

# El Yacimiento de San Felipe (Camagüey, Cuba): un Ejemplo de Lateritas Niquelíferas Tipo Arcilla

/ TAMARA GALLARDO (1), ALFONSO CHANG (2), ESPERANÇA TAULER (1, \*), JOAQUIN A. PROENZA (1)

(1) Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona. 08028, Barcelona (Espanya)

(2) Empresa Geomínera Camagüey, Carretera Central Este, Km 5½. Camagüey (Cuba)

## INTRODUCCIÓN.

Los depósitos lateríticos de níquel tipo arcilla, aunque albergan alrededor del 10% de las reservas mundiales de Ni en lateritas, son los menos estudiados de los tres grandes tipos de depósito laterítico de níquel. En los depósitos tipo arcilla la sílice es sólo parcialmente lixiviada del perfil de meteorización, y el níquel se acumula principalmente en esmectitas dentro del horizonte saprolítico (p.e. Gaudin et al., 2004; Freyssinet et al., 2005).

El yacimiento de San Felipe, localizado en la provincia de Camagüey en Cuba, representa un excelente ejemplo de depósitos tipo arcilla con reservas (inferidas + indicadas) superior a 200 Mt (ley de Ni ~ 1.30%). Este depósito, aunque es un *world-class*, adolece de estudios mineralógicos detallados desde el punto de vista composicional y estructural.

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de un estudio geoquímico y mineralógico, mediante FRX, DRX y SEM-EDS, de muestras representativas de todos los horizontes del perfil de meteorización del depósito San Felipe.

## GEOLOGÍA DE SAN FELIPE.

El depósito de San Felipe, situado a 30 km al norte de Camagüey, representa un potente manto de lateritas desarrolladas en el Terciario (Chang, 2005). El depósito se localiza en una meseta (denominada meseta de San Felipe). La meseta presenta una ligera inclinación desde SSE hacia el NNW con elevaciones entre 140 y 190 m sobre el nivel del mar. El depósito se desarrolla sobre peridotitas ofiolíticas del Macizo de Camagüey.

En general, estas rocas ultramáficas se encuentran muy tectonizadas.

## PERFIL LATERÍTICO DE SAN FELIPE.

El perfil laterítico tiene un espesor promedio de 20 m y de muro a techo presenta los siguientes horizontes: i) un protolito formado por harzburgitas y dunitas serpentinizadas, intruidas por cuerpos de gabros. ii) una zona saprolítica (~12 m de espesor) de color verde-gris rica en lizardita y esmectitas. iii) una zona saprolita-ferruginosa (~7 m) de color marrón verdoso con menores cantidades de esmectitas y mayores de óxidos e hidróxidos de Fe. iv) un horizonte limonítico de poco espesor (~1 m) de color amarillo-marrón y formado por óxidos e hidróxidos de Fe.

## GEOQUÍMICA.

El contenido en MgO presenta una disminución hacia la parte alta del perfil (desde 30 a 1.3 % en peso). Los cambios más importantes se observan a los 12 m (MgO ~ 5 % en la parte superior del horizonte saprolítico) y a 1m (MgO < 1 %, en la transición entre la saprolita ferruginosa y el horizonte limonítico) (Fig. 1). Los contenidos en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aumentan hacia el techo, contrariamente al comportamiento del MgO. Es remarcable que los contenidos de SiO<sub>2</sub> sólo muestran ligeras variaciones a lo largo del perfil, poniendo de manifiesto que la sílice ha sido sólo parcialmente lixiviada (Fig. 1). A lo largo del perfil los contenidos de Ni varían entre 0.25 y 2.4 % en peso, con los mayores valores entre 17 y 12 m de profundidad, en la zona saprolítica (Fig. 2). El Co se concentra predominantemente en la zona comprendida entre los 10 y 15 m (en la saprolita, Fig. 2), y está correlacionado con el Mn (R<sup>2</sup>~0.8).

## MINERALOGÍA.

En la saprolita las fases minerales mayoritarias son: esmectita, lizardita y maghemita. La proporción de esmectita

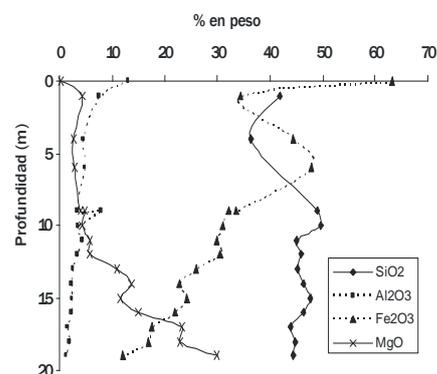


fig 1. Variación de los contenidos de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y MgO a lo largo del perfil laterítico de San Felipe.

