

**ALGUNAS GUÍAS PARA LA EXPLORACION DE DEPOSITOS DE
LATERITAS NIQUELIFERAS**

Ananda K. Chakrabarti*

RESUMEN

Las lateritas níquelíferas se forman por meteorización normal de rocas ultramáficas en dos tipos distintos de ambientes geológicos: aquellas formadas sobre rocas ultramáficas emplazadas mecánicamente y aquellas formadas encima de rocas ultramáficas que se intruyeron como fundidos.

Desde el punto de vista físico-químico se distinguen tres zonas dentro del perfil vertical así: (a) zona de limonita lixiviada, que se encuentra muy cerca de la superficie, (b) zona de oxidación y (c) zona de saprolito.

Sedimentos activos y suelos residuales pueden ser usados ventajosamente en métodos de exploración geoquímica. Entre los métodos geofísicos son muy usados los métodos aero-magnéticos, de magnetometría terrestre y de resistividad eléctrica. El método sísmico se emplea en la determinación de la profundidad de la roca inalterada. Registros de actividad nuclear y sensores remotos son también ampliamente utilizados.

El color del suelo, la vegetación y la ocurrencia de concreciones se usan como principales guías de exploración en depósitos de lateritas níquelíferas.

ABSTRACT

Lateritic nickel deposits, formed by normal weathering of the ultramafic rocks, can be divided into two distinct geological environments: those formed over the ultramafics by mechanical emplacement and those formed on top of the ultramafic rocks, which they intrude as melts.

From the physico-chemical point of view three zones be distinguished within the vertical profiles: (a) leached limonite zone, encountered very close to the surface, (b) oxidation zone and (c) saprolite zone.

In geochemical exploration, stream sediments and residual soils can be successfully employed. Among the geophysical methods, the aero-mag-

* Ingeominas, Apartado Aéreo 4653- Medellín, Departamento de Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional - Medellín.

netics ground magnetometry and electrical resistivity are most commonly used. The seismic method is used in determining the depth of the unaltered rock. nuclear logging and remote sensing are also widely utilized.

Soil colour, vegetation and concretions are used as principal guides in the exploration of the lateritic nickel deposits.

I.- INTRODUCCION

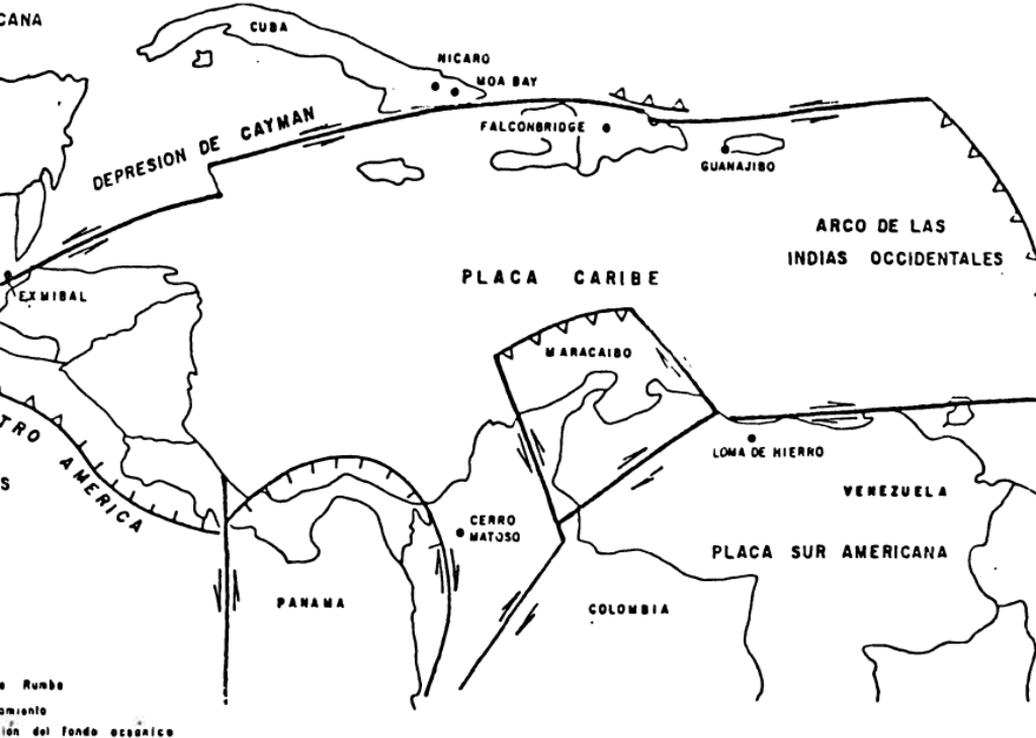
La mayoría de los depósitos de níquel en el mundo, y de hecho las reservas, corresponden a lateritas níquelíferas. Estas se forman por meteorización de rocas ultramáficas y se localizan principalmente en climas tropicales o subtropicales de alta precipitación. En casos raros, se hallan también depósitos de este tipo en zonas templadas. La distribución geográfica mundial de las lateritas níquelíferas es muy amplia. Existen depósitos en Africa, Albania, Australia, Brasil, Colombia, Cuba, Estados Unidos, Grecia, Guatemala, India, Indonesia, Nueva Caledonia, Filipinas, Puerto Rico, República Dominicana, URSS, Venezuela y Yugoslavia. Algunos de los mayores proyectos de depósitos lateríticos de níquel desarrollados son: (1) Greenvale, Australia; (2) Rio Tuba, Filipinas; (3) Exmibal, Guatemala y (4) Sualwesi, Indonesia.

