



Las fosforitas del mioceno y su relación con el contenido económico de los fosfatos de Pisco y Sechura (Perú)

Franklin Abarca Castañeda¹

¹Egresado de Posgrado en Geología con mención en Recursos Mineros, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos

¹abarca_f@yahoo.com

RESUMEN

Nuevos datos geoquímicos, petrográficos, difracción de rayos-X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), de las rocas fosfáticas Mioce-nicas Peruanas son presentados para determinar su relación genética con el contenido económico de los fosfatos de Pisco y Sechura. Los principales elementos mayores en orden decreciente de abundancia incluyen Si, Ca, P, Al, Mg, K, Na y Fe.

Altos contenidos de P y Ca, reflejan alta concentración de apatito ($\geq 16.5\%$) en las rocas fosfáticas económicas de Pisco y Sechura. Alto contenido de Si refleja principalmente alta concentración de restos biogénicos y granos detríticos de cuarzo. Algunas rocas fosfáticas de Pisco contienen mayores concentraciones de elementos traza en orden decreciente de abundancia Cd, As, U y Se. En Sechura las mayores concentraciones incluyen U, As, Cd y Se.

La mineralogía fue determinada mediante estudios petrográficos en secciones delgadas y verificadas por DRX, incluyen fluorapatito, cuarzo, feldespato, sílice opalina, calcita, ankerita y dolomita. Hidroxiapatito ocurre como mineral de apatito subordinado en Sechura. Petrográficamente las rocas fosfáticas económicas fueron clasificados en tres facies principales a) fosforitas oolíticas (Pisco y Sechura), depositadas en ambientes de plataforma de alta energía dominado por oolitos fosfáticos que sugieren retrabajo después de su deposición,

b) fosforitas intraclásticas (Sechura), dominado por intraclastos fosfáticos depositados en ambiente de plataforma carbonatada somera, y c) nódulos y conglomerados fosfáticos (Pisco), que suelen ocurrir durante los hiatos en la sedimentación controlados por movimientos tectónicos.

Análisis con MEB en superficies de pequeños oolitos, intraclastos, y cemento de nódulos, sugieren que el apatito se formó autigénicamente como una precipitación química directa y en forma más rara por reemplazamiento. Químicamente los apatitos de Pisco y Sechura son similares, y denotan deficiencia en cloro. La combinación de los datos obtenidos puede servir como modelo de exploración de los fosfatos económicos en Pisco y Sechura.

Palabras clave: roca fosfática, oolito, autigénico, apatito, nódulo, biogénico

ABSTRACT

New geochemical, petrographic, X-ray diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) data of Miocene Peruvian phosphate rocks are presented to determine their genetic relationship with the economic content of Pisco and Sechura phosphates.

The main major elements in decreasing order of abundance include Si, Ca, P, Al, Mg, K, Na and Fe. High contents of P and Ca, reflect high concentration of apatite ($\geq 16.5\%$) in economic phosphate rocks of Pisco and Sechura. High Si content

mainly reflects high concentration of biogenic debris and detrital quartz grains. Some phosphate rocks of Pisco contain higher concentrations of trace elements in decreasing order of abundance Cd, As, U and Se. In Sechura, higher concentrations include U, As, Cd and Se.

Mineralogy was determined by petrographic thin sections studies and verified by XRD, include fluorapatite, quartz, feldspar, opaline silica, calcite, ankerite and dolomite. Hydroxyapatite occurs as subordinate apatite mineral in Sechura. Petrographically the economic phosphate rocks it were classified into three main phosphatic facies a) Oolitic phosphorite (Pisco and Sechura), deposited in platform high-energy environment dominated by phosphatic oolites suggesting rework after deposition, b) intraclastic phosphorite (Sechura) dominated by phosphatic intraclasts deposited in shallow carbonate platform environment, and c) phosphatic nodules and conglomerates (Pisco), which usually occur during hiatus in sedimentation controlled by tectonic movements.

