

LA RELEVANCIA DE LAS MISS EN EL REGISTRO ESTRATIGRÁFICO: SU RELACIÓN CON LOS CONTENIDOS DE COT EN PLANICIES DE MAREAS

María de las Nieves Sarzi¹, Estefanía Asurmendi^{2,1} y María Lidia Sánchez¹

1: Departamento de Geología, UNRC. Ruta Nac. 36 km. 608, msanchez@exa.unrc.edu.ar

2: CONICET, easurmendi@exa.unrc.edu.ar

Palabras clave: Formación La Chilca, Precordillera, Silúrico

RESUMEN

Excelentes afloramientos de la Formación La Chilca se exponen en las quebradas Anchas y Poblete Norte, en el área de Talacasto, Precordillera Central. El análisis detallado facies sugiere una planicie de marea dominada por la acción de mareas en la rampa silicoclástica silúrica, integrada por depósitos de planicie media a superior. La sección inferior de la Formación La Chilca (planicie de marea superior) es atribuida alretrabajo de depósitos glaciomarinos ocurridos en el periodo interglacial del Hirnantiano, bajo condiciones de aumento del nivel del mar y una amplificación de la acción de las mareas. La sección media a superior está representada por depósitos de planicie de marea superior a media, integrada por canales mareales, scours, dunas de marea y areniscas con estratificación entrecruzada tipo *hummocky*. La identificación en estos depósitos de Estructuras Sedimentarias Inducidas por Microbialitas (MISS) tales como estructuras peteepolygonal, texturas pitted, implosión de volcanes de arena, *Astropolithon* sp., construcciones domales, biofilms y texturas tipo piel de elefante, asociadas a picos en el contenido de materia orgánica (COT), sugiere que el crecimiento de las matas microbiales en zonas de planicie media a superior señala ciclos de transgresión-regresión en ambientes someros bajo condiciones estables del nivel de base, participan en la preservación de la materia orgánica, probablemente bajo condiciones disóxicas, durante un aumento del nivel del mar.

INTRODUCCIÓN

Excelentes exposiciones del Grupo Tucunuco (Cuerda 1965), se encuentran en el ámbito de la sierra de Talacasto. Este grupo se encuentra integrado por las Formaciones La Chilca y Los Espejos, presenta en el área de estudio un espesor de aproximadamente 300 m. La Formación La Chilca yace en discordancia angular de 7° sobre la Formación San Juan y su base está caracterizada por el “clásico conglomerado silúrico” (Rolleri 1947), con clastos de chert y culmina con un nivel de areniscas oolíticas férricas cubierto en paraconcordancia por los depósitos pelíticos de la base de la Formación Los Espejos (Cuerda 1969). La edad de la formación fue definida en base a graptolitos, palinomorfs, conodontes y braquiópodos, extendiéndose desde el Hirnantiano hasta el Llandoveryano tardío - Wenlockiano temprano (Benedetto 1995, García Muro y Rubinstein

2015). La Formación La Chilca ha sido interpretada como depósitos de planicie de marea en la rampa silicoclástica silúrica durante el ciclo transgresivo post-glacial (Asurmendi *et al.* 2016; Asurmendi *et al.* 2017 a,b).

ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

La sección estudiada se ubica en la quebrada de Talacasto, en el centro de la Provincia de San Juan, en las quebradas Ancha y Poblete Norte (Figs. 1a); a partir de la cual se elaboraron perfiles estratigráficos de detalle (Figs. 1b). En el sector se relevaron los datos sedimentológicos para el análisis de facies y definición de los paleoambientes.

ANÁLISIS DE FACIES

Las principales características, así como sus interpretaciones paleoambientales de las facies y asociaciones de facies reconocidas en la Formación La Chilca se muestran en la Tabla 1.

