

**METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y LA CARACTERIZACIÓN CRISTALOQUÍMICA DE LAS FASES MINERALÓGICAS DE NÍQUEL PRESENTES EN LAS CORTEZAS DE INTEMPERISMO SAPROLÍTICAS.**

**ENTIDAD EJECUTORA PRINCIPAL:** Empresa Geominera Camagüey

**AUTOR PRINCIPAL:** Dr. C. Alfonso Chang Rodríguez.

**OTROS AUTORES:** Dr. C. Waldo Lavaut Copa y Dr. C. Arturo Rojas Purón.

**COLABORADORES:** Dr. C. Joaquín Antonio Proenza Fernández, Dra. C. Esperanza Tauler, Dr. C. Carlos Leyva Rodríguez, Dr. C. Jorge Luis Cobiella Reguera, Dr. C. Enrique Castellanos Avella.

**AUTOR PARA LA CORRESPONDENCIA:**

Alfonso Chang Rodríguez

Empresa Geominera Camagüey. Carretera Central Este km 5 ½, Camagüey. CP 70600

Tel: (32) 271202, móvil: 53526941,

e-mail: [alfonsochr@geocmg.minem.cu](mailto:alfonsochr@geocmg.minem.cu); [alfonso.chang@reduc.edu.cu](mailto:alfonso.chang@reduc.edu.cu).

**COMUNICACIÓN CORTA DEL RESULTADO**

Las investigaciones relacionadas con la producción de níquel, constituyen un aspecto permanente en el análisis tanto del desarrollo científico como económico del país, donde el níquel está enmarcado dentro de las líneas de desarrollo priorizado para la generación de divisas. Es interés del Estado cubano, a través del Grupo Empresarial Cubaníquel, producir níquel desde las saprolitas del yacimiento San Felipe en una futura planta de procesamiento que se construiría en las cercanías de la mina. De modo que el tema del trabajo se enmarca dentro de una de las direcciones de investigación con gran vigencia en la actualidad.

En este trabajo se expone todo lo relativo al procesamiento algorítmico y análisis de la información. Se justifica el empleo de cada procedimiento en relación con los objetivos a los cuales darán satisfacción.

El objetivo de esta investigación científica es hacer una descripción detallada de la estrategia empleada durante la selección, documentación y muestreo de los perfiles de meteorización de la región central de Cuba. Se expone la metodología para los trabajos de laboratorios, los métodos y materiales para el procesamiento de los resultados e información recopilada.

Para dar respuesta a los objetivos propuestos en esta investigación, se aplicó un complejo de métodos geológicos, mineralógicos y geoquímicos, los cuales difieren sustancialmente de aquellos que se emplean actualmente en el mundo y en la región oriental del país, durante los trabajos de investigación de cortezas de intemperismo níquelíferas.

Desde el punto de vista mineralógico se estudiaron las principales fases minerales portadoras de níquel en las zonas saprolíticas de la corteza de intemperismo, examinándose las principales características físicas, químicas y mineralógicas de sus perfiles, así como la distribución del níquel según las distintas fracciones granulométricas.

Fueron estudiados varios frentes de exploración del yacimiento (tajo minero, pozo criollo), además de dos perfiles completos de alteración representativos de todos los sectores, los cuales poseen diferentes grado de alteración intempérica. Las muestras se sometieron a análisis químico y mineralógico mediante técnicas instrumentales de investigación.

El presente trabajo se concentró en el estudio de las características cristalóquímicas y de las fases minerales portadoras de níquel en el material de la zona de saprolitas por constituir estas la capa menífera.

Constituye la principal novedad científica la presentación por primera vez en Cuba de una metodología de carácter geoquímico que comprende las zonas saprolíticas contenedoras de níquel en un yacimiento fuera de las regiones de Nicaro y Moa. El establecimiento de las fases minerales portadoras de níquel en zonas arcillosa silicatadas que entrañan una elevada complejidad composicional, tanto química como estructural.

Los resultados obtenidos permitieron el esclarecimiento de la migración geoquímica y la determinación de las fases minerales portadoras de níquel, por cuanto el conocimiento de la forma en que se presenta este metal en estos yacimientos repercute en el momento de analizar cualquier problemática de la industria o en la mina.

El conocimiento de la forma en que se presenta el níquel en las condiciones naturales determina la posibilidad de realizar trabajos geológicos más efectivos, pues las condiciones que propician su acumulación o dispersión deben ser conocidas para lograr un minado más racional. Además, en estos tipos de depósitos exógenos el níquel está contenido en los productos finales del proceso de intemperismo: las lateritas, donde no existe una forma mineralógica propia de este metal por lo que resulta más imperiosa la tarea de establecer las formas físicas que portan este valioso elemento.

