.                                   |
| <b>Interpretación:</b>       | Se considera que <i>Taenidium</i> es el producto de la actividad de organismos vermiformes depositivos que se alimentan a medida que se desplazan dentro del sedimento. |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Se reconoce en diferentes ambientes marinos someros y profundos, así como marginales, y también en ambientes continentales.   |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.  |





**FIGURA 3.34.**

**A-B.** Vista en sección de ejemplar de *Teichichnus* (*Te*), Formación *Mulichinco* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **C-D.** Vista en sección de ejemplares de *Teichichnus*, Formación *Chenque* (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **E-F.** Testigos corona mostrando ejemplares de *Teichichnus* (*Te*), Formación *Tunas* (Pérmico), Cuenca Claromecó-Colorado.



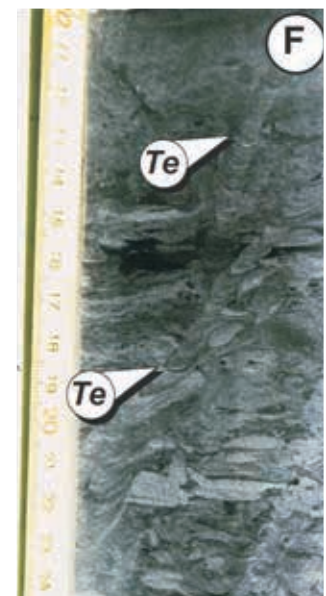
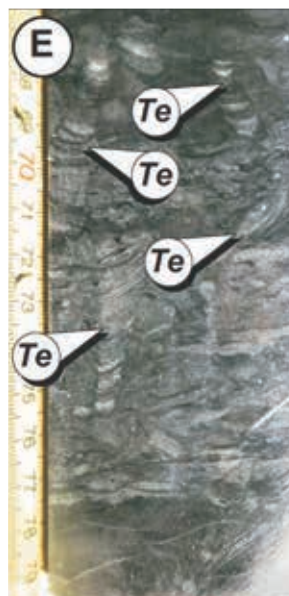
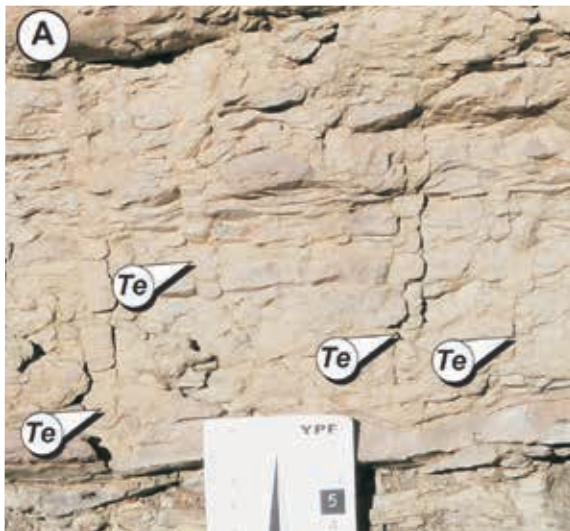
### TEICHICHNUS

**Descripción:** Incluye estructuras simples horizontales a algo inclinadas, sin revestimiento y con *spreite* protrusivo.

**Interpretación:** *Teichichnus* es interpretado como una estructura de alimentación de organismos depositivos (e.g. poliquetos, artrópodos y sipuncúlidos), o como una estructura de equilibrio.

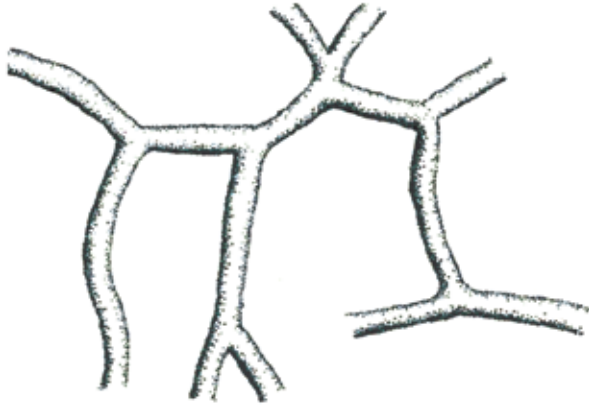
**Ocurrencia:** Es una estructura euribática, siendo común en ambientes marinos someros, marginales y profundos.

**Rango estratigráfico:** Cámbrico-Reciente.

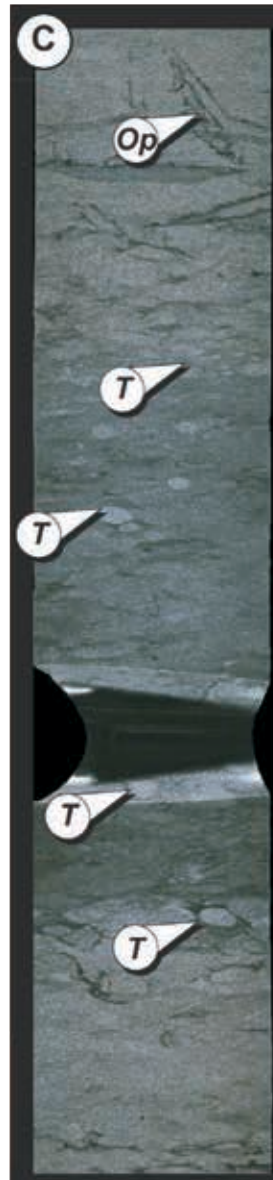


**FIGURA 3.35.**

**A.** Vista en sección de ejemplar de *Thalassinoides* (T), Formación *Chenque* (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **B.** Vista en planta de ejemplar de *Thalassinoides*, Formación *Monte León* (Mioceno), Cuenca Austral. **C.** Testigo corona mostrando ejemplares de *Thalassinoides* (T) y *Ophiomorpha* (Op), Formación *Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **D.** Testigo corona mostrando ejemplares de *Thalassinoides* (T), *Campo Pirital* (Oligoceno-Mioceno), Cuenca Oriental de Venezuela. Gentileza Andreas Wetzel. Las barras representan 5 cm.

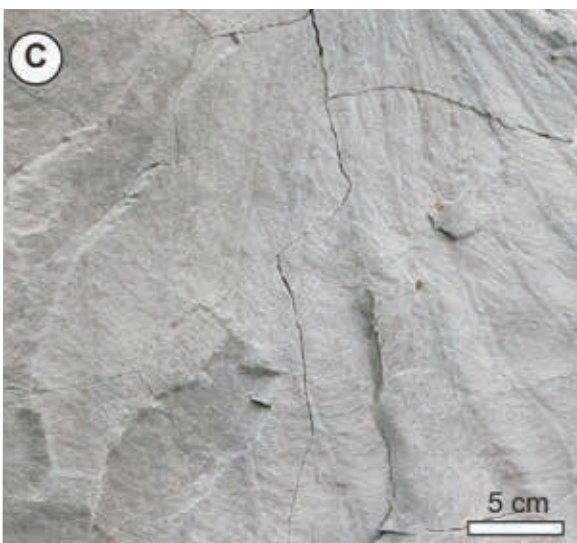
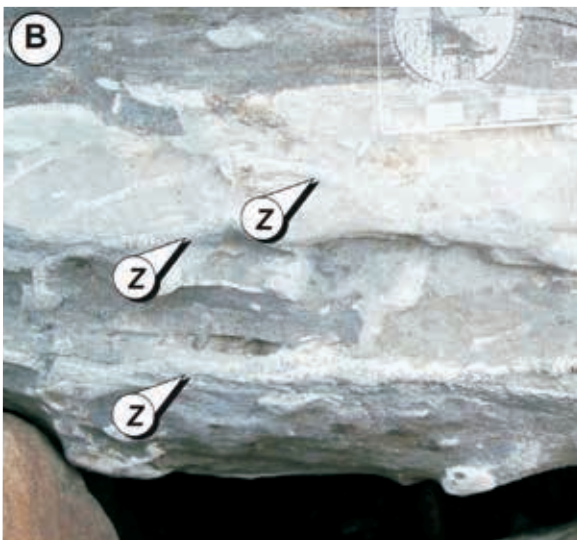


| THALASSINOIDES               |  |
|------------------------------|--|
| <b>Descripción:</b>          | Sistemas de excavaciones con componentes horizontales y verticales, sin pared y con ramificaciones en forma de "Y" o "T". En los lugares de bifurcación generalmente se identifican ensanchamientos. |
| <b>Interpretación:</b>       | Estructura de domicilio o alimentación de crustáceos decápodos.  |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Se registran ejemplares en sedimentos de grano fino de ambientes marinos marginales, marinos someros y profundos, así como en ambientes continentales.   |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.   |



