

Nanopartículas de Magnetita y Oro Nativo Naturales: Identificación, Caracterización y Asociación a un Ambiente Exhalativo Hidrotermal en el Depósito Ferrífero Peña Colorada, México

Rivas-Sánchez, M. L.⁽¹⁾, Alva-Valdivia, L. M.⁽¹⁾, Arenas-Alatorre, J.⁽²⁾, Ramos-Molina M. A.⁽³⁾ y Ruiz-Sandoval M.⁽³⁾.

(1) Laboratorio de Paleomagnetismo y Geofísica Nuclear, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México (DF) 04510 México.

(2) Laboratorio Central de Microscopía, Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México

(3) Dirección General y Dirección de Tecnología, Consorcio Minero Benito Juárez, Peña Colorada, Av. del trabajo No. 1000, C. P. 28876 A. P. 69, Manzanillo, Col. México

Se descubrieron nanopartículas de magnetita y oro nativo en el yacimiento de fierro de Peña Colorada, México. Sus características mineralógicas y texturales permitieron que estos nano-minerales actúen como indicadores genéticos de los procesos sucedidos durante la formación del depósito, en un ambiente marino del tipo sedimentario exhalativo-hidrotermal (SEDEX).

La magnetita ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) es el principal mineral económico en el depósito de Peña Colorada, se presenta en dos formas texturales principales; 1) *Magnetita intergranular formando agregados con berthierina de tamaños nano-micrométrico* y 2) *Magnetita diseminada en forma de esferas de tamaño nano-micrométrico*. En ambos casos su ocurrencia textural y el tamaño de grano son factores fundamentales que influyen en el análisis por técnicas instrumentales.

La caracterización mineralógica de la mena comprendió estudios por microscopía con luz polarizada transmitida y reflejada (MO) y microscopía electrónica de barrido con análisis multielemental por rayos X (EPMA). La identificación y estudio cristalográfico de las nanopartículas de magnetita y oro nativo se realizó a través de microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM). Las nanopartículas de magnetita tienen una forma esférica y un tamaño de 2 a 14 nm (Figura 1), generalmente se integran en agregados intergranulares sostenidos e incluidos en un mineral semiamorfo-arcilloso del grupo de las cloritas, llamado berthierina: $(\text{Fe,Al})_3(\text{Si, Al})_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Las nanopartículas de oro tienen una forma esférica y miden menos de 5 nm, están incluidas en sílice amorfa asociada a la berthierina (Figura 1A y 1B).

Las nanopartículas de magnetita ocasionaron un comportamiento inusual en la respuesta obtenida por análisis térmico diferencial, análisis térmico gravimétrico (ATD-ATG) y espectroscopia Mössbauer (MS) atribuido a efectos causados por el tamaño nanométrico de la magnetita. Además presentó un comportamiento particular en sus propiedades físicas, químicas y magnéticas diferentes a la magnetita micrométrica (Figura 2A y 2B).

