

## CRIPTOBIOTURBACIÓN LA IMPORTANCIA DE LA BIOTURBACIÓN OCASIONADA POR EL MEIOBENTOS INTERSTICIAL EN SUCESIONES SEDIMENTARIAS DEL REGISTRO GEOLÓGICO

### CRYPTOBIOTURBATION THE IMPORTANCE OF BIOTURBATION CAUSED BY INTERSTITIAL MEIOBENTHOS IN SEDIMENTARY SUCCESSIONS OF THE GEOLOGICAL RECORD

*Jhonny Edgar Casas*<sup>1</sup> 

#### RESUMEN

El término meio bentos se refiere a un grupo de organismos invertebrados de tamaño intermedio entre la macrofauna y la microfauna que habitan todo tipo de sedimentos, en todos los ambientes marinos y en todas las zonas climáticas. Las actividades de esta meiofauna modifican las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sedimentos, al desplazar los granos de los sedimentos durante la construcción de madrigueras y movilizándolo a su vez la materia orgánica y los microorganismos que se encuentran entre ellos, durante su búsqueda de alimentación. La criptobioturbación, término originalmente empleado para sedimentos recientes, se usa hoy día para describir la actividad meiofaunal o bioturbación críptica, aplicada al estudio de rocas sedimentarias (paleoicnología). Su característica principal es su escala milimétrica y su a veces, difusa expresión, ya que dicha bioturbación puede alterar y homogeneizar completamente el sedimento, otorgando la apariencia de capas masivas. La criptobioturbación está ampliamente distribuida en el registro geológico, especialmente en facies arenosas finas, principalmente marino somero/estuarino, y constituye un excelente indicador paleoambiental en conjunto con los criterios sedimentológicos tradicionales. Presenta algunas limitaciones a la hora de identificarla en núcleos/testigos, o en estudios de afloramientos, donde podría ser muy difícil de reconocer debido a las alteraciones propias de las rocas expuestas a la meteorización.

#### ABSTRACT

Meio benthos refers to a group of invertebrate organisms of intermediate size between macrofauna and microfauna, inhabiting all types of sediments in all marine environments and climatic zones. The activities of this meiofauna modify the physical, chemical, and biological properties of sediments, displacing sediment grains during burrow construction and displacing organic matter and microorganisms within the sediments during their search for food. Cryptobioturbation, a term originally used for recent sediments, is now used to describe meiofaunal activity or cryptic bioturbation. The concept was later applied to the study of sedimentary rocks (paleoichnology), and its main characteristic is its very small scale and sometimes diffuse expression, since this bioturbation can completely alter and homogenize the sediment, giving the appearance of massive layers. Cryptobioturbation is widely distributed in the geological record, in sandy facies, primarily shallow marine to estuarine, and constitutes an excellent paleoenvironmental indicator, in conjunction with traditionally used sedimentological criteria. It presents some limitations when it comes to recognizing it in cores, or in outcrop studies, where it can be very difficult to identify due to the alterations inherent in rocks exposed to weathering.

**Palabras clave:** Bioturbación, criptobioturbación, meiofauna, neoicnología, paleoicnología.

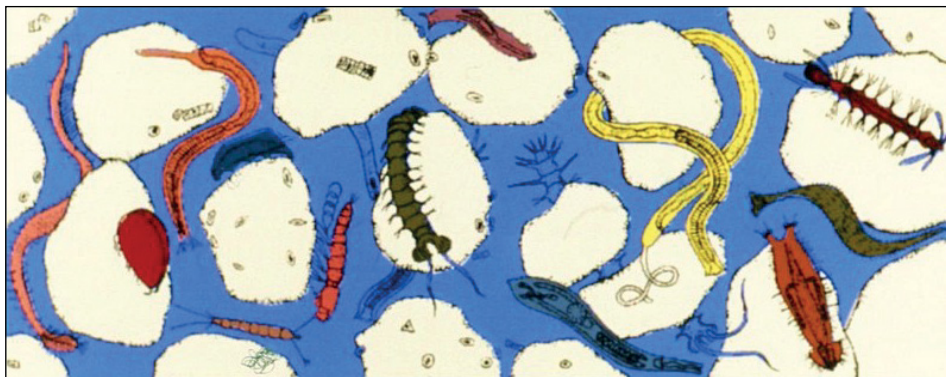
**Keywords:** Bioturbation, cryptobioturbation, meiofauna, neoichnology, paleoichnology.

## 1. Introducción

La identificación e interpretación de trazas fósiles ha contribuido de manera significativa en las últimas décadas como indicador paleoambiental. En años recientes, su estudio denominado icnología, ha sido utilizado con éxito en la definición

e interpretación de discontinuidades estratigráficas, superficies clave para la aplicación de los conceptos de estratigrafía secuencial. Hasta comienzos del siglo XXI, la mayoría de los trabajos publicados identificaban, interpretaban y discutían una serie de trazas fósiles producto de la actividad de orga-

<sup>1</sup> MSc. Geología, McMaster Univ, Canadá. Escuela de Petróleo (UCV). Correo-e: [jasas@geologist.com](mailto:jasas@geologist.com)



**Figura 1.** Imagen ilustrativa de un conjunto meiofaunal compuesto por nematodos, arquiánélidos, malacostráceos, y copépodos bioturbando el sedimento. Fuente: Modificado de [10].

nismos macrobentónicos. Se le dedicó muy poca atención a las trazas fósiles producto de la actividad biogénica a escala milimétrica, la cual fue denominada por primera vez en 1942 por Molly F. Mare [1], como la actividad del meio-bentos. El término proviene del griego *meion* (*μείον*), que significa «más pequeño», y *benthos* (*βένθος*), que se traduce como «fondo marino».

