

TÍTULO: MODELACIÓN INTEGRAL DE DATOS GEOLÓGICOS PARA LA EXPLORACIÓN ÓPTIMA DE YACIMIENTOS DE NÍQUEL Y COBALTO EN CUBA.

UNIDAD EJECUTORA PRINCIPAL DEL RESULTADO:

Instituto Superior Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez" . Las Coloradas s/n. Moa. Holguín.
Telf: 607876; 608190

AUTOR PRINCIPAL:

Dr. León Ortelio Vera Sardiñas. Edif. 25. Apto 21. Rolo Monterrey, Moa. CI: 52041103522, Tel: 606934, overa@ismm.edu.cu

OTROS AUTORES:

Dr. Aristides A. Legrá Lobaina. Edif.31, Apto 18, Las Coloradas, Moa. CI: 56121007800. Tel: 606150
Dr. Arturo Rojas Purón. Edif. 12-A, Apto 36, Las Coloradas, Moa. CI: 55121805047
Dr. Yuri Almaguer Carmenates. Edif. 25, Apto. 1, Microdistrito 1.Nuevitas. CI: 74060810344.
Dr. Constantino Juan de Miguel Fernández. Edif. 24.Apto 815. Las Coloradas, Moa. CI: 45062610541
Dr. Rafael Guardado Lacaba, Edif. 25, Apto 16,Rolo Monterrey, Moa. CI: 46120503669. Tel: 607593
Dr. José Nicolás Muñoz Gómez. Edif. 25 Apto 20, Rolo monterrey, Moa. CI: 462006680. Tel: 607118
Dra. Alina Rodríguez Infante. Edif. 25 Apto 6, Rolo Monterrey, Moa. CI: 55111908411.Tel: 607210
Dr. Roberto Díaz Martínez. Edif.. 13A. Apto 21. Las Coloradas, Moa. CI: 57090509144, Tel: 607594

COLABORADORES CIENTÍFICOS: 12

FILIACIÓN DE LOS AUTORES:

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez"

RESUMEN

La presente investigación surge a partir de la necesidad de desarrollar investigaciones geológicas integrales que dieran respuestas a la demanda creciente de recursos y reservas de Ni y Co con la cantidad y calidad que demanda el desarrollo actual y futuro de la industria cubana del níquel. Su objetivo general fue modelar integralmente los datos geológicos que se obtienen durante las investigaciones geológicas con vista a lograr la exploración óptima de los yacimientos de Ni y Co en Cuba.

Se integraron los datos geológicos en modelos a partir de los cuales se logró optimizar las redes de exploración. Se demostró que el criterio geoestadístico del krigeaje es el mejor estimador lineal; La estimación de reservas y recursos se desarrolló mediante el empleo del inverso de la distancia, el krigeaje y la simulación gaussiana. Los dominios geológicos permitieron profundizar acerca de la homogeneidad del depósito, la continuidad de la exploración y la explotación futura del yacimiento. Los resultados obtenidos son avalados por las defensas de siete tesis doctorales y dos de maestrías, 20 artículos científicos, varios premios y reconocimientos y sus presentaciones en diversos eventos nacionales e internacionales. Actualmente continúan aplicándose estos procedimientos, los cuales se perfeccionan continuamente y se generalizan a otros yacimientos y prospectos de la región oriental de Cuba. El impacto económico por la introducción y transferencia tecnológica de los resultados asciende a más de 4 000 000.00 CUC.

2. APOORTE CIENTÍFICO PERSONAL DE CADA AUTOR

Los abajo firmantes hacemos constar que somos los autores de la investigación nombrada “**MODELACIÓN INTEGRAL DE DATOS GEOLÓGICOS PARA LA EXPLORACIÓN ÓPTIMA DE YACIMIENTOS DE NÍQUEL Y COBALTO EN CUBA**”

El aporte científico de cada autor al trabajo es el siguiente:

APOORTE CIENTÍFICO PERSONAL	
Autores	Aportes científicos
Roberto Díaz Martínez	<ul style="list-style-type: none">• Elaboró la obra científica y los procedimientos para la modelación integral de datos geológicos y los modelos geoquímicos y descriptivos.
León Ortelio Vera Sardiñas	<ul style="list-style-type: none">• Elaboró el procedimiento para la determinación de los dominios geológicos y las redes racionales de exploración. Elaboró los dominios geológicos en Pinares de Mayarí, Punta Gorda y Camarioca Norte.
Aristides A. Legrá Lovaina	<ul style="list-style-type: none">• Diseñó el procedimiento para el pronóstico, planificación y control de la minería, incluyendo el software “TIERRA” y los dominios geológicos. Contribuyó al establecimiento de los errores de estimación y la obtención de modelos geométricos de los depósitos.
Arturo Luis Rojas Purón	<ul style="list-style-type: none">• Determinó las principales fases minerales portadoras de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa definiendo el modelo geoquímico.
Yuri Almaguer Carmenates	<ul style="list-style-type: none">• Elaboró los modelos geoambientales, mapas de riesgos por deslizamiento y los dominios en el yacimiento Camarioca Sur.
Constantino J. de Miguel Fernández	<ul style="list-style-type: none">• Caracterizó el drenaje y ascenso capilar de las aguas subterráneas del yacimiento Punta Gorda contribuyendo a la definición del modelo geoambiental.
Rafael Guardado Lacaba	<ul style="list-style-type: none">• Realizó la cartografía ingeniero geológica y elaboró los modelos geoambientales.
José Nicolás Muñoz Gómez	<ul style="list-style-type: none">• Caracterizó los dominios geológicos en los yacimientos Camarioca Norte y Camarioca Sur.
Alina Rodríguez Infante	<ul style="list-style-type: none">• Caracterizó los dominios geológicos en los yacimientos Camarioca Norte y Camarioca Sur.

3. COMUNICACIÓN CORTA DEL RESULTADO

3.1. INTRODUCCIÓN

Los principales yacimientos de Ni y Co de Cuba se ubican en la región de Moa, donde operan dos plantas metalúrgicas para la obtención de concentrados de Ni+Co y se construye una tercera para producir ferroníquel. Sin embargo, la exploración geológica por métodos tradicionales, resulta cada vez más costosa debido al agotamiento progresivo de las reservas, la complejidad geológica y distancias cada vez mayores de los nuevos depósitos con respecto a las plantas metalúrgicas. Mantener los niveles de eficiencia y rentabilidad de dichas plantas requiere cantidades suficientes de reservas de menas con la calidad deseada. De ahí que el objetivo de este trabajo es modelar integralmente los datos geológicos con vista a optimizar la exploración geológica de los yacimientos de Ni y Co en Cuba.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se han procesado y modelado datos de exploración geológica de los yacimientos Pinares de Mayarí, Punta Gorda, Yagrumaje norte, Yagrumaje sur, Moa Oriental, Moa Occidental, Camarioca Norte, Camarioca Sur y Yamanigüey, así como datos de archivo existentes en las empresas niquelíferas y en la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM). Se diseñó e implementó el software TIERRA, y se utilizaron los programas libres Arcview, Surfer, Statistic, Microlink (con licencia operativa) y Gencom (propiedad de las empresas).

Los métodos utilizados se basaron en la modelación integral de datos geológicos. El diseño y racionalización de las redes de exploración se obtuvieron por dominios geológicos mediante Krigeaje de bloque. La estimación de recursos y reservas se realizó a partir del procesamiento automatizado de los datos de pozos de perforación. Los dominios geológicos se obtuvieron de forma automatizada combinando la información de los modelos.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelación integral de datos geológicos.

Modelo Geométrico:

Este modelo lo integran los parámetros topográficos, geomorfológicos, estructurales y paleoambientales de los yacimientos minerales de níquel y cobalto.