SEM analysis on small surfaces oolites, intraclasts, and cement nodules suggest that the apatite is authigenetically formed as a direct chemical precipitation and by replacing rare form. Chemically apatites of Pisco and Sechura are similar, and denote chlorine deficiency. The combination of data might serve as a model in the exploration for economic phosphates in Pisco and Sechura basins.

Keywords: phosphate rock, oolite, authigenic, apatite, nodule, biogenic

INTRODUCCIÓN

El área de estudio comprende las secuencias sedimentarias superiores de las cuencas Pisco (13°-16°S) y Sechura (5°-7°S) respectivamente. Ambas cuencas miocénicas son relacionadas a zonas activas de subducción del tipo Benioff y arcos magmáticos (cuencas de Antearco).

El contexto geológico regional de las cuencas Pisco y Sechura, se caracteriza por la presencia de un basamento Precambriano y Paleozoico, recubiertos por sedimentos de ambientes marinos y continentales del rango de edades Mesozoico al Cenozoico.

Estructuralmente se han desarrollado en un contexto tectónico extensional, dominado por un sistema de fallas de rumbo que han originado la formación de numerosos grabenes, que han inter-

venido en la evolución y configuración de dichas cuencas sedimentarias (Figura N° 1).

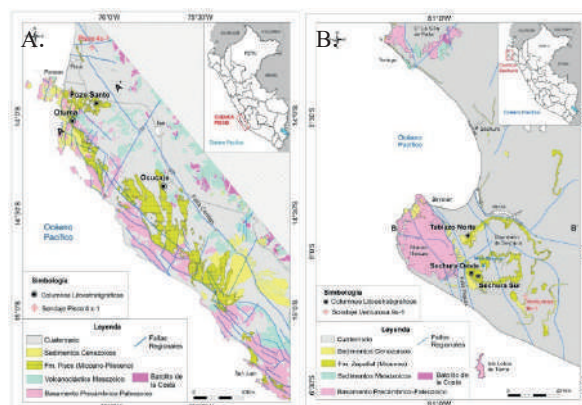


Figura N° 1. Mapa Geológico generalizado A. Cuencas Pisco (Modificado de León et al. 2008) y B. Cuenca Sechura (modificado Caldas et al. 1980)

MATERIALES Y MÉTODOS

Un total de 26 muestras de rocas fosfáticas representativas de Pisco y Sechura fueron analizadas en los laboratorios de CIMM Perú, para la determinación de 11 óxidos mayores por fusión de metalaboratorio de Litio, 7 elementos traza y 4 tierras raras por ICP-MS.

La mineralogía fue determinada petrográficamente en 20 láminas delgadas, se utilizó el microscopio MEIJI TECHNO ML9430. Los minerales identificados fueron verificados por Difracción de Rayos X (DRX9, con el equipo SHIMADZU modelo XRD-6000).

Los estudios de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) y análisis de elementos mayores semicuantitativos fueron realizados en 8 muestras utilizando el equipo Quanta 200+EDX de la marca FEI.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS FOSFÁTICAS DE PISCO

Las rocas fosfáticas de Pisco predominan en la sección media (Pozo Santo) de la secuencia estratigráfica de la Formación Pisco, algunas formas restringidas fueron identificadas hacia la base (Otuma) y techo (Ocucaje) respectivamente (Figura N°2). Se caracterizan por ser capas friables de poco espesor con altos contenidos fosfáticos. Litológicamente consisten en areniscas, lodolitas biogénicas, limolitas arenosas a diatomáceas y areniscas tobáceas, intercaladas con una serie de areniscas ligeramente fosfáticas, fosforitas y con-

glomerados fosfáticos.

