

## FOSFATOS SECUNDARIOS DESARROLLADOS SOBRE METABASITAS EN LAS ISLAS LOS MONJES Y GRAN ROQUE, VENEZUELA (Secondary phosphates developed on metabasites in Los Monjes and Gran Roque islands, Venezuela)

GRANDE Sebastián<sup>1</sup> & URBANI, Franco<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Dept. Geología. <sup>2</sup> Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, Caracas. Correo-e.: sgrande52@gmail.com

El guano depositado por colonias de aves marinas permanentes o migratorias sobre islas e islotes contiene una gran cantidad de ácido fosfórico, muy reactivo, capaz de reaccionar con los silicatos o carbonatos que conforman los macizos rocosos que las sostienen. Para este trabajo se colectaron muestras del guano depositado sobre las metabasitas presentes en la isla Los Monjes Sur del archipiélago de Los Monjes (2003) y en el Gran Roque (2005), la principal del archipiélago Los Roques. En ese último lugar el fosfato fue minado a comienzos del siglo XX para ser utilizado como fertilizante (AGUERREVERE & LÓPEZ 1938). Este es un trabajo en progreso como continuación del iniciado para las Tetras de María Guevara, isla de Margarita (GRANDE *et al.* 2013), y tiene como objetivo caracterizar petrográficamente y por difracción de rayos X (DRX) los fosfatos de las islas venezolanas, para tratar de explicar sus mecanismos de formación.

En **Los Monjes Sur** el fosfato es de color blanco (Fig. 1) y se identifica por DRX como monetita [CaHPO<sub>4</sub>], con algunas pocas muestras con cantidades menores de withlockita y vauxita.

El tipo de fosfato más conspicuo del **Gran Roque** es de color verde (Fig. 2) identificado por DRX como de la serie variscita-strengita [(Al,Fe<sup>3+</sup>)PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O], pero mayormente en el extremo de variscita, mientras que el segundo fosfato mayoritario es la withlockita [(Ca<sub>9</sub>(Mg,Fe<sup>2+</sup>)(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>PO<sub>3</sub>OH].

En **Los Monjes Sur** aflora un conjunto de metabasitas que va desde anfíbolita actinolítico-epidótica a metabasalto foliado con la misma mineralogía. La reacción del guano con los silicatos es algo improbable, se postula, debido a las peculiaridades químicas de los fosfatos, que antes de la fosfatización la roca sufrió meteorización, con formación de caliches y costras ferruginoso-arcillosas, que serían mucho más fáciles de atacar por el ácido fosfórico del guano. La fosfatización fue favorecida en las zonas previamente meteorizadas de la roca, tanto a lo largo de los planos de foliación de las rocas como en fracturas y diaclasas, originándose una compleja red de vetillas fosfáticas que cortan las rocas en distintas direcciones (Figs. 2A-D). Dentro de estas zonas fosfatadas se halla fosfato amorfo, de color marronzusco, asociado a vetillas de fosfato microcristalino a esferulítico (Figs. 2E-L). Este fosfato sustituye a los cristales de actinolita alterados y oxidados de las anfíbolitas (Fig. 2H) o forma zonas fosfatadas paralelas a la foliación de los metabasaltos (Figs. 2K,L). Dentro de estas zonas fosfatadas la monetita forma vetillas sinuosas de fosfato microcristalino a esferulítico (Figs. 2I-L). En las rocas meteorizadas expuestas al ataque directo del guano se generan zonas porosas revestidas internamente por microdrusas de fosfato (Figs. 2E-G). Es frecuente ver pequeños lentes o cristalitas de cuarzo asociados a las vetillas fosfáticas (Fig. 2I).

La isla **Gran Roque** está formada principalmente por un macizo de metagabro. El fosfato secundario fue analizado por difracción con rayos X y se pudo identificar un conjunto de fosfatos de la serie variscita-strengita, además de vauxita y apatito, asociados a cuarzo y restos de otros silicatos de la roca metabásica original. De este material fosfático se elaboraron dos secciones finas, cuya descripción petrográfica se da a continuación.