Topografía:

Se modeló topográficamente los bloques en la red de 300m x 300m, garantizando las futuras unidades de selectividad minera en las redes de 33,33m x 33,33m y 16,66m x 16,66 m (Legrá-Lobaina et al., 2001).

Geomorfología:

El análisis geomorfológico permitió definir tres elementos geomorfológicos principales controladores de la formación y conservación de los yacimientos: nivel hipsométrico, pendiente y rugosidad del relieve. El nivel hipsométrico osciló entre las cotas 30 y 180 metros. El valor predominante de la pendiente del terreno es inferior a 10^0 , 5 grados menos de lo estimado en estudios anteriores. La rugosidad del relieve, nunca antes determinado, no superó el 2% (Vera-Sardiñas, 2002).

En el yacimiento Punta Gorda se obtuvo por primera vez el Modelo Digital del Terreno según la red de explotación y la carta topográfica 1:5 000 (Martínez-Vargas et al., 2003).

Estructura geológica:

Quedó demostrado que la presencia de frecuentes intercalaciones estériles de gabroides se debe a la posición estructural que ocupan los yacimientos en la región de Moa, en la zona de transición Manto-Corteza (Dios-Leyva y Díaz-Martínez, 2003).

Geometrización del depósito mineral:

Por primera vez se introdujo el concepto de error de geometrización, según la teoría de la geoestadística transitiva, obteniéndose un estimador basado en términos espaciales. En este modelo la aleatoriedad se introdujo a través del muestreo, empleando el método de Monte Carlo y seleccionando N muestras aleatoriamente, de forma independiente. Este procedimiento permitió obtener un estimador insesgado con una varianza igual a σ^2 / N , donde σ^2 es la varianza espacial de $z(x)$ (Martínez-Vargas, 2007).

Parámetros paleoambientales:

Estos parámetros permitieron realizar en el área del yacimiento Camarioca Sur, la reconstrucción paleoambiental del sistema deposicional. Se realizó el análisis de la diversidad de las asociaciones registradas, el estudio de las variaciones de los factores de estrés, las reconstrucciones paleobatimétrica y paleoecológica y la correlación taxonómica. La combinación de técnicas cualitativas y cuantitativas d arrojó resultados que evidencian el establecimiento durante el Mioceno-Plioceno, de un sistema deposicional de plataforma interna protegida, con mayor energía de deposición hacia el sur, y profundidades que se incrementaron de 0-30 m al sur hasta los 100 m al norte.

Estos parámetros permitieron explicar el carácter de la continuidad espacial del depósito mineral (López-Martínez et al., 2008), lo que representa una herramienta de gran interés para la exploración y explotación de los yacimientos donde se manifiesta el fenómeno de redeposición.

Modelo geoquímico:

Este modelo está integrado por los datos petrológicos, mineralógicos y geoquímicos de las rocas del basamento y de la cortezas de meteorización del depósito.

Petrología:

Permite clasificar y diferenciar las litologías del basamento y su relación con la mineralización. La presencia de antigorititas en los yacimientos Camarioca Norte y Camarioca Sur constituyen evidencias del posible empobrecimiento en Ni y Co en los horizontes del perfil laterítico, y por tanto, son sectores poco perspectivas para la exploración geológica, minimizando los gastos en estas concesiones mineras.

Mineralogía y Geoquímica:

Se establecen las principales fases minerales y la distribución zonal de los elementos mayores y trazas en cada horizonte del perfil de meteorización. En los yacimientos cubanos la goethita es la principal fase mineral concentradora de níquel y lo hace en la clase granulométrica menor de 0,045 mm, la cual representa alrededor del 50 % en peso de los horizontes ocosos para ambos tipos de perfil, con contenidos promedios de 1,4 % de Ni (Rojas-Purón, 2001).

Modelo geofísico:

Campo magnético:

El campo magnético, a partir de valores negativos, indicó poco espesor de los cuerpos serpentiniticos sobre los cuales se desarrollan las lateritas (Batista-Rodríguez, 2003; Batista, 2006).

Espectrometría aerogamma:

Se revelaron áreas intensamente silicificadas, las cuales fueron comprobadas con trabajos de campo en Zona A del yacimiento Moa Occidental (Batista et al., 2008). La sílice es un nocivo que afecta el proceso de sedimentación en los espesadores retardando el proceso metalúrgico, por lo que estas áreas no son minadas.

Modelo descriptivo:

Por primera vez se elaboran modelos descriptivos de yacimientos lateríticos de Fe-Ni-Co para los cuales no se conocen referentes en Cuba (Ariosa-Iznaga y Díaz-Martínez, 2001; Ariosa-Iznaga et. al., 2003; Ariosa-Iznaga, 2005); estos modelos constituyen guías de exploración geológica.

Modelo geoambiental:

Este modelo integra la información ingeniero-geológica, la evaluación de riesgos por deslizamientos y los parámetros hidrogeológicos del yacimiento.

Caracterización ingeniero geológica y evaluación de riesgos

La caracterización ingeniero geológica de las áreas de desarrollo de los yacimientos lateríticos de la región de Moa y la evaluación de riesgos por deslizamientos de masas, específicamente en el yacimiento Punta Gorda permitió la elaboración, por primera vez, de mapas de riesgos por deslizamiento para este yacimiento y definir las tipologías de movimientos de masas en el territorio de Moa (Guardado-Lacaba y Almaguer-Carmenates, 2001; Almaguer-Carmenates y Guardado-Lacaba, 2006; Almaguer-Carmenates, 2006).

Caracterización hidrogeológica

Se establecieron las propiedades de ascenso capilar en las lateritas a partir de las aguas en las peridotitas favoreciendo el enriquecimiento de Ni y Co en el tiempo e incrementando la humedad de las lateritas.

Optimización de las redes de exploración de los yacimientos de Ni y Co de Cuba.

La contribución en este campo consistió en la modelación de las redes de exploración a partir de los dominios previamente definidos, sobre soportes de krigeaje en bloques o paneles, en lugar de hacerlo sobre soportes puntuales, así como la conveniencia de usar redes regulares (Vera-Sardiñas et al., 2001a).

Estimación de recursos y reservas en yacimientos de Ni y Co.

El empleo de métodos geoestadísticos (Martínez-Vargas, 2005; Martínez-Vargas, 2007), a partir de los datos de las perforaciones aseguró disminuir los errores de estimación del 15 al 10 %, elevando el grado de conocimiento sobre el estado actual de las reservas y alargando la vida útil de la mina.

Los dominios geológicos

Se establecieron mediante procedimientos computarizados utilizando el software Tierra. Estos dominios se determinaron de forma semiautomatizada y permitieron subdividir el yacimiento en sectores con características relativamente homogéneas (Vera-Sardiñas et al., 2001b).

3.4. CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo se pudo arribar a las siguientes conclusiones:

1. Se obtuvieron los modelos geométricos, geoquímicos, geofísicos, geoambientales y descriptivos de los yacimientos de Ni+Co de la región noreste de la provincia de Holguín.
2. La optimización de redes mediante el empleo del krigaje en bloque ofrece mejores resultados que los métodos tradicionales.
3. Los métodos geoestadísticos ofrecen los mejores resultados en el cálculo de los errores de estimación de recursos y reservas.
4. Los dominios geológicos permitieron subdividir los yacimientos en sectores con características relativamente homogéneas.
5. El impacto económico de la investigación ascendió a más de 4 000 000.00 CUC.

3.5. BIBLIOGRAFÍA

1. Almaguer-Carmenates, Y., Guardado-Lacaba, R. 2005. Caracterización ingeniero geológica del perfil de meteorización de rocas ultrabásicas serpentinizadas en el territorio de Moa, Cuba. *Minería y Geología*, ISSN 0258 5979. Vol. 21, No. 3.
2. Almaguer-Carmenates, Y., Guardado-Lacaba, R. 2006. Tipología de movimientos de masas desarrollados en el territorio de Moa, Cuba. *Minería y Geología*. ISSN 0258 5979. Vol. 22, No. 1.