## 2. La bioturbación intersticial del meio-bentos

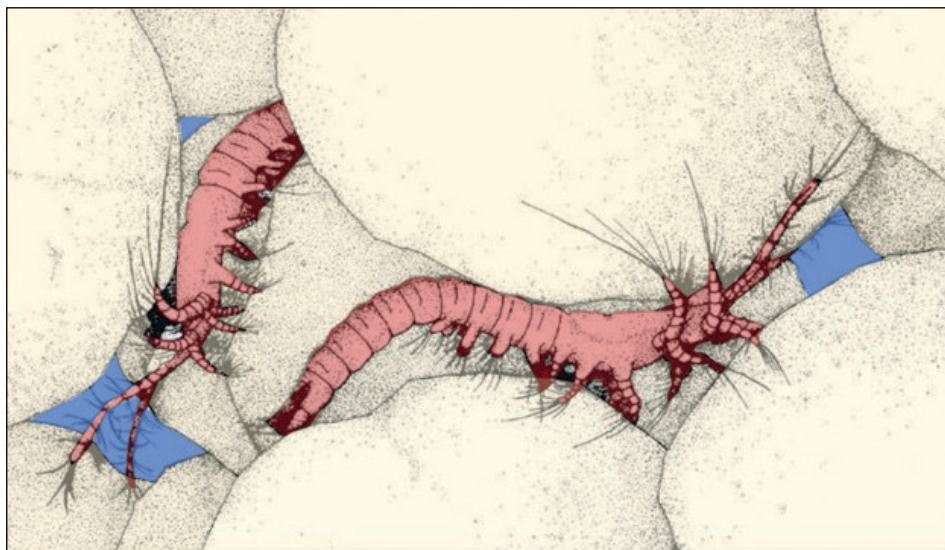
En 1933, el zoólogo alemán Adolf Remane fue uno de los investigadores pioneros en usar tamices para estudiar la minúscula fauna presente en las capas del sedimento superficial en la bahía de Kiel (Alemania). En su publicación utilizó la palabra alemana *Sandlückenfauna* o «fauna de intersticios de arena» [2], para referirse, entre otros, a copépodos y arquiánélidos que viven entre el sedimento. Dos años después, en 1935, Aubrey G. Nicholls publicó un artículo donde describía con mayor detalle el mismo concepto de Remane [2], pero usando el término «fauna intersticial». Este término describe con mayor detalle al conjunto de copépodos, nematodos, rotíferos, protozoos y otros animales suficientemente pequeños como para vivir y alimentarse entre los intersticios del sedimento [3] (pág. 379).

Ya en 1942, se publica un nuevo término: meio-bentos [1] (pág. 519-520), el cual fue acuñado por primera vez para definir un conjunto de metazoos bentónicos que se distinguían por su pequeño tamaño, intermedio entre el microbentos y el macrobentos. En términos más específicos, los organismos del meio-bentos se refieren a un grupo de seres invertebrados de dimensiones intermedias entre la macrofauna y la microfauna, que habitan todo tipo

de sedimentos, principalmente en ambientes marinos y en todas las zonas climáticas. Estos organismos pueden presentarse en densidades altísimas de millones de individuos por metro cuadrado [4]. Las actividades de esta meio-fauna (sinónimo de meio-bentos), modifican diversas propiedades físicas, químicas y biológicas de los sedimentos, generalmente en forma simultánea. Por ejemplo, desplazando los granos de sedi-

mento durante la construcción de madrigueras y movilizan-do la materia orgánica y los microorganismos situados en los intersticios entre los sedimentos durante su búsqueda de alimentos [5].

El conjunto meiofaunal o meio-bentos está compuesto principalmente por ostrácodos, nematodos, copépodos, arquiánélidos, malacostráceos, anfípodos haustóridos, anomópodos, halacáridos, turbelarios, algunos tipos de foraminíferos, así como equinodermos y moluscos juveniles [1, 2, 3, 6], los cuales perturban el sedimento de una manera muy activa y continua (Figura 1). Dicha perturbación es producida por una meio-fauna característica, cuyos límites formales de tamaño, han sido variables a través de los últimos 30 años. No obstante, en líneas generales se definen operativamente, en base al ancho de malla estandarizado de los tamices: entre 500  $\mu\text{m}$  como límite superior y 40  $\mu\text{m}$  como límite inferior [6]. Estos organismos viven esencialmente entre los granos del sedimento (Figura 2), alimentándose de diversas partículas, principalmente bacterias, diatomeas y algas, adheridas a los granos de



**Figura 2.** Visualización artística de un ambiente marino intersticial, mostrando diminutos crustáceos (mistacocáridos) que viven asociados a sedimentos de las zonas intermareal y playera. Fuente: Modificado de [6].

arena [1]. Este tipo de bioturbación es tal que la consistencia y las estructuras primarias de los sedimentos pueden ser modificadas por los organismos de la meiofauna que viven en ellos, asociándose comúnmente su presencia a sedimentos arenosos de grano fino a muy fino.