En los últimos años el retardo en el desarrollo de muchos de los depósitos conocidos se ha debido en gran parte, a la disminución de la demanda y a la superproducción, el incremento en las inversiones de los proyectos y suministros energéticos inadecuados e incrementos en el costo de los mismos. Sin embargo, se anticipa que con una demanda de níquel más alta en el futuro, el incremento de precio será suficientemente alto para justificar grandes inversiones e iniciar operaciones en otros depósitos de lateritas níquelíferas en el mundo.

II.- GEOLOGIA

La meteorización de rocas ultramáficas tales como peridotitas, dunitas y serpentinitas produce lateritas níquelíferas. Algunas de estas rocas ultramáficas se presentan como cinturones ofiolíticos continuos. Lateritas níquelíferas formadas sobre tales rocas parentales se encuentran en el borde norte de la placa del Caribe, adyacentes a la depresión de Caymán y la fosa de Puerto Rico, con depósitos tan famosos como Exmibal y Buena Vista en Guatemala, Moa Bay y Nicaro en Cuba, Falconbride en República Dominicana y Guanajibo en Puerto Rico. En el lado meridional de la placa del Caribe se encuentran los depósitos de Loma de Hierro en Venezuela y Cerro Matoso en Colombia (Figura 1).

Las rocas parentales están casi invariablemente milonitizadas por efectos de tectónica regional y local y su emplazamiento mecánico se evi-



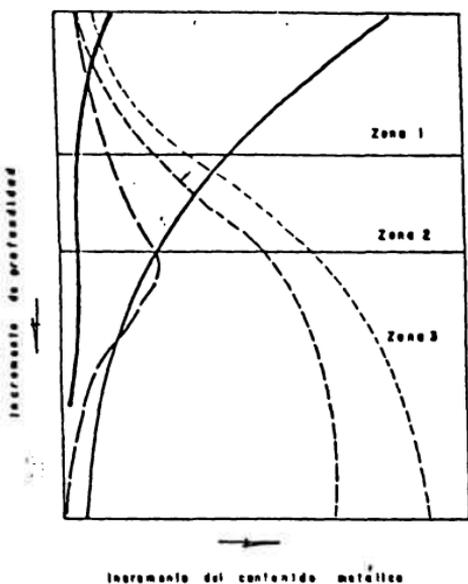
Los depósitos de lateritas níquelíferas relacionadas a la tectónica de placas en el Caribe
 (de Bowin, 1976)

dencia por la presencia de contactos estructurales. Las lateritas formadas sobre estas rocas ultramáficas altamente fracturadas exhiben contactos muy irregulares tanto en los niveles superiores como en los inferiores. El alto grado de fracturamiento da a la roca mucha permeabilidad, facilitando la penetración en profundidad de soluciones laterizantes que promueven la lixiviación y el enriquecimiento secundario de níquel. Muchos de los depósitos son geológicamente jóvenes. Por lo tanto, depósitos considerables pueden formarse en períodos de tiempo relativamente cortos.