3. Almaguer-Carmenates, Y. 2006. Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda. Resumen tesis doctoral. *Minería y Geología*. ISSN 0258 5979. Vol. 22, No. 2. pp. 1-45
4. Ariosa-Iznaga, J.D., Díaz-Martínez, R. 2001. Modelos de yacimientos minerales: tipologías y aplicaciones. *Minería y Geología*, ISSN 0258 5979. Vol. XVIII, No. 2, p. 3-14.
5. Ariosa-Iznaga, J.D., Waldo Lavaut-Copa, W., Bergues-Garrido, P. S., Díaz-Martínez, R., 2003. Modelo geológico descriptivo para los yacimientos lateríticos de Fe-Ni-Co en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa de Cuba Oriental. *Minería y Geología*, ISSN 1993 8012. Nos. 1-2, p. 19-36.
6. Ariosa-Iznaga, J.D. 2005. La modelación descriptiva en el ejemplo de los yacimientos lateríticos de Cuba Oriental. Resumen tesis doctoral. *Minería y Geología*, ISSN 0258 5979, Vol. 21, No. 1,
7. Batista-Rodríguez, J. A. 2003. Caracterización geológica de cortezas lateríticas a partir de datos aerogramma espectrométrico y aeromagnético. *Minería y Geología*. ISSN 0258 5979, Nos. 3-4.
8. Batista-Rodríguez, J. A. 2006. A magnetic survey mineral resource in mortheastern Cuba. *Geofísica Internacional*, Vol. 45, No. 1, pp. 39-61.
9. Batista, J. 2007. Geometry of ophiolites in eastern Cuba from 3D inversion of aeromagnetic data, constrained by surface geology. *Geophysic*, Vol. 72, No. 3. 10.1190/1.2712425.
10. Batista, J.A., Blanco, J. and M. A. Pérez-Flores, M.A. 2008. Geological interpretation of Eastern Cuba laterites from an airborne magnetic and radioactive isotope survey. *Geofísica Internacional*. 47 (2), 99-113.
11. Dios-Leyva, D., Díaz-Martínez, R. 2003. Distribución y clasificación de las intercalaciones en el yacimiento laterítico ferroniquelífero Punta Gorda, Moa, Cuba. *Minería y Geología*, ISSN 0258 5979. Nos 3-4. pp. 1-11
12. Guardado-Lacaba, R., Almaguer Carmenates, Y. 2001. Evaluación de riesgos por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín. *Revista Minería y Geología*. Vol. XVIII, No. 1, ISSN: 0258 5979. pp. 1-12
13. Legrá-Lobaina, A., Atanes-Beatón, D. M., Velázquez Pratts, A., 2001. Sobre la determinación de valores de una variable en la geología y en la minería. *Revista Minería y Geología*. XVIII, No. 1, ISSN: 0258 5979. pp. 69-76
14. López-Martínez, R. A, Rojas-Consuegra, R., Urra-Abraira, J., Martínez-Vargas, A. 2008. análisis paleoambiental del depósito Camarioca, Moa. Cuba. *Minería y Geología*. ISSN 1993 8012. No. 4.
15. Martínez-Vargas, A., Legrá-Lobaina, A.A., Ferrera-Alba, N., Mena-Matos, L.F. 2003. Modelo Digital del Relieve original del yacimiento Punta Gorda. *Minería y Geología*. ISSN: 0258 5979. Nos. 3-4. pp.103-119.
16. Martínez-Vargas, A. 2005. Estimación del error de geometrización empleando geoestadística transitiva. *Minería y Geología*. ISSN: 0258 5979, Vol. XXI, No. 1-2, 2005.
17. Martínez-Vargas, A. 2007. Modelación de los contenidos de hierro en yacimientos lateríticos heterogéneos de níquel y cobalto. Caso de estudio, yacimiento Moa Oriental. *Minería y Geología*. ISSN 1993 8012. Vol. 23, No. 2.
18. Rojas-Purón, A.L. 2001. Evidencias a favor de que la goethita es la principal portadora de níquel en los horizontes lateríticos de las cortezas ferroniquelíferas. *Minería y Geología*, ISSN: 0258 5979. Vol. XVIII. Nos. 3-4. pp.21-31.
19. Vera-Sardiñas, O., Legrá-Lobaina, A. A., Media-Arce, M. 2001a. Principios básicos para la obtención de redes racionales en la exploración de yacimientos lateríticos cubanos. *Revista Minería y Geología*. Vol. XVIII, No. 1, ISSN 0258 5979 p. 1-7.
20. Vera-sardiñas, L. O., Rodríguez- Vega, A., Cordobés pedrianes, J. M., Legrá-Lovaina, A. A. 2001b. Dominios geológicos del yacimiento laterítico de Punta Gorda, Moa: delimitación y caracterización. *Minería y Geología*, ISSN: 0258 5979. Vol XVIII, Nos. 3-4. pp. 55-66.

4. DESCRIPCIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA DETALLADA DEL RESULTADO

4.1. INTRODUCCIÓN

La isla de Cuba contiene los mayores yacimientos de Ni y Co del mundo asociados a cortezas de intemperismo originadas a partir de la meteorización de las rocas ultrabásicas, principalmente harzburgitas, pertenecientes al cinturón ofiolítico septentrional que aflora a lo largo de la isla de Cuba desde Pinar del Río hasta Baracoa (Fig. 1).

Las lateritas niquelíferas afloran en la porción septentrional de la isla de Cuba, en correspondencia con el desarrollo, distribución espacial y grado de meteorización del cinturón hiperbasítico cubano (ofiolitas septentrionales). Sin embargo, se conocen lateritas enriquecidas en Ni y Co de interés económico solamente en el nordeste de la provincia de Holguín (región de Mayarí-Nicaró y Moa), al norte de Camagüey (Meseta San Felipe) y en Pinar del Río (macizo Cajalbana).

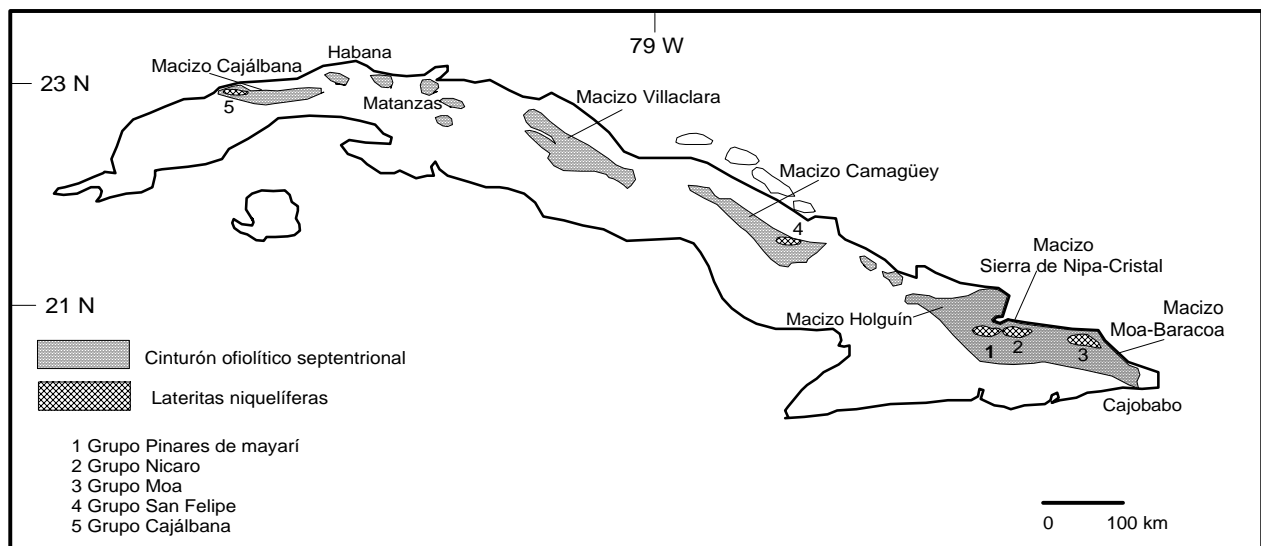


Figura 1. Esquema de ubicación del cinturón ofiolítico septentrional y áreas de desarrollo de cortezas lateríticas con yacimientos de Ni + Co.

