

EFFECTOS DE LA BIOTURBACIÓN EN LAS PROPIEDADES DE RESERVORIO: UN EJEMPLO DE LA FORMACIÓN LAJAS (TIGHT-SAND), JURÁSICO, CUENCA NEUQUINA

Mariano G. Arregui¹, Paula Bedini¹, Elizabeth Rodríguez², Mariana Monti¹,
Norberto Calaramo¹, Leonardo Tórtora¹

1: YPF Tecnología S.A. mariano.g.arregui@ypftecnologia.com, paula.c.bedini@ypftecnologia.com,
mariana.monti@ypftecnologia.com, norberto.g.calaramo@ypftecnologia.com, leonardo.tortora@ypftecnologia.com

2: rod_eli@hotmail.com

Palabras clave: Bioturbación, Porosidad, Permeabilidad, Lajas, Tight-sand

ABSTRACT

Reservoir quality is defined by its porosity and permeability, which are the result of different factors such as the composition of the rock, sedimentary structures, cements, dissolution processes and fractures. Bioturbation is one of the post-depositional processes that most disturb the initial factory of the deposit. Its effect on the reservoir properties can be important, altering the original heterogeneities of the deposit, resulting in an increase or decrease in porosity and permeability, as well as the alteration of primary sedimentary structures, which alters the overall reservoir properties. The Lajas Formation (Middle Jurassic, Neuquén Basin) is interpreted as deposited in transitional marine environments, mainly deltas and it is composed of fine to coarse sandstone and subordinate conglomerates, with tight characteristics: low porosity and permeability values of around 0.001 to 0.03 mD. The bioturbation in deltaic systems is determined by the influence of the main processes that also redistribute the sediments carried in by the river (river, waves, tide) A core sample from the Lajas Formation in the north area of the Huincul High, is analyzed from the sedimentological, ichnological and petrophysical point of view. The main processes were interpreted and how they affected the bioturbation and the reservoir properties. The results allow determining that in the sections interpreted as deltaic fronts with fluvial influence, bioturbation is very limited, and permeability is not affected, while in areas with marine influence and more bioturbation, permeability is notably decreased. These results allow making predictions regarding the best plays according to their palaeoenvironmental interpretation..

INTRODUCCIÓN

Las trazas fósiles son estructuras sedimentarias biogénicas, resultado de la interacción de organismos con el sustrato (Buatois y Mangano, 2011; Bromley 1990, 1996). Por lo tanto, la bioturbación consiste en la alteración de los sedimentos depositados por parte de organismos.

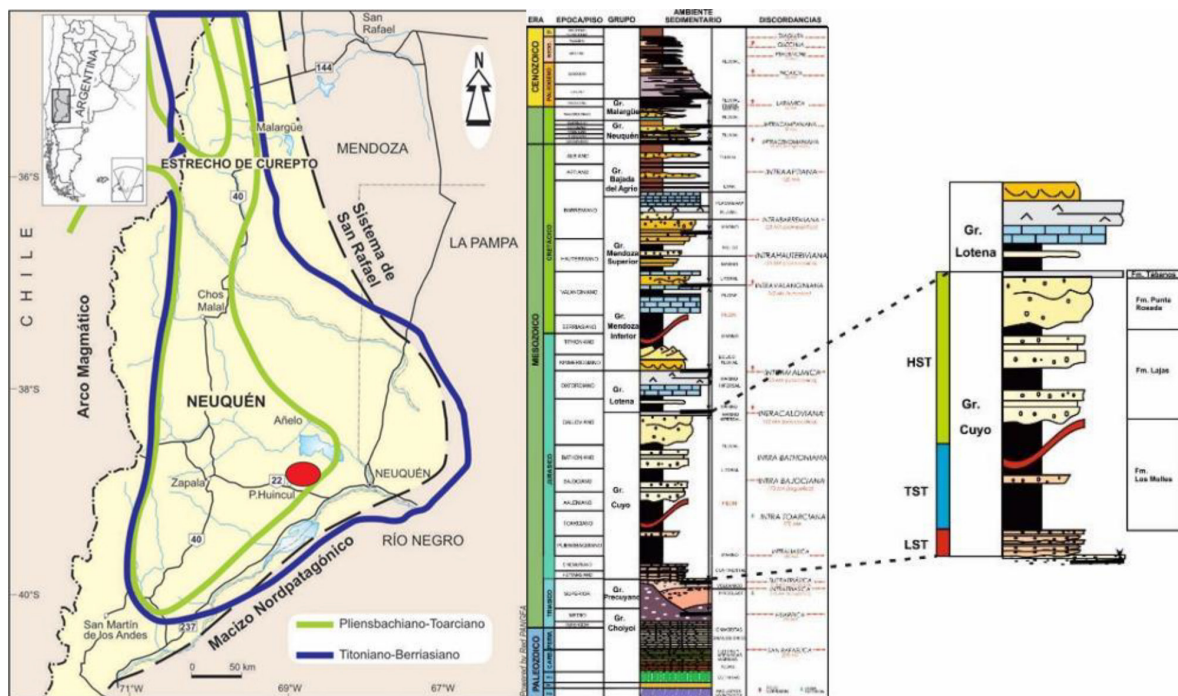


Figura 1. A) Esquema de la cuenca neuquina, indicando la zona donde se extrajo el testigo corona (modificado de Arregui *et al.*, 2011b). B) Estratigrafía de Cuenca Neuquina, con un detalle del Grupo Cuyo (tomado de Arregui *et al.*, 2011b)

Esto tiene como resultado alteraciones de las propiedades originales de los sedimentos, entre las cuales se encuentran la porosidad y la permeabilidad, que definen la calidad del reservorio, siendo la primera el porcentaje de espacio disponible entre los componentes sólidos de la roca, y la segunda una medida de la conectividad entre esos espacios, que permiten el paso de los fluidos. Es reconocido generalmente como las trazas fósiles alteran las propiedades de reservorio, algunas veces disminuyendo y otras aumentando la porosidad, pero especialmente la permeabilidad (Pemberton y Gingras; 2005; La Croix *et al.*, 2012; Gingras *et al.*, 1999; 2004; 2012; Tonkin *et al.*, 2010; Gingras *et al.*, 2012; Knaust, Dorador *et al.*, 2021). Si la bioturbación aumenta o disminuye las propiedades de reservorio, depende del tipo de ambiente sedimentario, de las asociaciones de trazas fósiles presentes, y de los procesos diagenéticos que ocurrieron en las rocas. En este trabajo se realiza una interpretación de la variación de las propiedades de reservorio, en barras de desembocadura deltaicas con influencia de procesos marinos (olas, tormentas) con respecto a barras de desembocadura fluvio influenciadas, y su posible relación con la bioturbación. Este estudio se lleva a cabo en un testigo corona correspondiente a la Formación Lajas en la zona de la Dorsal de Huincul, que se comporta como un reservorio de tipo tight-sand.

CONTEXTO GEOLÓGICO

La Cuenca Neuquina se localiza al oeste de Argentina (Franzese *et al.*, 2006; Spalletti *et al.*, 2010). La cuenca comienza en el Triásico como un rift volcánico, que evoluciona a post-rift

durante el Jurásico, culminando con una etapa de foreland que se extiende desde el Cretácico tardío al Cenozoico (Howell *et al.*, 2005). El relleno de esta cuenca consiste en un registro casi continuo de hasta 7000 m de espesor, que abarca desde el Triásico tardío hasta el Paleoceno (Arregui *et al.*, 2011a) (Figura 1A)

El Grupo Cuyo (Dellapé *et al.*, 1978a), representa la primera ingresión marina completa de la cuenca (Arregui *et al.*, 2011b). La Formación Lajas (Weaver, 1931) es dominada por areniscas y en menor medida pelitas oscuras verdosas con abundantes restos vegetales y conglomerados (Zavala, 1996a; Zavala, 1996b; McIlroy *et al.*, 1999). Estos depósitos se acumularon en ambientes marinos marginales, principalmente interpretados como sistemas deltaicos (Spalletti 1995; Zavala 1996 a, b; McIlroy *et al.* 2005).

En el subsuelo, la Formación Lajas constituye uno de los reservorios de petróleo tradicionales a lo largo del Dorsal de Huincul, y también es un importante reservorio tight sand gas (Arregui *et al.*, 2011b, Giusiano, *et al.*, 2011). En este sector, la Formación Lajas conforma casi la totalidad del Grupo Cuyo. Freguglia *et al.* (2009) proponen un esquema estratigráfico para la Formación Lajas en esta zona, en el que se reconocen 9 secuencias, agrupadas en 3 intervalos estratigráficos: “Lajas Superior”. (secuencias 1, 2, 3), “Lajas Medio” (secuencias 4, 5, 6) y “Lajas Inferior” (secuencias 7, 8, 9) (Figura 2).