Una génesis diferente puede atribuírse la formación de lateritas níquelíferas a partir de intrusiones ultramáficas en masas continentales inyectadas como fundidos, que son posteriormente laterizadas y enriquecidas en níquel. Sulfuros de cobre y níquel se concentran en acumulaciones de líquidos inmiscibles en depósitos de sulfuros y están comúnmente asociados a este tipo de intrusiones. Casi nunca, la fracturación o la trituración acompañan el emplazamiento de estas rocas. Por ejemplo, en los depósitos cretáceos de Santa Fé, Brasil, un pequeño stock de dunita intruye los neises graníticos y está bordeado por peridotita, piroxenita, gabro y diorita, indicando que estas rocas se formaron por asimilación parcial del neis. Las lateritas y zonas enriquecidas en níquel en estas rocas son uniformes y los contactos entre los depósitos lateríticos y los cuerpos ultramáficos infrayacentes son generalmente regulares. Como en el ejemplo anterior las intrusiones están expuestas a la meteorización durante un período muy largo de tiempo, gruesas capas de rocas laterizadas se encuentran frecuentemente sobre los depósitos de níquel. Estos depósitos se caracterizan por la uniformidad en su concentración y composición, así como por sus espesores considerables.

La formación de lateritas níquelíferas se debe principalmente a la existencia de concentraciones de níquel en rocas ultramáficas (0.2 a 0.3% de Ni).

El contacto con aguas meteóricas descendentes, lixivia el níquel, produciéndose más tarde su reprecipitación en la zona de enriquecimiento, cuyo contenido comúnmente es 10 ó 20 veces más alto que el original. Mientras magnesio y sílice son también lixivados y llevados a niveles inferiores, gran parte del hierro permanece como acumulación residual en la parte posterior. Debido a la lixiviación y re-precipitación se forman tres zonas distintas: (a) zona lixiviada o de limonitización (b) zona de óxidos de hierro o de transición y (c) zona saprolítica o de garnierita (Figura 2). El espesor máximo de cada zona puede alcanzar hasta 30 m. Usualmente cada una de ellas puede ser extremadamente delgada y a veces alguna puede estar ausente. La asociación cobre, cobalto y cromo es común a estas zonas.



LEYENDA

Zone 1	-- Zona de hematización	$Fe_2O_3 > 35 \%$
Zone 2	-- Zona de transición	$Fe_2O_3 = 22 \%$
Zone 3	-- Zona de garnierita	$Fe_2O_3 < 22 \%$

---	Ni = < .2 a ~3 %
— — — — —	Co = 0.6 a .05 %
.....	MgO = < 1 a > 30 %
- . - . - .	SiO ₂ = < 2 a > 40 %
—————	Fe = 40 a 60 %

. Fig. 2 -- Composición química de las zonas lateríticas niquelíferas

La zona lixiviada normalmente no contiene enriquecimiento alguno de níquel y está compuesta fundamentalmente de acumulaciones residuales de hierro y óxidos de aluminio (ganga). Óxidos de hierro granular dan a la zona una coloración entre café oscuro y roja. La zona infrayacente de óxidos de hierro es químicamente similar a la zona de lixiviación. La concentración de níquel llega a ser significativamente importante en profundidad donde hay decrecimiento en el contenido de óxidos de hierro e incremento de óxidos de magnesio.

La textura original de la roca no se ve en esta zona pues ha sido parcialmente destruída. El color de la zona varía de rojo a café. El saprolito o zona de garnierita, normalmente contiene la más alta concentración de níquel, con un contenido promedio que excede el 2% de Ni. Químicamente la zona se caracteriza por humedad alta (50% por peso), alto contenido de óxido de magnesio y baja proporción de óxidos de hierro (normalmente 20%). Dentro de ella se pueden hallar bloques redondeados de rocas ultramáficas muy alterados.