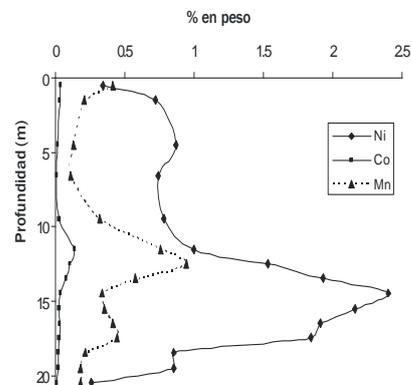


fig 2. Variación del contenido de Ni, Co y Mn a lo largo del perfil laterítico de San Felipe.

y lizardita varía progresivamente a lo largo del horizonte. En la parte superior la esmectita es la fase mayoritaria y en la inferior es la lizardita (Fig. 3c y 3d). Los resultados de los análisis SEM-EDS muestran que la esmectita corresponde a una nontronita rica en Ni. En este horizonte también se encuentran agregados botroidales criptocristalinos de cuarzo (Fig. 4). La lizardita suele estar envuelta por esmectita y los cristales idiomórficos de maghemita se encuentran rellenando fracturas (Fig. 5 y 6). El horizonte de saprolita ferruginosa se caracteriza por la presencia de una esmectita rica en Fe, junto con goethita,

**palabras clave:** Laterita, Lizardita, Nontronita, Níquel, Camagüey, Cuba

**key words:** Laterite, Lizardite, Nontronite, Nickel, Camagüey, Cuba.

cuarzo y en menor proporción hematites (Fig. 3b). Finalmente, el horizonte limonítico se compone mayoritariamente de goethita y hematites, cuarzo y en mucha menor proporción lizardita (Fig. 3a).

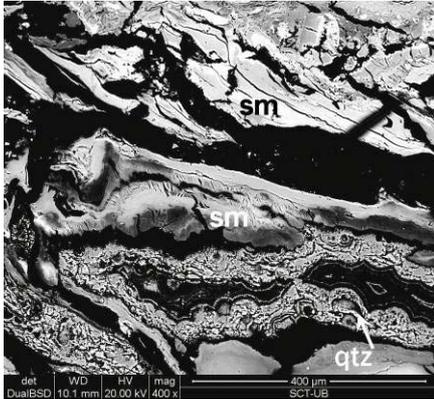


fig. 4. Imagen de electrones retrodispersados de agregado botroidal criptocristalino de cuarzo con esmectita.

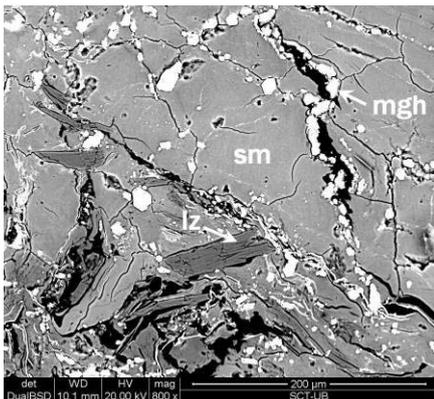


fig. 5. Imagen de electrones retrodispersados de agregados criptocristalinos de esmectita con lizardita y maghemita.

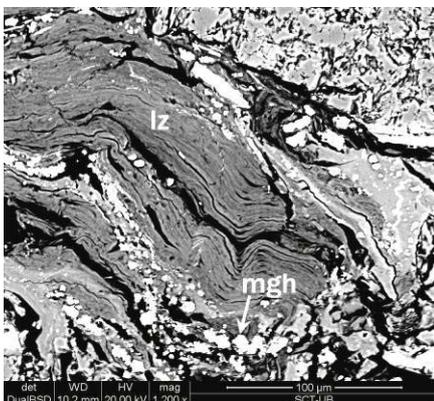


fig. 6. Imagen de electrones retrodispersados de lizardita y cristales idiomórficos de maghemita.