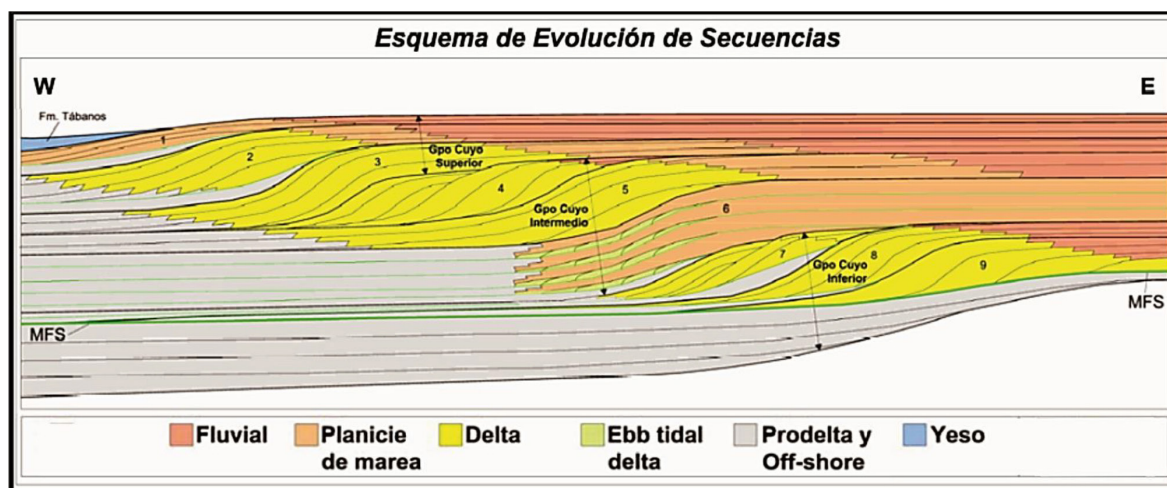


Figura 2. Interpretación de las secuencias del Grupo Cuyo, en la zona al norte de la Dorsal de Huincul (tomado de Freguglia *et al.*, 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

El testigo corona estudiado consta de ocho carreras ubicadas en el intervalo estratigráfico denominado “Lajas Inferior”, sumando un total del 147 m. Se realizó una descripción sedimentológica de los testigos que consistió en la determinación de facies, de acuerdo a lo

propuesto por Miall, (1978). La metodología para el análisis icnológico siguió las prácticas convencionales (Pemberton *et al.*, 1992, 2001; Bromley, 1990, 1996; Gerard and Bromley, 2008; Knaust, 2017). La intensidad de la bioturbación fue registrada cada 10 cm, usando el índice de bioturbación (BI) de Taylor y Goldring (1993), y la icnodiversidad se determinó contando los icnogéneros presentes en cada intervalo. Se realizaron estudios de petrofísica básica (STD) (Jones y Owens, 1980) los cuales consistieron en permeabilidad al gas, porosidad, densidad aparente, real y la permeabilidad Klinkenberg de cada *plug* cada 30 cm, sumando un total de 436 mediciones.

DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA E ICNOLÓGICA

Asociación de Facies 1(AF1): Barras de desembocadura

Descripción: en esta asociación de facies predominan las facies de areniscas (Sm, Smb, Setm, SGt), facies de conglomerados (Gm, Get, Gmpi), y depósitos de sedimentos finos representados en menor medida por facies pelíticas y heterolíticas (Fm, Htw, Htl) (Tabla 1). Se observan concentraciones variables de materia orgánica (fitodetritos). La disposición de esta asociación de facies suele ser más gruesa hacia arriba, con sedimentos más finos (Fm, Htw; Htl) en las bases de las sucesiones y los cuerpos arenosos y conglomerados hacia arriba. El espesor de las barras de desembocadura suele variar entre 2-10 m, mientras que el pie de barras o interbarras tienen una representación mucho menor, siendo de decenas de centímetros (10-80 cm) (Figura 3, 1).

Icnología: se caracteriza por trazas fósiles de composición compleja, de estructuras tridimensionales variadas, con componentes verticales y horizontales. La diversidad de trazas fósiles es muy variable, de baja a alta (1 a 6 icnogéneros), con un índice de bioturbación también variable (BI 1-6), siendo generalmente medio (3-4). Está dominado por *Ophiomorpha irregulaire*, *Gyrolithes* isp. *Haentzschelina* isp., *Parabaenzschellina* isp. y subordinadas *Chondrites* isp., *Thalassinoides* isp. *Planolites* isp., *Rhizocorallium* isp. *Skolithos* isp., y *Arenicolites* isp. También hay criptobioturbación en algunos niveles (Figura 3, 1).

Interpretación: la tendencia granocreciente, los indicadores de corrientes unidireccionales, así como su relación con la Asociación de Facies 2 (AF2, ver más abajo) sugieren que AF1 se acumuló en una situación de barras de desembocadura en un ambiente depositacional de frente deltaico (Bhattacharya, 2010; Schomacker *et al.*, 2010). Estos depósitos se interpretan como una sucesión de barras arenosas intercaladas con depósitos más finos que representan áreas de pie de barra o interbarras. Estas barras se formaron por flujos de tracción fluvial que se desaceleraron cuando los canales distributarios ingresan al mar, provocando acumulaciones de arena en sus desembocaduras.

El predominio de estructuras asignables a estrategias detritívoras llevaría a atribuir las a icnofacies de Cruziana, sin embargo, el hecho de que la mayoría de estas estructuras sean preferentemente verticales, y que la energía global del sistema sea alta, hace pensar que en realidad se trata de una icnofacies de Skolithos. Esta asociación de trazas fósiles tiene sus componentes suspensívoros limitados por la cantidad de sedimento en suspensión, ya que solo en unos pocos lugares se observa la presencia de componentes típicos de las icnofacies de Skolithos. Esto puede deberse a la supresión del componente suspensivo de la icnofacies de Skolithos producto de la alta cantidad de sedimento en suspensión, situación común en ambientes deltaicos (McEarchen, *et al.*, 2005, 2007, Buatois y Mángano, 2011).

Asociación de Facies 2 (AF2): Canales distributarios

Descripción: esta asociación de facies incluye las facies de grano más grueso (Sm, St, SGt, Gm, Gmi), que se intercalan entre sí (Tabla 1). Muestran una tendencia de grano generalmente decreciente. Las bases son principalmente erosivas, pero se han observado contactos localmente netos e incluso de transición. Los estratos pueden presentar fluctuaciones en el tamaño de grano que van desde arenisca fina a media hasta conglomerado. Su espesor es muy variable, desde alrededor de 1 m a 6-10 m (Figura 4.8). Estas unidades nunca muestran bioturbación. (figura 3, 2).

Interpretación: esta asociación de facies se caracteriza por ser originada bajo condiciones de alta energía, por presentar bases erosivas, tendencia general granodecreciente y estratodecreciente. También muestran fluctuaciones de energía, que son características de las descargas de los ríos (Bhattacharya, 2006). La actividad de la biota bentónica es inhibida por la alta energía y la tasa de deposición de este entorno, razón por la cual nunca son bioturbadas (MacEachern *et al.*, 2005). Estos depósitos se interpretan como rellenos de canales distributarios en la planicie deltaica, alcanzando en ocasiones el frente proximal del delta, erosionando los depósitos de la barra de desembocadura.

Asociación de Facies 3 (AF3): Planicie interdistributaria

Descripción: estos depósitos muestran una gran variedad litológica, desde facies finas (Fm, Fl), heterolíticas (Htw, Hts), hasta facies psamíticas (Sr, Sm) (Tabla 1). De todas ellas, las facies pelíticas y heterolítica son las más abundantes. También muestran en algunos niveles evidencia de procesos pedogenéticos (motas diagenéticas y dolomita diagenética). Puede presentar estructuras de deformación por carga. Este AF3 está relacionado con la Asociación de Facies de Canal (AF2) (Figura 3, 3).

ICnología: en esta Asociación de Facies se encuentran dos agrupaciones de trazas fósiles diferentes. La primera se caracteriza por un predominio de trazas fósiles horizontales,

relativamente simples, compuestas principalmente por tubos horizontales. Muestra baja icnodiversidad (típicamente de 1 a 3 icnogéneros), pero en algunos niveles puede llegar a 6 icnogéneros. El índice de bioturbación es muy variable (BI 1-6), siendo generalmente bajo, pero en algunos tramos localizados puede llegar a BI6. Las trazas fósiles dominantes son *Planolites* isp., *Teichichnus* isp., y estructuras *Mantle & Swirl*. Los componentes dominantes son galerías horizontales, interpretadas como estructuras de alimentación detritívora de animales vermiformes. La presencia de estructuras *Mantle & Swirl* indica un sedimento con muy poca cohesión (sedimento soposo). Esta asociación de rastros fósiles se asigna a la icnofacies de *Cruziana* empobrecida (MacEarchen, *et al.*, 2005, 2007; Buatois y Mángano, 2011).

En algunos tramos se destaca la presencia de estructuras de raíces (rizolitos) y *Taenidium* isp., y ocasionalmente *Planolites* isp. Esta asociación de trazas fósiles tiene una icnodiversidad muy baja (de 1 a 3), y también presenta en general bajos índices de bioturbación (BI 1-2), alcanzando solo en algunos sectores localizados un máximo de 4. *Taenidium* isp. se interpreta como producto de la actividad de las larvas de insectos. Esta asociación de trazas fósiles se asigna a la icnofacies de *Scoyenia*, típica de ambientes continentales, pero empobrecida, que es característica de ambientes de transición marino-continentales. El desarrollo pobre e irregular de esta asociación de trazas fósiles indicaría un ambiente estresado, debido a grandes variaciones en la energía, la salinidad y el nivel del agua. Esta asociación de trazas fósiles se observa en depósitos de planicies de inundación y/o lóbulos de desbordamiento (*crevasse splays*) desarrollados en una planicie deltaica con exposición aérea (MacEarchen, *et al.*, 2005, 2007; Buatois y Mángano, 2011) (Figura 3, 3).