Relacionado con las formas de existencia del níquel en los minerales arcillosos, está la estrategia a seguir en la industria para lograr su recuperación. Resultan importantes tanto las características físicas que posee el material portador de níquel como la forma cristalóquímica de presentarse las fases minerales útiles de este metal, que va desde la granulometría de concentración de los metales asociados con el níquel hasta el grado de retención del níquel en la red cristalina de los principales minerales portadores, sin dejar de tener en cuenta las transformaciones que sufren los minerales iniciales al someterse a las nuevas condiciones físico-químicas que imperan durante el proceso metalúrgico.

Se consideran como aportes prácticos para el yacimiento San Felipe, los siguientes:

- Identificación y caracterización de las fases minerales portadoras de níquel.

- Memoria escrita de los resultados, fuente de consulta y referencia para los interesados en la problemática.
- Las conclusiones como consecuencia lógica de los resultados y las recomendaciones que orientan la puesta en práctica de la metodología.

Con anterioridad no se ha confeccionado para este yacimiento una metodología de carácter geoquímico ni mineralógico como requiere el futuro desarrollo de San Felipe. Además, los perfiles de la corteza de intemperismo en la meseta camagüeyana presentan peculiaridades que lo diferencian de la región oriental de Cuba, por lo que el presente tema es actual y novedoso.

La aplicabilidad de la investigación está dirigida hacia la exploración, extracción y procesamiento de minerales arcillosos presentes en las zonas saprolíticas de perfiles de intemperismo níquelíferos. El conocimiento de los portadores de níquel permite diseñar un esquema más racional para el minado y preparación de muestras, aumentando la eficiencia industrial y aporta datos de las propiedades físicas de las saprolitas, utilizables para el análisis de procesos como la sedimentación.

El Grupo Empresarial Geólogo-Minero-Salinero (Geominsal) realiza la validación de los resultados a través de sus Empresas Geomineras del país y del CIPIMM, que evaluaron estos resultados obtenidos. La validación de los resultados se realiza con el objetivo de controlar que la metodología para la caracterización geoquímica y mineralógica se aplique y funcionen correctamente. La validación de los resultados es inspeccionada por la ONRM, IGP, centros de Educación Superior (UTH, ISMMM, UPR, UC).

Para la validación de los resultados, se analizaron y compararon los resultados obtenidos de la caracterización de otros yacimientos de lateritas níquelíferas (Camariocas, Punta Gorda, Moa, Yagrumaje, entre otros).

Este resultado tiene visibilidad en el lineamiento No. 224 de la Política Económica y Social del PCC.

El trabajo se aplica desde el 2008 y está sustentado en 3 tesis doctorales, 4 de maestría, 2 de diploma y 12 artículos publicados en revistas indexadas en el grupo Scopus. Se prepara una monografía. Se cuenta con 13 avales de instituciones prestigiosas, tales como Caribbean Nickel SA (CCN), MoaNickel SA, Ceproníquel y el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), entre otras que ya se mencionaron anteriormente.

## **IMPACTOS PRODUCIDOS POR LA INVESTIGACIÓN**

Impacto medioambiental: Incidencia en la disminución del impacto ambiental de la minería. Pronóstico de desastres naturales asociados a fenómenos geológicos. Protección del patrimonio geológico del país.

Impactos económicos: Nuestro país posee una de las reservas de níquel más grande del mundo en yacimientos de minerales lateríticos - saprolíticos, con un estimado productivo de 40 000 toneladas/año de níquel, situándolo entre los primeros cuatro países a nivel mundial. San Felipe es uno de los yacimientos de níquel saprolítico más grandes a escala internacional con cerca de 300 millones de toneladas de recursos. A partir de una producción estimada de 30 000 t de níquel metálico anuales a los precios actuales (15 000 \$t), se obtendrían ventas

por exportaciones de alrededor de 450 millones de \$ al año por un período de más de 100 años de explotación como vida útil del yacimiento.

Impacto social: Existencia de un conjunto de procedimientos metodológicos para el estudio de las fases minerales y de la migración de los elementos químicos.

Además de lo anterior y por la propia necesidad de utilizar avanzadas tecnologías en la implementación de estos métodos y técnicas, se plantea como necesario, la elevación del nivel científico-técnico del capital humano.

Desde el punto de vista cognoscitivo, la investigación forma parte del continuo ascenso del conocimiento, en el que se han incorporado avances científico-técnicos desarrollados a nivel mundial en esta temática, encaminados a la orientación del procesamiento tecnológico de las menas arcillosas, para la obtención de mayores rendimientos del metal.

Impacto científico: La novedad científica está dada en la metodología para la caracterización geoquímica y mineralógica de la corteza de meteorización del yacimiento San Felipe, sobre la base de un enfoque geocientífico, con la combinación de técnicas modernas de avanzada, software y cuyos resultados encierran una significación en la geología, minería y metalurgia.

Impacto metodológico: modelo teórico – metodológico de la caracterización geoquímica y mineralógica de la corteza niquelífera San Felipe. El modelo (conceptos, propiedades, definiciones y clasificaciones), sustentado en las regularidades que son establecidas, supera y enriquece los criterios precedentes y establece una propuesta teórica más armónica e integradora acompañada de una metodología que permite su instrumentación práctica.