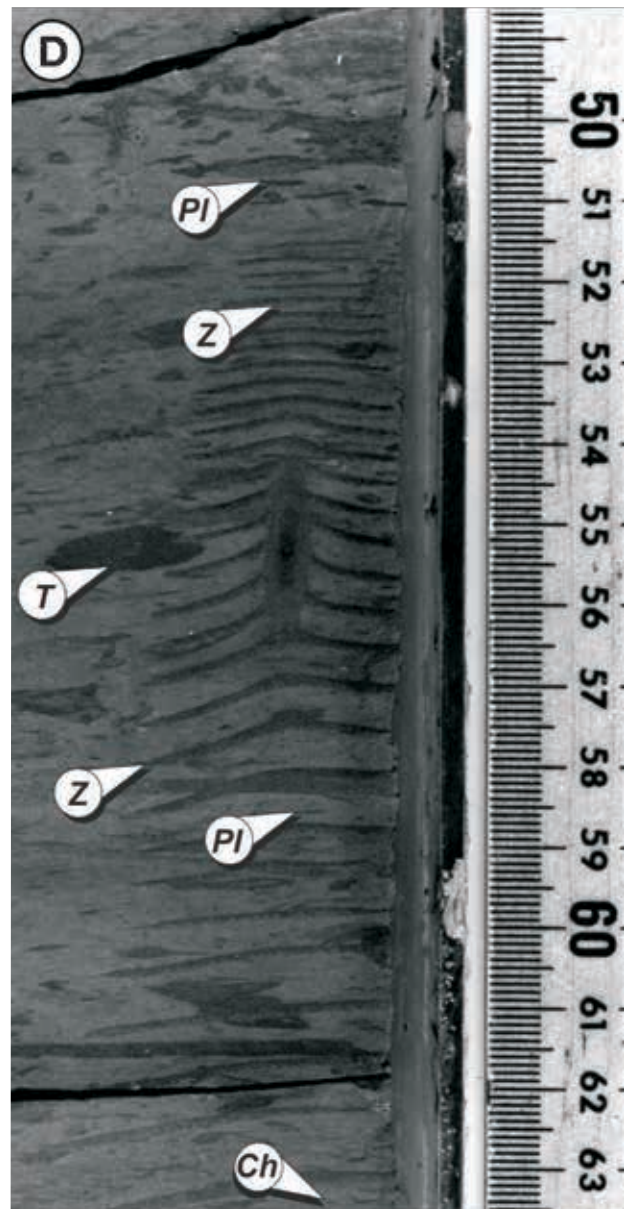
**FIGURA 3.36.**

**A-B.** Vista en planta (**A**) y en sección (**B**) de ejemplares de *Zoophycos*, Formación *Desdémona* (Mioceno), Cuenca Austral. **C.** Ejemplar de *Zoophycos* (*Z*), Formación *Cerro Colorado* (Eoceno), Cuenca Austral. **D.** Testigos corona mostrando ejemplares de *Zoophycos* (*Z*), *Thalassinoides* (*T*), *Chondrites* (*Ch*) y Planolites (*Pl*), Cretácico-Eoceno, Costa de New Jersey. Gentileza Andreas Wetzel.



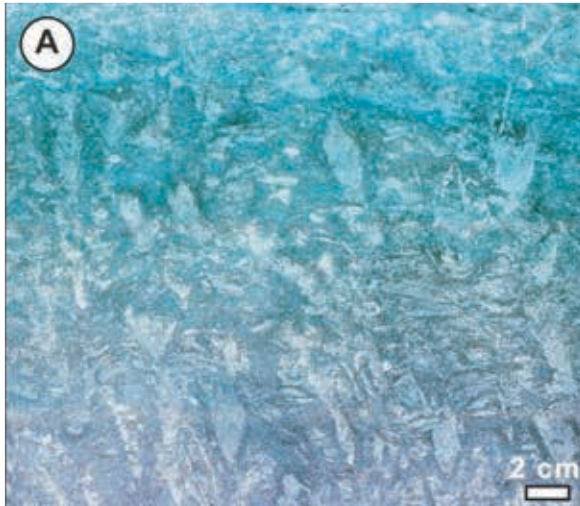
### ZOOPHYCOS

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Estructura con una gran variabilidad morfológica que incluye desde lóbulos simples y aislados con <i>spreite</i> , a estructuras con una morfología compleja en espiral.                                |
| <b>Interpretación:</b>       | Se interpreta como una estructura de alimentación de organismos vermiformes (e.g. sipuncúlidos o equiúridos) depositivos o detritívoros, de almacenamiento de alimento, o para el cultivo de bacterias. |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Ambientes marinos someros y profundos.  |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Cámbrico-Reciente.  |



**FIGURA 3.37.**

**A.** Vista en sección de trazas de equilibrio, *Formación Chenque* (Mioceno), Cuenca Golfo San Jorge. **B.** Vista en sección de trazas de equilibrio que preserva el productor, *Formación Monte León* (Mioceno), Cuenca Austral. **C.** Vista en sección de trazas de equilibrio, *Formación Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca del Colorado. **D.** Corona que muestra una traza de equilibrio (Eq) y ejemplares de *Ophiomorpha* (Op), Subcuenca Maturín (Cretácico), Venezuela. La barra representa 5 cm. Gentileza de Andreas Wetzel.



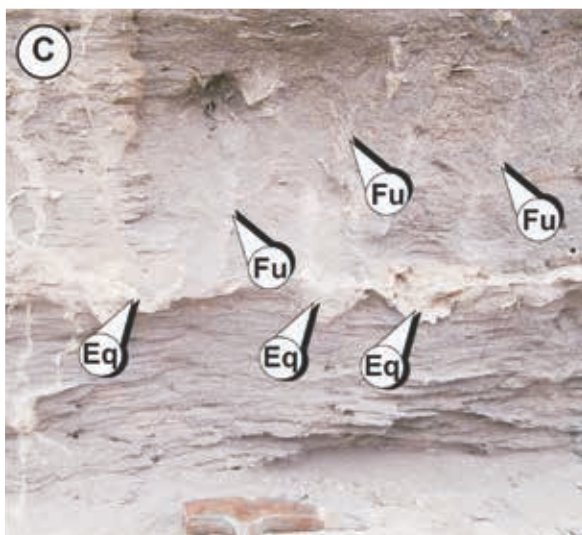
### TRAZAS DE EQUILIBRIO

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>    | Estructuras verticales a subverticales en forma de V o U apiladas de manera regular.  |
| <b>Interpretación:</b> | Estas estructuras se interpretan como el ajuste de las posiciones de los organismos en sustratos que sufren agradación o erosión gradual. |
| <b>Ocurrencia:</b>     | En ambientes marinos y continentales que sufren agradación y erosión gradual.   |



**FIGURA 3.38.**

**A.** Vista en sección de una traza de escape con el productor asociado, *Capas del Cabo Viamonte* (Mioceno), Cuenca Austral. **B.** Vista en sección de trazas de escape, *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **C.** Vista en sección de trazas de equilibrio (Eq) y escape (Es), *Formación Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca Colorado. **D.** Testigo corona con trazas de escape que muestran al productor asociado (flecha amarilla), *Formación Montney* (Triásico), Canadá. **E.** Testigo corona que muestra trazas de escape (Es), *Formación Tunas* (Pérmico), Cuenca Claromecó-Colorado. La barra representa 5 cm.

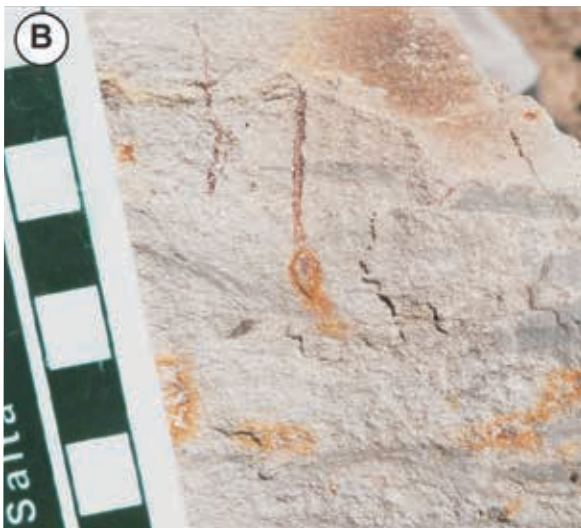


| TRAZAS DE ESCAPE       |   |
|------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>    | Estructuras verticales a subverticales en forma de V o U apiladas que en general son menos regulares que las trazas de equilibrio.                                  |
| <b>Interpretación:</b> | Estas estructuras indican el movimiento hacia arriba o hacia abajo para evitar el enterramiento o la remoción bajo condiciones de sedimentación o erosión abruptas. |
| <b>Ocurrencia:</b>     | En ambientes marinos y continentales que sufren agradación y erosión abrupta.   |