#### CONSIDERACIONES FINALES.

El depósito San Felipe, con un gran desarrollo de una zona esmectítica en el

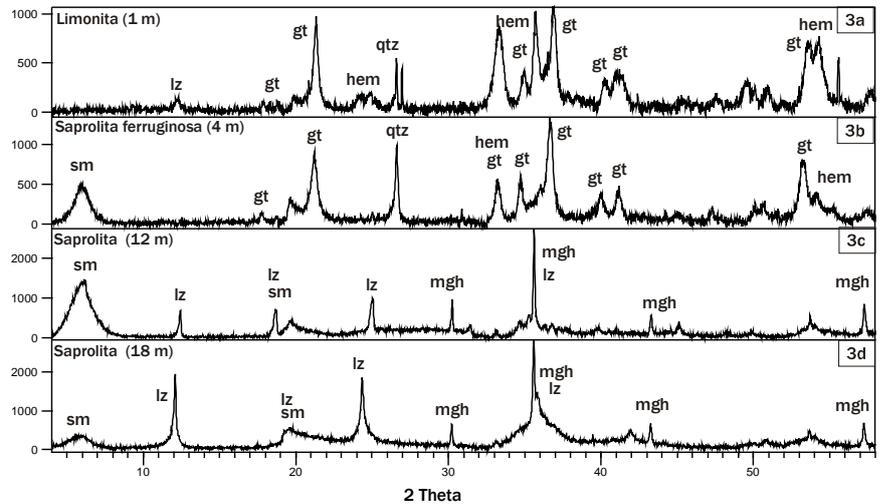


fig. 3. DRX de muestras representativas de los horizontes limonítico (3a), sapolítico ferruginoso (3b), y sapolítico (a 12 m, (3c) y a 18 m, (3d)) del perfil laterítico de San Felipe.

horizonte sapolítico, es uno de los mayores depósitos lateríticos de Ni tipo arcilla a escala mundial. Además, representa el único ejemplo de este tipo de depósito en el Caribe, donde existe un predominio de los tipos óxido (Cuba oriental) y silicato hidratado (República Dominicana) (Lewis et al., 2006).

Al igual que en muchos otros depósitos tipo arcilla, el horizonte superior limonítico presenta contenidos bajos de Ni (p.e. Murrin Murrin y Bulong en la parte occidental de Australia; Freyssinet et al., 2005; Gaudin et al., 2005). Asimismo, los contenidos de SiO<sub>2</sub> permanecen casi constantes a lo largo del perfil de meteorización, una parte de la sílice liberada de los silicatos primarios queda fijada en minerales del grupo de la arcilla y la otra como sílice libre.

Los mayores contenidos de Ni (hasta 2.4 %) se encuentran en la zona sapolítica intermedia y superior, y la mena principal es la nontronita. La formación de esmectitas sugiere cantidades importantes de Ca, Na y Al en la roca madre, esto podría estar relacionado con la presencia de harzburgitas con clinopiroxenos y de cuerpos de gabros que intruyen a las peridotitas.

La distribución de los contenidos de Ni y Co es diferente a lo largo del perfil (Fig. 2). Los mayores contenidos de cobalto se encuentran en la parte superior de la zona sapolítica y son extremadamente altos (hasta 0.13 %) si los comparamos con otros depósitos tipo arcilla. Por ejemplo, en Murrin

Murrin los contenidos más altos de Co se encuentran en la sapolita ferruginosa, donde llegan alcanzar valores de 0.06% (Freyssinet et al., 2005).

#### AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto CGL2009-10924.

#### BIBLIOGRAFIA.

- Chang, A. (2005): Características geológico-geoquímicas y mineralógicas del yacimiento de lateritas níquelíferas San Felipe, Camagüey, Cuba. In: Convención cubana de ciencias de la tierra (1) (geociencias 2005). Congreso de Minería (1). Palacio de las Convenciones, Ciudad de la Habana, Cuba, 5-8 abril. (Memorias) 1, pp.: 587-601.
- Freyssinet, Ph., Butt, C.R.M., Morris, R.C. (2005): Ore-forming processes related to lateritic weathering. *Economic Geology* 100th Anniversary Volume, 681-722.
- Gaudin, A., Grauby, O., Noack, Y., Decarreau, A., Petit, S. (2004): Accurate crystal chemistry of ferric smectites from the lateritic nickel ore of Murrin Murrin (Western Australia). I. XRD and multi-scale chemical approach. *Clay Minerals*, 39, 301-315.
- Gaudin, A., Decarreau, A., Noack, Y., Grauby, O., (2005): Clay Mineralogy of the nickel laterite ore developed from serpentinised peridotites at Murrin Murrin, Western Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 52, 231-241.
- Lewis, J.F., Draper, G., Proenza, J.A., Espaillet, J., Jimenez, J. (2006): Ophiolite-Related Ultramafic Rocks (Serpentinities) in the Caribbean Region: A Review of their Occurrence, Composition, Origin, Emplacement and Nickel Laterite Soils. *Geologica Acta*, 4, 237-263.