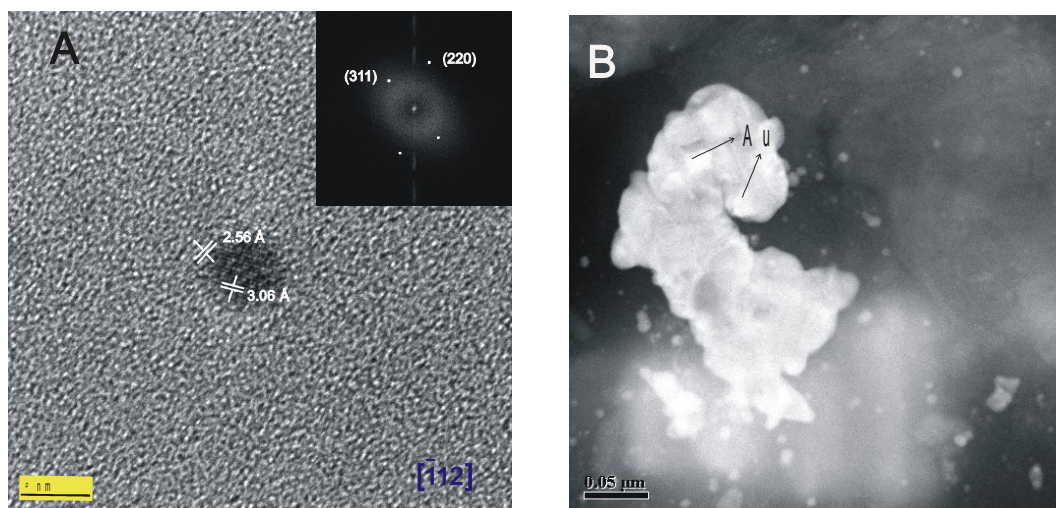


Figura 1. A) Nanopartícula de Magnetita contenida en berthierina (HRTEM). **B)** Nanopartículas de oro nativo (Au). Imagen obtenida por contraste Z.

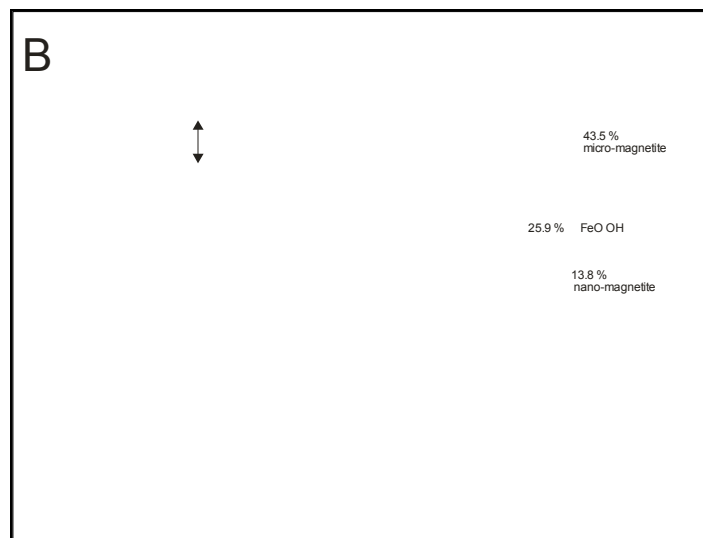
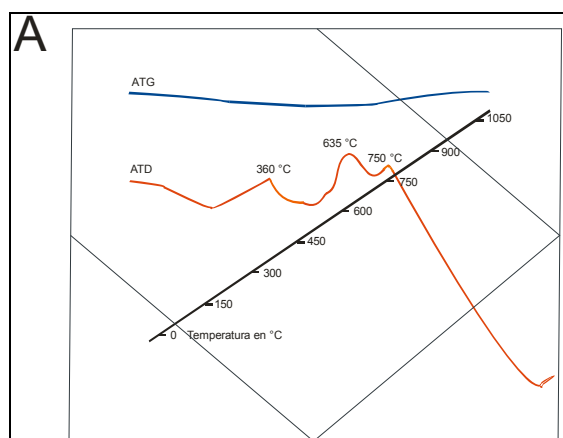


Figura 2. A) Espectros por ATD y ATG de una muestra conteniendo nanopartículas de magnetita del mineral “Amorfo” y B) Espectro Mössbauer del mineral “Amorfo” con magnetita a escala nanométrica y micrométrica.

Los resultados obtenidos permiten diferenciar en el depósito de Peña Colorada dos eventos hidrotermales principales causantes de la mineralización: 1) *Soluciones hidrotermales ricas en fierro asociadas a un ambiente sedimentario exhalativo (SEDEX)*, 2) *Hidrotermal epigenético que ocurre cuando soluciones hidrotermales ocupan espacios abiertos en la roca huésped (brecha mineralizada)*. El evento sedimentario exhalativo formado por precipitación química (exhalitas), procesos de sedimentación, compactación y diagénesis en condiciones de reducción con un $\text{pH} > 7$ y Eh bajo. Esto favoreció la formación de esferas de magnetita y oro nativo por un proceso por nucleación a expensas de soluciones hidrotermales ricas en iones de Fe y Au, aunado al aumento de la temperatura durante el proceso de diagénesis asociado a exhalitas hidrotermales.

El avance acelerado de las nanociencias y los hallazgos de nanopartículas naturales (magnetita, magnesioferrita, ilmenita y oro) constituyen una alternativa en la búsqueda de nuevos materiales nanoestructurados naturales que permitirán vislumbrar un futuro promisorio en su aprovechamiento económico.