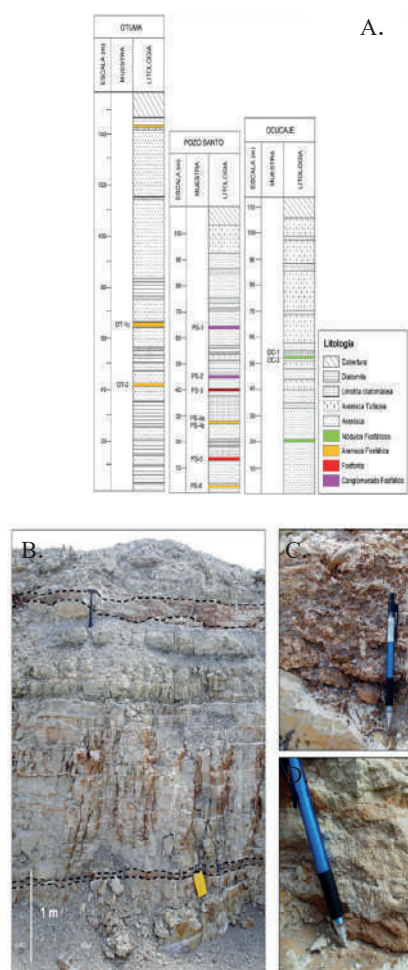


Figura N° 2. A. Columnas litoestratigráficas levantadas de piso a techo en los sectores Otuma, Pozo Santo y Ocucaje. B, C y D. Niveles de Fosforitas en el sector Pozo Santo.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS FOSFÁTICAS DE SECHURA

Las rocas fosfáticas de Sechura comprenden entre 135 a 215 m, de los estratos superiores de la Formación Zapallal. Litológicamente consisten en una serie de intercalaciones de fosforitas friables (marrón claro a negro) y diatomitas blandas (blancas a grises), y una transición entre ambos denominados intercapas; también se evidencian algunas capas de areniscas y tufos grises, considerados guías estratigráficas en las correlaciones de campo.

Dentro de estos estratos han sido identificadas tres zonas fosfáticas principales (Cheney et al. 1979). i) La zona fosfática Diana en el miembro diatomita y fosforita inferior (Sechura Sur y Tablazo Norte), ii) La zona Cero (Tablazo Norte), y iii) La zona fosfática Minerva en el miembro diatomita

y fosforita superior (Sechura Oeste) Figura N° 3.

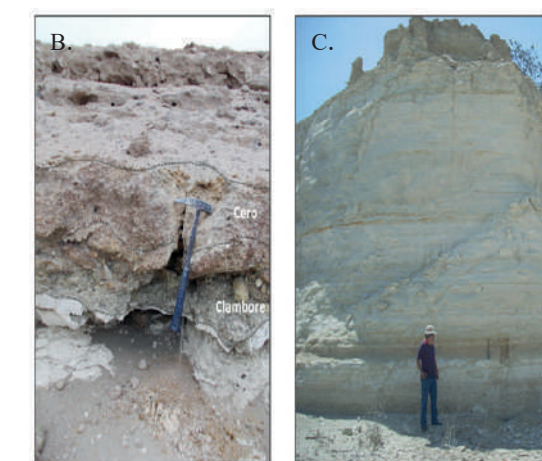
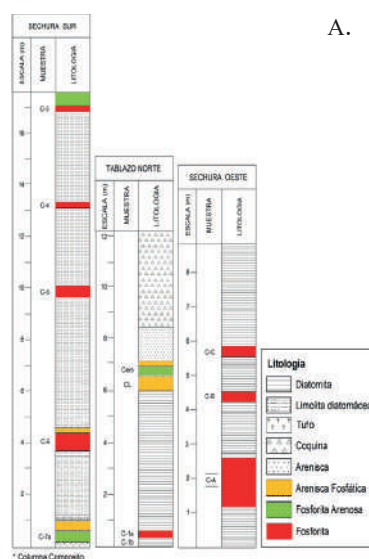