Interpretación: las facies de sedimentos finos se depositan en llanuras interdistributarias, entre canales, por procesos de decantación en ambientes de baja energía. Las llanuras interdistributarias se caracterizan por condiciones de agua salobre, influenciadas por procesos fluviales y marinos, pero en situaciones predominantemente de baja energía (Elliott, 1974, Bhattacharya, 2006, Gugliotta *et al.*, 2015). Las facies heterolíticas Hts y Sm y Sr se interpretan como depósitos de lóbulos de desbordamiento (*crevasse-splays*) en la llanura interdistributaria. Las facies Sm, Fm se interpretan como depósitos de planicie afectados por procesos pedogenéticos (Buatois y Mángano, 2011).

Asociación de Facies 4(AF4): Barras afectadas por oleaje.

Descripción: dominada por facies psamíticas (Sm, Smb, Shcsb, SrwSGt), y subordinadamente facies de granulometría más fina (Htw, Fl) (Tabla 1). Esta asociación de facies es similar a la AF 1 descrita anteriormente, en cuanto a las facies que la componen. Sin embargo, en esta asociación de facies, la proporción de facies psamítica vs pelítica es mucho mayor que en AF1, y es más frecuente la presencia de las facies Shcs y Srw, asociadas a procesos de oleaje (normal y

tormentoso). Además, los contactos entre los diferentes cuerpos de arena suelen ser un poco más agudos. La materia orgánica vegetal (fitodetritos) es más escasa que en la asociación de facies de barras de desembocadura (AF1). El espesor de estas barras suele ser menor que las de AF1, estando entre 1 y 5 m (Figura 3, 4).

ICNOLOGÍA: en esta asociación de facies, la traza fósil dominante es *Macaronichnus* isp., a veces conformando una asociación monoespecífica. Eventualmente puede haber también *Ophiomorpha irregulaire* y *Gyrolithes* isp., y raramente *Planolites* isp., *Thalassinoides* isp. y *Teichichnus* isp. La icnodiversidad suele ser muy baja (1-3), y el índice de bioturbación puede variar entre BI 1-4. *Macaronichnus* isp se produce por la alimentación de depósitos intraestratales de poliquetos ofelidos (Clifton y Thompson 1978; Seike 2007, 2008), en condiciones de muy alta energía, alimentándose de los granos de arena (Figura 3, 4).

Interpretación: esta asociación de facies está compuesta por depósitos generados en zonas entre el nivel de las olas de buen tiempo y de tormentas. Las arenas acumuladas en los sistemas de barras resultan de la acción combinada de flujos unidireccionales y corrientes oscilatorias, marcadas por la presencia de estructuras de laminación de olas y hummocky-cross stratification (HCS) (Duke, *et al.*, 1991). Esta asociación de facies se interpreta como formada por procesos de tracción en ambientes de alta a muy alta energía debido a tormentas y olas, acumulado en ambientes de playa en posiciones de *shoreface* a *offshore* transition (Walker y Plint, 1992; Plint, 2010).

Asociación de Facies 5 (AF5): Frente deltaico distal-Prodelta

Descripción: esta asociación de facies es similar a la AF1, formando barras, pero desde un punto de vista granulométrico si bien presentan dominancia de facies psamíticas (Sm, SGt, Set), se observa en algunos niveles facies pelíticas (Fm, Fl) (Tabla 1). Son abundantes las estructuras de deformación sinsedimentaria. Los contactos entre facies de granulometrías disímiles son usualmente erosivos. El contenido de materia orgánica en forma de fitodetritos suele ser muy abundante, y se observan ocasionales grietas de sinéresis (Figura 3, 5).

ICNOLOGÍA: se observan trazas fósiles como *Ophiomorpha irregulaire*, *Gyrolithes* isp., *Chondrites* isp., *Haenzchellinia* isp., *Teichichnus* isp., *Rizocorallium* isp., *Planolites* isp., *Thalassinoides* isp., correspondientes a la icnofacies de Cruziana, similar a lo descripto para la asociación de facies 1, pero generalmente con mayores índices de icnodiversidad e índices de bioturbación elevados. Sin embargo, estos eventos de bioturbación son localizados e irregulares, por lo tanto, no están representados en todas las secciones interpretadas dentro de esta asociación de facies (Figura 3, 5).

Interpretación: esta asociación de facies se desarrolla como representativa de intervalos de baja energía que alternan con episodios más energéticos derivados de descargas del frente deltaico. Los sedimentos resultantes se depositan por una alternancia de episodios de decantación

con episodios de procesos tractivos, y de deformación sinsedimentaria producto de la carga. La presencia de grietas de sinéresis indica cambios en la salinidad producto del influjo de agua dulce aportada por el sistema fluvial. Todas estas evidencias de influjos fluviales en una posición distal señalan que estos sedimentos se acumularon en un ambiente de frente deltaico distal-prodelta en el cual los flujos de alta energía todavía arriban (Bhattacharya, 2010).

Estas inferencias también se ven soportadas por distribución y características de las trazas fósiles, que indican un ambiente marino y de baja a moderada energía, pero que se desarrolla sólo en aquellos niveles donde la influencia de los influjos fluviales de alta energía no es tan marcada, permitiendo ventanas de colonización para la fauna bentónica (MacEarchen *et al.*, 2005).

Facies	Litología	Estructuras . Sedimentarias.	Trazas fósiles	Interpretación
Fm	Fangolitas.Areniscas muy finas subordinadas	Masivas	<i>Planolites, Teichichnus, Chondrites, Mantle & Swirl, Rizolitos, Taenidium</i>	Depósitos de decantación a partir de una suspensión y/o floculación / Masivo por bioturbación.
Fl	Fangolitas	Laminadas	<i>Rizolitos, Taenidium</i>	Depósitos de decantación a partir de una suspensión.
Htw	Fangolitas/Areniscas muy finas	Laminación ondulosa	<i>Planolites, Teichichnus</i>	Depósitos dominados por decantación con episodios de eventos tractivos alternantes.
Htf	Areniscas muy finas a finas/Fangolitas	Laminación ondulosa	<i>Planolites, Teichichnus, Haenztchelinia, Ophiomorpha</i>	Depósitos dominados por eventos tractivos con pausas que permiten la decantación.
Sm	Areniscas medias a gruesas/gravas	Masiva		Deposición rápida de arenas por flujos tractivos sin desarrollo de estructura
Smb	Areniscas finas a gruesas	Masiva	<i>Ophiomorpha, Gyrolithes, Parahaenztchelinia, Haenztchelinia, Thalassinoides, Chondrites</i>	Depósitos tractivos que presentan sus estructuras sedimentarias obliteradas por bioturbación.
Set	Areniscas medianas a gruesas	Estratificación cruzada tangencial	<i>Ophiomorpha, Gyrolithes, Haenztchelinia</i>	Depósito originado por migración de dunas 3D en ambiente subácueo
Shcs	Areniscas muy finas a medias	HCS (Hummocky Cross Stratification)	<i>Macaronichnus, Ophiomorpha</i>	Depósitos originados por una combinación de flujos unidireccionales y oscilatorios. Asociados a tormentas.
Srw	Areniscas muy finas a finas	Estructura ondulítica de ola.	<i>Macaronichnus</i>	Depósitos originados por flujos oscilatorios. Asociados a oleaje.
Sr	Areniscas finas a medianas a limosas	<i>Climbing ripples</i>		Depósitos originados por flujos unidireccionales con carga de sedimento en suspensión.
SGt	Areniscas gruesas/conglomerados	Estratificación cruzada tangencial		Depósito originado por migración de dunas 3D en ambiente subácueo
Gm	Conglomerados	Masiva		Deposición rápida de conglomerados sin desarrollo de estructura.
Gt	Conglomerados	Estratificación cruzada tangencial		Depósito originado por migración de dunas 3D en ambiente subácueo
Gmi	Conglomerados	Masiva		Depósito de alta energía producto de flujos densos. Erosión del sustrato con arranque de clastos pelíticos.

Tabla 1. Facies sedimentarias con su contenido icnológico e interpretación de procesos.