Algunas investigaciones como las de Cullen [7], Howard & Frey [8, 9] y Bromley [10], reportan que la actividad de estos organismos es tan intensa que pueden destruir tanto las estructuras sedimentarias primarias como las trazas fósiles de mayor tamaño, dejando apenas huellas imperceptibles de su actividad. En una serie de experimentos efectuados en tanques de laboratorio con sedimentos tomados del canal de Bristol en Reino Unido [7], se reportó que, tras un periodo de 10 a 14 días de haber removido toda la macrofauna cuyo tamaño excediera de 1 milímetro, todas las huellas de actividad macrobéntica que existían previamente en el sedimento, desaparecieron gradualmente por efecto de la nueva bioturbación meiofaunal. En este proceso destacaron como miembros más activos y ampliamente distribuidos, los ostrácodos y los nematodos, cuyas velocidades de movimiento a través del sedimento fueron estimadas en 2 mm/s [7].

Estudios adicionales efectuados en sedimentos recientes, analizaron núcleos de arena de grano fino, tomados en un estuario de Georgia (EE. UU.), concluyendo que la intensa bioturbación causada por anfípodos haustóridos, había alterado por completo las laminaciones primarias de la arena, dándole un aspecto «difuso» [8]. Esta misma observación fue realizada previamente por Howard & Elders en 1970 *vide* [8], en sedimentos de la isla Sapelo, también en la costa de Georgia.

No es sino hasta mediados-finales de la década de los 90, del siglo XX, cuando aparecen con mayor frecuencia publicaciones donde se describen e interpretan claramente ejemplos de actividad meiofaunal en rocas sedimentarias antiguas [11-16]. Todas ellas se basaron en el análisis de núcleos o testigos de areniscas cretácicas, interpretadas como depósitos de anteplaza del Miembro Falher D (Albiense), de la Formación Spirit River, así como de sucesiones estuarinas también del Albiense, de la Formación Bluesky [12], ambas en Alberta, Canadá. Una de las mencionadas publicaciones [14] también cita reconocer numerosos ejemplos de evidencias de actividad meiofaunal, en sucesiones sedimentarias de la cuenca de lago de Maracaibo. Específicamente, se cita su identificación sobre todo en los intervalos B-Superior del campo petrolero Barúa-Motatán, en el B-Inferior del campo Ceuta y del Bloque III, en el intervalo C-4 del Bloque Inferior y en el intervalo B-2 del campo petrolero Lagunillas (Bloques 70/80), todos ellos correspondientes a rocas de la Formación Misoa de edad Eoceno medio.

En la mayoría de los casos descritos, el grado de bioturbación de las areniscas parece ser tan intenso y homogéneo

que no se aprecian estructuras sedimentarias primarias (Figura 3), o las mismas se preservan en forma de bandas muy tenues o difusas [11], casi como un «fantasma» (Figura 4). En otros casos dichas estructuras sedimentarias van desapareciendo gradualmente a medida que aumenta la intensidad de la bioturbación meiofaunal [11, 14] (Figuras 5 y 6).

Abundantes ejemplos adicionales proceden de literatura geológica existente, sobre todo de los años 80 y comienzos de los 90, periodo en el que el número de publicaciones de carácter sedimentológico fue notoriamente abundante. En muchas de estas publicaciones se observan fotografías de núcleos o testigos, que muestran claramente este tipo de bioturbación meiofaunal, sin que los autores originales mencionaran o se percataran de su existencia, o de su importancia. Excelentes ejemplos de ello se observan en [17] (pág. 234), [18] (pág. 100), [19] (pág. 246), [20] (pág. 299), [21] (pág. 384) y [22] (pág. 458), por citar algunos.



**Figura 3.** Núcleo LL-3577 (Formación Misoa, B-2, Lago de Maracaibo, Venezuela). Profundidad: 3882,8 pies. Arenisca de grano fino totalmente bioturbada por meiofauna, aunque es posible observar todavía algunas trazas de *Ophiomorpha*. Escala en cm. Fuente: [14].



**Figura 4.** Núcleo 7-25-71-13W6 (Miembro Falher, Formación Spirit River, Alberta, Canadá). Profundidad: 2010,4 metros. Arenisca de grano fino totalmente bioturbada por meiofauna, aunque es posible observar todavía la laminación cruzada original de la roca, pero sumamente difusa.

Los descubrimientos más antiguos de meiofauna fósil son escasos y fortuitos debido a la naturaleza delicada y al pequeño tamaño de los organismos involucrados. Sin embargo, se han reportado fósiles acordes al tamaño del meio bentos, en la Formación Doushantuo (suroeste de China), que datan de 50 Ma antes del comienzo del Cámbrico [23], confirmando una edad ediacárica para el meio bentos. Ya en el Cámbrico inferior se reconocen, a pesar de su diminuto tamaño, restos de meio bentos de concha dura, identificados como ostrácodos [6].

En núcleos o testigos, las huellas de actividad meiofaunal son a veces difíciles de identificar; sin embargo, cuando es posible, estas se caracterizan por una serie de marcas a escala milimétrica. Muchas veces en forma de pequeñas pistas circulares, semicirculares o rectas que resaltan ligeramente sobre el contexto general visual de la roca debido a la agrupación de granos de color claro, lo cual recuerda en cierta forma a la bioturbación producida por *Macaronichnus* juveniles [14]. Una buena parte de los ejemplos corresponde o ha sido descrita en sucesiones de estratos arenosos de grano fino a medio, interpretados en una variedad de ambientes litorales y marea-

les, incluyendo la anteplaya. En estos contextos es común encontrar huellas de este tipo de actividad meiofaunal, comúnmente asociadas a estratos con otras trazas fósiles tales como: *Macaronichnus*, *Palaeophycus*, *Teichichnus* y *Ophiomorpha*, típicas de la icnofacies *Skolithos*. También han podido identificarse, pero en mucho menor grado, asociadas a icnofacies del tipo *Cruziana* [14].

