



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: [www.sgp.org.pe](http://www.sgp.org.pe) ISSN 0079-1091

## Caracterización estratigráfica de la transición Siliciclástica - Carbonatada del Hauteriviano inferior de la Cuenca Lima: formación Pamplona

Abraham Arana<sup>1</sup>, Renato Santisteban<sup>1</sup>, Edson Salcedo<sup>1</sup>, Boris Perez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Ingeniería

### RESUMEN

La Formación Pamplona consta de dos secuencias del tercer orden, con facies mixtas que expresan una evolución vertical de transición de una sedimentación siliciclástica (Grupo Morro Solar) a una plataforma carbonatada (Formación Atocongo). En ambas secuencias se manifiesta presencia de piritas que desarrollan variaciones geométricas que correlacionan con el aumento relativo del mar. Se definen cuatro segmentos sedimentológicos que describen siete diferentes ambientes sedimentarios. El primer segmento consiste en facies de arenas finas que gradan a un dominio de arcillas, aquí se marca el inicio del segmento dos, el cual se caracteriza por presentar carbonatos y un horizonte de *Olcostephanus* que sugieren una edad del Hauteriviano inferior (Arana et al, 2018). El segmento tres muestra facies evaporíticas que gradan a facies de carbonatos someros (segmento cuatro).

**PALABRAS CLAVE:** *facies mixtas, piritas, Olcostephanus, segmentos sedimentológicos, Hauteriviano inferior*

### ABSTRACT

The Pamplona Formation consists of two third order sequences, with mixed facies that express a vertical evolution of transition from a siliciclastic sedimentation (Morro Solar Group) to a carbonate platform (Atocongo Formation). In both sequences there is a presence of pyrites that develop geometric variations that correlate with the relative increase in the sea. Four sedimentological segments are defined that describe seven different sedimentary environments. The first segment con-

sists of facies of fine sand grading to a domain of clays, here the beginning of segment two is marked, which is characterized by presenting carbonates and an *Olcostephanus* horizon that suggest a lower Hauterivian age (Arana et al, 2018). Segment three shows evaporitic facies that progress to shallow carbonate facies (segment four).

**KEYWORDS:** *mixed facies, pyrites, Olcostephanus, sedimentological segments, Lower Hauterivian*

### INTRODUCCIÓN

Durante el inicio del desarrollo de las ciencias geológicas en el Perú, la estratigrafía de Lima fue una de las más investigadas del país (Lisson, 1907). A la actualidad la unidad que cuenta con mayores estudios hechos en Lima, por su accesibilidad y exposición de afloramientos próximos a la Costa Verde, es el Grupo Morro Solar; a diferencia la Formación Pamplona, que solo cuenta con las descripciones de antaño hechas por algunos autores (Vallejo, 1975; Lisson, 1907). Las secuencias Pamplona presentan un gran material geológico que incluye facies mixtas de transición siliciclástica a carbonatos, típicas estructuras sedimentarias, deformaciones sin-sedimentarias y tectónicas, ammonites con relevancia cronoestratigráfica global, equinodermos, bivalvos, espinas dorsales de peces, flora fósil, niveles y gradaciones mineralógicos (piritas, evaporitas), entre otros. Al día de hoy la accesibilidad es muy limitada y la urbanización de estos afloramientos está en aumento, motivo por el cual hemos tomado la iniciativa de estudiar estas localidades en el

presente trabajo y poder así fomentar futuras investigaciones de la geología de Lima.

## METODOLOGÍA

Los trabajos de campo consistieron en cartografiados 1:5000 en los afloramientos de Surco y Chorrillos, acompañados de levantamientos de columnas estratigráficas 1:500. Se realizaron estudios de 18 secciones delgadas en un microscopio de polarización y su respectiva descripción petrográfica. Se evaluó la morfología, dimensión y posición estratigráfica de 196 cristales de piritas.