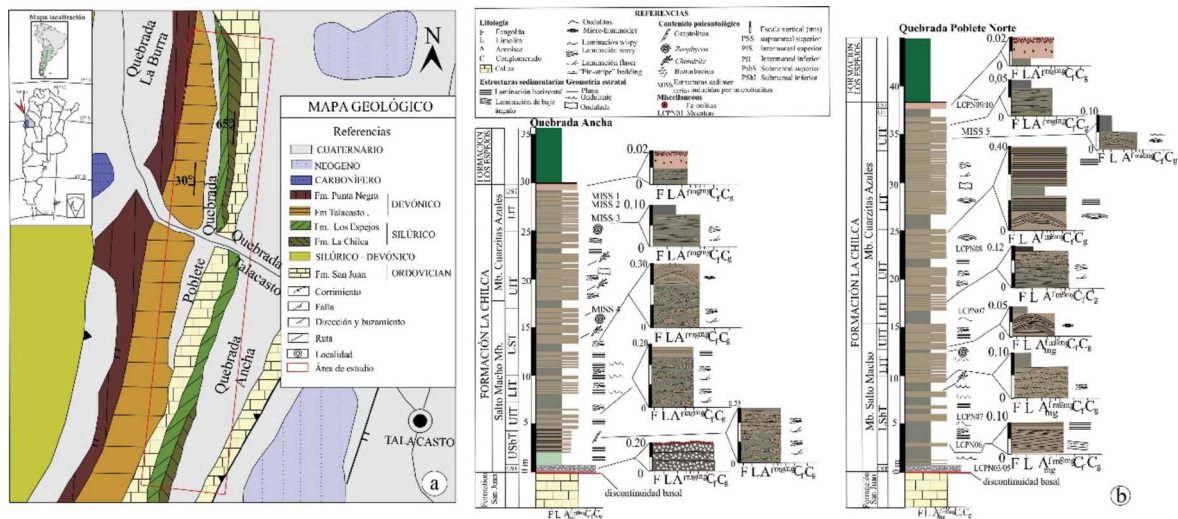


Figura 1. a) Mapa geológico de ubicación del área de estudio. b) Perfiles sedimentológicos de detalle.

MODELO DEPOSITACIONAL DE LA FORMACIÓN LA CHILCA

El análisis de facies de la Formación La Chilca permitió definir el desarrollo de una planicie de marea durante el Hirnantiano. La interpretación paleoambiental (Tabla 1), basada en la distribución y la interpretación genética a partir del análisis de facies, permitió la reconstrucción de un modelo de depositación de planicie de marea bajo la influencia de las mareas y la acción de las olas de manera subordinada.

La discordancia en la base de la Formación La Chilca con dirección NO-SE y una inclinación de 7° hacia el sudeste es interpretada como una superficie de erosión glacial y depósitos de planicie de *outwash*. La Formación comienza con depósitos de ambiente supramareal superior y submareal inferiores (AF1-Tabla 1) que durante la retracción de la capa de hielo y la transgresión Hirnantiana contemporánea maximizó la acción de las mareas en la planicie. Los depósitos glaciomarinos estuvieron sujetos al retrabajo por procesos marinos someros. Las corrientes mareales y las olas produjeron la selección del tamaño de grano, donde la arena pudo ser retrabajada en formas de lecho, así el material fino fue transportado en suspensión y depositado como fango laminado. Depósitos de morrena o tillitas productos de la actividad glacial, retrabajados, generaron pequeñas formas de lecho (1,5 m) con longitudes de onda cortas (30 m -AF1). Los trenes de onda de estas dunas con fuerte características lineares, migraron sobre la planicie de *outwash* y constituyó la base sobre la cual se desarrollaron los restantes depósitos de la Formación La Chilca.

Asociación facies	Litología	Estructuras sedimentarias, espesor y contacto basal	Interpretación
AF1	Conglomerados poli y monomictos, areniscas de grano fino y limolitas	Masivo a estratificación horizontal. 0.50 m de espesor y contacto plano	Lag transgresivo. Sedimento “resistente” de origen glacial con dunas aplanadas. Parte interna, media y externa de la actividad proglacial en la planicie de <i>outwash</i> .
AF2	Arenisca de grano medio a fino	Estratificación entrecruzada <i>hummocky</i> (HCS). 0.30 m de espesor, geometría lenticular, contacto plano u ondulado	Resultado de una única ola o un grupo de ondas donde la sedimentación fue continua debido a la suspensión y caída de carga en suspensión. El proceso no involucró fase intermedia de erosión y sedimentación.
AF3	Arenisca de grano medio a fino, limolitas y fangolitas, oolitas	Estratificación entrecruzada <i>hummocky</i> , lamianción quasi planar, estratificación entrecruzada y <i>ripples</i> uni y bidireccionales. 0.15 to 0.60 m de espesor, contacto neto y geometría lenticular	Flujos de baja energía durante la marea viva y la marea muerta en la planicie de marea. Fluctuaciones en la velocidad orbital de las olas debido a modulaciones en la marea.
AF4	Arenisca de grano medio a fino, limolitas y fangolitas	Estratificación de bajo ángulo, unidireccional o bidireccional, laminación entrecruzada ondulítica. <i>Drapes</i> pelíticos. 0.10 to 0.35 m de espesor con contacto neto y geometría sigmoidal	Trenes de grandes dunas con pequeñas dunas superpuestas, cuyas crestas están principalmente orientadas perpendicularmente a la dirección predominante de la corriente de marea. Ambiente de marea con mareas débiles (bidireccional), plaquicie submareal superior.
AF5	Arenisca de grano medio a fino, limolitas y fangolitas y <i>drapes</i> de fango	Estratificación entrecruzada lenticular, <i>wavy</i> y <i>flaser</i> . Más de 0.11 m de espesor, contacto neto y geometría lenticular	Retrabajo por procesos marinos someros, de olas y corrientes mareales en el ambiente litoral dominado por las mareas durante la retracción de la lamina de hielo.