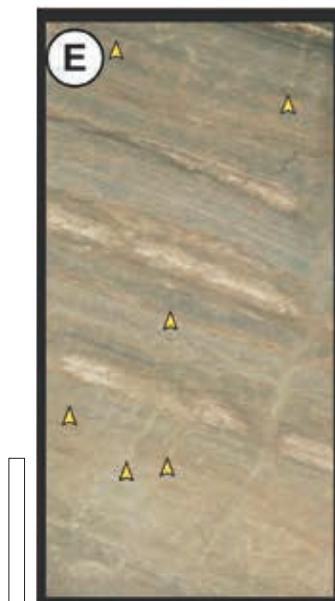
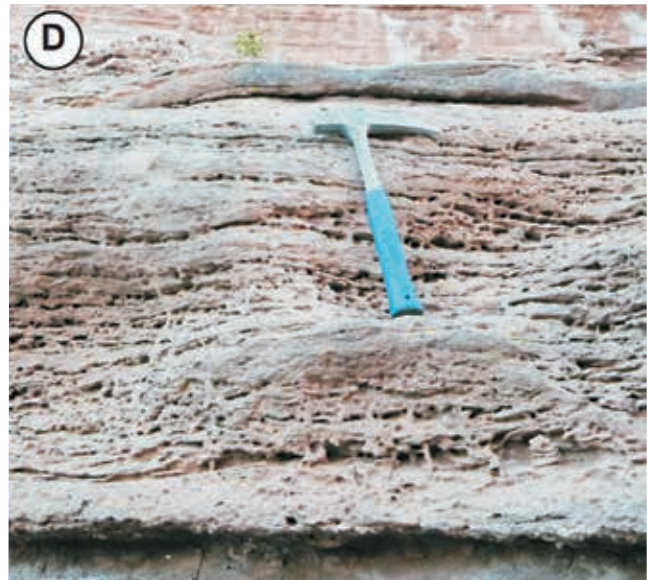


**FIGURA 3.39.**

**A.** Vista basal de rizolitos (flechas amarillas), *Formación Allen* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **B.** Vista en sección de rizolitos, *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. **C.** Vista en sección de rizolitos, *Formación Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca Colorado. **D.** Vista en sección de rizolitos, *Formación Candeleros* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **E.** Testigo corona mostrando rizolitos (flechas amarillas), *Formación Mulichinco* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **F.** Testigo corona mostrando rizolitos (flechas amarillas), *Formación Lajas* (Jurásico), Cuenca Neuquina. La barra en **E** y **F** representa 3 cm.



| RIZOLITOS                    |   |
|------------------------------|---|
| <b>Descripción:</b>          | Estructuras verticales a horizontales que normalmente presentan ramificaciones. |
| <b>Interpretación:</b>       | Producto de la actividad de raíces.   |
| <b>Ocurrencia:</b>           | Ambientes continentales y marinos marginales.                                   |
| <b>Rango estratigráfico:</b> | Devónico-Reciente.  |



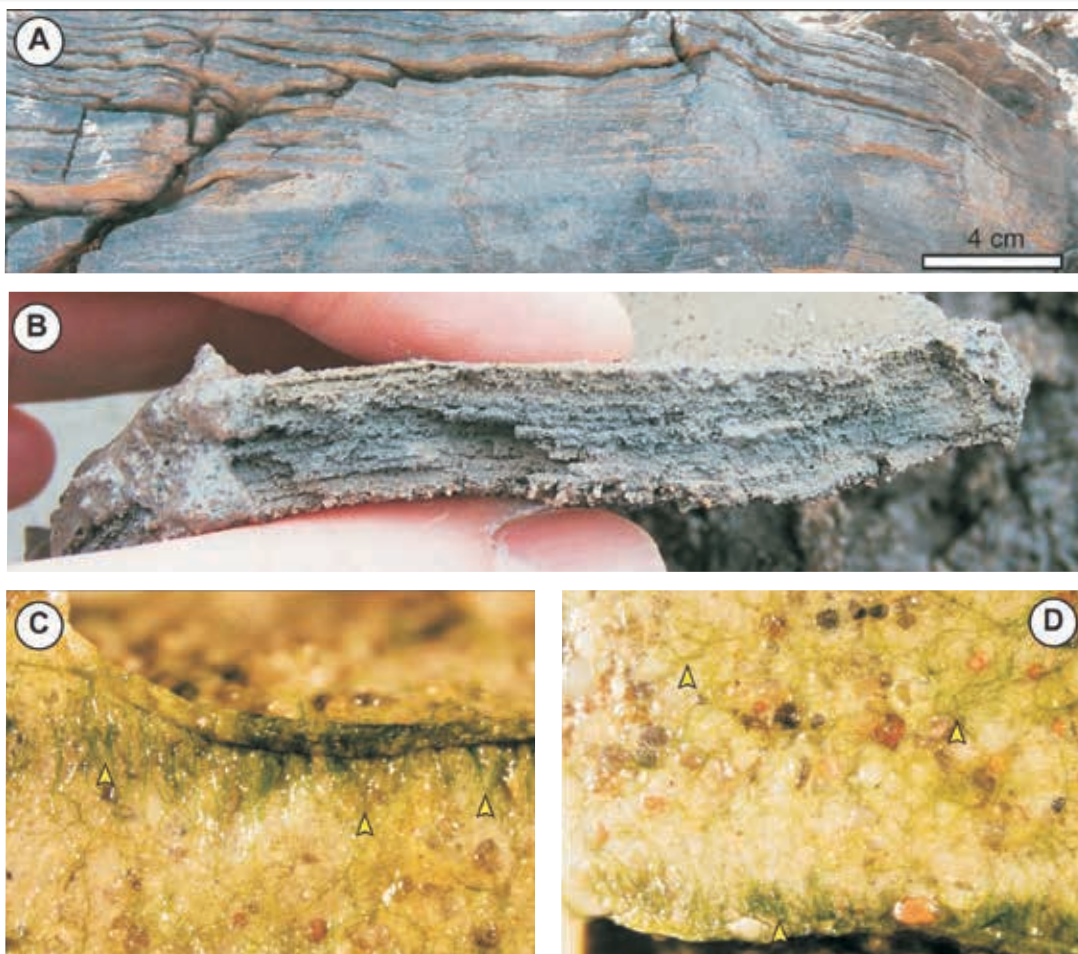
## ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INDUCIDAS POR ACTIVIDAD MICROBIANA (MISS)

En los ambientes silicoclásticos, la presencia de matas microbiales puede generar una serie de estructuras sedimentarias particulares, denominadas MISS (siglas en inglés de *Microbially induced sedimentary structures*), que se encuentran tanto en ambientes actuales como fósiles (Noffke *et al.*, 1996, 2002; Hagadorn y Bottjer, 1997; Schieber, 1998). Dichas estructuras sedimentarias inducidas por actividad microbiana resultan de la interacción de sustancias poliméricas extracelulares (EPS en inglés) segregadas por los microorganismos y las partículas

sedimentarias (Noffke, 2010). Existe una serie de procesos por los cuales la microbiota responde tanto a la erosión como a la depositación del sedimento (ver Noffke, 2010), los cuales terminan produciendo como resultado la bioestabilización del sustrato. Esta bioestabilización es un proceso muy importante que favorece la preservación excepcional de los cuerpos y las trazas fósiles (*e.g.* Hagadorn *et al.*, 2002; Seilacher, 2008; Genise *et al.*, 2009; Hagadorn y Seilacher, 2009; Marty *et al.*, 2009).

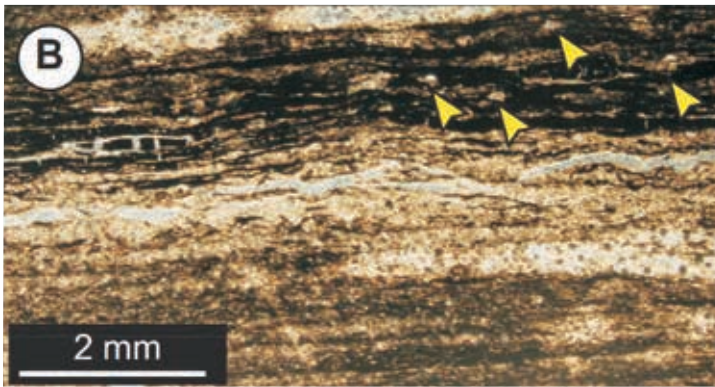
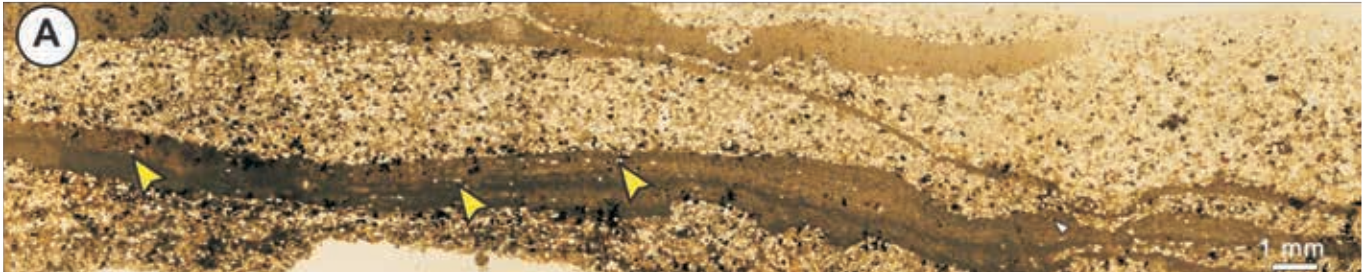
**FIGURA 3.40.**

**A.** Vista en sección de niveles de tapetes microbiales desarrollados a la base de la *Formación Vaca Muerta* (Jurásico - Cretácico), Cuenca Neuquina. **B-D.** Vista en sección (**B-C**) y en planta (**D**) de niveles de tapetes microbiales actuales del Estuario de Bahía Blanca. Nótese en **C** y **D** la presencia de cianobacterias (flechas amarillas) y EPS (sustancia brillante).