Actualmente la región de Moa es la más perspectiva para la explotación de las menas oxidadas de Ni + Co, razón por la cual operan varias plantas metalúrgicas para procesar esta materia prima mineral. En esta región se conocen 14 yacimientos de Ni y Co (Fig. 2) distribuidos en un área de aproximadamente 240 km².

Novedad científica y actualidad de la investigación

La investigación que se presenta está integrada por:

- Los modelos que definen las regularidades geológicas de los yacimientos de Ni y Co de la región de Moa.
- Los dominios geológicos que subdividen un yacimiento en sectores con características homogéneas.
- Las redes óptimas de exploración.
- Los errores de estimación de recursos y reservas.

Los modelos que definen las regularidades geológicas se basaron en todos los datos geológicos, sin excluir aquellos que tienen una supuesta influencia subordinada en los procesos de formación, conservación y enriquecimiento secundario de Ni dentro de las cortezas lateríticas. La obtención de cinco modelos integrales

de datos en función de la naturaleza del proceso que le da origen le imprime originalidad y novedad al nuevo procedimiento de procesamiento de datos geológicos.

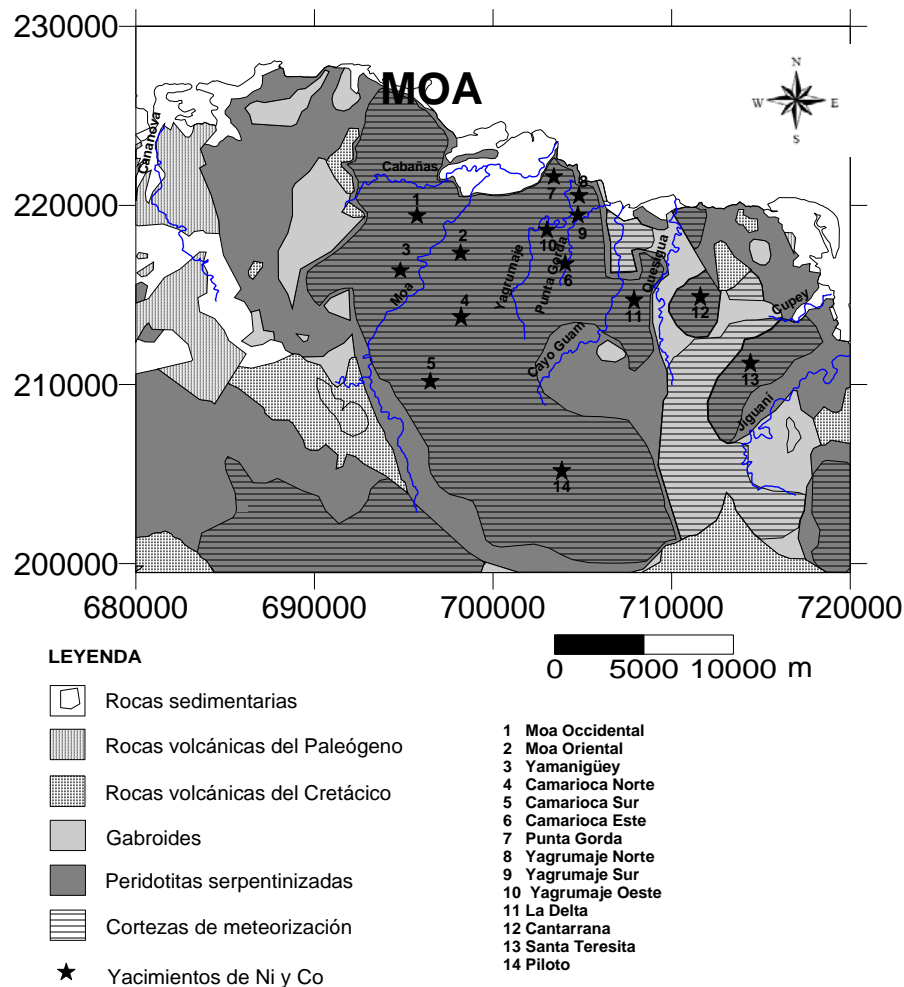


Figura 2. Esquema geológico y ubicación de los yacimientos de Ni y Co de la región de Moa.

Los dominios geológicos han sido elaborados a partir de la información que brindan los modelos geológicos, es decir, que para poder obtener dominios geológicos es necesario previamente la recopilación de información y elaboración de los cinco modelos reconocidos en este procedimiento y que le imprime originalidad y novedad al trabajo.

Hasta el momento, en la aplicación de las redes de exploración para el estudio de los yacimientos lateríticos en las diferentes etapas, ha primado el principio de analogía, independientemente de que se han realizado determinados estudios para el establecimiento de sus densidades (Vera-Sardiñas, 2001a).

La práctica ha demostrado que constituye un error asumir como similares dos yacimientos por el simple hecho de presentar algunos rasgos coincidentes; por lo tanto, aplicar redes de exploración por analogía significa correr el riesgo de no obtener la correspondencia necesaria entre el modelo que se elabora y la realidad geológica del yacimiento, lo que incidiría significativamente en el grado de conocimiento de los recursos y reservas y, por lo tanto, en la eficiencia del proceso de minería. Todo esto justifica la necesidad de realizar un estudio geológico detallado e integral del yacimiento antes de proceder a la aplicación de cualquier procedimiento matemático, de manera que ambos análisis, geológico y matemático, deben

complementarse y no contraponerse. La obtención de los modelos geológicos en las etapas o fases preliminares, sirve de base para la determinación de las redes en las fases subsiguientes (Vera-Sardiñas et al., 2001a).

La contribución en el campo de la optimización de redes consistió en la modelación de las redes de exploración a partir de los dominios previamente definidos, sobre soportes de krigeaje en bloques o paneles, en lugar de hacerlo sobre soportes puntuales, así como la conveniencia de usar redes regulares (Vera-Sardiñas et al., 2001a).

El cálculo de los errores de estimación de recursos y reservas se realizó mediante el empleo de novedosas técnicas computarizadas empleando los métodos de la geoestadística.

La exploración geológica de los yacimientos de Ni y Co por métodos tradicionales, resulta cada vez más costosa debido a que las reservas, al agotarse progresivamente, aumentan su complejidad geológica y quedan a distancias cada vez mayores de las plantas metalúrgicas. Mantener los niveles de eficiencia y rentabilidad de dichas plantas requiere cantidades suficientes de reservas de menas con la calidad deseada, lo que obliga a optimizar los trabajos de exploración geológica. De ahí que la presente investigación tiene plena vigencia y pertinencia en los momentos actuales de la economía cubana.

Problema de la investigación

Los yacimientos de Ni y Co de Cuba se formaron como resultado de los procesos de intemperismo de las rocas ultrabásicas serpentinizadas pertenecientes al cinturón ofiolítico septentrional de Cuba. Las ofiolitas de la región Mayarí-Baracoa han sido suficientemente estudiadas (Fonseca et al., 1985; Nekrasov et al., 1989; Iturralde-Vinent, 1990, 1996), sin embargo esta información de carácter regional y con implicaciones locales importantes desde el punto de vista exploratorio no es utilizada por los geólogos de las empresas mineras en el esclarecimiento de la génesis de las lateritas.