#### **REFERENCIAS DE LOS PRINCIPALES ARTÍCULOS PUBLICADOS:**

Chang, A.: “Caracterización geólogo-geoquímica y mineralógica del yacimiento de lateritas niquelíferas San Felipe. Determinación de la red óptima de exploración”. Memorias en CD ROM, ISBN 978-959-7117-03-7, Geociencias (I), pp. 1-13. La Habana, 5-8 de Abril, 2005.

Chang, A.: “Principales fases minerales portadoras de níquel presentes en las menas silicatadas del yacimiento de lateritas San Felipe, Camagüey, Cuba”. Memorias en CD ROM, ISBN 978-959-7117-19-3, Geociencias (III), pp. 59-68. La Habana, 16-20 de Marzo, 2009.

Chang, A.: “Resultados geoquímicos que caracterizan al perfil de alteración saprolítico del yacimiento de níquel San Felipe, Camagüey, Cuba”. Memorias en CD ROM, ISBN 978-959-7117-30-8, Geociencias (IV), pp. 1-11. La Habana, 4-8 de Abril, 2011.

Chang, A.: “Esmeclitas nontroníticas portadoras de la mineralización niquelífera del yacimiento laterítico-saprolítico San Felipe”. Memorias en CD ROM, ISSN 2307-499X, Geociencias (V), pp. 1-10. La Habana, 1-5 de Abril, 2013 a.

Chang, A.: “Nuevos resultados químicos que caracterizan al perfil de alteración saprolítico del yacimiento de níquel San Felipe, Camagüey, Cuba”. Revista científica cubana de geociencias, No. 1, octubre, pp. 39-50. ISSN 2310 – 0060, 2013 b.

Chang, A.: “Identificación y caracterización cristaloquímica de la principal especie mineralógica portadora de níquel del yacimiento saprolítico San Felipe. Memorias en CD ROM, ISSN 2307-499X, Geociencias (VI), pp. 1-12. La Habana, 4-8 de Mayo, 2015 a.

Chang, A.; Rojas, A.: "Fases minerales portadoras de níquel presentes en el horizonte saprolítico del yacimiento San Felipe". Revista Minería & Geología. ISSN 1993 8012. Vol. 31, No. 4, pp. 1-14, 2015 b.

Chang, A.; Lavaut, W.: "Caracterización geoquímica del perfil litológico del yacimiento laterítico de níquel "San Felipe", Camagüey, Cuba". Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio. ISSN 1729-3790. Vol. 16, No. 2, pp. 9-22, 2015 c.

Chang, A., et al.: "Mineralogía del yacimiento laterítico níquelífero San Felipe, Camagüey, Cuba" Revista Minería & Geología. ISSN 1993 8012. Vol. 32, No.1, pp.28-47, 2016 a.

Chang, A.: "Caracterización geoquímica y mineralógica de la corteza de meteorización del yacimiento San Felipe". Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias geológicas. ISMM, Moa. 135 p., 2016 b.

Chang, A.: "Migración geoquímica en la corteza de meteorización del macizo ofiolítico de Camagüey, Cuba". Memorias en CD ROM, ISSN 2307-499X, Geociencias (VII), pp. 16-29. La Habana, 3-7 de Abril, 2017 a.

Chang, A.: "Metodología para la identificación y la caracterización cristaloquímica de las fases mineralógicas de níquel presentes en las cortezas de intemperismo saprolíticas". VII Conferencia Internacional Ciencia y Tecnología por un desarrollo sostenible. Universidad de Camagüey. Memorias en CD-Rom, ISBN 978-959-16-2485-7, Camagüey, 3-5 de Junio de 2017 b.

Chang, A.; Lavaut, W.: "Migración geoquímica en la corteza de meteorización del macizo ofiolítico de Camagüey, Cuba". Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio. ISSN 1729-3790. Vol. 18, No. 2, pp. ., En prensa, 2017 c.

Chang, A.; Rojas, A.: "Movilidad geoquímica y balance de masas del yacimiento San Felipe". Revista Minería & Geología. ISSN 1993 8012. Vol. 33, No. 4, pp. ., En prensa, 2017 d.

Gallardo, T.; Chang, A.; Tauler, E.; Proenza, J.; et al.: "El yacimiento de San Felipe (Camagüey, Cuba): un ejemplo de lateritas níquelíferas tipo arcilla". Revista de la sociedad española de mineralogía, macla No. 13, septiembre, pp. 87-88. ISSN 1885-7264, 2010.

Henares, S.; Chang, A.; et al.: "Las cromititas del Complejo Ofiolítico de Camagüey, Cuba". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Vol. 62, No. 1, pp. 173-185, ISSN 1405 3322. Abril, 2010.

Tauler, E.; Chang, A.; et al.: "Caracterización Mineralógica de las Esmeclitas Níquelíferas del Yacimiento de San Felipe (Camagüey, Cuba)". Revista de la sociedad española de mineralogía, macla No. 15, septiembre, pp. 89-90. ISSN 1885-7264, 2011.