**FIGURA 3.41.**

**A-B.** Secciones delgadas que muestran las características internas de los niveles con matas microbiales. Las flechas amarillas indican la presencia de clastos flotantes. **C-D.** Testigos corona con MISS. Nótese la presencia de la matriz orgánica que contiene clastos flotantes (flechas amarillas). Las barras representan 5 cm.



La presencia de matas microbiales en un sustrato puede reconocerse tanto por características macroscópicas como por estudios microscópicos. La matriz orgánica define paquetes de espesor variable reconocidos macroscópicamente. Esta matriz está integrada por una lineación milimétrica horizontal ondulosa a lenticular, con granos de arena "flotando" en la matriz de las láminas microbianas (flechas amarillas), y con sus ejes orientados paralelos a la paleosuperficie. La ocurrencia de granos orientados es característica de la presencia de matas epibentónicas maduras (Noffke, 2010). También es común observar cemento micrítico entre los granos silicoclásticos, debido a que la precipitación de minerales carbonáticos se ve favorecida por las actividades metabólicas de la microbiota (Eriksson *et al.*, 2007). La observación de grandes cantidades de piritita framboidal en las secciones delgadas también es considerada una característica diagnóstica a nivel microscópico de la presencia de las matas microbiales, en particular de la presencia de microorganismos reductores de sulfatos (Raiswell *et al.*, 2001).



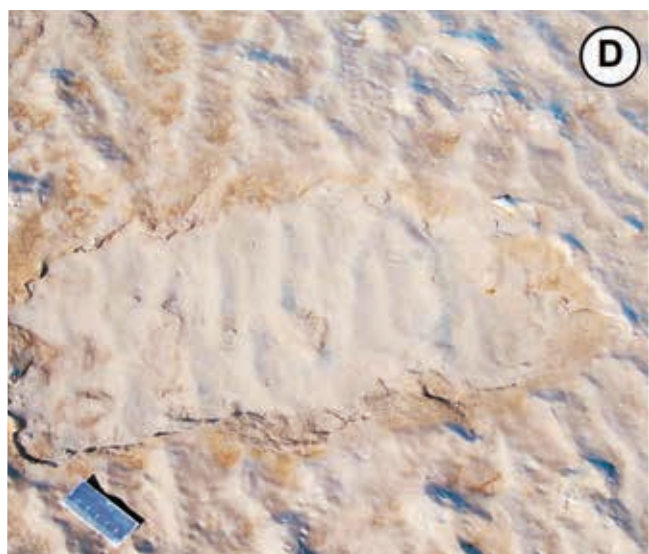
**FIGURA 3.42.**

**A-B.** Remanente erosivo con óndulas preservadas en las depresiones, *Dakota Sandstone* (Cretácico), Estados Unidos. **C-D.** Remanentes erosivos con óndulas preservadas en las depresiones en ambientes de planicies mareales actuales, Estuario de Bahía Blanca.



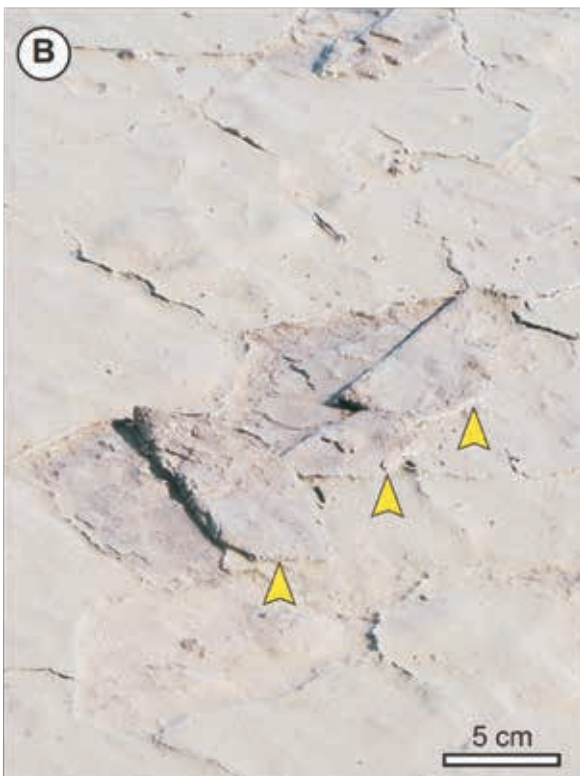
### DEPRESIONES Y REMANENTES EROSIVOS (EROSIONAL REMNANTS AND POCKETS)

Estas estructuras se componen de dos elementos, por un lado los remanentes que constituyen estructuras bioestabilizadas elevadas y generalmente planas, y las depresiones, las cuales se generan por la erosión parcial de los sedimentos bioestabilizados (Noffke y Krumbein, 1999). Las depresiones presentan morfologías irregulares, con bordes netos, y las arenas sueltas de su superficie (que no tienen crecimiento microbiano) presentan generalmente ondulitas (Noffke, 2010). Estas estructuras se presentan asociadas a eventos erosivos.



**FIGURA 3.43.**

**A-C.** Vista en planta de dobleces (flechas amarillas) preservados en planicies mareales actuales del Estuario de Bahía Blanca.



**DOBLECES  
(FLIPPED-OVER MAT EDGES)**

Estas estructuras corresponden a porciones grandes o pequeñas de los márgenes de las matas microbianas que se invierten localmente, y que quedan apoyadas sobre la superficie bioestabilizada, o pueden desprenderse completamente de la superficie, formando *chips* aplanados de matas. Si bien la generación de estos dobleces se asocia con eventos de energía (*e.g.* tormentas), su desarrollo se ve favorecido por la desecación y la generación de grietas previas (Eriksson *et al.*, 2007; Bournod *et al.*, 2014).



**FIGURA 3.44.**

**A.** Vista en planta de domos de gas, *Formación Candeleros* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **B.** Vista en planta de domos de gas, *Dakota Sandstone* (Cretácico), Estados Unidos. **C.** Vista en planta de domos de gas, *Formación Chapel Island* (Cámbrico), Newfoundland, Canadá. **D.** Vista en planta de domos de gas en planicies mareales actuales del Estuario de Bahía Blanca.



**DOMOS DE GAS  
(GAS DOMES)**

Elevaciones en forma de domos con diámetros variables, que se generan por el entrapamiento y la presión de gases generados por la degradación de la materia orgánica por debajo de la superficie. Las matas en las que se generan los domos de gas son ricas en EPS, y esta sustancia actúa de sello, no permitiendo el intercambio gaseoso del sedimento con el agua o la atmósfera (Noffke, 2010).



**FIGURA 3.45.**

**A-B.** Vista general (A) y detalle (B) de la base de un banco arenoso con desarrollo de una fábrica porosa esponjosa (flechas amarillas) asociada a pisadas de vertebrados, *Formación Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca Colorado. **C.** Vista en sección de niveles de matas microbiales con desarrollo de fábrica porosa esponjosa (flechas amarillas), *Formación Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca Colorado. **D.** Niveles de areniscas con fábrica porosa esponjosa (flechas amarillas), desarrolladas en planicies de marea actuales del Estuario de Bahía Blanca.



**FÁBRICA POROSA ESPONJOSA (SPONGE PORE FABRIC)**

Estructura formada por poros internos con un arreglo más o menos regular, generados en las láminas arenosas, y que alternan con niveles orgánicos delgados de matas anteriores (Noffke *et al.*, 1997; Gerdes, 2007). Esta fábrica se puede observar tanto en sección vertical como horizontal, y su génesis se relaciona con el hecho de que las matas actúan como un sello, evitando el escape del gas generado por debajo de la superficie. Esta estructura se preserva sólo en áreas con diagénesis temprana (*e.g.* Noffke *et al.*, 1996, 2001).