Los depósitos lateríticos de Ni y Co de Pinar del Río y Camagüey representan actualmente interesantes prospectos en curso de evaluación, por lo que requieren ser estudiados bajo la óptica de nuevos procedimientos de modelación de datos geológicos con el fin de optimizar los trabajos de exploración geológica.

La yacencia, morfología, estructura, composición química y mineralógica de los cuerpos minerales de estos yacimientos dependen de factores geológicos, físico-químicos, hidrogeológicos e ingeniero geológicos, los cuales deben ser cuidadosamente modelados de forma integral con el objetivo de garantizar la correcta evaluación de su potencial menífero.

Por otro lado, la exploración geológica por métodos tradicionales de los yacimientos de níquel y cobalto en Cuba, resulta cada vez más costosa y compleja debido a que las reservas, al agotarse progresivamente, aumentan su complejidad geológica y los cuerpos minerales quedan a distancias cada vez mayores de las plantas metalúrgicas.

Por tanto, el **problema** de la investigación está dado en la necesidad de desarrollar la modelación integral de datos geológicos para la exploración óptima de yacimientos de Ni + Co en Cuba.

Objeto de investigación

El objeto de esta investigación está representado por los yacimientos de Ni + Co de Cuba.

Campos de acción

La modelación integral de los datos geológicos obtenidos durante las investigaciones geológicas.

Hipótesis

La modelación integral de datos geológicos no es una sucesión cronológica de eventos y procesos que fundamenta la necesidad de explorar un depósito mineral, si no el proceso mental mediante el cual se trata de esclarecer su formación y significa el esfuerzo que realizan los geólogos que se dedican a la exploración y evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales para comprender y explicar los procesos que permiten conocer a los yacimientos minerales y sus relaciones geológicas. De ahí que la modelación integral de los datos geológicos permite efectuar la exploración óptima de los yacimientos de Ni y Co de Cuba,.

Objetivo general de la investigación

El objetivo de este trabajo es modelar íntegramente los datos geológicos con vista a optimizar la exploración geológica de los yacimientos de Ni + Co en Cuba.

Objetivos específicos

1. Elaborar modelos integrales de datos geológicos de yacimientos de Ni y Co de Cuba que permitan su exploración óptima.
2. Establecer las redes óptimas de exploración de los yacimientos de Ni + Co de Cuba que permitan estimar con el menor error posible sus recursos y reservas.
3. Definir los dominios geológicos de los yacimientos de Ni y Co como expresión del grado de homogeneidad en la distribución de los parámetros geólogo-económicos.

4.2. ESTADO DEL ARTE

4.2.1. Introducción

En este epígrafe se resume la situación actual en que se encuentra la problemática relacionada con la modelación integral de datos geológicos, se describe de forma sintetizada la problemática de la teoría de los modelos y su aplicación en la práctica exploratoria de los yacimientos de lateritas niquelíferas específicamente su implicación en la determinación de las redes de exploración y la estimación de recursos y reservas; se analizan los fundamentos metodológicos para la elaboración de los dominios geológicos, los cuales representan un importante paso de avance en la modelación de depósitos minerales al delimitar sectores con propiedades homogéneas.

Por otro lado, se analizan los trabajos realizados hasta la fecha que han profundizado en los complejos problemas del diseño de las redes de exploración y los nuevos métodos de estimación de recursos y reservas, los cuales superan con creces los métodos tradicionales y garantizan con el menor error posible de estimación la confiabilidad del procesamiento de los datos geológicos.

4.2.2. Problemática de la teoría de los modelos y su aplicación práctica

Las tres principales funciones de un Geólogo explorador de yacimientos minerales son:

- La formulación del modelo de yacimiento.
- La utilización de técnicas para la recolección de datos.
- La evaluación de la información a partir de fuentes múltiples.

Este proceso va estrechando gradualmente el área de búsqueda hasta que se realizan las perforaciones que descubren al cuerpo mineral. La cadena de eventos desde la idea hasta la puesta en producción de la empresa minera, según Milenbuch (1978) es la siguiente:

1. Elaboración de la idea o concepto geológico.
2. Reconocimiento preliminar del campo.
3. Evaluación favorable del territorio.
4. Selección de los objetos a perforar.
5. Perforación.
6. Definición de los cuerpos minerales.
7. Desarrollo del coto minero.
8. Facilidades para la producción minera.
9. Producción de la empresa minera.

Estos nueve eventos incuestionablemente deben pasar por un proceso de modelación de los datos; por ejemplo cuando se habla de definición de los cuerpos minerales necesariamente se debe trabajar el modelo geométrico del depósito, sea cual fuere su génesis, endógena o exógena.

El proceso mental mediante el cual se trata de esclarecer la formación de los yacimientos minerales se denomina “**modelación de yacimientos**” y significa el esfuerzo que realizan los geólogos que se dedican a la exploración y evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales para comprender y explicar los procesos que permiten conocer a los yacimientos minerales y a sus relaciones geológicas (Ohle et al., 1981). Los modelos pueden ser simples o complicados, pero en todos los casos deben ser flexibles puesto que con el tiempo se generan nuevos datos, descubrimientos y el Geólogo debe estar preparado para transformarlos en concepto o para hacer un cambio en la idea predeterminada.

El acogerse a una nueva idea no debe provocar una pérdida de objetividad y de valor de los nuevos datos. Un modelo debe ser dinámico, un esquema de ideas creciente que nunca es totalmente correcto, pero que continuamente son más concordantes con la historia geológica del yacimiento. A medida que se mejora el modelo se incrementa la expectativa de que la exploración tenga éxito.

Hace más de 100 años Chamberlain (1897) señaló que “el desarrollo de varias hipótesis, permite tener una visión racional del fenómeno y desarrollar posibles hipótesis relacionadas con su naturaleza, causa u origen dando a todas ellas, de la manera más imparcial posible, una forma de trabajo y un lugar adecuado en la investigación. El investigador (en este caso el Geólogo) se convierte en el padre de una familia de hipótesis y debido a esto es inaceptable brindar mas preferencia a una que a otra.”

La exploración de minerales es una actividad costosa y creativa; además de los medios tecnológicos que requiere, descansa en gran medida en la adquisición y uso de la información geológica, así como en factores económicos y sociopolíticos que influyen en ella. Su efectividad depende de la toma de decisiones basadas en la **integración de información**.

Por tanto, el concepto de “**modelo de yacimiento**” es una herramienta científica e instrumento metodológico para al procesamiento humano de la información (Henley, 1993) y también está asociado con grupos diferentes de yacimientos, de la misma forma que el término “tipos de yacimientos” se acerca al concepto de “modelo descriptivo”.

Los “modelos genéticos” son importantes facetas de la geología del yacimiento pero no se utilizan como criterio para la identificación de los yacimientos minerales. Esto se debe a que el tipo de yacimiento definido por un modelo descriptivo, es la base principal sobre la que se formula un modelo genético.

La adición o eliminación de información empírica puede provocar un cambio total en el modelo genético por lo que estos son válidos o no, en dependencia de las interpretaciones, mientras que los tipos de yacimientos son bases de datos de información continuamente crecientes. Un tipo de yacimiento o modelo descriptivo de yacimiento mineral, cuidadosamente definido, es más sólido y posee una expectativa de actualidad más prolongada que su correspondiente modelo genético.

Roberts y Sheahan (1988) señalan que hay dos componentes en un modelo de yacimiento mineral:

1. El empírico, que consiste en una agrupación de datos que incluyen a los que se obtienen por la observación y que describen al yacimiento.
2. El conceptual o teórico, que intenta interpretar los datos a través de una teoría genética unificadora.

El componente empírico del modelo se desarrolla a partir del análisis, comparación y generalización de datos del mayor número posible de ejemplos de un tipo de yacimiento con la finalidad de establecer los atributos esenciales o invariantes comunes.