### 3. Bioturbación críptica

Décadas después del uso extendido del término «bioturbación meiofaunal», Pemberton & Gringas [24] emplean el



**Figura 5.** Núcleo 7-25-71-13W6 (Miembro Falher, Formación Spirit River, Alberta, Canadá). Profundidad: 1998,6 metros. Arenisca de grano fino a medio, moderada a fuertemente bioturbada por meiofauna. Es posible observar que la laminación cruzada va tornándose difusa, casi desapareciendo hacia la base del núcleo, a medida que aumenta la intensidad de la bioturbación meiofaunal. Es posible reconocer en esa zona basal, algunos pequeños *Macaronichnus* sp. Fuente: [14].

término «bioturbación críptica» para describir esta misma actividad meiofaunal y la relacionan con las características de permeabilidad exhibidas por las rocas donde se reconoce este tipo de bioturbación. Estos autores [24], postulan una mejora en los parámetros de la distribución de la permeabilidad, inducida por la bioturbación críptica, resultante de alguno de los siguientes procesos:

- (a) la meiofauna altera, pero no destruye, la laminación sedimentaria,
- (b) la infauna a escala milimétrica o micrométrica, así como otras trazas tales como *Macaronichnus*, permiten preservar vestigios de la textura sedimentaria original, mediante un comportamiento de ingestión selectiva de granos,
- (c) eliminación por completo de la estructura sedimentaria primaria, mediante organismos excavadores, en un sustrato que presenta poca variabilidad litológica.

En esta publicación [24], se postula que, en general, la bioturbación críptica es común en ambientes sedimentarios como canales clásticos estuarinos y canales distributarios, así como en los depósitos de la anteplaya superior. Se describen también dos interesantes casos de estudio: Bruce Field (Mar del Norte) y Ferron Sandstone (Utah). En ellos se analiza el comportamiento en términos de porosidad y permeabilidad, de los intervalos con bioturbación críptica [24], aportando además ejemplos con fotografías de núcleos o testigos de este tipo de perturbación biogénica. De este estudio se concluyó que el efecto de la bioturbación críptica no produce necesariamente un incremento de la permeabilidad, sino una reducción de la heterogeneidad interna. Esto da lugar a una distribución más uniforme de dicha permeabilidad [24] en toda la unidad sedimentaria.

La identificación de bioturbación críptica no solo se ha circunscrito a los depósitos sedimentarios arenosos. También ha sido reportada en sucesiones clásticas de grano muy fino [7]. Schieber [25] muestra ejemplos de lutitas oscuras devónicas provenientes de EE. UU. (New Albany Shale y Chattanooga Shale), donde, mediante el uso de rayos X y macrofotografías con alteración de contraste, fue posible observar este tipo de bioturbación normalmente imperceptible. Schieber y Wilson [26], analizando núcleos de rocas clásticas de grano fino ricas en materia orgánica, que abarcan desde el Ordovícico hasta el Cretácico (Formación Maquoketa, Genesee Shale, Huron Shale, Eagle Ford Shale), proponen que la existencia de bioturbación (denominada por los referidos autores como meioturbación), asociada a la alteración de las estructuras primarias por efecto de actividad de organismos meiofaunales, genera laminaciones «fantasma», contactos difusos y bandeamientos.

#### 4. El término criptobioturbación

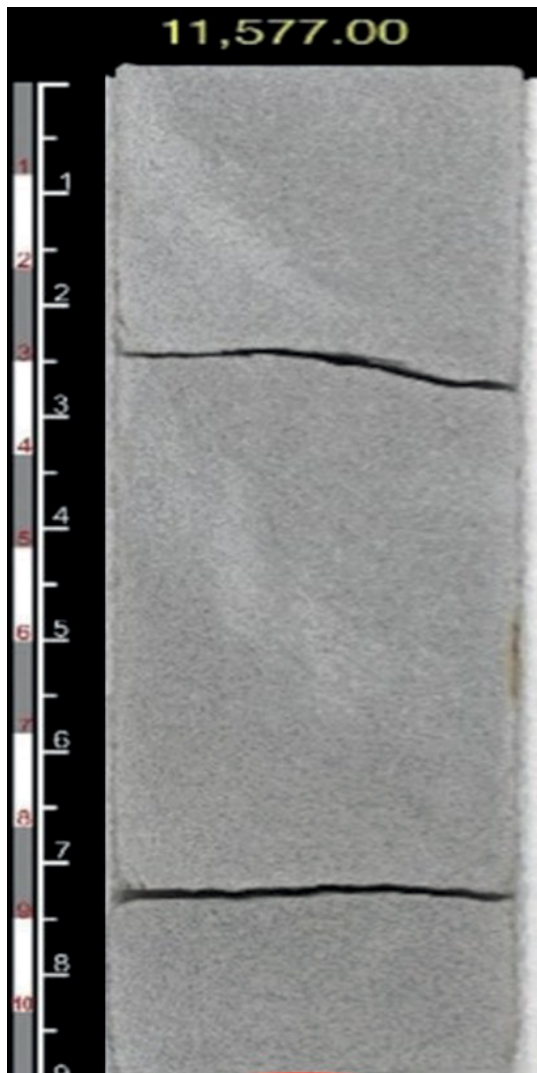
El término criptobioturbación fue acuñado por primera vez en 1975 por Howard & Frey [9], para designar la bioturbación