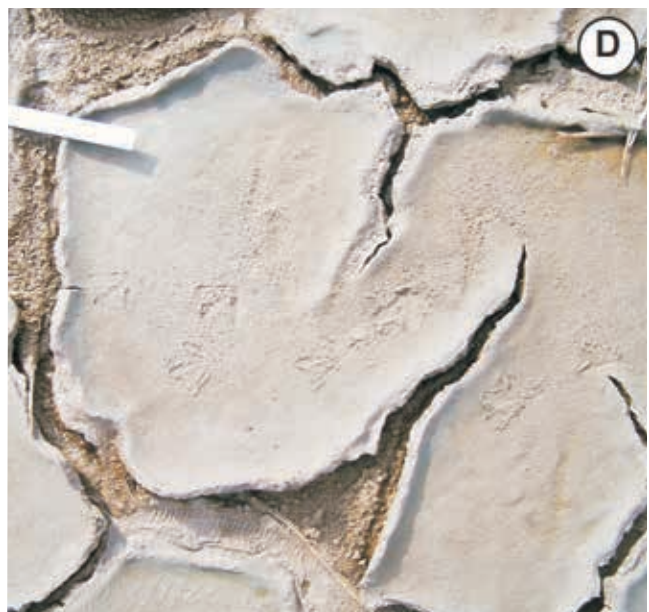
**FIGURA 3.46.**

**A-B.** Vista en planta de grietas poligonales. Nótese en **B** el desarrollo incipiente de grietas que forman uniones triples (flechas amarillas), *Formación Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca Colorado.  
**C-D.** Vista en planta de niveles de grietas de contracción desarrolladas en planicies de marea actuales del Estuario de Bahía Blanca.



### GRIETAS DE OSCILACIÓN POLIGONALES (POLYGONAL OSCILLATION CRACKS)

Estas estructuras consisten de grietas en forma de polígonos relativamente grandes, que se forman por desecación de las matas microbiales durante la exposición subaérea. Esta desecación produce la contracción diferencial de las matas en relación con el sustrato subyacente, lo que genera que los márgenes de las matas se curven (Noffke *et al.*, 2001; Bose y Chafetz, 2009). Al inicio, las grietas generalmente forman patrones subcirculares, o trirradiados, para luego desarrollar patrones más complejos.



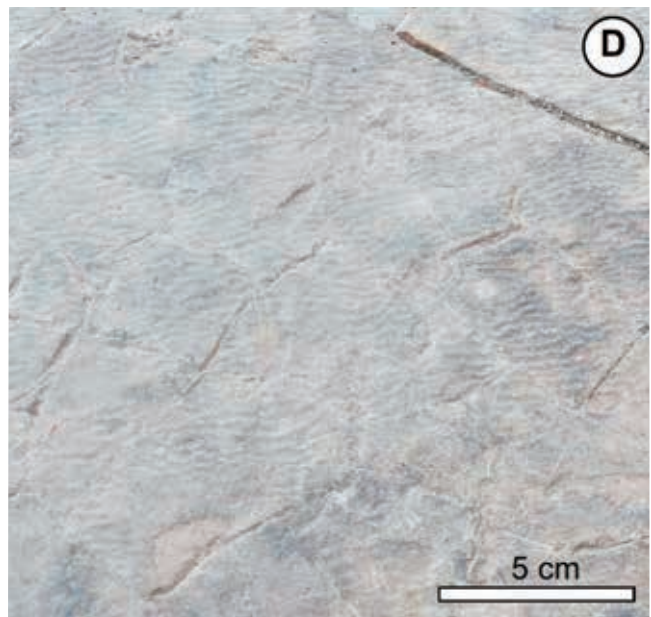
**FIGURA 3.47.**

**A.** Vista en planta de estructuras tipo *wrinkle*, *Secuencia San José* (Pleistoceno), Pehuen-Co. **B.** Vista en planta de estructuras tipo *wrinkle*, *Formación Mulichinco* (Cretácico), Cuenca Neuquina. **C.** Vista en planta de estructuras tipo *wrinkle*, *Formación Chapel Island* (Cámbrico), Newfoundland, Canadá. **D.** Vista en planta de estructuras tipo *wrinkle*, *Supergrupo Belt* (Mesoproterozoico), Canadá.



**MARCAS TIPO WRINKLE  
(WRINKLE MARKS)**

Estructuras que se preservan en la superficie de las capas arenosas. Se caracterizan por crestas y senos pequeños relativamente continuos, subparalelos y algo curvados. El origen de estas estructuras es muy controversial y se han postulado varias hipótesis. Algunos autores consideran que estas estructuras representarían superficies estabilizadas por matas microbiales que se preservaron (Hagadorn y Bottjer, 1997), mientras que otros interpretan que estas estructuras se formaron por debajo de la superficie con matas (Noffke, 2010). Más recientemente, Mariotti *et al.* (2014) demostraron experimentalmente que agregados microbiales pueden formar estructuras tipo *wrinkle* en arenas sueltas.



**FIGURA 3.48.**

**A.** Vista en planta de ondulitas multidireccionales, *Formación Río Negro* (Mioceno-Plioceno), Cuenca Colorado. **B.** Vista en planta de ondulitas multidireccionales, *Dakota Sandstone* (Cretácico), Estados Unidos. **C.** Vista en planta de niveles con ondulitas multidireccionales, *Supergrupo Belt* (Mesoproterozoico), Canadá. **D.** Vista en planta de ondulitas multidireccionales desarrolladas en planicies de marea actuales del Estuario de Bahía Blanca.



**ONDULITAS MULTIDIRECCIONALES  
(MULTIDIRECTED RIPPLE MARKS)**

Estas estructuras comprenden parches de ondulitas que presentan diferentes direcciones, y que se encuentran preservadas sobre la misma superficie sedimentaria. Estas estructuras reflejan la alternancia recurrente entre eventos erosivos (e.g. durante tormentas) y la bioestabilización del sedimento y el crecimiento de las matas microbianas (Noffke, 1998; Pflüger, 1999; Dagránits y Noffke, 2004).



# BIBLIOGRAFÍA

- Allen, J.R.L., 1971. "Transverse erosional marks of mud and rock: their physical basis and geological Significance". *Sedimentary Geology* 5: 167-385.
- Allen, J.R.L., 1982. "Sedimentary Structures; Their Character and Physical Basis", Volume I: Amsterdam, Elsevier Science Publishers. *Developments in Sedimentology* 30: 593 pp.
- Allen, J.R.L., 1984. "Parallel lamination developed from upper-stage plane beds; a model based on the larger coherent structures of the turbulent boundary layer". *Sedimentary Geology* 39: 227-242.
- Allen, J.R.L., 1987. "Desiccation of mud in the temperate intertidal zone: studies from the Severn Estuary and eastern England". *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 315: 127-156.
- Andrews, L.M. y Railsback, L.B., 1997. "Controls on stylolite development: morphologic, lithologic, and temporal evidence from bedding-parallel and transverse stylolites from the US Appalachians". *Journal of Geology* 105: 59-73.
- Astin, T.R., 1991. "Subaqueous shrinkage or syneresis cracks in the Devonian of Scotland Reinterpreted". *Journal of Sedimentary Petrology* 61: 850-859.
- Bailey, E.B., 1930. "New light on sedimentation and tectonics". *Geological Magazine* 67: 77-92.
- Bates, R.L. y Jackson, I.A., 1987. *Glossary of Geology*. Alexandria: American Geological Institute.
- Bathurst, R.G.C., 1975. *Carbonate Sediments and their Diagenesis*. Amsterdam: Elsevier, 660 pp.
- Belústegui, Z. y De Gibert, J.M., 2009. "Icnofábrica de Cylindrichnus en el Mioceno de la costa de Tarragona (Cataluña, España)". *Paleolusitana* 1: 97-104.
- Bertoni, M.E., 2007. "Aplicación de imágenes de pozo". Informe Interno YPF. DCS-Neuquén, 22 pp.
- Bose, S. y Chafetz, H.S., 2009. "Topographic control on distribution of modern microbially induced sedimentary structures (MISS): a case study from Texas coast". *Sedimentary Geology* 213: 136-149.
- Branney, M.J. y Kokelaar, B.P., 1992. "A reappraisal of ignimbrite emplacement: progressive aggradation and changes from particulate to non-particulate flow during emplacement of high-grade ignimbrite". *Bulletin of Volcanology* 54: 504-520.
- Branney, M.J. y Kokelaar, B.P., 2002. "Pyroclastic Density Currents and the Sedimentation of Ignimbrites". Geological Society, London, *Memoirs* 27, 137 pp.
- Bridge, J.S., 1978. "Origin of horizontal lamination under turbulent boundary layers". *Sedimentary Geology* 20: 1-16.
- Bridge, J.S., 2003. *Rivers and Floodplains*. Oxford, U.K., Blackwell, 491 pp.
- Bromley, R.G., 1990. *Trace Fossil. Biology and Taphonomy*. Unwin Hyman, Londres, 280 pp.
- Bromley, R.G., 1996. *Trace Fossils. Biology, Taphonomy and Applications*. Chapman & Hall, Londres, 361 pp.
- Bromley, R.G. y Ekdale, A.A., 1986. "Composite ichnofabrics and tiering of burrows". *Geological Magazine* 123: 59-65.
- Bromley, R.G. y Asgaard, U., 1993. "Two bioerosión ichnofacies produced by early and late burial associated with sea-level change". *Geologische Rundschau* 82: 276-280.
- Bromley, R.G., Pemberton, S.G y Rahamani, R.A., 1984. "A Cretaceous woodground: The *Teredolites* Ichnofacies". *Journal of Paleontology* 58: 488-498.
- Browne, G.H., y Plint, A.G., 1994. "Alternating braidplain and lacustrine deposition in a strike-slip setting: the Pennsylvanian Boss Point Formation of the Cumberland Basin, Maritime Canada". *Journal of Sedimentary Research* 64: 40-59.
- Buatois, L.A. y Mángano, M.G., 1996. Icnología de ambientes continentales: problemas y perspectivas; *Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial* 4: 5-30.
- Buatois, L.A. y Mángano, M.G., 2000. "Icnología: Aplicaciones de la icnología en prospección de hidrocarburos y caracterización de reservorios en la geología sedimentaria y la industria petrolera". *Boletín de Informaciones Petroleras* 62: 64-85.
- Buatois, L.A. y Mángano, M.G., 2011. *Ichnology: Organism-Substrate interactions in Space and Time*. Cambridge University Press, 358 pp.
- Buatois, L.A., Mángano, M.G., y Carr, T.R., 1999. "Sedimentology and ichnology of Paleozoic estuarine and shoreface reservoirs, Morrow Sandstone, Lower Pennsylvanian of Southwest Kansas, USA". *Current Research in Earth Sciences* 241: 1-27.
- Buatois, L.A., Mángano, M.G.; Fregenal-Martínez, M.A. y De Gibert, J.M., 2000. "Short-term colonization trace-fossil assemblages in a carbonate lacustrine konservat-lagerstätte (Las Hoyas fossil site, Lower Cretaceous, Cuenca, central Spain)". *Facies* 43: 145-156.
- Buatois, L.A., Mángano, M.G. y Aceñolaza, F.G., 2002. *Trazas Fósiles: Señales de comportamiento en el registro estratigráfico*. Publicación del Museo Egidio Feruglio, 382 pp.