La selección de los datos es una expresión del pensamiento de los geólogos pero puede tener la influencia de su propia experiencia científica-profesional, lo cual podría conducir a que se enfatice más en un aspecto que en otro, a expensa de los datos de campo lo cual es totalmente erróneo. Este fenómeno es más pronunciado con el desarrollo del modelo conceptual.

El esquema empírico es una base de datos que cuando se narra y escribe se transforma en modelo descriptivo, que es la base de todos los modelos y en especial para construir el esquema conceptual que es el fundamento del modelo genético y debe ser una interpretación coherente de los eventos involucrados en la formación de un yacimiento mineral. Este modelo es causal, una descripción de los procesos que se deducen a partir de los datos de observación.

El modelo conceptual proporciona una explicación parcial de los datos puesto que se actualizan y perfeccionan continuamente con nueva información, así como con la reinterpretación de la información anterior por los aportes continuos del conocimiento científico.

El nivel de desarrollo de los modelos de yacimientos minerales, particularmente sus aspectos conceptuales, es muy variable y es el reflejo de los resultados de la investigación. Para muchos geólogos particularmente los que se dedican a la exploración de yacimientos minerales, el aspecto más importante del modelo es la descripción de las relaciones temporales-espaciales entre el tipo de menas, las rocas y estructuras geológicas donde se hospedan.

Hogdson (en Bustillo y López-Jimeno, 1996) indica que al utilizar los modelos de yacimientos minerales se pueden cometer los siguientes “abusos”:

1. El culto por la moda: el último modelo es, siempre y por definición, el mejor. Los modelos anteriores están pasados de moda y no ofrecen ninguna validez.
2. El culto de la panacea: se trata de encontrar el modelo definitivo, que deja arrinconados a los demás, y que, frecuentemente, se obtiene con el uso de una técnica rara que sólo dominan unas pocas personas.
3. El culto de los clásicos: toda idea nueva es rechazada sistemáticamente y sólo los métodos clásicos tienen validez.
4. El culto del corporativismo: sólo unos pocos (Geólogos), encuadrados en determinadas escuelas, tienen la capacidad de generar modelos y avanzar en el conocimiento. El resto, están equivocados.
5. El culto de los especialistas: al promover la especialización en aras de una mayor eficiencia, no hay forma de comprobar la validez e interrelación de muchos aspectos de los modelos, pues cada uno de ellos fue generado por un especialista.

Los modelos de yacimientos minerales son el fundamento científico moderno para la exploración y la evaluación de los yacimientos minerales pues vinculan los yacimientos minerales que deseamos encontrar y

evaluar con la geología del terreno. Mientras mejor es el modelo más efectivas son la exploración y la evaluación de los recursos minerales. Los modelos actuales son muy útiles y esenciales para el descubrimiento y evaluación de los recursos en el siglo XXI pero también representan un intento inicial para su sistematización necesaria de un mejoramiento constante.

La necesidad de reconocer y distinguir cuáles factores son esenciales y cuáles son fortuitos para la presencia del yacimiento conduce a la realización de estudios comparativos críticos de los grupos de yacimientos minerales utilizando todas las herramientas geológicas, geoquímicas, geofísicas y estadísticas a nuestra disposición (Barton, 1995).

La enorme cantidad de información acumulada durante casi medio siglo de explotación de las menas lateríticas en la región de Moa, los nuevos conocimientos geológicos adquiridos en relación con la geología regional en un contexto ofiolítico, la constitución geológica de estos depósitos, la introducción de las nuevas tecnologías de la información científica y la elevada preparación de los docentes del ISMM de Moa en el campo de la modelación de yacimientos y el empleo de la geoestadística para resolver problemas relacionados con la exploración geológica han permitido sustituir los procedimientos de exploración tradicionales por estos, muy novedosos e integrales y capaces de estimar con los más bajos errores los recursos y reservas de estos yacimientos, considerados los de mayor importancia económica para el país.

La presente obra científica evidencia las contribuciones de los autores al estudio geológico integral de las lateritas ferronquelíferas sobre la base de modelos paleoambientales, geoquímicos, geofísicos, geoambientales, descriptivos y numéricos y los resultados obtenidos pueden encontrarse en numerosas publicaciones en revistas referenciadas en bases de datos internacionales (Ariosa-Iznaga y Díaz-Martínez, 2001; Guardado-Lacaba y Almaguer-Carmenates, 2001; Ariosa-Iznaga et al., 2003; Díos-Leyva y Díaz-Martínez, 2003; Almaguer-Carmenates y Guardado-Lacaba, 2005 y 2006; Batista et al., 2008; López-Martínez et al., 2008) y presentados en varios eventos nacionales e internacionales, lo que avala la calidad de los resultados obtenidos.

4.2.3. Redes de exploración en los yacimientos lateríticos de Ni + Co

A partir de la década del 70 del pasado siglo, ante la necesidad perentoria de conocer con un mayor grado de detalle el comportamiento espacial de los parámetros geólogo-industriales de estos yacimientos, debido al incremento de las pérdidas y empobrecimiento en el proceso de extracción, se dan los primeros pasos, tanto por parte de las empresas mineras, como por el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM), dirigidos a dar respuesta a la problemática de la optimización de las redes de exploración. La mayoría de estos trabajos (Secik, 1971; Duda, 1971; Pérez, 1972; Rodríguez-Cardona, 1977; López, 1981; Reyes y Arévalos, 1982; Leyva y Soler, 1984; López, 1986; Candela, 1987; Álvarez, 1990; García y Pérez, 1991) tienen en común la aplicación de técnicas estadísticas.

Estos resultados, a los cuales se suman los obtenidos por Chica Olmo (1989), partidario del pensamiento de la escuela francesa de Matheron, sirvieron de base para la posterior introducción de los métodos geoestadísticos en la modelación de los yacimientos de Ni y Co en Cuba. Es de destacar los nuevos procedimientos para la elaboración e interpretación de variogramas en el estudio de la variabilidad de los yacimientos minerales y su uso en la determinación de redes de exploración.

Gutiérrez y Beyra (1993), introducen el análisis variográfico de yacimientos de corteza de intemperismo en Cuba, marcando pautas y despertando el interés en cuanto al uso de estas nuevas técnicas. En este trabajo también se demuestra que el parámetro más variable es la potencia de la capa mineral.

A partir del año 1999 comienza a introducirse plenamente en Cuba las técnicas geoestadísticas en la modelación de datos geológicos y mineros para la exploración de yacimientos de Ni y Co. En este sentido, docentes del ISMMM y los propios autores de este trabajo, y especialistas de las empresas niquelíferas de los territorios orientales del país, realizaron importantes contribuciones en el campo de la geomatemática. A continuación se analizan los principales trabajos desarrollados en el campo de la geomatemática.

Ilidio (1999) aplica las técnicas del coeficiente de variación y elaboración de variogramas direccionales en el yacimiento Camarioca Norte, corroborando que la potencia resulta ser también el parámetro más variable y que el yacimiento se comporta de manera isotrópica y según el grado de variabilidad, se clasifica de regular a muy irregular. Finalmente propone para este yacimiento un espaciamiento entre pozos no mayor de 12 m para un error admisible del 20 por ciento.

Legrá-Lobaina (1999) realiza un aporte importante, sobre todo en el campo de la geoestadística aplicada al estudio y explotación de los yacimientos minerales lateríticos, a partir de la modelación tridimensional de los parámetros geoquímicos incluidos en el programa “Tierra” elaborado precisamente para el procesamiento de la información en yacimientos de este tipo genético, el que se utiliza actualmente como herramienta básica para el pronóstico, la planificación y control de la minería en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Lavaut (2000) realiza el estudio preliminar de las redes de perforación y muestreo para el cálculo del mineral laterítico el yacimiento Yagrumaje Norte; en este trabajo, se trató el problema de la racionalización de redes de exploración, se caracterizó al yacimiento sobre la base del comportamiento de cada uno de sus principales parámetros. En el mismo se aplicó el método de variantes para evaluar la eficiencia de las redes de 100 m x 100 m y 33.33 m x 33.33 m. Se calculó además la densidad óptima de la red usando expresiones matemáticas que consideran las áreas a explorar y el grado de variabilidad.