Tabla 1. Asociaciones de facies.

El desarrollo de canales (*scours*) está relacionado con la evolución de la amplificación de las mareas y junto con un aumento relativo del nivel del mar que se expande a lo largo de la rampa somera del Silúrico. El desarrollo de depósitos de dunas compuestas intercaladas con canales (AF4) en la planicie submareal superior sugiere un ambiente de alta energía con corrientes de marea. La falta de bioturbación en los cuerpos de areniscas indica moderada a altas tasas de sedimentación resultando en una continua y rápida migración de las formas de lecho (Desjardins *et al.* 2012). El registro de varios intervalos granodecrecientes con apilamiento de los estratos durante la agradación de la planicie submareal inferior (AF5), es resultado de relacionado con la fase de desglaciación durante el Silúrico. La parte inferior de la sucesión, representa depósitos residuales de desglaciación donde las facies de areniscas con *dropstones* fueron depositadas durante la fase estacionaria de los icebergs flotando en el ambiente de planicie submareal inferior.

La planicie submareal superior es cubierta por depósitos de planicie intermareal superior con areniscas con estratificación entrecruzada *hummocky* (HCS) acrecionaria (AF2) con relaciones arenisca/limolita 4:1. Estos depósitos sugieren una amplificación de mareas que operaba periódicamente en una costa de muy baja energía durante condiciones de aguas de buen tiempo. Estas condiciones son típicas de planicie mareales que presentan un decrecimiento de la energía mareal durante el ciclo de marea viva-marea muerta (Zand-Moghadam *et al.* 2013).

Un cambio en la relación arenisca/limolita a 2:1 correlativos con depósitos estrato-grano decrecientes sugieren un continuo suministro en condiciones de nivel de base estable. Esta condición es reflejada en otros sectores, donde los depósitos de planicie submareal inferior fueron cubiertos por depósitos de planicie intermareal inferior (AF3). Estos depósitos representan la alternancia rítmica con relaciones arenisca/limolitas 6:1, de areniscas con HSC anisotrópica que pueden estar amalgamadas o en sets separados por delgados niveles de fangolitas. Estos depósitos sugieren estructuras de corte y relleno producto de la acción de flujos combinados, atribuidos a la interacción de corrientes mareales y olas de baja velocidad orbital. Asociados con estos depósitos se encuentran dunas que indican flujos de baja energía durante el período de entrada y salida de la marea, estos claramente muestran ciclos de marea viva-marea muerta.

Una modificación en el nivel del mar es registrada por depósitos de ritmitas mareales no-cíclicas (planicie intermareal superior) que cambia a ritmitas mareales cíclicas en el ambiente de planicie intermareal inferior. Estos depósitos están representados por la alternancia rítmica de areniscas HCS anisotrópica con relaciones de arenisca/limolita 1:1, que pueden estar amalgamados o en sets heterolíticos entrecruzados junto con pequeñas dunas mareales (AF3). Estos depósitos sugieren ciclos mareales de alta frecuencia producto de oscilaciones cíclicas en aguas profundas y energías hidrodinámicas. Estos ciclos podrían indicar un control por fuerzas orbitales en la banda de frecuencia de Milankovitch sobre la planicie mareal. Estas areniscas preservan el registro de trazas fósiles de *Zoophycos* y *Chondrites*. Los depósitos de planicie intermareal inferior son cubiertos por estratos de planicie intermareal superior. Estos comprenden intervalos grano decrecientes con

base neta compuestos por paquetes heterolíticos con areniscas amalgamadas de HCS acrecionaria con estratos delgados de areniscas con estratificación tipo *flaser* o *wavy* (AF2). De esta manera la agradación de la planicie de marea cambia gradacionalmente hacia el techo a areniscas de planicie intermareal superior. Estas areniscas pasan gradacionalmente hacia arriba a paquetes heterolíticos muy finos y delgados de limolitas y areniscas con HSC anisotrópica, estratificación entrecruzada *herringbone*, *wavy*, lenticular y *flaser* (AF3) y, comúnmente, exhiben dunas mareales. La acción de las mareas se incrementa en esta parte de la sección estudiada, depositando secuencias con HCS anisotrópicas que fueron influenciadas por la modulación mareal de las olas. Mientras que en condiciones de aguas someras las macro-formas de lecho mareales fueron retrabajadas por la acción de olas con baja velocidad orbital.