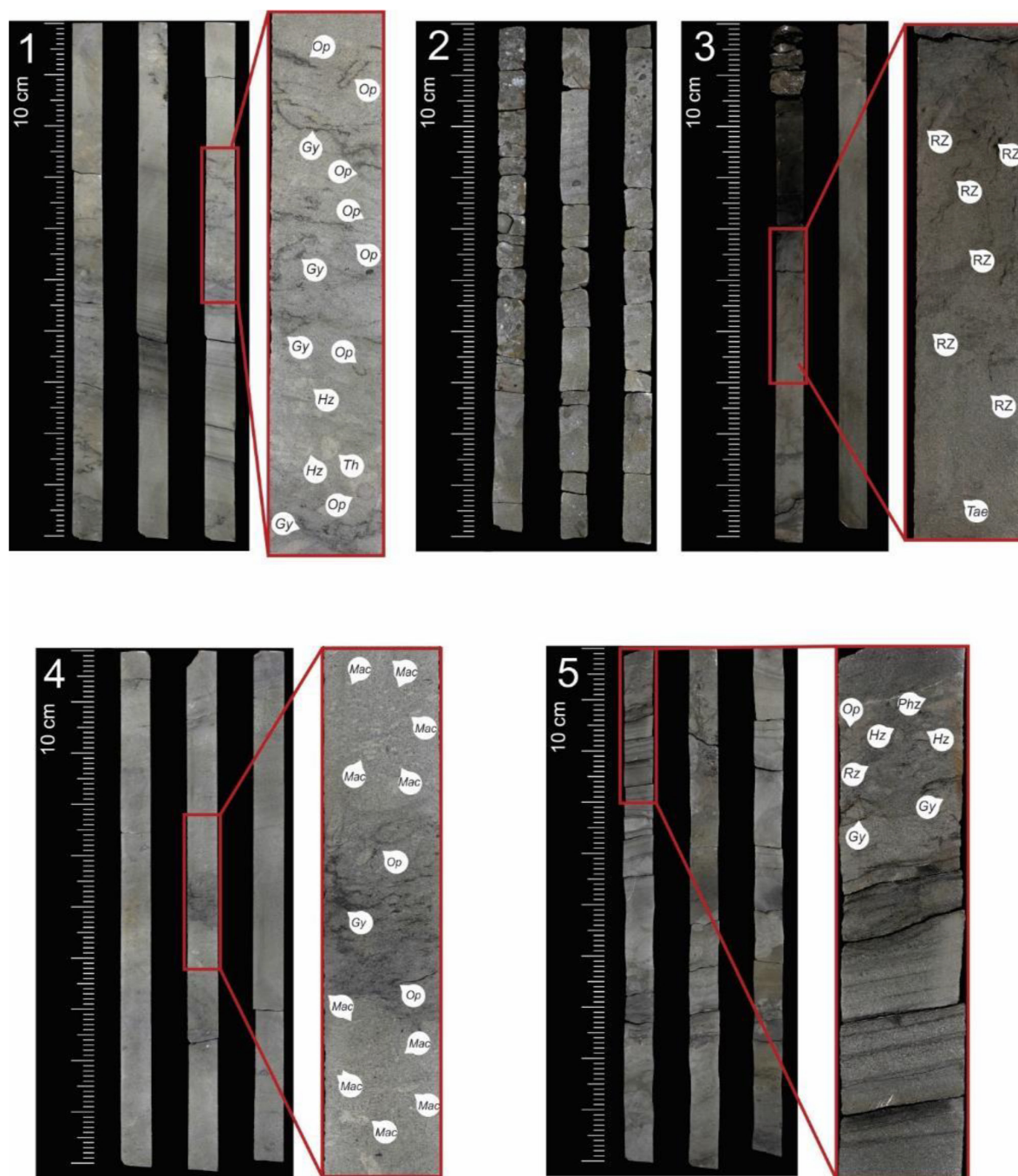


Figura 3. Ejemplos de asociaciones de facies. 1) Asociación de barras de desembocadura (CCC 1, 2290,66-2293, 66 mbbp). Detalle de la bioturbación. 2) Asociación de canales distributarios (CCC 8, 2359,17-2362,12 mbbp). 3) Asociación de planicie interdistributaria (CCC 1, 2257,7-2259,7 mbbp). Detalle de la bioturbación. 4) Asociación de facies de barras afectadas por olas (CCC 2, 2281,46-2284,45 mbbp). Detalle de la bioturbación. 5) Asociación de facies de frente deltaico distal-prodelta (CCC 7, 2352,69-2355,70 mbbp). Detalle de la bioturbación.

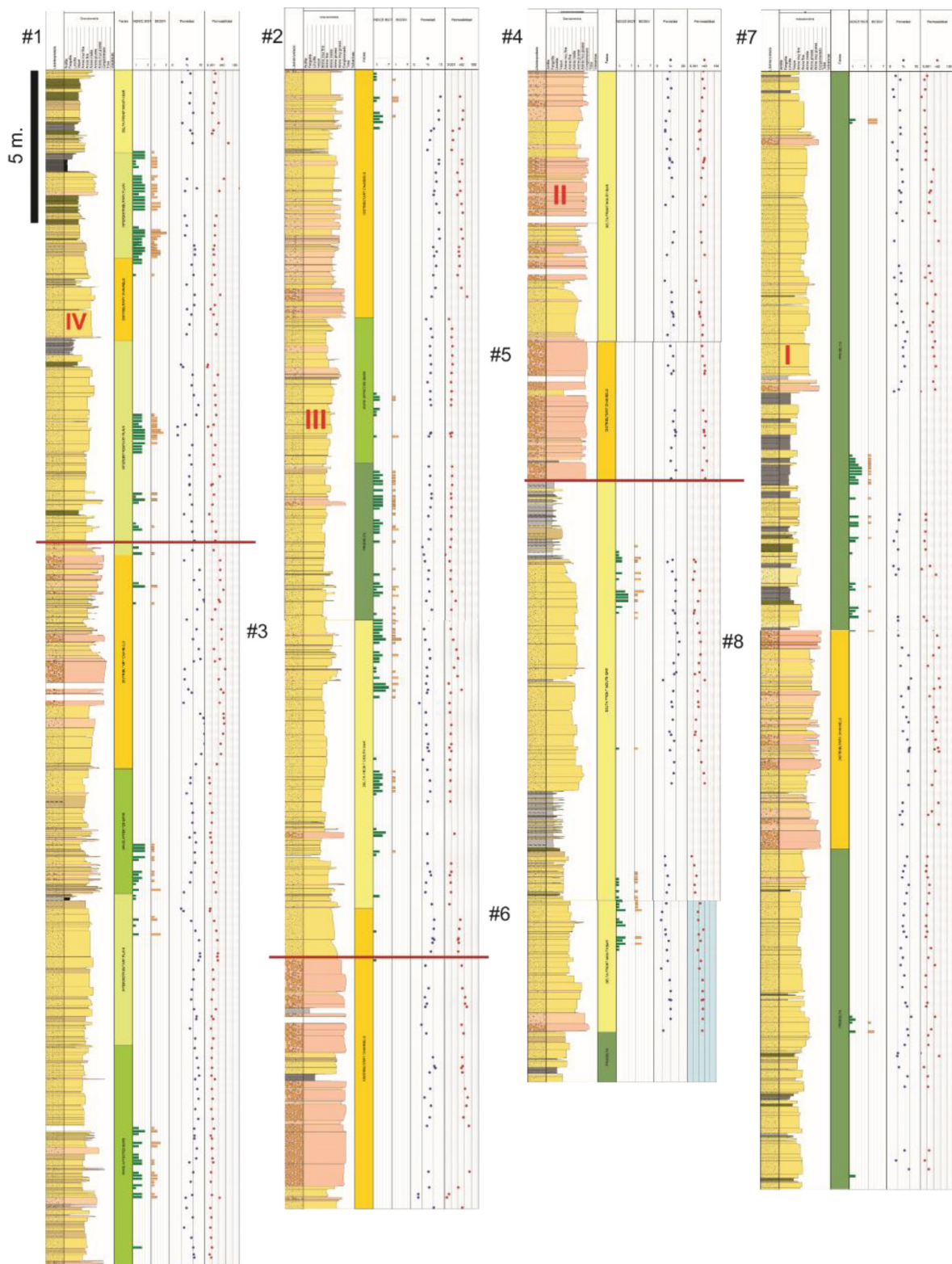


Figura 4. Perfil tipo Selley del testigo corona con los ambientes interpretados (columnas 1 a 4); trazas fósiles indicadas según su índice de bioturbación (barra verde) y su icnodiversidad (barra naranja) en las columnas 5 y 6 del perfil y propiedades petrofísicas, porosidad (%) en azul y permeabilidad (mD) en rojo en las columnas 7 y 8 del perfil.

INTERPRETACIÓN DE LA EVOLUCIÓN AMBIENTAL

Este testigo corona tiene distintos ambientes representados. La sección I (Figura 4) se interpreta como desarrollada en un ambiente de frente deltaico distal a prodelta con influencia fluvial, que muestra un arreglo de parasecuencias retrogradantes. Esto también queda reflejado por la bioturbación, en la cual se observa un recambio de trazas fósiles desde una icnofacies de Skolithos empobrecida, característica de ambientes de alta energía, mejor desarrollada en las parasecuencias inferiores, por una de Cruziana empobrecida, más característica de ambientes de baja energía.

Luego se observa en la sección II (Figura 4) un predominio de canales, lo que implicaría un descenso del nivel del mar respecto a la sección anterior. La sección III (Figura 4) es interpretada como una sucesión de 2 parasecuencias progradantes de barras de desembocadura desarrolladas en un ambiente de frente deltaico a frente deltaico proximal con un muy buen desarrollo de bioturbación típicamente marina y de alta a muy alta energía (Icnofacies de Skolithos, asociación de Macharonichnus), que culminan con un pequeño nivel carbonoso y con rizolitos (AF 3), que indicaría un ambiente de planicie deltaica.

En la sección superior (IV)- (Figura 4) se observan 2 parasecuencias que se interpretan como depositadas en ambiente de planicie deltaica, con evidencias de lóbulos de crevasse y planicie interdistributaria, pero desarrollada en un ambiente netamente marino, con una alternancia de episodios de energía alta a muy alta (Icnofacies de Skolithos, y subicnofacies de Macharonichnus)) con episodios de energía moderada (icnofacies de Cruziana) (Figura 4).