**Figura 6.** Núcleo 10-12-57-19W5 (Formación Bluesky, Alberta, Canadá). Profundidad: 2664 metros. Sutil contacto irregular entre una arenisca con estratificación cruzada muy difusa (mitad inferior) y una arenisca similar, pero totalmente bioturbada por meiofauna y sin estructuras visibles (mitad superior). Diámetro del núcleo: 4 pulgadas. Fuente: [12]

ocasionada por organismos de la meiofauna, en sedimentos recientes (neoiocnología). Sin embargo, dicho término fue empleado por primera vez en el estudio de rocas antiguas (paleoiocnología) apenas en el año 2007 [27, 28], para describir este nivel de bioturbación, que según los mismos autores, había pasado inadvertido durante décadas en el estudio del registro geológico, siendo notables algunas excepciones [11, 14, 16]. El resurgimiento del término criptobioturbación [27, 28], vino a sustituir a la expresión «bioturbación meiofaunal» y «bioturbación críptica», que aunque en la literatura parecen poseer una sinonimia aparente, en la realidad se podrían separar basándose en si la descripción se realiza sobre la base de los procesos biológicos o sobre los procesos sedimentológicos. En este último caso, el uso de los términos bioturbación críptica o criptobioturbación, es perfectamente válido, reafirmando entonces como característica principal su escala milimétrica o submilimétrica, y su expresión a menudo desapercibida en las rocas sedimentarias que la contienen.

Si bien la bioturbación macroscópica clásica es definida como un «caos biogénico» debido a la total destrucción de la fábrica y de las estructuras sedimentarias originales [28], también se señala que la criptobioturbación, por su escala de acción, puede potencialmente perturbar por completo los



**Figura 7.** Núcleo Chain Lakes 5-5-4 (Lewis Shale, Green River, Wyoming). Profundidad: 11 577 pies. Arenisca de grano fino de apariencia masiva, pero completamente criptobioturbada. Escala vertical en pulgadas. Fuente: [32].

sedimentos, con poca o ninguna distorsión en la laminación original [28]. Esto no siempre es el caso, ya que se han documentado numerosos ejemplos donde la criptobioturbación altera y homogeneiza completamente el sedimento, dando la apariencia de capas sedimentarias masivas, una estructura con la que en ocasiones pudo ser confundida y seguramente continúa siéndolo [14].

Descripciones de sucesiones sedimentarias exhibiendo criptobioturbaciones, principalmente para estudios en yacimientos de hidrocarburos, se han vuelto comunes en la literatura de los últimos 20 años, donde podemos citar algunos ejemplos emblemáticos como: Pemberton & Gingras [24], los cuales reportan bioturbación críptica en Toro Sandstone (Papúa Nueva Guinea) y en la Formación Mirador del Eoceno, en el campo petrolero Cusiana (Colombia). Netto *et al.* [29] mencionan una reducción de las propiedades petrofísicas (porosidad/per-

meabilidad), por efecto de la intensa criptobioturbación, en rocas marinas del Paleozoico superior (Rio Bonito/Palermo), en la cuenca Paraná de Brasil. Tonkin *et al.* [30] reportan niveles con criptobioturbaciones en la Formación Ben Nevis del Cretácico, costa afuera de Newfoundland (Canadá). Ezeh *et al.* [31] reportan núcleos o testigos con secciones crípticamente bioturbadas en rocas del Mioceno del delta de Níger. Mayorga & Sonnenberg [32] reportan la presencia de estratos de areniscas criptobioturbadas en Lewis Shale (**Figura 7**), del Cretácico superior (Campaniense-Maestrichtiense), de la cuenca Green River (Wyoming), así como ejemplos más antiguos de este tipo de bioturbación en estratos devónicos de anteplaya de la Formación Tern [33], en la cuenca Bonaparte (Australia). Por último, se mencionará un reporte interno [34], para el campo San Joaquín (cuenca Oriental de Venezuela), en la Formación San Juan del Cretácico, donde se describen numerosos intervalos de areniscas de grano fino, completamente bioturbadas por meiofauna (**Figura 8**), e interpretadas como depósitos de anteplaya [34].



**Figura 8.** Núcleo JM-190 (Formación San Juan, Cuenca Oriental de Venezuela). Profundidad: 9479,4 pies. Arenisca de grano fino totalmente bioturbada por actividad meiofaunal, aunque es posible observar todavía, pero sumamente difusas, huellas de *Ophiomorpha* y *Macaronichnus* juveniles. Escala=1 pulgada. Fuente [34].

Aunque la inmensa mayoría de la literatura existente describe este tipo de bioturbación en rocas de ambientes sedimentarios marino-marginales, Green *et al.* [35] reportan la primera documentación detallada de posible criptobioturbación en areniscas depositadas en ambientes marinos profundos, correspondientes a la Formación Rio Dell (Plioceno), ubicada en la cuenca Eel River en California. Estos autores [35], sin embargo, postulan que este tipo de bioturbación difícilmente puede ser identificada a menos que existan algunas macrobioturbaciones preservadas en forma aislada, o que en secciones delgadas puedan observarse estructuras tubulares revestidas y con granos orientados.