- Bursik, M.I. y Woods, A.W., 1996. "The dynamics and thermodynamics of large ash flows". *Bulletin of Volcanology* 58: 175-193.
- Campbell, C.V., 1967. "Lamina, Laminaset, Bed and Bedset". *Sedimentology* 8: 7-26.
- Canale, N., Ponce, J.J., Carmona, N., Drittanti, D., Olivera, D., Martínez, M. y Bournod, C., 2014. "Sedimentología e icnología de deltas fluvio-dominados afectados por descargas hiperpínicas de la Formación Lajas (Jurásico Medio), Cuenca Neuquina, Argentina". *Andean Geology* 42: 114-138.
- Carmona, N.B., Buatois, L.A., Mángano, M.G., Bromley, R.G., Ponce, J.J. y Bellosi, E., 2012. Ichnology of Cenozoic marine deposits from Patagonia (Southern Argentina): The role of the modern evolutionary fauna in Neogene infaunal ecosystems. En: Ichnology of Latin America - selected papers (Netto, R.G.; Carmona, N.B. y Tognoli, F.M.W., eds.). *Sociedade Brasileira de Paleontologia, Monografias da Sociedade Brasileira de Paleontologia* Porto Alegre, Brasil, 83-97.
- Carstens, H., 1985. "Early diagenetic cone-in-cone structures in pyrite concretions". *Journal of Sedimentary Petrology* 55: 105-108.
- Cheel, R.J., 2005. *Introduction to Clastic Sedimentology*. Department of Earth Sciences Ontario University, Canada, 134 pp.
- Collinson, J.D. y Thompson, D.B., 1989. "Sedimentary Structures". En: Chapman and Hall (eds.), London, 207 pp.
- Dagrán, E. y Noffke, N., 2004. "Siliciclastic stromatolites and other microbially induced sedimentary structures in an Early Devonian barrier-island environment (Muth Formation, NW Himalayas)". *Journal of Sedimentary Research* 74: 191-202.
- Dalrymple, R.W., 1992. "Tidal depositional systems". En: Walker, R.G. y James, N.P. (eds.), *Facies models response to sea level changes*. Geological Association of Canada, St. Johns: 195-218.
- Davis, R.A. Jr., 2012. "Tidal signatures and their preservation potential in stratigraphic sequences". En: Davis, R.A. Jr. y Dalrymple, R.W. (eds.), *Principles of Tidal Sedimentology*. Springer: 35-55.
- Delgado Martín, J.; Padilla Benítez, F. y Barrientos, V., 2010. *Prácticas de geología: Mapas Geológicos y Problemas*. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, 140 pp.
- Dott, R.H. Jr. y Bourgeois, J., 1982. "Hummocky stratification: Significance of its variable bedding Sequences". *Geological Society of America Bulletin* 93: 663-680.
- Duke, W.L.; Arnott, R.W.C. y Cheel, R.J., 1991. "Shelf sandstones and hummocky cross stratification: new evidence on a stormy debate". *Geology* 19: 625-628.
- Dumas, S. y Arnott, R.W.C., 2006. "Origin of hummocky and swaley cross-stratification. The controlling influence of unidirectional current strength and aggradation rate". *Geology* 12: 1073-1076.
- Dunham, R.J., 1962. "Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: *Classification of Carbonate Rocks*. En: Ham, W.E. (ed.), *Memoir 1*, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK: 108-121.
- Ekdale, A.A. y Bromley, R.G., 1984. "Comparative ichnology of shelf-sea and deep-sea chalk". *Journal of Paleontology* 58: 323-332.
- Ekdale, A.A. y Bromley R.G., 2001. "A day and a night in the life of a cleft-foot clam: *Protovirgularia-Lockeia-Lophoctenium*". *Lethaia* 34:119-124.
- Ekdale, A.A.; Bromley, R.G. y Loope, D.B., 2007. "Ichnofacies of an Ancient Erg: A climatically influenced trace fossil association in the Jurassic Navajo Sandstone, Southern Utah, USA". En: Miller W. III (ed.), *Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects*. Amsterdam. Elsevier: 562-564.
- Eriksson, P.G., Porada, H., Banerjee, S., Bouougri, E., Sarkar, S. y Bumby, A.J., 2007. "Mat destruction features". En: Schieber, J.; Bose, P.; Eriksson, P.G.; Banerjee, S.; Altermann, W.; Catuneanu, O. (eds.), *Atlas of Microbial Mat Features Preserved within the Siliciclastic Rock Record*. Elsevier: 76-105.
- Franks, P.C., 1969. "Nature, origin, and significance of cone-in-cone structures in the Kiowa formation (Early Cretaceous), north-central Kansas". *Journal of Sedimentary Petrology* 39: 1438-1454.
- Frey, R.W. y Pemberton, G., 1984. "Trace Fossils Facies Models". En: Walker, R.G. (ed.), *Facies Models*, 2nd Edition, Geoscience Canada Reprint Series: 189-207.
- Frey, R.W. y Pemberton, G., 1985. "Biogenic structures in outcrops and cores. I. Approaches to Ichnology". *Bulletin of Canadian Petroleum Geology* 33: 72-115.
- Genise, J.F., Mángano, M.G., Buatois, L.A., Laza, J.H. y Verde, M., 2000. "Insect trace fossil associations in paleosols: The Coprinisphaera Ichnofacies". *Palaios* 15: 49-64.
- Genise, J.F., Mángano, M.G. y Buatois, L.A., 2004. "Ichnology moving out of the water: a model for terrestrial ichnofacies". En: Buatois, L.A. y Mángano, M.G. (eds.), *First International Congress on Ichnology, Trelew, Argentina. Abstract Book*: Museo Paleontológico Egidio Feruglio: 38.
- Genise, J.F., Melchor, R.N., Archangelsky, M., Bala, L.O., Straneck, R. y de Valais, S., 2009. "Application of neoichnological studies to behavioural and taphonomic interpretation of fossil bird-like tracks from lacustrine settings: The Late Triassic-Early Jurassic?, Santo Domingo Formation, Argentina". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 272: 143-161.
- Genise, J.F., Melchor R.N., Bellosi, E.S. y Verde, M., 2010. "Invertebrate and Vertebrate Trace Fossils from Continental Carbonates". En: Alonso-Zarza, A.M. y Tanner, L. (eds.), *Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments, and Processes, Developments in Sedimentology* 61: 319-369.
- Gerard, J. y Bromley, R., 2008. *Ichnofabric in Clastic Sediments*. Madrid, 97 p.
- Gerdes, G., 2007. "Structures left by modern microbial mats in their host sediment". En: Schieber, J.; Bose, P.; Eriksson, P.G.; Banerjee, S.; Altermann, W.; Catuneanu, O. (eds.), *Atlas of Microbial Mat Features Preserved within the Siliciclastic Rock Record*. Elsevier: 5-38.
- Gibbons, G.S., 1972. "Sandstone imbrication study in planar sections: dispersion, biases, and measuring methods". *Journal of Sedimentary Petrology* 42: 966-972.
- Gibert, J.M. de, Domènech, R. y Martinell, J., 2007. "Bioerosion in shell beds from the Pliocene Roussillon Basin, France: implications for the (macro)-bioerosion ichnofacies model". *Acta Palaeontologica Polonica* 52: 783-798.