## LITOESTRATIGRAFÍA Y FACIES SEDI-MENTARIAS

En el sector de Chorrillos-Surco, la formación Pamplona comprende 1200 metros de espesor, la cual se ha dividido en cuatro segmentos claramente marcados por características sedimentológicas. El primer segmento consiste de 328 metros, la unidad basal presenta lutitas rojizas oscuras intercaladas con estratos de areniscas submaduras de grano fino, los clastos son subredondeados a subangulosos con matriz de óxidos que muestran estratificación cruzada, herrinbone y pliegues slumps controlados por fallas de estratificación, (Fig1B), la unidad superior, inicia con areniscas inmaduras de grano fino, los detritos son subangulosos y con matriz de lodo calcáreo, presentan estratificación delgada con estructuras tipo flasser y laminación horizontal, en las partes superiores disminuyen las arenas y al final del segmento predomina la presencia de lutitas rojizas oscuras. El segundo segmento consta de 432 metros, donde existe una casi ausencia de arenas, en la base predominan lutitas rojizas oscuras y luego se desarrollan margas arcillosas. La unidad media se tienen secuencias rítmicas de margas, los bancos margosos presentan en la base margas arcillosa-salina y tope marga calcárea bituminosa (Fig1C), algunos topes llegan a ser mudstone, es común la presencia de pirita y materia orgánica. La unidad superior, inicia presentando estratos delgados de aragonito fibroso, y metros más arriba se manifiesta toda la fauna de *Olcostephanus*, los cuales se encuentran en margas calcáreas pardas, estos horizontes fauníferos aparecen entre un set de sills ubicados al final del segmento dos. El tercer segmento presenta 182 metros de espesor, se caracteriza por presentar lutitas coloración rosácea, rojiza, amarillenta, blanquecina y verdosa con presencia de yeso en capas finas o de aspecto enmallado, anhidrita fibrosa en estratificaciones delgadas, y muchas

veces acompañado de sales terrosas o láminas delgadas; se intercalan con margas calcáreas y mudstone (Fig1H), las lutitas rojizas superiores tienen abundante presencia de nódulos calcáreos; El cuarto segmento muestra los últimos 188 metros de la formación, la base está conformada por intercalaciones de lutitas rojizas oscuras con margas calcáreas, los niveles de carbonatos muestran brechas por disolución que presentan texturas de deformación-disolución por presión, dentro de la masa de recristalización de carbonatos se tienen orientados cristales euhedrales de pirita (Fig1E), en la parte media-superior hay presencia de limos intercalados con carbonatos oscuros, y en la parte superior se tiene carbonatos oscuros intercalado con lutitas rojizas, se reconoce presencia de mudstone y wackstone con presencia de pirita diseminada.

## OBSERVACIONES MORFOMÉTRICAS EN PIRITAS

Se ha reconocido presencia recurrente de cristales diagenéticos de hierro distribuidos de forma ordenada en específicos niveles estratigráficos de la Formación Pamplona. Algunos cristales presentan magnetismo con pátina oscura de oxidación, en ciertas zonas se muestran con diferentes grados de simetría y geometría. Los cristales en su mayoría son cúbicos de diferente mineralogía (pirita-hematita-greigita?) y formas. Las piritas menos oxidadas están incluidas dentro de una masa marga calcárea bituminosa y las de pátina oscura se asocian a los carbonatos que muestran mayor grado oxidación tardi-diagenética. De forma general se ha observado que los cristales aumentan en tamaño desde el segmento dos hasta el segmento cuatro. Los cristales de la parte media del segmento dos, presentan tamaños menores a 0.1 cm de morfología irregular o diseminaciones, en niveles superiores del mismo segmento alcanzan tamaños promedios de 0.25 cm y dimensiones asimétricas para la parte superior del segmento dos. En el límite basal del segmento tres los cristales muestran abundantes maclas de penetración con tamaños promedio de 0.22 cm (Fig1F). Posteriormente no se reporta pirita en casi todo el desarrollo del segmento tres. En la parte media del segmento cuatro se desarrollan nódulos de carbonatos característicos, que presentan un núcleo denso en piritas con cristales pequeños, estos se van agrandando hacia la parte externa a tamaños mayores a 0.5 cm, perdiendo densidad hasta hacerse casi ausentes donde predomina el material calcáreo (Fig1G). Finalmente,