## 5. Comentarios finales

Interesantes experimentos de neocnología llevados a cabo en laboratorio [36] consistieron en colocar capas delgadas de granos de arena sobre la superficie de una capa de arcillas, que contenía una densidad de nematodos similar a la de ambientes modernos (80 individuos/cm<sup>3</sup>). Los resultados proporcionaron evidencia empírica e ilustraron claramente la eficacia de los nematodos, para desplazar y dispersar los granos de arena, alejándolos de su ubicación original. En menos de dos días, aproximadamente el 75 % de la capa de arena se había difuminado en la capa de lodo infrayacente. Esto indicaba que incluso las capas de sedimento con un marcado contraste composicional, pueden volverse casi invisibles muy rápidamente, dejando como resultado estructuras bandeadas difusas [36].

La importancia de identificar este tipo de actividad orgánica radica en el hecho de que permite explicar la aparente falta de estructuras sedimentarias que presentan muchos estratos de areniscas en diferentes formaciones y edades geológicas. Aunado a esto, se encuentra el hecho de que la gran mayoría de los ejemplos identificados hasta el momento en areniscas están asociados principalmente a la icnofacies del tipo *Skolithos* en ambientes marino-marginal; y en menor medida a depósitos clásticos de aguas profundas. Esto convierte a la criptobioturbación en un poderoso indicador paleoambiental, en conjunto con los criterios sedimentológicos e icnológicos tradicionalmente utilizados [14, 37].

Para autores clásicos como Pemberton *et al.* *fide* [28], las cada vez más numerosas publicaciones acerca de estudios en sucesiones sedimentarias antiguas, exhibiendo criptobioturbaciones, sirven para demostrar lo que J. Howard [28], vaticinó hace casi 50 años: «Las trazas fósiles se encuentran cuando se buscan, es decir, prácticamente existen en cualquier lugar si se observa con suficiente empeño... la ausencia total de trazas, por otro lado, debería ser motivo de gran preocupación para el investigador que analiza sedimentos antiguos y sugiere que sería conveniente reexaminar el intervalo con mucho mayor detalle».

Hasta ahora, los criterios para la identificación de criptobioturbación no han sido establecidos o formalizados, debido

precisamente a su carácter milimétrico y a las dificultades de su reconocimiento macroscópico. En algunos casos, es clave observar una gradación vertical desde intervalos visiblemente bioturbados por organismos macrobentónicos a intervalos de apariencia masiva, como los mostrados en las Figuras 5 y 6. En todos los otros casos, la observación de reliquias o «fantasmas» de estructuras sedimentarias, así como una serie de marcas a escala milimétrica en forma de pequeñas pistas circulares, semicirculares o rectas, que resaltan ligeramente sobre el contexto general visual de la roca debido a la agrupación de granos de color claro, parece ser un fuerte indicio de criptobioturbación.

Si bien la criptobioturbación está ampliamente distribuida en facies arenosas del registro geológico, su correcta identificación se ha convertido en un factor clave al momento de describir e interpretar sucesiones sedimentarias. No obstante, presenta algunas limitaciones a la hora de reconocerla macroscópicamente, especialmente si los núcleos o testigos, no han sido seccionados verticalmente para permitir una visión bidimensional del estrato. Asimismo, existen limitaciones en estudios de afloramiento, donde podría ser muy difícil reconocerla debido a las alteraciones propias de las rocas expuestas a la meteorización, las cuales pueden enmascarar por completo estas huellas milimétricas.

## Referencias

- [1] Mare, M.F. A study of a marine benthic community with special reference to the microorganisms. *J. Mar. Biol. Ass., UK*, **25**, 517–554 [https://plymsea.ac.uk/id/eprint/1212/1/A\\_study\\_of\\_a\\_marine\\_benthic\\_community\\_with\\_special\\_reference\\_to\\_the\\_micro-organisms.pdf](https://plymsea.ac.uk/id/eprint/1212/1/A_study_of_a_marine_benthic_community_with_special_reference_to_the_micro-organisms.pdf) (1942).
- [2] Remane, A. Verteilung und Organisation der benthischen Mikrofauna der Kieler Bucht. *Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen, Abt. Kiel* **21**, 161–221 [https://oceanrep.geomar.de/id/eprint/58617/1/Remane\\_A\\_1928.pdf](https://oceanrep.geomar.de/id/eprint/58617/1/Remane_A_1928.pdf) (1933).
- [3] Nicholls, A.G. Copepods from the interstitial fauna of a sandy beach. *J. Mar. Biol. Ass.* **20**: 379–405 [https://plymsea.ac.uk/id/eprint/883/1/Copepods\\_from\\_the\\_interstitial\\_fauna\\_of\\_a\\_sandy\\_beach.pdf](https://plymsea.ac.uk/id/eprint/883/1/Copepods_from_the_interstitial_fauna_of_a_sandy_beach.pdf) (1935).
- [4] Urban-Malinga, B. Meiofauna in marine coastal sediments. En: Martini, I. P. & Wanless, H. R. (eds). *Sedimentary Coastal Zones from High to Low Latitudes: Similarities and Differences*. Geological Society of London, Special Publications **388**, 59–78 (2014).
- [5] Schratzberger, M. & Ingels, J. Meiofauna matters: The roles of meiofauna in benthic ecosystems. *J. Experimental Marine Biology and Ecology* **502**, 12–25 [https://www.researchgate.net/publication/313324364\\_Meiofauna\\_matters\\_The\\_roles\\_of\\_meiofauna\\_in\\_benthic\\_ecosystems](https://www.researchgate.net/publication/313324364_Meiofauna_matters_The_roles_of_meiofauna_in_benthic_ecosystems) (2018).
- [6] Giere, O. *Meiofauna. The microscopic motile fauna of aquatic sediments*. Springer-Verlag, Berlin, 538 p. (2009).
- [7] Cullen, D.J. Bioturbation of superficial marine sediments by Interstitial Meiofauna: *Nature* **242**, 323–324 <https://www.nature.com/articles/242323a0> (1973).