ANÁLISIS PETROFÍSICO

Según el análisis petrofísico de 436 muestras de todo el intervalo, la porosidad varía entre 2,6% a 15,3 y la permeabilidad entre 0,00057 y 5,05 mD (condiciones STD). Las mejores propiedades como roca reservorio corresponden a las asociaciones de facies de canales distributarios, seguidas por las facies de barras de desembocadura, luego por las facies arenosas

Asociaciones de facies	Porosidad			Permeabilidad		
	Maxim a	Mínima	Promedio	Maxima	Mínima	Promedio
Canales distributarios	15,3	3,4	9,4	5,05	0,002	0,392
Barras de desembocadura	12,1	3,8	8,2	2,38	0,004	0,078
Planicie interdistributaria	12,9	3,4	9,1	0,56	0,002	0,041
Frente deltaico-prodelta	10,9	2,6	6,6	0,55	0,0005	0,040
Barras influenciadas por olas	12,6	6,1	9,5	0,13	0,004	0,016

Tabla 2: Resumen de las propiedades de reservorio por facies.

dentro de la asociación de facies de planicie interdistributaria (facies correspondientes a lóbulos de desborde en la planicie) y las barras dentro de la asociación de facies de frente deltaico distal-prodelta. En último lugar aparecen con las peores propiedades de reservorio las barras afectadas por oleaje (Tabla 2).

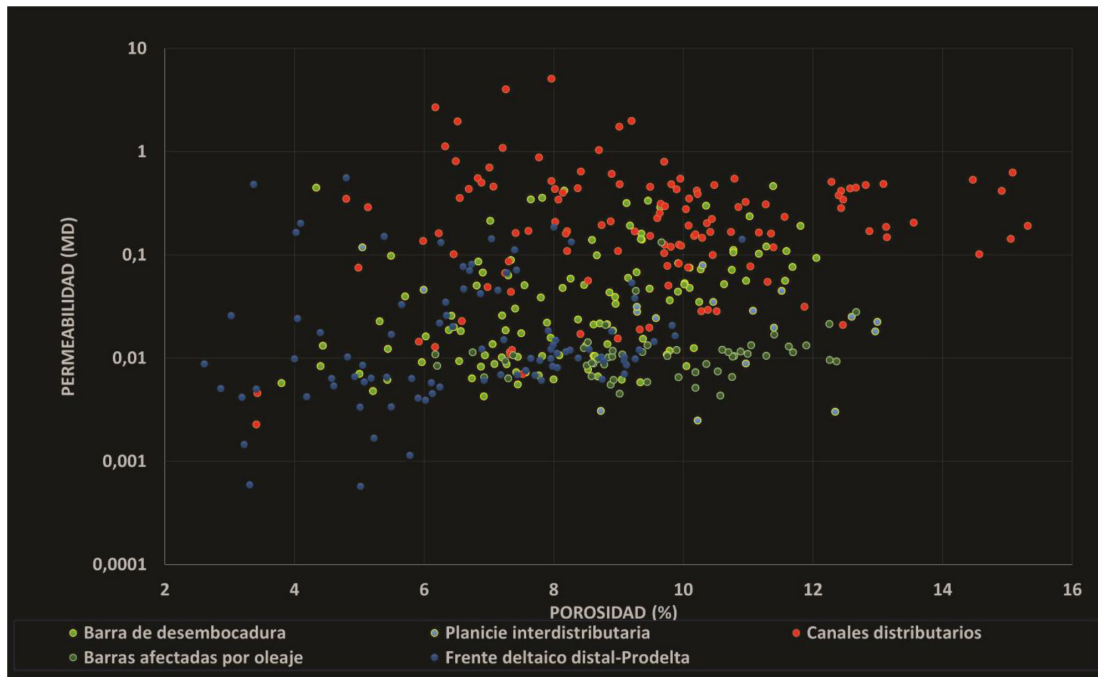


Figura 5. *Crossplot*, parámetros petrofísicos porosidad y permeabilidad por asociaciones de facies.

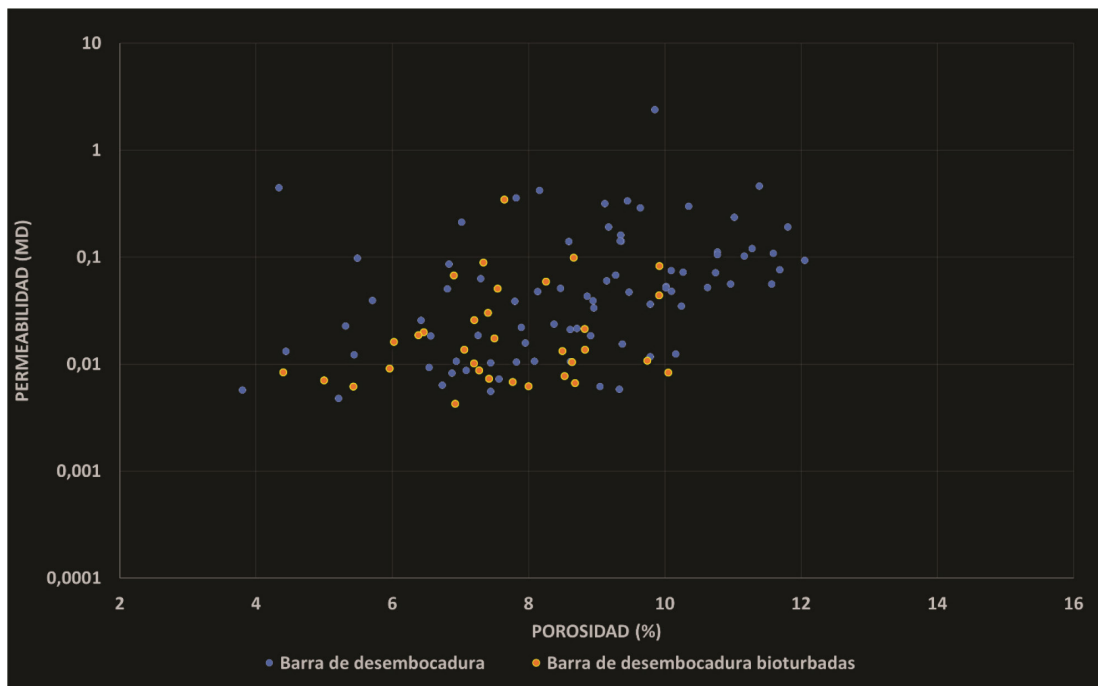


Figura 6. *Crossplot*, parámetros petrofísicos porosidad y permeabilidad por asociaciones de facies, tomando sólo las barras de desembocadura, disgregando entre barras bioturbadas y no bioturbadas.

La asociación de facies de canales distributarios presenta los valores más altos de porosidades y permeabilidades (ver tabla 2), producto de la mayor granulometría. Por su parte, las asociaciones de facies de planicie interdistributaria y frente deltaico distal-prodelta presenta grandes variaciones en sus propiedades petrofísicas, producto de la gran heterogeneidad de facies presentes, desde pelitas a arenas (Figura 5).

Pero se observa una tendencia a una mayor dispersión de los valores de porosidad y permeabilidad en los niveles interpretados como barras de desembocadura y barras con influencia de oleaje. En las mismas, las granulometrías corresponden a arenas medias a gruesas, con muy poca representación de granulometrías finas. Sin embargo, se observa una variación de porosidad, pero sobre todo, de permeabilidad. Estas variaciones coinciden en gran parte con la presencia de trazas fósiles, siendo los sectores afectados por bioturbación en las barras de desembocadura las que menor permeabilidad presentan, mientras que en las barras afectadas por oleaje se observa la tendencia inversa. (Figuras 7, 8).

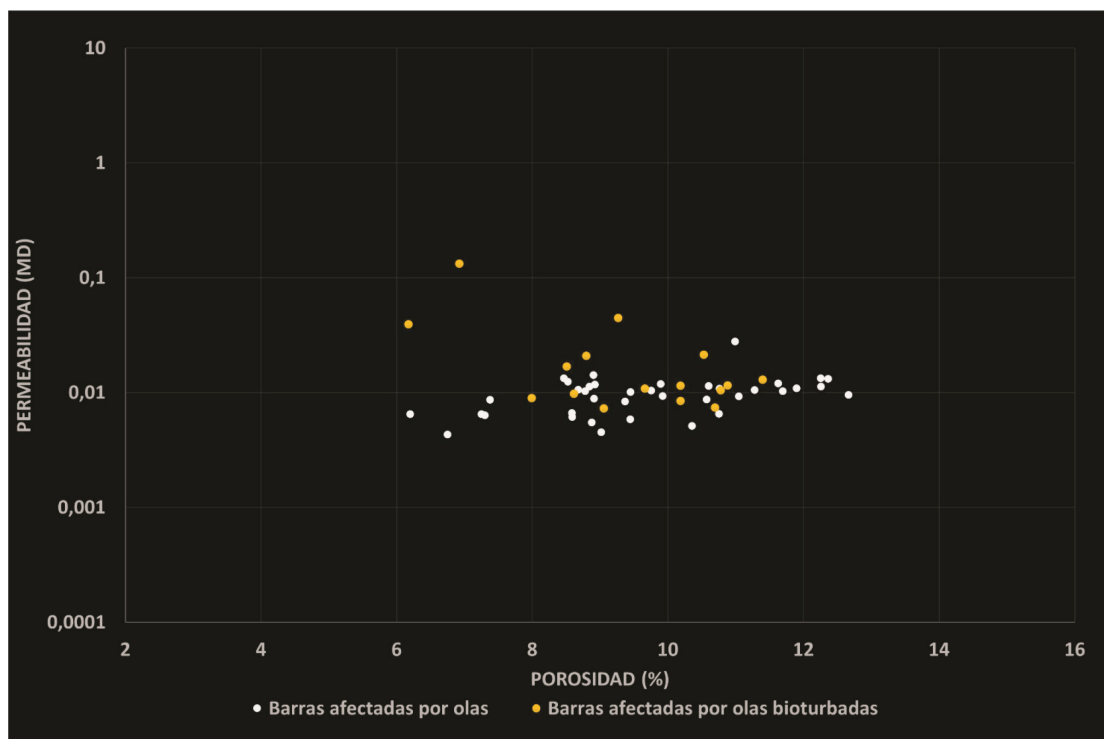


Figura 7. Cross plot, parámetros petrofísicos porosidad y permeabilidad por asociaciones de facies, tomando sólo las barras afectadas por olas, disgregando entre barras bioturbadas y no bioturbadas.