en el segmento cuatro se tienen cristales que alcanzan tamaños de 0.35 – 0.4 cm asociados a niveles con presencia de brechas por disolución, donde los cristales muestran un ordenamiento lineal en las láminas de carbonatos recristalizados. Algunos ammonites se encuentran totalmente piritizados, estos en su mayoría se asocian a la fauna de *Olcostephanus* de tubérculos pronunciados, es decir en niveles superiores del segmento dos.

## DISCUSIÓN

La transición entre los siliciclásticos Morro Solar y carbonatos Atocongo (Fm. Pamplona), muestra el desarrollo de dos secuencias que expresan principalmente un aumento relativo de mar durante el Hauteriviano hasta finales del Barremiano. La base de la primera secuencia presenta arenas grano creciente de apilamiento progradacional, los slumps característicos evidencian un importante flujo de detritos que generan una disminución del espacio de acomodación en un ambiente de borde de talud. El tope regresivo desarrolla barreras de arenas acompañadas de lodo calcareo, hacia la parte superior se tienen arcillas rellenando el borde de plataforma. El sistema transgresivo basal se caracteriza por un incremento sustancial de contenido calcareo, estas facies se desarrollan en un ambiente lagoon, posiblemente bajo una configuración estructural-sedimentológica, la parte media se caracteriza por presentar un incremento de materia orgánica y las primeras evidencias piritosas; hacia el tope de este sistema se produce el máximo desarrollo faunístico el cual empieza a menguar a inicios de la regresión normal en un contexto de plataforma restringida, este horizonte ammonoideo queda datado como parte de la Zona: *Lyticoceras nodosoplicatum*, Horizonte: *Olcostephanus variegatus* – Hauteriviano inferior (Arana et al, 2018). La segunda secuencia inicia con el desarrollo del decremento del nivel relativo y genera facies evaporíticas de regresión forzada en un ambiente de llanura supramareal; seguido inicia una transgresión Barremiana, que permite el desarrollo de facies de carbonatos someros, esta evoluciona verticalmente hasta desarrollar una plataforma carbonatada correspondiente a la muy conocida y poco estudiada Formación Atocongo (Aptiano inferior).

Las piritas sedimentarias suelen mostrarse de forma frambooidal, microcristalina, euhedral o en nódulos-concreciones. Las concentraciones de Fe pueden provenir de aportes detríticos y las de