Figura N° 3. A. Columnas litoestratigráficas levantadas de piso a techo en los sectores Sechura Sur, Tablazo Norte y Sechura Oeste. B. Afloramiento de Areniscas Clambore y Zona Cero. C. Niveles de Fosforitas sector Tablazo Norte.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Geoquímica de Elementos Mayores, Traza y Tierras Raras

Como primer intento clasificatorio de las rocas fosfáticas de Pisco y Sechura, se utilizó el diagrama ternario de óxidos mayores PSF (Adaptado de Glenn y Arthur, 1988), permitiendo discriminar las rocas fosfáticas con alto contenido de apatito (símbolo rojo), moderado apatito (símbolo verde) y bajo apatito (símbolo celeste). Figura N° 4.

Los valores recalculados PSF, fueron considerados basado en los parámetros. P: $P_2O_5 + CaO + Na_2O$; S: $SiO_2 + Al_2O_3 + K_2O$ y F: $Fe_2O_3 + MgO$, expresados en (%).

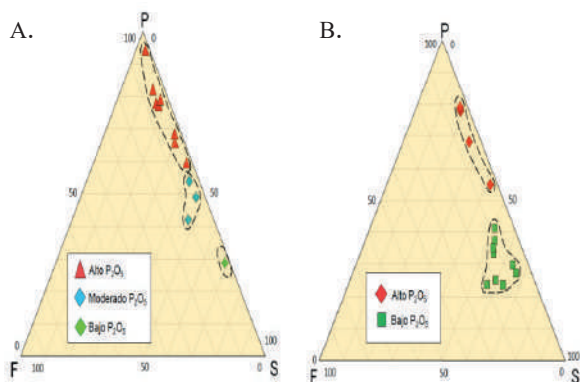


Figura N° 4. Diagrama Ternario de óxidos mayores PSF (Adaptado de Glenn & Arthur, 1988). A. Rocas fósforicas de Pisco. B. Rocas fósforicas de Sechura.

Los ratios geoquímicos: $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$, $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)/\text{P}_2\text{O}_5$ y $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})/\text{P}_2\text{O}_5$, determinaron características favorables de concentración en las rocas fósforicas de Pisco con altos tenores de P_2O_5 ($n=5$), siendo sus ratios promedio: 1.6, 0.3 y 0.3 respectivamente. En Sechura las rocas fósforicas con altos tenores de P_2O_5 ($n=8$), presentan ratios promedio: 1.8, 0.2 y 0.3. La presencia de carbonatos en algunas rocas fósforicas de Sechura incrementa el ratio promedio $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ con respecto a Pisco. Bajos contenidos de Al, Fe y Mg, en dichas rocas fósforicas disminuyen considerablemente los otros ratios geoquímicos en mención (Figura N° 5).

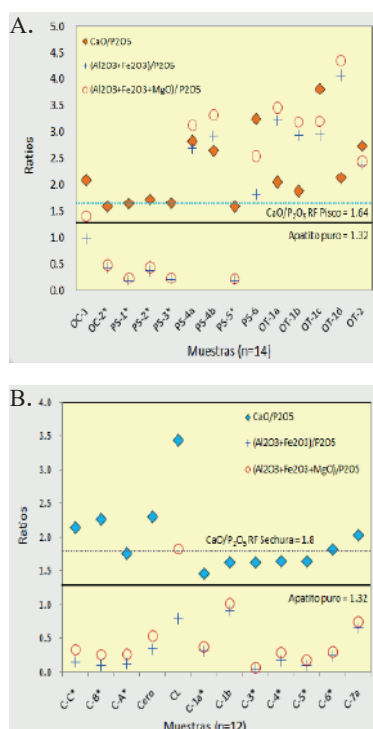


Figura N° 5. Comparación de ratios geoquímicos con respecto al apatito puro. A. Rocas fósforicas de Pisco. B. Rocas fósforicas de Sechura.