- [8] Howard, J. D. & Frey, R. W. Characteristic physical and biological sedimentary structures in Georgia estuaries. *AAPG Bulletin* 57(7), 1169-1184 <https://pubs.geoscienceworld.org/aapg/aapgbull/article/57/7/1169/36878/Characteristic-Physical-and-Biogenic-Sedimentary> (1973).
- [9] Howard, J.D. & Frey, R.W. Estuaries of the Georgia coast, U.S.A.: Sedimentology and biology II. Regional animal-sediment characteristics of Georgia estuaries. *Senckenbergiana Maritima* 7, 33-103 (1975).
- [10] Bromley, R.G. *Trace fossils, biology and taphonomy*. 2<sup>nd</sup> ed.: London, Unwin-Hyman, 361 p. (1990).
- [11] Casas, J.E. *Sedimentology, facies association and sequence stratigraphy of Falher divisions C and D, Lower Cretaceous Spirit River Formation, West-central Alberta, Canada*, McMaster University, Unpublished MSc Thesis, 231 p. <https://macsphere.mcmaster.ca/items/94e886fd-83b3-46a4-b153-60ce3e4036f3> (1996).
- [12] Terzuoli, A. *Sedimentology and ichnology of estuarine channels in the Lower Cretaceous Bluesky Formation: The Edson Gas Reservoir, West-Central Alberta, Canada*. McMaster University, Unpublished MSc Thesis, 180 p. (1996).
- [13] Casas, J. & Walker, R. Sequence Stratigraphy and Facies Association of Falher units C and D, Lower Cretaceous, Alberta Basin, Canada., *II AAPG/SVG International Congress*, Caracas, Venezuela, Abstracts, *AAPG Bulletin* 80(8), 1279 (1996).
- [14] Casas, J. Importance of bioturbation by interstitial meiobenthos in ancient sedimentary successions. *Memorias I Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Margarita*, Soc. Ven. Geol. Tomo I, 157-160. [https://www.researchgate.net/publication/250003981\\_Importancia\\_de\\_la\\_Bioturbacion\\_ocasionada\\_por\\_el\\_Meioyentos\\_intersticial\\_en\\_sucesiones\\_sedimentarias\\_antiguas](https://www.researchgate.net/publication/250003981_Importancia_de_la_Bioturbacion_ocasionada_por_el_Meioyentos_intersticial_en_sucesiones_sedimentarias_antiguas) (1997).
- [15] Casas, J. & Walker, R. High resolution sequence stratigraphy of Falher Division D, Spirit River Formation, Alberta, Canada. *Memorias I Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Margarita*, Soc. Ven. Géol. Tomo I, 145-155 (1997).
- [16] Casas, J. & Walker, R. Sedimentology and depositional history of unit C and D of the Falher Member, Spirit River Formation, West-Central Alberta. *Bull. of Canadian Petroleum Geology* 45(2), 218-238. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/495267> (1997).
- [17] Weimer, R.J., Howard, D.R. & Lindsay, D.R. Tidal flats and associated tidal channels En: Scholle, P.A. y Spearing, D., ed., *Sandstone Depositional Environments*. AAPG Memoir 31, 191-245 (1982).
- [18] Hayes, B.J.R. Incision of a Cadotte Member paleovalley-system at Noel, B.C. - Evidence of a Late Albian sea level fall, en: James, D.P. and Leckie, D.A., ed., *Sequences, Stratigraphy, Sedimentology: Surface and subsurface*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoria 15, 97-106 (1988).
- [19] Vossler, S.M. & Pemberton, S.G. Ichnology of the Cardium Formation (Pembina oilfield): Implications for depositional and sequence stratigraphic interpretations En: James, D.P. and Leckie, D.A., ed., *Sequences, Stratigraphy, Sedimentology: Surface and subsurface*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 15, 237- 254 (1988).
- [20] Harding, S.C. Facies interpretation of the Ben Nevis Formation in the North Ben Nevis M-61 well, Jeanne D'Arc Basin, Grand Banks, Newfoundland. En: James, D.P. and Leckie, D.A., ed., *Sequences, Stratigraphy, Sedimentology: Surface and subsurface*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoria 15, p. 291-306 (1988).
- [21] Moslow, T.F. & Pemberton, S.G. An integrated approach to the sedimentological analysis of some lower Cretaceous shoreface and delta front sandstones sequences. En: James, D.P. and Leckie, D.A., ed., *Sequences, Stratigraphy, Sedimentology: Surface and subsurface*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoria 15, p. 373-386 (1988).
- [22] Ranger, M.J., Pemberton, S.G. & Sharpe, R.J. Lower Cretaceous examples of a shoreface-attached marine bar complex: the Wabiskaw "C" Sand of northeastern Alberta En: James, D.P. and Leckie, D.A., ed., *Sequences, Stratigraphy, Sedimentology: Surface and Subsurface*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoria 15, p. 451-462 (1988).
- [23] Chen, J-Y., Bottjer, D., Oliveri, P., Dornbos, S., Gao, F., Ruffins, S., Chi, H., Li, C-W. & Davidson E. Small bilaterian fossils from 40 to 55 million years before the Cambrian. *Science* 305, 218-222. [https://www.researchgate.net/publication/8527645\\_Small\\_bilaterian\\_fossils\\_from\\_40\\_to\\_55\\_million\\_years\\_before\\_the\\_Cambrian](https://www.researchgate.net/publication/8527645_Small_bilaterian_fossils_from_40_to_55_million_years_before_the_Cambrian) (2004).
- [24] Pemberton, S.G., & Gingras, M. Classification and characterizations of biogenically enhanced permeability. *AAPG Bulletin*, 89(11), 1493-1517 <https://pubs.geoscienceworld.org/aapg/aapgbull/article/89/11/1493/40191/Classification-and-characterizations-of> (2005).
- [25] Schieber, J. Simple Gifts and Buried Treasures –Implications of Finding Bioturbation and Erosion Surfaces in Black Shales. *The Sedimentary Record* 1(2), 4-8 <https://thesedimentaryrecord.scholasticahq.com/article/30047-simple-gifts-and-buried-treasures-implications-of-finding-bioturbation-and-erosion-surfaces-in-black-shales> (2003).
- [26] Schieber, J. & Wilson, R. Burrows without a trace—How meioturbation affects rock fabrics and leaves a record of meiobenthos activity in shales and mudstones. *PalZ* 95, 767-791. <https://doi.org/10.1007/s12542-021-00590-7> (2021).
- [27] Pemberton, S. G., Maceachern, J., Gingras, M. & Saunders, T. Cryptobioturbation and the work of sedimentologically friendly organisms. *AAPG Annual Convention*, Long Beach, California. Abstracts. <https://www.searchanddiscovery.com/abstracts/html/2007/annual/abstracts/lbPemberton.htm> (2007).
- [28] Pemberton, S.G., Maceachern, J. B, Gingras, M., & Saunders T. Biogenic chaos: Cryptobioturbation and the work of sedimentologically friendly organisms. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 270 (3-4), 273-279. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031018208004239> (2008).
- [29] Netto, R., Tognoli, F., Buatois, L. & Mangano, M. Reduction in Reservoir Potential by Cryptobioturbation. A Case Study In Upper Paleozoic Shallow-Marine Sandstones (Rio Bonito/ Palermo sedimentary succession, Paraná Basin, south Brazil). *Geological Society of America Abstracts with Programs* 40(6), 440. <https://gsa.confex.com/gsa/2008AM/webprogram/Paper146577.html> (2008).
- [30] Tonkin, N., Mcilroy, D., Meyer, R. & Moore, A. Bioturbation influence on reservoir quality: A case study from the Cretaceous Ben Nevis Formation, Jeanne d'Arc Basin, offshore Newfoundland, Canada. *AAPG Bulletin* 94(7), 1059-1078 (2010).