azufre son propias de ambientes anóxicos – euxínicos, donde las bacterias reducen el  $\text{SO}_4^-$  transformándolo en  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{HS}^-$ , estos reactantes forman en primera instancia troilita ( $\text{FeS}$ ), según las condiciones continuará la formación de sulfuros simples de Fe (greigita, mackinawita) en forma de framboides y posteriormente en función al pH y Eh se pueden neoformar cristales de pirrotita, marcasita o comúnmente piritita (Rickard, 2012; Schoonen, 2004; Wang, 1996; Kalliokoski, 1969). Los cristales euhedrales se forman a partir de un crecimiento secundario sobre los framboides y según el tamaño - morfología pueden indicar ambientes paleoredox de formación. (Liu et al 2019; Wilkin et al, 1996). En la Formación Pamplona las piritas muestran variación morfológica en función a las variaciones del nivel relativo del mar y sus respectivos ambientes sedimentarios, estas se desarrollan principalmente en facies transgresivas y en regresivas de nivel alto. El incremento en las dimensiones de los cristales muestra una importante correlación con el incremento del nivel relativo del mar. En la máxima expresión de TST, las piritas de ambiente anóxico ocurren de forma irregular-diseminada con tamaños menores a 1mm, en un contexto de alto Fe detrítico y contenido orgánico, que genera una mayor densidad y distribución de núcleos de sulfuro de Fe de menores tamaños, a medida que el nivel relativo sigue aumentando, el aporte de Fe detrítico se vuelve un reactivo limitante y el ambiente se torna euxínico, las piritas incrementan su tamaño hasta 0.3 cm, debido al aumento de condiciones para desarrollarse carbonatos más puros donde densidad de núcleos disminuye generando cristales de mayor tamaño. El nivel de maclas de piritita (Fig1F) marca el tope del HST, es posible que esta zona se deba a una inflexión en la velocidad de aporte de Fe detrítico y supere los umbrales de nucleación, las cuales desarrollan modificaciones cristalográficas del crecimiento. El segmento cuatro presenta menos zonas piritosas pero se observa el mismo comportamiento de la secuencia inferior. Las concreciones de este segmento muestran una expresión de piritas fractalmente análoga con el de sistemas TST-HST, en donde hacia la parte central domina la materia orgánica, densidad de Fe detrítico con menores tamaños de cristales y hacia los bordes disminuye la densidad de Fe detrítico, aumenta el contenido de carbonatos con un aumento de tamaño de cristales (Fig1G).