DISCUSIÓN

De acuerdo con los icnogéneros descritos en las facies de barras de desembocadura, los mismos corresponden a una icnofacies de Skolithos empobrecida, la cual no presenta

muchos componentes filtradores. En los niveles interpretados como barras afectadas por olas predominan los *Macaronichnus* que corresponden a la asociación de trazas fósiles más energética de la ya nombrada icnofacies de Skolithos. En la asociación de facies de barras de desembocadura los elementos dominantes son trazas de habitación (*domichnia*), representados por *Ophiomorpha irregulaire*, *Thalassinoides* y *Gyrolithes*, los cuales tienen un relleno pasivo, que en este ambiente corresponden a arenas de las barras suprayacentes. Por otro lado, los *Macaronichnus* corresponden a trazas de pastoreo (*passichnia*), con un relleno activo.

Se ha observado que la bioturbación afecta de manera significativa a las propiedades de reservorio, mejorando o empeorando la permeabilidad y la porosidad de los sedimentos. En general, los sedimentos con dominio de estructuras de *domichnia* asignadas a galerías similares a *Ophiomorpha* empeoran las calidades de reservorio (Pemberton y Gingras, 2005, La Croix *et al.*, 2012; Gingras *et al.*, 1999; 2004; 2012; Tonkin *et al.*, 2010; Alqubalee *et al.*, 2021). En situaciones de medios con porosidades semejantes, los fluidos se ven favorecidos a su circulación por dentro de los tubos que conforman las estructuras de las trazas fósiles (Gingras *et al.*, 2012; Figura 7). Sin embargo, como vemos en los datos, las calidades de reservorio siguen exactamente el patrón opuesto, siendo menores en los sectores de barras con ausencia de bioturbación, situación que ya se ha reportado en barras de desembocadura en ambientes deltaicos (Knaust, 2013). La posible explicación podría ser que, debido a una mayor facilidad para conducir fluidos en las arenas con mayor bioturbación durante etapas tempranas de diagénesis, se favorece la circulación de soluciones dando como resultado una permeabilidad primaria superior. Estas soluciones finalmente terminan depositando cementos, lo que luego resulta en una menor permeabilidad efectiva luego de los procesos diagenéticos. Este sería el caso de las barras de desembocadura (Figura 6)

En cambio, en las barras afectadas por oleaje se observa que la bioturbación pareciera funcionar de la manera exactamente contraria (Figura 7). Esto se puede deber a que en estas barras el tipo de bioturbación dominante está representado por asociaciones monoespecíficas de *Macaronichnus* isp. Estas trazas corresponden a la actividad de animales depositívoros intraestatales (*passichnia*) que generan un relleno activo, comiendo las partículas orgánicas que recubren los granos de arena, por lo tanto la arena queda más “limpia” y tiene menos cohesión entre sí (Seike 2007: 2008). Se ha observado que en general, los sedimentos afectados por este tipo de bioturbación tienen una mejora de la permeabilidad respecto a las mismas facies que no presentan este tipo de trazas fósiles, (Pemberton y Gingras, 2005; Gingras *et al.*, 2002; Gordon *et al.*, 2010). Sin embargo, a pesar de mostrar una tendencia inversa a las barras de desembocadura, las barras afectadas por oleaje siguen teniendo las peores calidades de reservorio de todas las asociaciones de facies. Un punto interesante que se deriva de estas observaciones es que los niveles con mayor influencia fluvial son aquellos que tienen las mejores propiedades de reservorio. En el caso de las barras de desembocadura, la bioturbación indica un ambiente

con salinidades marinas normales, y es en estos niveles donde vemos las peores cualidades de reservorio de estas asociaciones de facies. También vale mencionar que las mejores características de reservorio son presentadas por la asociación de facies de canales distributarios, que no tienen bioturbación, y representan subambientes con una marcada influencia fluvial.

Los depósitos de la Formación Lajas se han interpretado siempre como ambientes marino transicionales, principalmente deltas, pero ha habido discusiones respecto a los procesos dominantes que influyen sobre estos deltas, desde dominados por ríos y moderados por mareas (Gulisano and Hinterwimer, 1986; Zavala, 1996a, 1996b; Gugliotta *et al.*, 2015, 2016a, 2016b, 2016c; Kurcinca *et al.*, 2018), dominados por mareas (McIlroy, 2007; McIlroy, *et al.*, 1999; 2005, Spalleti *et al.*, 2010), o dominado por ríos con descargas hiperpicníticas (Canale *et al.*, 2015, 2020). En esta zona de la Cuenca Neuquina, al norte de la Dorsal de Huincul, el ambiente de depositación de la Formación Lajas ha sido descrito como deltas fluvio dominados con

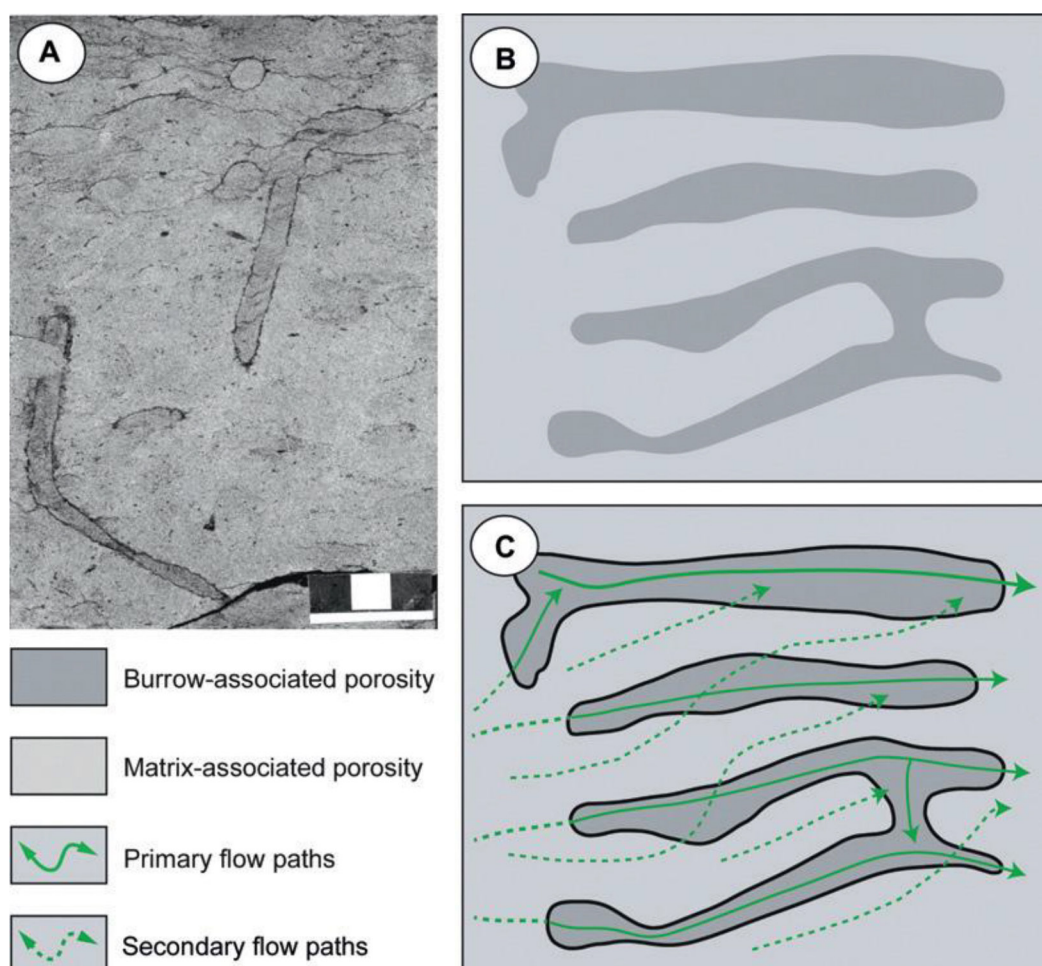


Figura 7. Comportamiento de fluidos en fábricas bioturbadas de doble porosidad. (A) Imagen del testigo corona con tubos llenos de arena encerradas en una matriz de arenisca (Ophiomorpha y Thalassinoides). (B) Roca sedimentaria esquemática con bioturbación mostrada en gris más oscuro. (C) Dentro de la porosidad dual medio de flujo, el fluido se fluye a través de la matriz y el relleno de trazas fósiles. Donde ella permeabilidad de trazas fósiles es mayor, existe un mayor flujo en las madrigueras (tomado de Gingras *et al.*, 2012).

influencia de oleaje (Arregui, 2019 a, b). Por lo tanto, una interpretación ambiental integrando icnología con sedimentología, sumado al análisis petrofísico, permitirá predecir su evolución ambiental y estratigráfica, contribuyendo a la realización de modelos de subsuelo de mayor precisión, en los cuales se determinen los *plays* de mayor interés, representados por las secciones con mayor influencia fluvial.