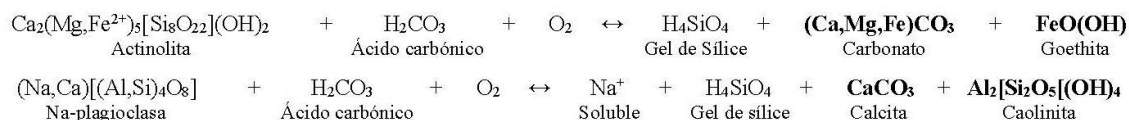
La sección LR-01 muestra un fosfato con numerosos poros abiertos, caracterizado por parches de fosfato amorfo y grandes zonas de fosfato esferulítico, cortado por vetas de cuarzo con hábito columnar, que a menudo se ramifican, envolviendo a los fosfatos esferulíticos y microcristalinos (Figs. 3A-C). Se llegan a formar esferulitas de cierto tamaño que exhiben cruces axiales bajo polarizadores cruzados (Fig. 3C). Este fosfato puede ser dahlita, pues tiene una birrefringencia baja, evidenciada por colores de interferencia que no pasan del rojo-naranja de 1<sup>er</sup> orden (Fig. 3D).

La sección LR-02 es bastante diferente a la primera, aunque también está llena de oquedades y poros. En ella el fosfato es también microcristalino y esferulítico, pero alcanza colores de interferencia azules de 2<sup>o</sup> orden, que evidencian una mayor birrefringencia (Fig. 3D). Este fosfato podría ser un miembro de la serie isomorfa strengita-variscita, formada por fosfatos hidratados de Fe<sup>3+</sup> y Al. Otro fosfato que se observa en esta muestra tiene birrefringencia baja y podría ser un fosfato de Ca, del tipo dahlita, o incluso monetita.

El clima en todas estas islas es bastante árido, pero la región donde se hallan las islas Los Monjes, aldeaña a la península de la Guajira, tiene un clima mucho más desértico que el del archipiélago de Los Roques o de la isla de Margarita. Esto podría explicar la presencia del fosfato monetita, prácticamente anhidro, en Los Monjes, y especies hidratadas en el Gran Roque. La presencia de vetillas de cuarzo, identificado petrográficamente, asociado al material fosfático se explica por la reacción de desilicificación de los silicatos, que al reaccionar con el ácido fosfórico generan ácido silícico, es decir, gel de sílice, que luego puede recrystalizar para formar cuarzo, como se muestra en

las siguientes reacciones químicas generalizadas, no balanceadas. La ausencia de fosfatos ricos en Mg o Fe, como newberryita  $[\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$  o strengita  $[\text{Fe}^{3+}\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$  en estos materiales fosfáticos, se puede explicar por un complejo proceso de meteorización química inicial, anterior a la fosfatización. La meteorización química, producida por el ácido carbónico meteórico podría poner algunos cationes y fijar el gran parte del Fe en forma de óxidos o hidróxidos, de acuerdo a sus propiedades químicas. De este modo el Ca y el Mg quedarían fijados como Mg-Fe-carbonato, el Al como un mineral de arcilla -caolinita como ejemplo genérico, pero pudiera ser otro de fórmula más compleja, y el Fe como goethita o limonita, en presencia de oxígeno del aire.

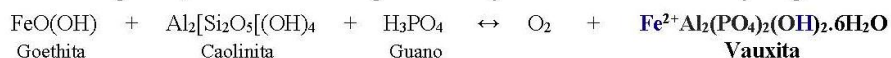
En las anfibolitas y metabasaltos de Los Monjes Sur, donde la actinolita y la albita son los silicatos más abundantes, la meteorización inicial pudo ocurrir como sigue:



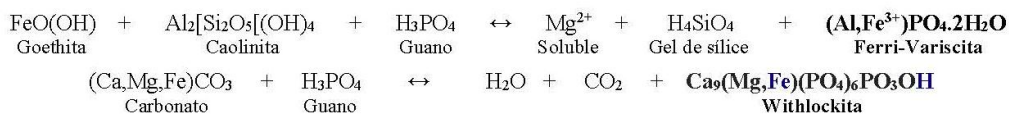
Estos productos de meteorización podrían formar en un clima tan árido como el de Los Monjes un caliche o costra carbonático-arcilloso-ferruginosa, que posteriormente reaccionaría con facilidad con el ácido fosfórico del guano para generar hidroxifosfatos cálcicos anhidros, pobres en Mg y Fe:



Sin embargo, para generar pequeñas cantidades de vauxita se requirió un ataque directo del ácido fosfórico sobre un material arcilloso-ferruginoso, en un ambiente algo reductor y con ausencia de calcio y magnesio:



En el metagabro del Gran Roque, a partir de la meteorización de un metagabro rico en anfíbol y plagioclasa también se pudo formar un caliche o costra carbonática similar, junto con goethita y caolinita, en condiciones un poco más hidratadas y oxidantes, donde se pudo generar ferri-variscita y algo de withlockita:



La formación de ferri-variscita y no de strengita  $[\text{Fe}^{3+}\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$  pudiera deberse a que parte del Fe pudo ser fijado en forma de óxido o hidróxido en la costra superficial de meteorización antes de la fosfatización de la roca. También cantidades menores de withlockita se podrían generar por la fosfatización directa de un carbonato impuro.

En las reacciones anteriores, la lixiviación del  $\text{Mg}^{2+}$ , o un exceso de Ca, inhibiría la formación de fosfatos secundarios ricos en Mg, como newberryita  $[\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ . El miembro extremo de la serie variscita-strengita, sin  $\text{Fe}^{3+}$ , es de color blanco, pero es suficiente una pequeña proporción de  $\text{Fe}^{3+}$  en solución sólida para darle tonos verdosos al mineral aluminico natural. En cualquiera de estos casos se debe generar gel de sílice, que por deshidratación según:  $\text{H}_4\text{SiO}_4 \leftrightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ , pasaría a formar el cuarzo secundario asociado a estos materiales fosfáticos, pues la roca metabásica original carece de este mineral.



Fig. 1. A) Monetita blanquecina de Los Monjes Sur sustituyendo a anfibolita meteorizada. B) Variscita verde del Gran Roque, reemplazando al metagabro meteorizado. En ambos casos el frente de fosfatización avanza a través de las diaclasas y en las zonas meteorizadas de la roca máfica.