- Gingras, M.K. y Pemberton, S.G., 2014. "Bioturbation: Reworking sediments for better or worse". *Oilfield Review*, winter 2014/2015. 26 N° 4: 46-58.
- Gingras, M.K., MacEachern, J.A. y Pickerill, R.K., 2004. "Modern perspectives on the *Teredolites ichnofacies*: observations from Willapa Bay, Washington". *Palaios* 19: 79-88.
- Hagadorn, J.W. y Bottjer, D.J., 1999. "Restriction of a Late Neoproterozoic biotope; suspect-microbial structures and trace fossils at the Vendian-Cambrian transition". *Palaios* 14: 73-85.
- Hagadorn, J.W.; Dott, R.H. Jr. y Damrow, D., 2002. "Stranded on a Late Cambrian shoreline: Medusae from central Wisconsin". *Geology* 30: 147-150.
- Hagadorn, J.W. y Seilacher, A., 2009. "Hermit's 500 million years ago?" *Geology* 37: 295-298.
- Hammar, M.V. y Montagna, A.O., 2014. "Identificación de facies a partir de coronas y perfiles. Formación Sierras Blancas. Yacimiento El Medanito. Provincia de Río Negro". Simposio de Evaluación de Formaciones. En: Astesiano, Breda, Montagna, Paris y Pérez (eds.). *IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*: 221-245.
- Harms, J.C., Southard, J.B., Spearing, D. y Walker, R.G., 1975. *Depositional Environments as Interpreted from Primary Sedimentary Structures and Stratification Sequences*. Society Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course N° 2, 161 pp.
- Harms, J.C., Southard, J.B. y Walker, R.G., 1982. *Structures and Sequences in Clastic Rocks*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course N° 9, 249 pp.
- Hiscott, R.N., 1994. "Loss of capacity, not competence, as the fundamental process governing deposition from turbidity currents". *Journal of Sedimentary Research* 64: 209-214.
- Howard, J.D., 1978. "Sedimentology and trace fossils". En: Basan, P.B. (ed.), *Trace Fossil Concepts*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Short Course N° 5: 11-42.
- Hunt, A.P. y Lucas, S.G., 2007. "Tetrapod ichnofacies: a new paradigm". *Ichnos* 14: 59-68.
- Jamieson, T.F., 1860. "On the drift and rolled gravel of the north of Scotland". *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 16: 347-371.
- Jopling, A.V. y Walker, R.G., 1968. "Morphology and origin of ripple-drift cross-lamination, with examples from Pleistocene of Massachusetts". *Journal of Sedimentary Petrology* 38: 971-984.
- Kranck, K., 1973. "Flocculation of suspended sediment in the sea". *Nature* 246: 348-350.
- Krapovickas, V., Mángano, M.G., Buatois, L.A. y Marsicano, C.A., 2016. "Integrated Ichnofacies models for deserts: Recurrent patterns and megatrends". *Earth Science Reviews* 157: 61-85.
- Kuenen, H., 1953. "Significant features of graded bedding". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 37: 1044-1066.
- Leckie, D.A. y Walker, R.G., 1982. "Storm-and tide-dominated shorelines in Late Cretaceous Moosebar-Lower Gates interval-outcrop equivalents of deep basin gas trap in western Canada". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 66: 138-157.
- Leeder, M.R., 1999. *Sedimentology and Sedimentary Basins*. Oxford, U.K., Blackwell, 592 pp.
- Lindsey, D.A., 1966. "Sediment transport in a Precambrian ice age: the Huronian Gowganda Formation". *Science* 154: 1442-1443.
- López, E., 2005. "Fotoarquitectura facial usando imágenes Landsat TM 5 y fotografías aéreas convencionales: Ejemplo en el borde oriental de la Cordillera Oriental de Colombia". *Boletín de Geología* 27: 115-124.
- Lowe, D.R., 1975. "Water-escape structures in coarse-grained sediments". *Sedimentology* 22: 157-204.
- Lowenstein, T.K. y Hardie, L.A., 1985. « Criteria for the recognition of salt pan evaporates". *Sedimentology* 32: 627-644.
- MacEachern J.A. y Pemberton, S.G., 1992. "Ichnological aspects of Cretaceous shoreface successions and shoreface variability in the Western Interior Seaway of North America". En: Pemberton, S.G. (ed.), *Applications of ichnology to petroleum exploration, a core workshop*. SEPM, Core W 17.
- MacEachern, J.A., Pemberton, S.G., Bann, K.L. y Gingras, M.K., 2007. "Departures from the Archetypal Ichnofacies: Effective recognition of environmental stress in the rock record". En: MacEachern, A.; Bann, K.L.; Gingras, M.K.; Pemberton, S.G. (eds.), *Applied Ichnology*. SEPM Short Course Notes 52: 65-93.
- MacEachern, J.A., Zaitlin, B.A. y Pemberton, S.G., 1999. "Coarse-grained, shoreline-attached, marginal marine parasequences of the Viking Formation, Joffre Field, Alberta Canada". En: Bergman, K.M. and Snedden, J.W. (eds.), *Isolated Shallow Marine Sand Bodies: Sequence Stratigraphic and Sedimentologic Interpretation*; SEPM Special Publication 64: 273-296.
- Maltman, A., 1994. *The Geological Deformation of sediments*. Chapman y Hall. London, 362 pp.
- Mángano, M.G. y Buatois, L.A., 2004. "Integración de estratigrafía secuencial, sedimentología e icnología para un análisis cronoestratigráfico del Paleozoico Inferior del noroeste argentino". *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59: 273-280.
- Mariotti, G., Pruss, S. B., Perron, J. T. y Bosak, T., 2014. "Microbial shaping of sedimentary wrinkle Structures". *Nature Geoscience* 7: 736-740.
- Marshall, J.D., 1982. "Isotopic composition of displacive fibrous calcite veins: reversals in pore-water composition trends during burial diagenesis". *Journal of Sedimentary Petrology* 52: 615-630.
- Martinsson, A., 1970. "Toponymy of Trace Fossils". En: Crimes, T.P. y Harper, J.C. (eds.), *Trace Fossils; Geological Journal Special Issue* 3: 323-330.
- Marty, D.; Strasser, A. y Meyer, C.A., 2009. "Formation and taphonomy of human footprints in microbial mats of present-day tidal flat environments: implications for the study of fossil footprints". *Ichnos* 16: 127-142.