La sedimentación intermareal se hace somerizante hacia el techo de la Formación La Chilca. Este paquete 2,5 m de espesor registra intervalos con estructuras sedimentarias inducidas por microbialitas (MISS) tales como estructuras poligonales *petee*, textura *pitted*, implosión de volcanes de arena, *Astropolithon*, *Manchuriophycus* (Schieber 2004) y trazas de gastrópodos. Estas estructuras constituyen trazas con un alto potencial de preservación, y ocurren en areniscas marinas poco profundas (Schieber 1998). Las olas y las corrientes de marea inhiben la deposición de fango en los sitios de colonización microbiana, sin embargo, estas no son lo suficientemente fuertes como para erosionar los tapetes microbianos una vez que se han establecido (Noffke 2010). Durante deposición de las areniscas, las microbialitas y biofilms protegieron las superficies estratales contra la erosión (Parizot *et al.* 2005), por lo cual se encuentran bien conservadas. El ambiente de planicie intermareal con una continua sedimentación fue favorecida por el crecimiento de matas microbiales que contribuyeron a preservar estructuras muy delicadas tales como las *ondulas*, incluso en ocasiones con un *input* sedimentario de alta energía. Los *ripple-marks* y matas microbiales, preservadas en las areniscas de la Formación La Chilca indican alturas de ola de 1,5 a 23,5 cm, promedio 7 cm y profundidades de aguas someras por encima de la superficie de marea (7 a 152 cm, promedio 31 cm), con condiciones mareales meso a macromareal (Parizot *et al.* 2005). Estas microbialitas sugieren ambientes de aguas someras posiblemente en la transición inter a supramareal. La formación de estructuras MISS requiere condiciones anóxicas a euxínicas en los poros del sedimento. La posición estratigráfica de estas coincide con los niveles que presentan un pico en el contenido de COT asociado con un enriquecimiento en U indicadores de condiciones euxínicas o disóxicas (García Muro y Rubinstein 2015; Abre *et al.*, 2012).

En otros sectores el pasaje de areniscas de planicie intermareal a supramareal es registrada por depósitos con areniscas con HCS que preservan estructuras MISS tales como construcciones domales, biofilms, piel de elefante y trazas fósiles como *Undichnia*, *Planolites* y *Monomorphichnus*. Las características de éstas sugieren configuraciones diagnósticas como la transición inter-supramareal, incluso pueden tener connotaciones en la definición de la secuencia estratigráfica, puesto que señalan el pico de bajo nivel del mar-inicio de recuperación eustática (Noffke 2010).

Estos depósitos mareales son cubiertos por areniscas con oolitas de hierro, sugiriendo un ciclo somerizante hacia el techo de la formación durante una caída del nivel del mar coincidente con caída global del nivel del mar durante el Homeriano (Johnson, 2006). Estas areniscas fueron depositadas en la planicie supramareal superior (AF1) formadas bajo condiciones de alta energía hidrodinámica en ambientes someros. Estas oolitas férricas fueron retrabajadas durante el subsiguiente evento transgresivo, período en el cual comienza la depositación de la Formación Los Espejos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El reconocimiento de MISS desarrolladas en las facies siliciclásticas fue decisiva para la evaluación de las condiciones paleoambientales de la Formación La Chilca. Los depósitos marinos son modificados constantemente por el retrabajo de las mareas y, por lo tanto, las MISS son diagnósticas de las condiciones dinámicas en los procesos de depositación de sedimentos por las olas y las corrientes de mareas. Aunque éstas pueden inhibir la depositación de fango en los sitios de colonización microbiana, no son lo suficientemente fuertes como para erosionar los tapetes microbianos una vez que se han establecido.

Las facies de aguas poco profundas (transición intra-supramareal) constituyen los ambientes depositacionales ideales para las microbialitas (Noffke 2010). La somerización registrada en el techo de la Formación La Chilca es confirmada también por la presencia de MISS. Por lo tanto, las microbialitas constituyen excelente herramienta de correlación para la identificación de ciclos regresivos-transgresivos en secuencias estratigráficas, y delineación de ambientes con características disóxicas o euxínicas producto de un aumento del nivel del mar.