- [31] Ezeh, S., Mode, A., Adejinmi, K. & Ozumba, B. Cryptobioturbation; The Hidden Signature in Reservoir Homogenization: Example from Early-Late Miocene Core of the Niger Delta Basin. *International Conference and Exhibition-NAPE ICE*, Lagos, Nigeria. 1-12. [https://www.researchgate.net/publication/326461934\\_Cryptobioturbation\\_The\\_Hidden\\_Signature\\_in\\_Reservoir\\_Homogenization\\_Example\\_from\\_Early-Late\\_Miocene\\_Core\\_of\\_the\\_Niger\\_Delta\\_Basin](https://www.researchgate.net/publication/326461934_Cryptobioturbation_The_Hidden_Signature_in_Reservoir_Homogenization_Example_from_Early-Late_Miocene_Core_of_the_Niger_Delta_Basin) (2013).
- [32] Mayorga, C. & Sonnenberg, S. High-Resolution Reservoir Characterization of the Lewis Shale, Greater Green River Basin, Wyoming. *SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference*, Houston, Texas, USA. <https://doi.org/10.15530/urtec-2021-5653> (2021).
- [33] Bann, K. & Fielding, C. An integrated ichnological and sedimentological comparison of non-deltaic shoreface and subaqueous delta deposits in Permian reservoir units of Australia, En: MCILROY, D. (ed.) 2004. *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society, London, Special Publications **228**, 273-310. <https://www.lyellcollection.org/doi/pdf/10.1144/gsl.sp.2004.228.01.13> (2004).
- [34] Casas, J. E. *Reporte Final de Estudios Geológicos. Caso Formación San Juan (Cretácico)*. Distrito Anaco, Venezuela. Gazprom Latin América, Reporte interno no publicado, 100 p. (2011).
- [35] Green, T., Gingras, M., Gordon, G. & McKeel, D. The significance of deep-water cryptic bioturbation in slope-channel massive sand deposits of the lower Rio Dell Formation, Eel River basin, California. *Marine and Petroleum Geology* **29**(1), 152-174. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264817211001723?via%3Dihub> (2012).
- [36] Schieber, J. & Wilson, R. Burrows without a trace - How meioturbation affects rock fabrics and leaves a record of meio-benthos activity in shales and mudstones. *Paläontologische Zeitschrift* **95**, 767-791. <https://doi.org/10.1007/s12542-021-00590-7> (2021).
- [37] Casas, J. Allostratigraphy of Falher member d, Spirit River formation (lower Cretaceous), Alberta, Canada. *Maya Revista de Geociencias* **1**, 109-123 <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/12/Revista-Maya-Geociencias-Enero-2026.pdf> (2026).