- McKee, E.D. y Weir, G.W., 1953. "Terminology for stratification and cross stratification in sedimentary Rocks". *Bulletin of the Geological Society of America* 64: 381-390.
- Mellere, D. y Steel, R.J., 2000. *Style contrast between forced regressive and lowstand/transgressive wedges in the Campanian of south-central Wyoming: Geol. Soc. London Spec. Public.* 172: 51-75.
- Mikkelsen, O. y Pejrup, M., 1998. "Comparison of flocculated and dispersed suspended sediment in the Dollard estuary". En: Black, K.S.; Paterson, D.M. y Cramp, A. (eds.), *Sedimentary processes in the intertidal zone: Geological Society (London) Spec. Pub.* 139: 199-209.
- Montagana, A.O. 2012. *Observación, descripción y análisis de afloramientos de la Fm. Tordillo. Relación afloramientos-subsuelo.* Guía de Campo, 49 pp.
- Mutti, E., Davoli, G., Mora, S. y Sgavetti, M., 1994. *The Eastern Sector of the South-Central Folded Pyrenean Foreland: Criteria for Stratigraphic Analysis and Excursion Notes.* Second Highresolution Sequence Stratigraphy Conf., 83 pp.
- Mutti, E., Davoli, G., Tinterri, R. y Zavala, C., 1996. "The importance of ancient fluvio-deltaic systems dominated by catastrophic flooding in tectonically active basins". *Mem. Sci. Geol. (Padova)* 48: 233-291.
- Mutti, E., Tinterri, R., di Biase, D. y Cavana, G., 2003. "Deltaic, mixed and turbidite sedimentation of ancient foreland basins". *Marine and Petroleum Geology* 20: 733-755.
- Myrow, P.M., 1992. "Pot and gutter casts from the Chapel Island Formation, southeast Newfoundland". *Journal of Sedimentary Petrology* 62: 992-1007.
- Nara, M. 1997. High-resolution analytical method for event sedimentation using *Rosselia socialis*. *Palaios* 12: 489-494.
- Nemec, W., 1990. "Aspects of sediment movement on steep delta slope". En: Colella, A. y Prior, D. B. (eds.), *Coarse grained deltas: International Association of Sedimentologists, Special Publication* 10: 29-73.
- Nichols, G., 2009. *Sedimentology and stratigraphy*, 2nd ed. Oxford, U.K., Blackwell, 419 pp.
- Noffke, N., 1998. "Multidirected ripple marks rising from biological and sedimentological processes in modern lower supratidal deposits (Mellum Island, southern North Sea)". *Geology* 26: 879-882.
- Noffke, N., 2010. *Geobiology. Microbial mats in sandy deposits from the Archean Era to today.* Elsevier, 194 pp.
- Noffke, N. y Krumbein, W.E. 1999. "A quantitative approach to sedimentary surface structures countoured by the interplay of microbial colonization and physical dynamics". *Sedimentology* 46: 417-426.
- Noffke, N., Gerdes, G., Klenke, T. y Krumbein, W.E., 1996. "Microbially induced sedimentary structures-examples from modern sediments of siliciclastic tidal flats". *Zbl Geological Palfiont Teil 1*: 307-316.
- Noffke, N., Gerdes, G., Klenke, T. y Krumbein, W.E., 1997. "A microscopic sedimentary succession of graded sand and microbial mats in modern siliciclastic tidal flats". *Sedimentary Geology* 110: 1-6.
- Noffke, N., Gerdes, G., Klenke, T. y Krumbein, W.E., 2001. "Microbially induced sedimentary structures: a new category within the classification of primary sedimentary structures". *Journal of Sedimentary Research* 71: 649-656.
- Noffke, N., Knoll, A. y Grotzinger, J., 2002. "Sedimentary controls on the formation and preservation of microbial mats in siliciclastic deposits: a case study from the Upper Neoproterozoic Nama Group, Namibia". *Palaios* 17: 533-544.
- Pemberton, S.G. y MacEachern, J.A., 1995. "The sequence stratigraphic significance of trace fossils: examples from the Cretaceous Foreland Basin of Alberta, Canada". En: Van Wagoner, J.C. y Bertram, G. (eds.), *Sequence Stratigraphy of the Foreland Basin Deposits - outcrop and subsurface examples from the Cretaceous of North America; AAPG Memoir* 64: 429-475.
- Pemberton, S.G., Frey, R.W., Ranger, M.J. y MacEachern, J.A., 1992. "The conceptual framework of Ichnology". En: Pemberton, S.G. (ed.), *Applications of ichnology to petroleum exploration - a core workshop; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Core Workshop* 17: 1-32.
- Pemberton, S.G., Spilla, M., Pulham, A.J., Saunders, T., MacEachern, J.A., Robbins, D. y Sinclair, I.K., 2001. *Ichnology and sedimentology of shallow to marginal marine systems: Ben Nevis & Avalon Reservoirs, Jeanne D'Arc Basin.* Geological Association of Canada. Short Course, Volume 15: 343 pp.
- Pemberton, S.G., MacEachern, J.A. y Saunders, T., 2004. "Stratigraphic applications of substratespecific ichnofacies: delineating discontinuities in the rock record". En: McIlroy, D. (ed.), *The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis.* Geological Society, London, Special Publication 228: 157-178.
- Pemberton, S.G., MacEachern, J.A., Gingras, M.K. y Saunders, T.D.A., 2008. "Biogenic chaos: cryptobioturbation and the work of sedimentologically friendly organisms". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 270: 273-279.
- Peterson, G., 1968. "Flow structures in sandstone dikes". *Sedimentary Geology* 2: 177-190.
- Pettijohn, F.J. y Potter, P.E., 1964. *Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures.* New York. Springer-Verlag: 305 p.
- Pettijohn, F.J., 1975. *Sedimentary Rocks* (3rd edition). Harper and Row, New York, 628 pp.
- Pflüger, F., 1999. "Matground structures and redox facies". *Palaios* 14: 25-39.
- Pirrie, D., Dilehfield, P.W. y Marshall, J.D., 1994. "Burial diagenesis and pore-fluid evolution in a Mesozoic back-arc basin: the Marambio Group, Vega Island, Antarctica". *Journal of Sedimentary Research* 64: 541-552.
- Ponce, J.J. y Carmona, N.B., 2011. "Coarse-grained sediment waves in hyperpycnal clinof orm systems, Miocene of the Austral foreland basin, Argentina". *Geology* 39: 763-766.
- Pryor, W.A., 1975. "Biogenic sedimentation and alteration of argillaceous sediments in shallow marine environments". *Geological Society of America Bulletin* 86: 1244-1254.

- Raiswell, R., Bartels, C. y Briggs, D.E.G., 2001. "Hunsrück slate". En: Briggs, D.E.G. y Crowther, P.K. (eds.), *Paleobiology II*. Blackwell, 346-348.
- Reineck, H.E. y Wunderlich, F., 1968. "Classification and origin of flaser and lenticular bedding". *Sedimentology* 11: 99-104.
- Rodrigues, N.; Cobbold, P.R.; Loseth, H. y Ruffet, G., 2009. "Widespread bedding-parallel veins of fibrous calcite ('beef') in a mature source rock (Vaca Muerta Fm, Neuquén Basin, Argentina): Evidence for overpressure and horizontal compression". *Journal of the Geological Society* 166: 695-709.
- Schieber, J., 1998. "Possible indicators of microbial mat deposits in shales and sandstones: examples from the Mid-Proterozoic Belt Supergroup, Montana, U.S.A.". *Sedimentary Geology* 120: 105-124.
- Seilacher, A., 1964. "Biogenic sedimentary structures". En: Imbrie, J. y Newell, N.D. (eds.), *Approaches to Paleocology*. New York, John Wiley, 296-316.
- Seilacher, A., 1967. "Bathymetry of trace fossils". *Marine Geology* 5: 413-428.
- Seilacher, A. 2007. Trace fossil analysis. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 226 pp.
- Seilacher, A., 2008. "Biomats, biofilms, and bioglime as preservational agents for arthropod trackways". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 270: 252-257.
- Selles-Mariñez, J., 1996. "Concretion morphology, classification, and genesis". *Earth Science Reviews* 4: 177-210.
- Selley, R.C., 2000. *Applied sedimentology* (2nd Edition). Academic Press. London, 523 pp.
- Sgavetti, M., 1992. "Criteria for Stratigraphic Correlation Using Aerial Photographs: Examples from the South - Central Pyrenees". *A.A.P.G. Bulletin* 76: 708-730.
- Sgavetti, M., 1993. "Photostratigraphic Characteristics of Sequence Stratigraphic Features and Patterns: Upper Cretaceous and Eocene Strata of the South - Central Pyrenees, Spain". *A.A.P.G. Memoir* 58: 411-448.
- Smith, B., 1916. "Ball or pillow-form structures in sandstones". *Geological Magazine* 53: 146-156.
- Southard, J. B., 1991. "Experimental determination of bed-form stability". *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 19: 423-55.
- Spalletti, L.A. Poiré, D.G. y Veiga, G.D., 2007. Estructuras sedimentarias mecánicas. Cátedras de Sedimentología y Rocas Sedimentarias. Facultad de Ciencias Naturales y Museo Universidad Nacional de La Plata. [www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/sedimentologia/pdf/estructuras\\_mec.pdf](http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/sedimentologia/pdf/estructuras_mec.pdf). 160p.
- Stanistreet, I.G., Le Blanc Smith, G. y Cadle, A.B. 1980. Trace fossils as sedimentological and palaeoenvironmental indices in the Ecca Group (Lower Permian) of the Taansvaal. *Transactions of the Geological Society of the South Africa* 83: 333-344.
- Tanner, P.W.G., 2003. "Syneresis". En: Middleton, G.V. (ed.), *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 718-720.
- Taylor, A.M. y Goldring, R., 1993. "Description and analysis of bioturbation and ichnofabric". *Journal of the Geological Society*, London 150: 141-148.
- Torrijo Echarri, F.J., Mandado Collado, J. y Bona Artazos, M.E., 2004. "Modelización genética de nódulos y concreciones. Propuestas de clasificación". *Estudios Geológicos* 60: 95-110.
- Tucker, M.E., 2003. *Sedimentary Rocks in the Field* (3rd edition). Wiley, Chichester, 237 pp.
- Vera Torres, J.A., 1994. *Estratigrafía Principios y métodos*. Madrid. Editorial Rueda, S.L., 806 pp.
- Weedman, S.D. y Slingerland, R., 1985. "Experimental study of sand streaks formed in turbulent boundary layers". *Sedimentology* 32: 133-145.
- Werner, F. y Wetzel, A., 1982. "Interpretation of biogenic structures in oceanic sediments". *Bull. Inst. Geol. Bassin d' Aquitaine* 31: 275-288.
- Zavala, C., Ponce J., Arcuri, M., Drittanti, D., Freije, H. y Asensio, M., 2006. "Ancient Lacustrine hyperpynites: a depositional model from a case study in the Rayoso Formation (Cretaceous) of west-central Argentina". *Journal of Sedimentary Research* 76: 40-58.

Este atlas presenta las principales estructuras sedimentarias inorgánicas y biogénicas, incluyendo una breve descripción de las mismas y la interpretación de su origen. Esta caracterización resulta crucial en el desarrollo de estudios sedimentológicos y en la construcción de modelos depositacionales.

La información de afloramientos, testigos corona y registros de imágenes de pozo aportada en esta obra permitirá a los geocientistas tener una valiosa fuente de información para los estudios de superficie y subsuelo.

Esta iniciativa es el resultado de un esfuerzo articulado entre investigadores del CONICET, profesionales de YPF, Fundación YPF y Universidad Nacional de Río Negro.

---

[www.fundacionypf.org](http://www.fundacionypf.org)