Petrografía Microscópica

El material fosfático reconocido en láminas delgadas consiste principalmente en oolitas, pelets e intraclastos; la mayoría están en el rango 0.1 a 0.8 mm. El material cementante consiste en carbonatos, colofano, limo, arcillas, yeso, anhidrita, restos biosilíceos y extraclastos de rocas ígneas (Figura N° 6).

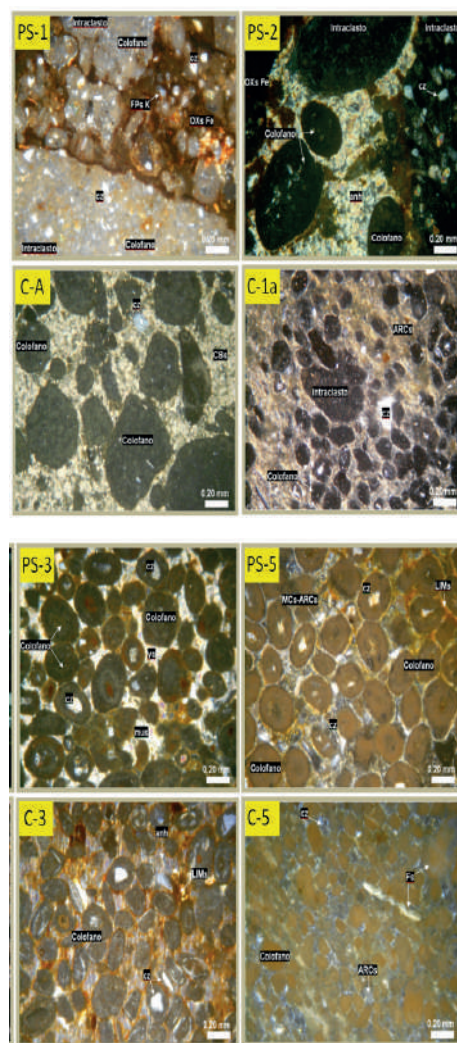


Figura N° 6. Fotomicrografías de las rocas fósforicas de Pisco: PS-1 y PS-2. Conglomerado fosfático clasto y matriz soportado. PS-3 y PS-5. Fosforita oolítica tamaño arena media. Rocas fósforicas de Sechura: C-A. Fosforita intraclástica tamaño arena gruesa. C-1a, C-3 y C-5. Fosforita oolítica tamaño arena media (Nicoles cruzados 40x).

Difracción de Rayos X (DRX)

Los resultados del análisis de roca total, y algunas muestras orientadas (matriz de la roca), revelan la existencia de concentraciones variables de fluorapatito y en forma más rara la presencia de hi-

droxiapatito; ambas ocurren principalmente como partículas clásticas, a veces como cemento; otros componentes de las partículas son cuarzo, albita, ortoclasa, y halita. El material cementante está conformado por calcita, ankerita, dolomita, anhídrita, yeso, sílice no cristalina (principal componente en las diatomitas puras), y minerales arcillosos principalmente muscovita y esmectitas. Los minerales accesorios más comunes son augita, hastingsita, glaucofana, clorita, epidota y biotita.

Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

Análisis con MEB en superficies de pequeños oolitos, intraclastos y cemento de nódulos fosfáticos, determinaron una composición química: O, Ca, P, Cl (Figura N° 7), gráficamente dichos elementos presentan una tendencia bastante similar con respecto al apatito puro. Altos contenidos de "O" representa el sustrato cristalino conformado por silicatos, sulfatos y otros minerales identificados en dichas rocas fosfáticas. Los elementos ligeros "H" y "F" no fueron detectados debido a la baja sensibilidad del equipo EDS.