Entre las conclusiones más importantes de ese trabajo se destacan:

- a) La necesidad de argumentar las redes según las condiciones geólogo – geomorfológicas y genéticas; proponiendo no usar redes con carácter regional como se ha venido haciendo.
- b) Se requiere disponer de perforaciones según red más densa que 33.33 m x 33.33 m para precisar las redes óptimas para la exploración geológica y para la explotación.
- c) Estimó de forma preliminar que para la exploración detallada (categoría probable) es suficiente la red de 33.33 m x 33.33 m mientras que para la categoría probada es suficiente una cuadrícula de 23.57 m.

Se plantea además una recomendación relacionada con lo favorable de la utilización de trabajos geofísicos (superficiales y de pozos) para optimizar la exploración geológica.

Vera-Sardiñas et al. (2001a) plantean que para definir cualquier procedimiento de racionalización de redes de exploración se debe partir de la unidad entre el nivel de conocimiento al cual se aspira, las características de los parámetros que se estudian y el modelo que se emplee para representar y estudiar el comportamiento de estos parámetros y no por el método de analogía como se venía haciendo tradicionalmente. Estos autores señalan que una buena red o **red racional**, desde un punto de vista pragmático, se puede definir como aquella, donde la correcta posición geométrica de un número relativamente mínimo de puntos de muestreo permite la ejecución de las mediciones con bajos gastos y con un alto aporte de la información requerida para un modelo dado.

De manera general se puede concluir que las principales insuficiencias de los trabajos realizados en relación con la racionalización de redes de exploración en los yacimientos de Ni y Co de Cuba, se encuentran las siguientes:

- No está sistematizado el análisis para obtener el conjunto de variables a partir del cual se definen la racionalización de redes y las técnicas matemáticas para definir la variabilidad de cada una de ellas.

- Los métodos utilizados hasta el momento están enfocados, generalmente, hacia la determinación por fórmulas estadísticas de los lados de una red “óptima” cuadrada, rectangular, etc., solución equivalente a obtener el número de pozos en un área dada, la cual es una respuesta global pero parcial del problema, puesto que no se precisa la mejor posición geométrica de los nuevos puntos de muestreo.
- No se tiene un procedimiento completo y eficiente en el sentido que exige la explotación de estos yacimientos en sus diferentes etapas que contenga los criterios suficientes para racionalizar la red, de manera científicamente argumentada.

4.2.4. Estimación de recursos y reservas

La estimación de los recursos minerales y de las reservas de menas de los yacimientos lateríticos de Ni y Co hasta finales del siglo pasado se venía realizando por técnicas tradicionales, a partir de los datos puntuales de pozos (potencia, contenidos y masa volumétrica).

La introducción de los métodos de la geoestadística por diversos investigadores da inicio a la aplicación de las técnicas de estimación mediante la simulación condicional o no condicional (Cuador-Gil et al., 2000; Quintero-Silveiro et al., 2000).

La estimación implica la aplicación de una serie de algoritmos matemáticos para interpolar o extrapolar un atributo medido sobre un conjunto de puntos, distribuidos espacialmente de forma irregular o muy dispersa, a un nodo de interés (Trujillo-Codorniú et al., 2001). Las técnicas de estimación basan su análisis en los diferentes tipos de krigeaje, considerado como un método de estimación lineal insesgado, óptimo en el sentido que minimiza la varianza de estimación.

La informatización de la actividad minera permitió notables avances en los procedimientos para la estimación de recursos y reservas. Surgieron nuevos programas cubanos como es el Sistema Tierra (Legrá, 2001) que desde su introducción se ha estado aplicando en el pronóstico, planificación y control de la minería. Este programa se viene aplicando desde su surgimiento por la subdirección de minas de la Empresa Ernesto Che Guevara, con muy buenos resultados y avalados por los directivos respectivos.

4.2.5. Dominios geológicos en la exploración geológica

Bates and Jackson (1987) y Quintas (1999) definen el dominio geológico como la unidad geodinámica que caracteriza las zonas de un yacimiento por propiedades litológicas, estructurales, geoquímicas, mineralógicas, geomorfológicas e hidrogeológicas, sustancialmente diferenciadas con respecto a otras zonas del propio yacimiento. Sobre la base de este concepto los autores de esta investigación ejecutan por primera vez el Proyecto de Cartografiado Geológico en el Yacimiento Pinares de Mayarí, a solicitud de la compañía Webstern Mines, S.A. de Australia, sobre la base de los dominios geológicos.

El conocimiento de las regularidades geológicas por dominios representa una necesidad para la ejecución de un acertado pronóstico, planificación y control eficientes de la minería (Legrá, 1999).

Vera-Sardiñas et al., (2001b) definen el dominio geológico de un yacimiento laterítico como aquella zona o sector que presenta características geomorfológicas, litológicas, estructurales, geoquímicas e hidrogeológicas relativamente homogéneas, es decir, sectores geológicamente similares y su importancia práctica está dada en la aplicación de métodos destinados a la determinación de las redes más racionales, que se deben aplicar durante las nuevas etapas de exploración. Su introducción en la región de Moa se hace realidad al aplicarlo en el yacimiento Punta Gorda como premisa para la aplicación de una metodología geoestadística destinada a la racionalización de las redes de exploración.

Estos autores señalan que la obtención de los modelos geológicos en las etapas o fases preliminares, sirve de base para la determinación de las redes en las fases subsiguientes y deben formar parte del análisis geológico previo, sobre todo, aquellos fenómenos que influyen en la variabilidad de los parámetros geológico-industriales, entre los cuales debe prestársele atención a:

- Rasgos litoestratigráficos.
- Características de las rocas del substrato.
- Características hidrogeológicas.
- Tectónica de la zona.
- Geomorfología del yacimiento.
- Características geoquímicas de la corteza.
- Carácter in situ o redepositado del corte laterítico.
- Otros rasgos particulares de interés.

Estos resultados constituyen el punto de partida de la generalización del concepto de dominios geológicos al estudio de los yacimientos de Ni y Co en Cuba.

Cruz-Orosa y Díaz-González (2002) desarrollaron trabajos investigativos dirigidos a determinar los dominios geológicos en el Yacimiento Moa Oriental”. Este trabajo revolucionó y perfeccionó la determinación de dominios geológicos en yacimientos lateríticos, pues para su elaboración se diseñó e implementó el software TIERRA. Versión 2.0, herramienta que permitió el manejo semiautomatizado de los datos necesarios para la identificación de dominios.

Cruz-Orosa et al. (2006) señalan que el punto de partida para la determinación de los dominios geológicos es el estudio geológico integral del yacimiento, el cual debe incluir:

- Parámetros geomorfológicos (hipsometría, pendientes, rugosidad del relieve, disección vertical)
- Parámetros litológicos (geología de superficie, geología del basamento, potencia de la corteza)
- Parámetros estructurales (estructuras de diversos órdenes, densidad de agrietamiento)
- Parámetros geoquímicos (contenidos de los elementos útiles y nocivos en las cortezas)
- Parámetros hidrogeológicos (potencia del acuífero, ascenso capilar, profundidad del nivel eustático)
- Parámetros mineros (potencia de mineral útil, potencia de escombros, potencia de intercalaciones)
- Otros parámetros (uso de suelo, tipo de suelos, vegetación).