El color varía de amarillo parduzo a gris verdoso, siendo este último debido a la concentración de garnierita.

III.- METODOS DE EXPLORACION

A.- GEOQUIMICO.

La exploración geoquímica de depósitos lateríticos de níquel es muy ventajosa debido a que la meteorización residual asociada a la formación de estos depósitos, libera y concentra un número importante de elementos trazas. En particular, níquel y cromo y en menor grado cobalto y cobre pueden usarse como minerales indicadores favorables, en vista de su concentración anómala en los suelos residuales cercanos a la superficie.

El cromo aparece como cromita y como sustituto iónico en clorita. El cobalto estaría asociado con minerales de magnesio o sería sustituido en la estructura reticular de la motmorillonita, goethita y serpentinita.

El cobre se presenta como calcopirita en las rocas frescas y podría estar asociado parcialmente con materia orgánica.

Métodos de muestreo de sedimentos activos (Coope, 1958), y también de suelos residuales (Yardley, 1958), son usados en la búsqueda de la teritas níquelíferas.

Métodos bioquímicos (Miller, 1959), son también adecuados en algunos lugares, tal como se ha visto en Nueva Zelanda, donde se ha encontrado

0,5% Ni y 0,2% Cr en las cenizas de las plantas que crecen encima de los suelos ricos en níquel (Boldt, 1967), Cannon (1960), concluyó que el notable cambio de morfología en las plantas era ocasionado por la toxicidad del níquel, apareciendo con el tiempo zonas muertas en las hojas, las que se presentan como manchas y flores estériles sin pétalos. La movilidad del níquel es moderadamente alta, aunque está parcialmente limitada por la co-precipitación con limonita, por lo cual es ideal para el muestreo de sedimentos activos. El muestreo de aguas naturales parece ser también un método útil.

Cumberlidge y Chace (1968), demostraron que las muestras en aguas subterráneas en los depósitos de Riddle, Oregón, tienen un mayor contenido de níquel que el agua natural.

B. - GEOFISICO

Los cuerpos ultramáficos que infrayacen a los depósitos de lateritas níquelíferas contienen más magnetita y/o pirrotina que las rocas circundantes. Por eso los métodos magnéticos son usados con éxito para delimitar áreas favorables, mientras que el método aero-magnético se utiliza en grandes áreas cubiertas. Trabajos más detallados se ejecutan usando métodos de magnetometría terrestre.

La resistividad decrece de la zona de limonita hacia la zona de garnierita y luego se incrementa en la roca madre inalterada. En la zona garnierítica se presenta alta conductividad a causa de la concentración de arcilla. La resistividad eléctrica tiene así mucha utilidad en exploración debido a la relación indirecta entre el contenido de níquel y la conductividad.

También los métodos superficiales de resistividad son usados conjuntamente con los registros de resistividad de los pozos y pueden ayudar a delimitar la profundidad y el espesor de los horizontes de lateritas níquelíferas.

Los métodos sísmicos se pueden emplear para determinar el contraste de velocidad entre la zona laterítica y la roca ultramáfica inalterada. Técnicas de refracción poco profunda y reflexión se usan para determinar la profundidad de la roca, y se han aplicado en los depósitos lateríticos de níquel del norte de California.

Métodos de registros de activación nuclear (Nargolwalla & Seigel, 1975) se usan en análisis "in situ" para establecer la distribución del níquel a través del depósito; en otras palabras para conocer el tenor promedio.

Finalmente, métodos de sensores remotos se usan para delimitar áreas favorables para exploración, debido a que los depósitos de lateritas ní-

quelíferas muestran colores distintivos, tipos particulares de vegetación y geoformas características.

Estos caracteres son deducidos por el análisis de los datos de bandas espectrales recibidos de satélites.

Las imágenes de radar se usan para definir ambientes favorables para cinturones de rocas ultramáficas. Mediante imágenes 'side-looking' de radar se detectan importantes rasgos geomorfológicos de los depósitos de lateritas niquelíferas.