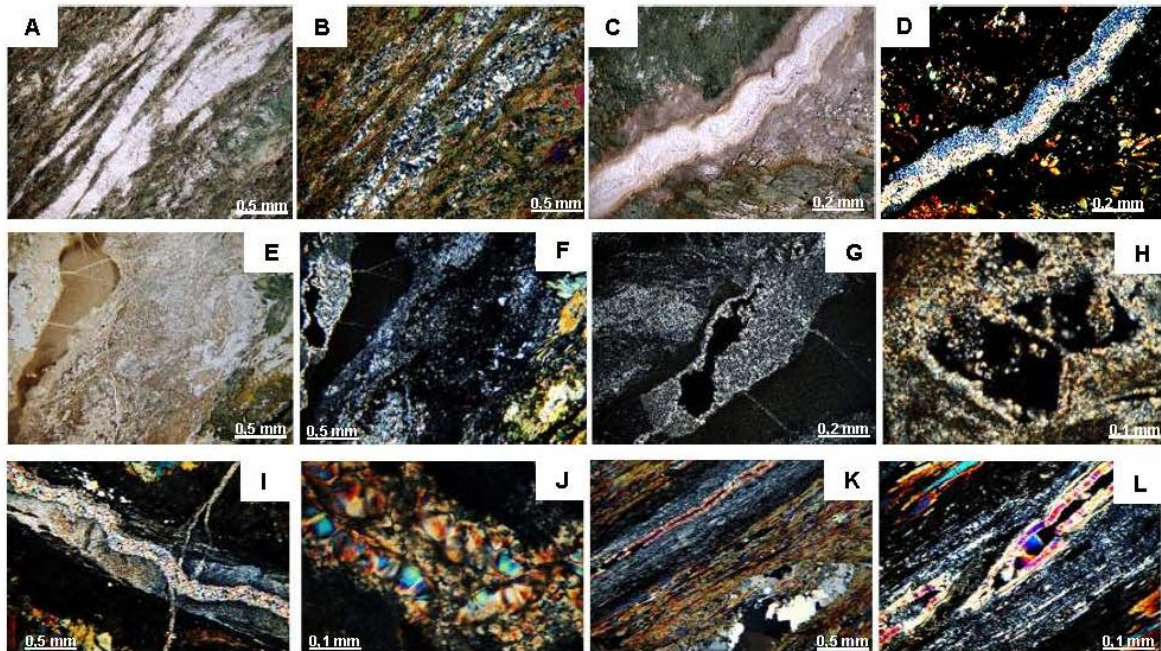


Figura 3. Fosfatos secundarios desarrollados sobre metabasitas, islas Los Monjes. M-04: (A) Sin polarizadores cruzados (SN). Vetillas ramificadas de monetita esferulítica en anfibolita. Nótese las finas bandas de óxidos de Fe presentes. (B) Misma anterior, NX. (C) SN. Detalle de una vetilla fosfática. (D) Misma anterior, NX. El fosfato amorfo es isotrópico, la parte superior de la vetilla es criptocristalina, la inferior, microcristalina a esferulítica. M-13: (E) SN. Zona fosfatada (izq.) en contacto con anfibolita (der.). (F) Misma anterior, NX. Monetita microcristalina y drusiforme. (G) Detalle de la anterior, drusa fosfática, SN. (H) NX. Cristal de actinolita meteorizado (en posición de extinción) alterando a fosfato microcristalino. M-15: (I) NX. Anfibolita con fractura rellena de fosfato amorfo, dentro de ella se ha formado una vetilla sinuosa de fosfato microcristalino. Nótese la birrefringencia moderada del fosfato monetita y el cuarzo asociado a la vetilla fosfática. (J) NX. Detalle de la anterior. Monetita esferulítica. M-18: (K) NX. Vetilla fosfática de monetita microcristalina y esferulítica (arriba) y lente de cuarzo con actinolita acicular-radiada (abajo) en metabasalto foliado. (L) Detalle de la anterior, NX. Se muestran estrangulamientos en la vetilla (pinch out) y zonas porosas drusiformes y una perfecta esferulita de monetita en el centro de la figura.

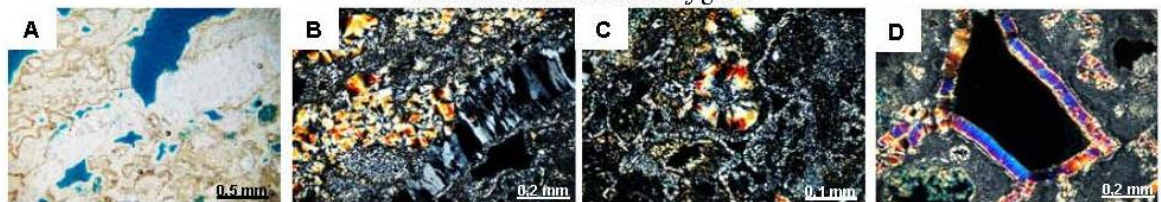


Figura 5. Fosfatos secundarios desarrollados sobre metabasitas de las isla Gran Roque. LR-1: (A) SN. Fosfato poroso, amorfo y esferulítico, cortado por una vetilla de cuarzo incoloro (los poros están teñidos de azul). (B) Detalle de la anterior, NX. Se observa el hábito esferulítico del fosfato y su birrefringencia baja con colores de 1er orden y el cuarzo columnar en la vetilla. (C) NX. Esferulita de variscita rodeado por delgadas cintas de fosfato microcristalino. LR-2: (D) NX. Poro revestido por fosfato fibroso y rosetas esferulíticas en fosfato microcristalino.

#### Referencias

- AGUERREVERE S. E. & LÓPEZ V. M. 1938. Geología de la isla Gran Roque y sus depósitos de fosfatos. *Boletín de Geología y Minas*, Caracas, 2(2-4): 151-180.
- GRANDE Sebastián, Walter MARESCH, D. MENDI, R. HURTADO, E. NAVARRO & F. URBANI. 2013. Los fosfatos de las tetas de María Guevara, isla de Margarita. *Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra*, UCV, Caracas, 45: 72-75 + 20 p. en carpeta 16 del DVD.
- URBANI F. 2005. Geología de la isla del Gran Roque, Parque Nacional Los Roques, Venezuela: Guía de excursión. *Geos* (UCV, Caracas), 37: 124 + 35 p. en CD.