CONCLUSIONES

Se describieron y analizaron 147 metros de testigo corona de la Formación Lajas, en la zona al norte de la Dorsal de Huincul, en secuencias correspondientes a Lajas inferior.

Se definieron 5 asociaciones de facies: canales distributarios, planicie interdistributaria, frente deltaico distal-prodelta, barras de desembocadura y barras de desembocadura con influencia de oleaje.

Desde el punto de vista icnológico se reconocieron asociaciones de trazas fósiles, con la siguiente distribución: en planicie interdistributaria icnofacies de Cruziana empobrecida y de Scoyenia en sectores con posible exposición subaérea; en frente deltaico distal-prodelta icnofacies de Cruziana empobrecida; en barras de desembocadura Skolithos sin elementos filtradores y en barras de desembocadura con influencia de oleaje icnofacies de Skolithos, dominando en general asociaciones monoespecíficas de Macaronichnus.

Se interpreta toda la secuencia desde un punto de vista ambiental como depositada en un ambiente marino de transición, más precisamente un delta, que evidencia 4 ciclos progradantes, pero con variaciones, que implicarían cambios menores en el nivel del mar.

Según las cualidades de reservorio, las mejores facies se encuentran en los canales distributarios, seguidos por las barras de desembocadura, las facies arenosas de la planicie interdistributaria, las facies arenosas del frente deltaico distal-prodelta, y por último las facies de barras de desembocadura afectadas por oleaje.

Se interpreta que las barras afectadas por oleaje tienen las peores condiciones de reservorio, pero a pesar de esto se observa que los sectores bioturbados tienen mejores permeabilidades. Esta diferencia con las barras de desembocadura se puede deber a que las trazas fósiles dominantes en cada una son diferentes. En barras de desembocadura se identificó la icnofacies de Skolithos, dominada por *Ophiomorpha irregulaire*, pero con gran icnodiversidad, mientras que en las barras afectadas por oleaje se reconoció la icnofacies de Skolithos dominada exclusivamente por Macaronichnus isp. El tipo de relleno distinto entre ambas trazas fósiles puede ser el responsable de esta diferencia.

Se sugiere que los mejores niveles con condiciones de reservorio corresponden a aquellos que presentan una marcada influencia fluvial (canales distributarios y barras de desembocadura), y que un análisis detallado del tipo de proceso predominante en el ambiente deltaico puede ser fundamental a la hora de definir los *plays* de mayor interés productivo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo quieren agradecer a Aldo Montagna, Emiliano Santiago, Fabian Gutiérrez, Romina Coppo, Romina Caba, por sus intercambios de ideas durante el desarrollo de este estudio. Asimismo, queremos agradecer a YPF por permitir el acceso a las muestras y el permiso de publicación de los resultados.

REFERENCIAS CITADAS

- Aimar, E., Cevallos, M., Cangini, A., Mas Cattapan, F. y Vega, V., 2018. X Congreso de Exploración y Arregui, C., Carbone, O., and Leanza, H.A. (2011a). Contexto tectosedimentario. In Leanza, H.A.; Arregui, C.; Carbone, O.; Danieli, J.C.; Vallés J.M.; (eds). Relatorio Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén: XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, 2011- p 29-36.
- Alqubalee, A., Muharrag, J., Salisu, A. M., & Eltom, H. (2022). The negative impact of Ophiomorpha on reservoir quality of channelized deposits in mixed carbonate siliciclastic setting: The case study of the Dam Formation, Saudi Arabia. *Marine and Petroleum Geology*, 140, 105666.
- Arregui, C., Carbone, O., and Martínez, R. (2011b). El Grupo Cuyo (Jurásico temprano-medio) en la cuenca neuquina. In Leanza, H.A.; Arregui, C.; Carbone, O.; Danieli, J.C.; and Vallés J.M.; (eds) Relatorio Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén: XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, 77-89.
- Arregui, M. G., Buatois, L. A., & Rodriguez, E. (2019a). Shrimps and leaves: Phytodetrital pulses and bioturbation in deposits of a river-dominated delta (Middle Jurassic Lajas Formation, Neuquén Basin, Argentina). *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 516, 179-189.
- Bhattacharya, J.P. (2010). Deltas. In: James, N.P. y Dalrymple, R.W. (Eds.). *Facies Models 4*, Geological Association of Canada, St. John's, NL, 233-264.
- Bhattacharya, J.P., (2006), Deltas, in Posamentier, H., and Walker, R.G., eds., *Facies Models Revisited: SEPM, Special Publication 84*, p. 237-292
- Bromley, R.G. (1990). *Trace Fossils. Biology and Taphonomy*. Unwin Hyman.
- Bromley, R.G. (1996). *Trace fossils. Biology, Taphonomy and Applications*. London: Chapman & Hall.
- Buatois, L. A., and Mángano, M. G. (2011). *Ichnology: Organism-substrate interactions in space and time*. Cambridge University Press.
- Canale, N. y Ponce, J.J. (2012). Sedimentología de sistemas de lóbulos y canales hiperpícnos en la Formación Lajas, área de Portada Covunco, Neuquén, Argentina. En XIII Reunión Argentina de Sedimentología Resúmenes, Argentina: Asociación Argentina de Sedimentología.
- Canale, N., Ponce, J. J., Carmona, N. B., & Dritanti, D. I. (2016). Ichnology of Deltaic Mouth-Bar Systems of the Lajas Formation (Middle Jurassic) in the Sierra de la Vaca Muerta, Neuquén Basin, Argentina. *Ameghiniana*, 53(2), 170-183.

- Canale, N., Ponce, J. J., Carmona, N. B., Drittanti, D. I., Olivera, D. E., Martínez, M. A., & Bournod, C. N. (2015). Sedimentología e Icnología de deltas fluvio-dominados afectados por descargas hiperpícnicas de la Formación Lajas (Jurásico Medio), Cuenca Neuquina, Argentina. *Andean geology*, 42(1), 114-138.
- Canale, N., Ponce, J. J., Carmona, N. B., Parada, M. N., & Drittanti, D. I. (2020). Sedimentology and ichnology of a river-dominated delta, Lajas Formation (Middle Jurassic), Neuquén basin, Argentina. *Andean Geology*, 47(1), 179-206.
- Clifton, H. E., & Thompson, J. K. (1978). *Macaronichnus segregatis*; a feeding structure of shallow marine polychaetes. *Journal of Sedimentary Research*, 48(4), 1293-1302.
- Dellapé, D.A., Pando, G.A., Uliana, M.A. & Musacchio, E.A. 1978. Foraminíferos y ostracodos del Jurásico en las inmediaciones del arroyo Picún Leuú y la ruta 40 (Provincia del Neuquén, Argentina) con algunas consideraciones sobre la estratigrafía de la Formación Lotena. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 489-507. Buenos Aires
- Dorador, J., Rodríguez-Tovar, F. J., & Miguez-Salas, O. (2021). The complex case of *Macaronichnus* trace fossil affecting rock porosity. *Scientific Reports*, 11(1), 1-7.
- Duke, W. L., Arnott, R. W. C., & Cheel, R. J. (1991). Shelf sandstones and hummocky cross-stratification: new insights on a stormy debate. *Geology*, 19(6), 625-628.
- Elliott, T. (1974). Interdistributary bay sequences and their genesis. *Sedimentology*, 21(4), 611-622.
- Franzese, J. R., Veiga, G. D., Schwarz, E., and Gómez-Pérez, I. (2006). Tectonostratigraphic evolution of a Mesozoic graben border system: the Chachil depocentre, southern Neuquén Basin, Argentina. *Journal of the Geological Society*, 163(4), 707-721.
- Freguglia, E., Agulleiro Insúa, L., Díaz, A. B., Navarro C., Barrionuevo, L., Pelaitai, H., Palazzetti, G., Villarroel, S., Boggetti, D. (2009). Estudio Estratigráfico Regional Fm. Lajas, Gr. Cuyo (Cuenca Neuquina – Provincia del Neuquén) PyT Consultora S.R.L. Internal report. YPF.
- Gerard, J., & Bromley, R. (2008). Ichnofabrics in clastic sediments: applications to sedimentological core studies. J. Gerard.
- Gingras, M. K., Baniak, G., Gordon, J., Hovikoski, J., Konhauser, K. O., La Croix, A., ... & Zonneveld, J. P. (2012). Porosity and permeability in bioturbated sediments. In *Developments in Sedimentology* (Vol. 64, pp. 837-868). Elsevier.
- Gingras, M. K., MacMillan, B., Balcom, B. J., Saunders, T., & Pemberton, S. G. (2002). Using magnetic resonance imaging and petrographic techniques to understand the textural attributes and porosity distribution in *Macaronichnus*-burrowed sandstone. *Journal of Sedimentary Research*, 72(4), 552-558.
- Gingras, M. K., S. G. Pemberton, C. A. Mendoza, and F. Henk, (1999), Assessing the anisotropic permeability of *Glossifungites* surfaces: *Petroleum Geoscience*, v. 5, p. 349–357, doi:10.1144/petgeo.5.4.349.
- Giusiano, A., Mendiberri, H., and Carbone, O. (2011). Introducción a los Recursos Hidrocarburíferos. In Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., and Vallés, J.M. (eds.), *Relatorio Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén: XVIII Congreso Geológico Argentino*, Neuquén, 2011. p. 639–644.
- Gugliotta, M., Fairman Jr, J. G., Schultz, D. M., and Flint, S. S. (2016c). Sedimentological and paleoclimate modeling evidence for preservation of Jurassic annual cycles in sedimentation, western Gondwana. *Earth Interactions*, 20(19), 1-21.