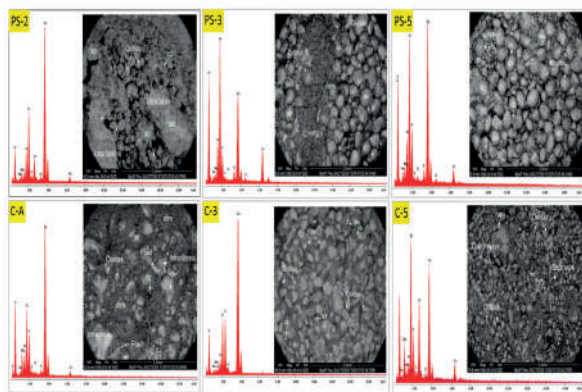


Figura N° 7. Fotomicrografías determinadas por microscopia electrónica de barrido rocas fosfáticas de Pisco: PS-2. Conglomerado fosfático clasto y matriz soportado. PS-3 y PS-5. Fosforita oolítica tamaño arena media. Rocas fosfáticas de Sechura: C-A. Fosforita C-3 y C-5. Fosforita oolítica tamaño arena media intraclástica tamaño arena gruesa.

CONCLUSIONES

En la cuenca Pisco, las concentraciones fosfáticas económicas, están relacionadas genéticamente al igual que la cuenca Sechura, con las facies fosforitas oolíticas, depositadas en ambientes de plataforma de alta energía dominados por oolitos fosfáticos que sugieren retrabajo después de su depositación, además asociadas a facies fosforitas intraclásticas, dominado por intraclastos fosfáti-

cos depositados en ambiente de plataforma carbonatada somera, así como nódulos y conglomerados fosfáticos, que ocurrieron durante los hiatos en la sedimentación controlados por movimientos tectónicos. En ambas cuencas las facies fosforitas oolíticas, se han distribuido en los bordes occidentales de las cuencas, próximos al límite del borde continental. Estas facies fosfáticas se depositaron durante el Mioceno (Fase Quechua I), caracterizado por un margen activo y arcos magmáticos, en áreas de surgencia de latitudes medias y paleoclimas cálidos. Los valores económicos determinados en la cuenca Pisco corresponden a 5 muestras que presentan concentraciones importantes, entre 17.89 a 23.75% P₂O₅, sus intervalos de muestreo varían entre 0.1 a 0.35 m y se presentan distribuidas principalmente en las zonas de Pozo Santo y Ocucaje. En la cuenca Sechura 8 muestras presentan valores económicos, entre 16.54 a 28.94% P₂O₅, sus intervalos de muestreo varían entre 0.1 a 0.7 m, principalmente están distribuidas en las zonas Sechura Oeste, Tablazo Norte y Sechura Sur.

REFERENCIAS

- Abarca, F. (2015). Las fosforitas del mioceno y su relación con el contenido económico de los fosfatos de pisco y sechura, 2014. Tesis de investigación para optar el grado académico de magíster en geología con mención recursos mineros. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, pp. 189.
- Caldas, J.; Palacios, O. & Pecho, V. (1980). Geología de los Cuadrángulos de Bayovar, Sechura, La Redonda, Punta La Negra, Lobos de Tierra, Las Salinas y Mórrope. Ingemmet, Boletín. Serie A, Carta Geológica Nacional, N° 32, pp.
- Cheney, T.M.; McClellan, G.H. & Montgomery, E.S. (1979). Sechura Phosphate deposits, their stratigraphy, origin and composition. *Economic Geology*, Vol. 74, pp. 232-259.
- Glenn, C.R. & Arthur, M.A. (1988). Petrology and major element geochemistry of Peru margin phosphorites and associated diagenetic minerals – authigenesis in modern organic-rich sediments. *Marine Geology*, Vol. 80, pp 231-267.
- León, W.; Aleman, A.; Rosell, W. & Torres, V. (2008). Estratigrafía, Sedimentología y Evolución Tectónica de la Cuenca Pisco Oriental. Ingemmet, Boletín. Serie D, Estudios Regionales, N° 27, pp. 154.