IV. - GUIAS DE EXPLORACION

A. - COLOR DEL SUELO

El color de la zona lixiviada se usa como la guía de mayor utilidad en la localización de yacimientos de lateritas niquelíferas. Como consecuencia de la concentración residual de óxidos de hierro esta zona muestra comúnmente una coloración entre marrón y roja. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que otras rocas ricas en hierro con el mismo color, pero sin concentraciones de níquel pueden ser también laterizadas.

B. - NODULOS EN LA SUPERFICIE DEL SUELO

Concentraciones de óxidos de hierro, como concreciones o nódulos son de común ocurrencia cerca a la superficie de la zona lixiviada. Los nódulos son duros y resistentes a la meteorización y se encuentran encima de los depósitos lateríticos. La presencia de nódulos en suelos rojos, es un buen indicador de meteorización profunda, la cual originaría importantes zonas de enriquecimiento de níquel en profundidad.

C. - VEGETACION

Los suelos residuales situados sobre los depósitos lateríticos de níquel carecen de los minerales y nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Subsecuentemente, muchos de los depósitos soportan tan solo hierbas y árboles atrofiados. A causa de las diferencias en las condiciones climáticas y en la naturaleza de la flora local, se han establecido tipos de guías de acuerdo a las particularidades del área. Por ejemplo, mientras en los depósitos del área de Moa Bay, Cuba, crecen normalmente pinos, en los depósitos Exmibal Guatemala, los suelos lateríticos soportan árboles de madera dura de bosques lluviosos (Boldt, 1967). En Cerro Matoso existe un árbol llamado tananeo, con núcleo molido que solo crece sobre lateritas niquelíferas (Alvarez, E. comunicación oral). Cambios en la vegetación se pueden observar en la fotografías aéreas.

D.- OTROS

- (a) Presencia de rocas ofiolíticas
- (b) Fracturamiento y trituración de las rocas
- (c) Presencia de Clara Zuluaga M. Igualmente doy mis agradecimientos al Profesor Franklin Ortiz y al Doctor Bernardo Calle por sus varias sugerencias.
- (d) Meteorización laterítica en zonas de alta precipitación.

AGRADECIMIENTOS

Estoy profundamente agradecido con el Doctor Eduardo Alvarez por la revisión del contenido y colaboración en la redacción para mejorar este artículo. Este trabajo nunca se había llevado a cabo sin la invaluable ayuda de Clara Zuluaga M. Igualmente doy mis agradecimientos al Profesor Franklin Ortiz y al Doctor Bernardo Calle por sus varias sugerencias.

Este artículo se publica con la autorización del Director del INGEOMINAS.

REFERENCIAS

- BOLOT, J. R., Jr., 1967, The Winning of Nickel: Pub. by D. Van Nostrand Co. Inc. Princeton, New Jersey, USA.
- BOWIN, C., 1976, Caribbean gravity field and plate tectonics: Geol. Soc. Amer., Special Paper No. 169, 79 p.
- CANNON, H. L., 1960, Botanical prospecting for ore deposits: Science, v. 132, No. 3427, p. 591 - 598.
- COOPE, J. A., 1958, Studies in geochemical prospecting for nickel in Bechuanaland and Tanganyika: D. I. C. Thesis, Imperial College, London, England.
- CUMBERLIDGE, J. T. and CHACE, F. M., 1968, Geology of the Nickel Mountain Mine, Riddle, Oregon: in ore deposits of the United States (1933-1967), Ed. J. D. Ridge, p. 1650-1672.
- MILLER, C. P., 1959, Geochemical and biogeochemical prospecting for nickel: Ph. D. Thesis, Stanford University, California.
- NARGOLWALLA, S.S. and SEIGEL, H.O., 1975, Nuclear logging system obtains bulk samples from small bore holes: Engineering & Mining Journal, v. 176, p. 101-103.
- YARDELY, D.H., 1958, Significance of geochemical distribution trend in soil: Mining Engineering, v. 10, p. 781-786.