BIBLIOGRAFÍA

- Abre, P., Cingolani, C.A., Cairncross, B., Chemale, F. Jr. 2012. Siliciclastic Ordovician to Silurian units of the Argentine Precordillera: Constraints on provenance and tectonic setting in the proto-Andean margin of Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences* 40:1-22.
- Asurmendi, E., Sanchez, M. L., Heredia, S. y Toro, E. 2017a. Formación La Chilca (Ordovícico Superior-Wenlockiano): depósitos de planicies de marea en la quebrada Poblete Norte, Precordillera Central, San Juan. XX Congreso Geológico Argentino del 7 al 11 de agosto, San Miguel de Tucumán. 1-6.
- Asurmendi, E., Sánchez, M. L., y Toro, E. 2017b. Estructuras MISS en la planicie de marea de la Formación La Chilca (Hirnantiano-Wenlockiano), Quebradas Poblete Norte y Ancha, Precordillera Central. Reunión de Comunicaciones de la Asociación Paleontológica Argentina del 23 al 25 de noviembre, San Luis. 12 p.
- Asurmendi, E., Toro, E., Sánchez, M., Heredia, S., y Mestre, A. 2016. Análisis paleoambiental del Gru-

- po Tucunuco (Ordovícico Superior-Devónico Inferior bajo), Precordillera Central, San Juan. VII Congreso Latinoamericano de Sedimentología y XV Reunión Argentina de Sedimentología del 13 al 16 de septiembre, Santa Rosa La Pampa. 31 p.
- Benedetto, J. L. 1995. Braquiópodos del Silúrico temprano (Llandoveryano) Malvino-cáfrico, Formación La Chilca, Precordillera Argentina. *Geobios*, 28, 425-457.
- Cuerda, A. J. 1965. *Monograptus leintwardensis* var. *incipiens* Wood en el Silúrico de la Precordillera. *Ameghiniana* 4, 171-178.
- Cuerda, A. J. 1969. El límite Silúrico/Devónico en el borde oriental de la Precordillera de San Juan. *Jornadas Geológicas Argentinas* (Buenos Aires), *Actas* 1, 229-237.
- Desjardins, P.; Buatois, L.; y Mangano, G. 2012. Tidal Flats and Subtidal Sand Bodies. *Developments in Sedimentology*, 64, 529-561.
- García-Muro, V. y Rubinstein, C. 2015. New Biostratigraphic proposal for the Lower Palaeozoic Tucunuco Group (San Juan Precordillera, Argentina) based on marine and terrestrial palynomorphs. *Ameghiniana*, 52, (2), 265-285.
- Miall, A. D. 2006. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*, Springer, New York, NY, USA.
- Noffke, N. 2010. *Geobiology: Microbial Mats in Sandy Deposits from the Archean Era to Today*, Springer-Verlag, Berlin, 194p.
- Parizot, M., Eriksson, P.G., Aifa, T., Sarkar, S., Banerjee, S., Catuneanu, O., Altermann, W., Bumby, A. J., Bordy, E.M., van Rooy, J. L., y Boshoff, A.J. 2005. Suspected microbial mat-related crack-like sedimentary structures in the palaeoproterozoic Magaliesberg formation sandstones, South Africa. *Precambrian Research*, 138, 274-296.
- Rolleri, R. 1947. Estudio Geológico de la quebrada de Talacasto y zonas adyacentes, Provincia de San Juan. Tesis Inédita. Universidad Nacional de La Plata.
- Schieber, J. (2004). Microbial mats in the siliciclastic rock record: a summary of diagnostic features. In: Eriksson, O.; Altermann, W.; Nelson, D.; Mueller, W.; Catuneanu, O. y Strand, K. (Eds.). *The Precambrian earth: tempos and events, developments in Precambrian geology*. Elsevier, 663-672.
- Schieber, J. 1998. Possible indicators for microbial mat deposits in shales and sandstones: examples from the Mid-Proterozoic Belt Supergroup, 120. *Sedimentary Geology*, 105-124.
- Zand-Moghadam, H., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., y Babi, A. 2013. Comparison of Tidalites in Siliciclastic, Carbonate, and Mixed Siliciclastic-Carbonate Systems: Examples from Cambrian and Devonian Deposits of East-Central Iran. *Geology*, 1-21.