- Gugliotta, M., Flint, S. S., Hodgson, D. M., & Veiga, G. D. (2016a). Recognition criteria, characteristics and implications of the fluvial to marine transition zone in ancient deltaic deposits (Lajas Formation, Argentina). *Sedimentology*, 63(7), 1971-2001.
- Gugliotta, M., Flint, S. S., Hodgson, D. M., and Veiga, G. D. (2015). Stratigraphic record of river-dominated crevasse subdeltas with tidal influence (Lajas Formation, Argentina). *Journal of Sedimentary Research*, 85(3), 265-284.
- Gugliotta, M., Kurcinka, C. E., Dalrymple, R. W., Flint, S. S., & Hodgson, D. M. (2016b). Decoupling seasonal fluctuations in fluvial discharge from the tidal signature in ancient deltaic deposits: an example from the Neuquén Basin, Argentina. *Journal of the Geological Society*, 173(1), 94-107.
- Gulisano, C. A. and Hinterwimmer, G. (1986). Facies deltaicas del Jurásico medio en el oeste de Neuquén. *Boletín de Informaciones Petroleras*, 3a Época, III (8): 2-31.
- Howell, J. A., Schwarz, E., Spalletti, L. A., and Veiga, G. D. (2005). The Neuquén basin: an overview. In Veiga, G.D., Spalletti, L.A.; Howell, J.A. and Schwartz, E. (Eds.). *The Neuquén Basin, A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*. Geological Society, Special Publications 252. London. pp. 83-108. Geological Society, London, Special Publications, 252(1), 1-14.
- Jones, F. O., & Owens, W. W. (1980). A laboratory study of low-permeability gas sands. *Journal of petroleum Technology*, 32(09), 1631-1640.
- Knaust, D. (2013). Bioturbation and reservoir quality: towards a genetic approach. In AAPG Annual Convention and Exhibition.
- Knaust, D. (2017). *Atlas of trace fossils in well core: appearance, taxonomy and interpretation*. Springer.
- Kurcinka, C., Dalrymple, R. W., & Gugliotta, M. (2018). Facies and architecture of river-dominated to tide-influenced mouth bars in the lower Lajas Formation (Jurassic), Argentina. *AAPG Bulletin*, 102(5), 885-912.
- La Croix, A. D., Gingras, M. K., Dashtgard, S. E., & Pemberton, S. G. (2012). Computer modeling bioturbation: The creation of porous and permeable fluid-flow pathways. *AAPG bulletin*, 96(3), 545-556.
- MacEachern, J. A., Bann, K. L., Bhattacharya, J. P., & Howell Jr, C. D. (2005). Ichnology of deltas: organism responses to the dynamic interplay of rivers, waves, storms, and tides. In Giosan, L., and Bhattacharya, J.P., eds., *River Delta: Concepts, Models, and Examples: SEPM, Special Publication 83*, p. 49-85.
- MacEachern, J. A., Bann, K. L., Bhattacharya, J. P., & Howell Jr, C. D. (2005). Ichnology of deltas: organism responses to the dynamic interplay of rivers, waves, storms, and tides. In Giosan, L., and Bhattacharya, J.P., eds., *River Delta: Concepts, Models, and Examples: SEPM, Special Publication 83*, p. 49-85.
- MacEachern, J.A., Pemberton, S.G., Gingras, M.K., Bann, K.L. and Dafoe, L.T. (2007c). Use of trace fossils in genetic stratigraphy. In *Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects*, ed. W. Miller III, Amsterdam: Elsevier, pp. 110-134.
- McIlroy, D., (2007). Ichnology of a macrotidal tide-dominated deltaic depositional system: Lajas Formation, Neuquén Province, Argentina. In: Bromley, R.G., Buatois, L.A., Mángano, M.G., Genise, J.F., Melchor, R.N. (Eds.), *Sediment-Organism Interactions: a Multifaceted Ichnology*. SEPM Special Publication, 88, pp. 193-210.

- McIlroy, D., (2007). Ichnology of a macrotidal tide-dominated deltaic depositional system: Lajas Formation, Neuquén Province, Argentina. In: Bromley, R.G., Buatois, L.A., Mángano, M.G., Genise, J.F., and Melchor, R.N. (Eds), *Sediment–Organism Interactions: a Multifaceted Ichnology*. SEPM Special Publication, 88, pp. 193–210.
- McIlroy, D., Flint, S., & Howell, J. A. (1999). Sequence stratigraphy and facies architecture of tidal succession, in an extensional basin; Neuquén Basin, Argentina. In AAPG, Annual Meeting Expanded Abstracts (Vol. 1999, pp. A91-A92).
- McIlroy, D., Flint, S., & Howell, J. A. (1999). Sequence stratigraphy and facies architecture of tidal succession, in an extensional basin; Neuquén Basin, Argentina. In AAPG, Annual Meeting Expanded Abstracts (Vol. 1999, pp. A91-A92).
- McIlroy, D., Flint, S., Howell, J. A., & Timms, N. (2005). Sedimentology of the tide-dominated Jurassic Lajas Formation, Neuquén Basin, Argentina. Geological Society, London, Special Publications, 252(1), 83-107
- McIlroy, D., Flint, S., Howell, J. A., and Timms, N. (2005). Sedimentology of the tide-dominated Jurassic Lajas Formation, Neuquén Basin, Argentina. In Veiga, G.D., Spalletti, L.A.; Howell, J.A. and Schwartz, E. (Eds.). *The Neuquén Basin, A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*. Geological Society, London, Special Publications, 252(1), 83-107
- Miall, A. D. (1978) Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. En: *Fluvial Sedimentology*. Miall, A. D. (Ed.). Canadian Society of Petroleum Geologists Bulletin, Memories 5, 579- 604.
- Pemberton, S. G. (2001). Ichnology & sedimentology of shallow to marginal marine systems. Geol. Assoc. Can., Short Course, 15, 343.
- Pemberton, S. G., & Gingras, M. K. (2005). Classification and characterizations of biogenically enhanced permeability. AAPG bulletin, 89(11), 1493-1517.
- Pemberton, S. G., Frey, R. W., Ranger, M. J., and MacEachern, J. (1992). The conceptual framework of ichnology. Pemberton SG (ed) (1992) *Applications of ichnology to petroleum exploration*. A core workshop. SEPM Core Workshop, vol 17, 429 pp
- Plint, A.G. (2010). Chapter 8, Wave- and storm-dominated shoreline and shallow marine systems. En: Dalrymple, R.W. y James, N.P. (Eds.). *Facies Models*, 4th Edition, Geological Association of Canada. pp. 167-199.
- Schomacker, E. R., Kjemperud, A. V., Nystuen, J. P., & Jahren, J. S. (2010). Recognition and significance of sharp-based mouth-bar deposits in the Eocene Green River Formation, Uinta Basin, Utah. *Sedimentology*, 57(4), 1069-1087.
- Seike, K. (2007). Palaeoenvironmental and palaeogeographical implications of modern *Macaronichnus* segregatis-like traces in foreshore sediments on the Pacific coast of central Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 252(3-4), 497-502.
- Seike, K. (2008). Burrowing behaviour inferred from feeding traces of the opheliid polychaete *Euzonus* sp. as response to beach morphodynamics. *Marine Biology*, 153(6), 1199-1206.
- Spalletti, L. A. (1995). Jurásico medio de la cuenca neuquina, República Argentina. *Rev. Soc. Geol. España*, 8, 3.
- Spalletti, L., Veiga, G. and Schwarz, E. (2010). Facies and stratigraphic sequences of the Mesozoic Neuquén Basin (Western Argentina): continental to deep marine settings. In: *Field Excursion Guidebook, 18th International Sedimentological Congress*, Mendoza, Argentina, FE C3 (Ed C.A. del Papa, R.), pp. 1-79, 2010, Mendoza, Argentina.

- Spalletti, L., Veiga, G. and Schwarz, E. (2010). Facies and stratigraphic sequences of the Mesozoic Neuquén Basin (Western Argentina): continental to deep marine settings. In: Field Excursion Guidebook, 18th International Sedimentological Congress, Mendoza, Argentina, FE C3 (Ed C.A. del Papa, R.), pp. 1-79, 2010, Mendoza, Argentina.
- Taylor, A. M., and Goldring, R. (1993). Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *Journal of the Geological Society*, 150(1), 141-148.
- Tonkin, N. S., McIlroy, D., Meyer, R., & Moore-Turpin, A. (2010). 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.
- Walker, R.G. and Plint, A.G. (1992). Wave- and storm-dominated shallow marine systems. In *Facies Models, response to sea level change*, ed. R.G. Walker and N.P. James, St John's, NL: Geological Association of Canada, pp. 219-238.
- Weaver, C. E. (1931). *Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of west central Argentina* (Vol. 1). University of Washington press.
- Zavala, C. (1996a). High-resolution sequence stratigraphy in the Middle Jurassic Cuyo Group, South Neuquén Basin, Argentina. *GeoResearch Forum* (Vol. 1, No. 2, pp. 295-303).
- Zavala, C. (1996b). Sequence stratigraphy in continental to marine transitions. An example from the Middle Jurassic Cuyo Group, south Neuquén Basin, Argentina. *GeoResearch Forum* (Vol. 1, No. 2, pp. 285-293).