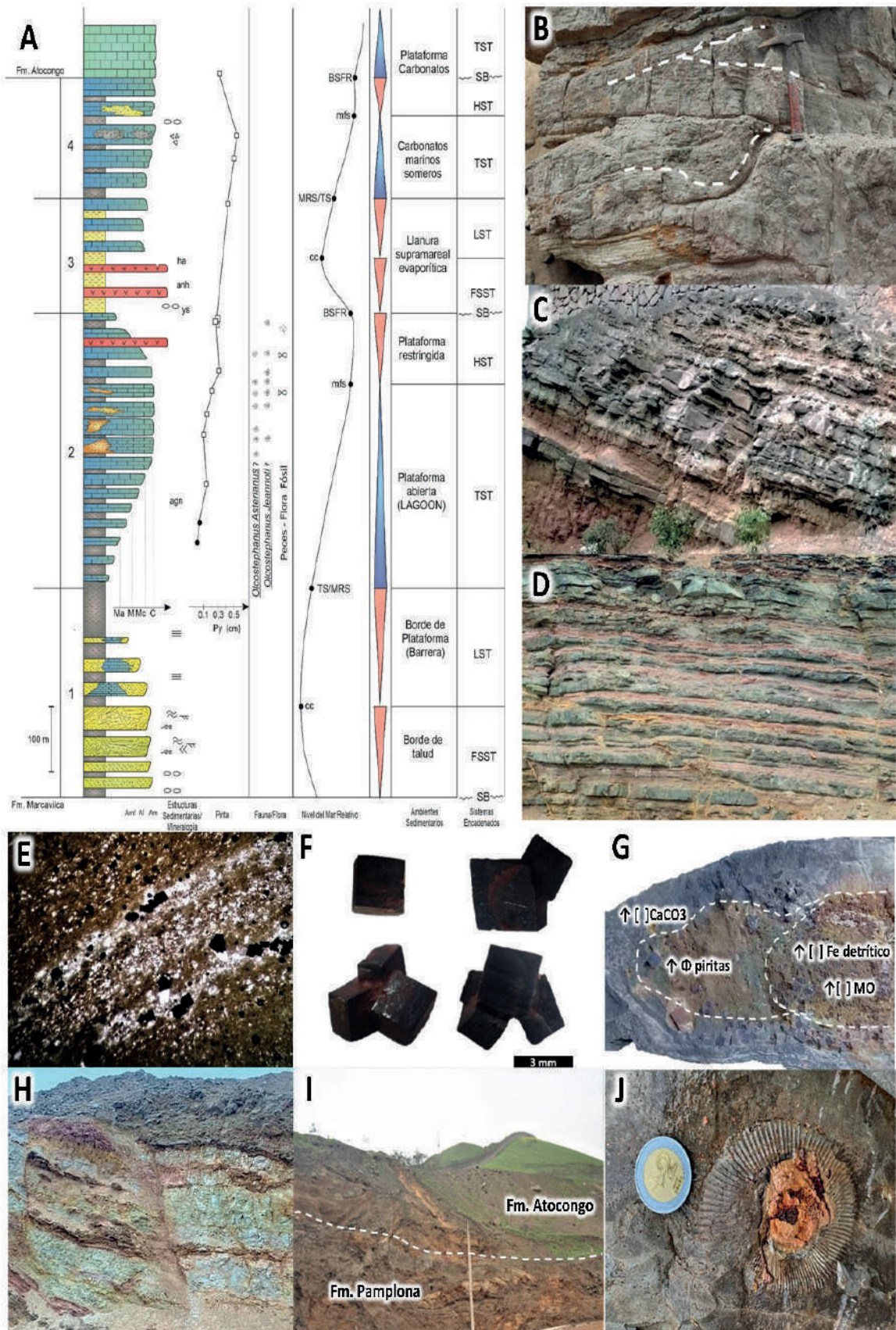


Figura 1. (A) Columna estratigráfica, segmentos sedimentológicos e interpretación secuencial. (B), (C), (D), (H), (I) Afloramientos representativos de los segmentos sedimentológicos 1 – 4. (E), (F), (G) Muestras piritosas. (J) Fauna ammonoidea – *Olcostephanus*.

## REFERENCIAS

**Arana, A., Paredes, L., Iparraguirre, S., Retamozo, K. & Ccoto, B. (2018).** Horizontes Olcostephanidos (Ammonitina, Ammonoidea) del Hauteriviano Inferior y Ambientes Sedimentarios de la Formación Pamplona (Lima-Perú). Libro de Resúmenes II Simposio Internacional de Paleontología del Perú, Lima noviembre 2018 - INGEMMET. p. 103-107.

**Kalliokoski J. (1969).** Morphology, mode of formation, and diagenetic changes in framboids, Bulletin Geological Society of Finland 41, 152—133, 1969

**Lissón, C. (1907).** Contribución a la Geología de Lima y sus alrededores. Lima, Empresa Gil, p. 125

**Liu, Z., Chen, D., Zhang, J., Lü, X., Wang, Z., Liao, W., Shi, X., Tang, J. & Xie G. (2019).** Pyrite Morphology as an Indicator of Paleoredox Conditions and Shale Gas Content of the Longmaxi and Wufeng Shales in the Middle Yangtze Area, South China. Minerals - 9, 428.

**Rickard, D. (2012).** Sedimentary Pyrite, Pyritologia: or a History of the Pyrites, the Principal Body of the Mineral Kingdom, Chapter 6. p. 233 – 278.

**Schoonen, M. (2004).** Mechanisms of sedimentary pyrite formation, Geological Society of America Special, in Amend, J.P., Edwards, K.J., and Lyons, T.W., eds., Sulfur biogeochemistry—Past and present: Boulder, Colorado, Paper 379, p. 117–134., 2004.

**Vallejo, J. (1975).** Estudio Estratigráfico de la Formación Pamplona, Tesis para obtener el grado de Bachiller en Ciencias con mención en Geología, Universidad Nacional de Ingeniería, 1975.

**Wang, Q. (1996).** Pyrite formation under conditions approximating those in anoxic sediments. I. Pathway and morphology, Marine Chemistry 52, 99 - 121, 1996.

**Wilkin, R., Barnes, H., Brantley, S. (1996).** The size distribution of framboidal pyrite in modern sediments: An indicator of redox conditions Geochim Cosmochim Acta 60: p. 3897-3912.