Desde el año 2001 y hasta el 2006 el colectivo de autores de este trabajo continuaron perfeccionando los procedimientos de modelación integral de datos geológicos para la exploración óptima de los yacimientos de Ni y Co en Cuba, y en el año 2007 realizan la caracterización de los dominios geológicos de las concesiones mineras Camarioca Norte y Camarioca Sur perteneciente a la empresa Moa Nickel S.A. Cmdte Pedro Soto Alba y sus resultados fueron avalados positivamente por la gerencia canadiense y expertos cubanos.

Desde el 2007 hasta la fecha el procedimiento se consolidó al lograr integrar en modelos los datos paleoambientales, geoquímicos, geofísicos, geoambientales y descriptivos; el dominio geológico adquirió una nueva dimensión, se consolidó y se ajustó, al incluir el análisis de todos los datos o variables que definen los sectores del yacimiento con características homogéneas, desde los propiamente geológicos hasta las hidrogeológicas, ingeniero-geológicas y ambientales.

4.3. MODELACIÓN INTEGRAL DE DATOS GEOLÓGICOS

4.3.1. Introducción

En el presente capítulo se muestra el procedimiento para la modelación integral de datos geológicos en yacimientos lateríticos de Ni y Co en Cuba, basado en los ejemplos de los depósitos de la región de Moa.

En función del tipo de información disponible, así es el modelo que se elabora; por ejemplo, al abordar los datos mineralógicos, geoquímicos y petrológicos de los cuerpos minerales se obtiene el modelo geoquímico integral del yacimiento, y así sucesivamente.

Una vez obtenidos los modelos del yacimiento se procede a la determinación de los dominios geológicos, los cuales representan la base del diseño de las redes de exploración y estas a su vez la base para las estimaciones de los recursos y reservas.

4.3.2. Modelación integral de datos geológicos

El nuevo procedimiento para la modelación integral de datos geológicos (Fig. 3) se fundamentó en el concepto de los modelos, los dominios geológicos, las metodologías para el diseño de redes de exploración y los procedimientos para la estimación de recursos y reservas. Por tanto, los modelos empleados en este trabajo responden plenamente a los objetivos para los cuales fueron creados.

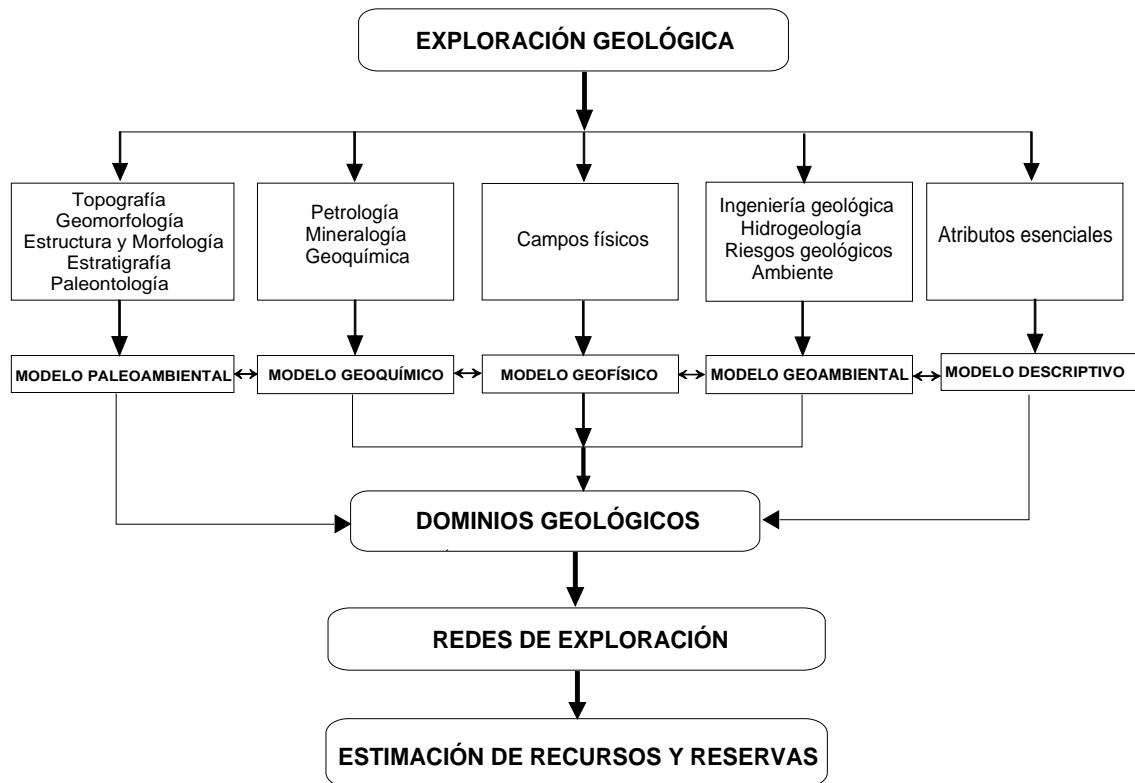


Figura 3. Dendrograma que muestra el procedimiento para la modelación integral de datos geológicos de los yacimientos lateríticos de Ni y Co de Cuba.

4.3.2.1. Modelo geométrico

El modelo geométrico de los yacimientos lateríticos de Ni + Co lo integran aquellos factores climáticos, geológicos, geomorfológicos, estructurales y topográficos que inciden en la formación y conservación de las cortezas lateríticas y por tanto en el grado de enriquecimiento en Ni y Co de las lateritas, los espesores de los horizontes lateríticos y saprolíticos y las masas volumétricas de las menas en cada uno de estos horizontes.

La integración de todos estos parámetros permitió la elaboración, por primera vez en Cuba, del modelo geométrico, variando así los procedimientos y enfoques tradicionales de su determinación, convirtiéndolo en una nueva herramienta para la integración de datos topo-geológicos.

Topografía:

La modelación topográfica del yacimiento no se realizó por el método tradicional de fotointerpretación y teledetección de áreas ocupadas por el yacimiento, sino a partir de los bloques de la red de 300 x 300 m, lo cual garantizó las futuras unidades de selectividad minera en las redes de 33,33 x 33,33 m. y 16,66 x 16,66 m. La modelación se logró mediante la aplicación de los spline bicúbicos (Legrá-Lobaina et al., 2001). Este procedimiento no precisa de red auxiliar explícita (grid) para densificar la red.

El modelo tiene las características de continuidad de la superficie, y de las primeras y segundas derivadas de la función que lo describe (tiene relación con la “suavidad” de las representaciones gráficas), la curvatura de la superficie obtenida es pequeña; el modelo tiene la propiedad de ser un interpolador exacto y no es eficiente al realizar extrapolaciones, pero para el caso en cuestión no son necesarias. El cálculo aproximado de los volúmenes se realiza analítica y explícitamente a partir de las ecuaciones que describen el modelo.

Geomorfología:

Para la obtención de la información geomorfológica se procedió a la obtención del Modelo Digital del Terreno (MDT) del área del yacimiento en cuestión (por ejemplo, yacimiento Punta Gorda), para lo cual se empleó la precisión de la red de exploración que ya existía y la información del comportamiento espacial del relieve a partir de la red de explotación y la carta topográfica 1: 5 000 (Martínez-Vargas et al., 2003).

La modelación geomorfológica de las áreas de distribución de los yacimientos de Ni y Co permitió obtener los mapas de alturas o niveles hipsométricos, el mapa de pendientes y la rugosidad del relieve (Vera-Sardiñas, L.O. et al., 2001).

Mapas de alturas o niveles hipsométricos:

En el yacimiento Punta Gorda se distinguen varios niveles hipsométricos (Fig. 4) con una dirección predominantemente NE-SW (Vera-Sardiñas, L.O. et al., 2001). Hacia el límite norte del yacimiento se encuentran los niveles hipsométricos de menor altura, la que aumenta paulatina y suavemente hacia el límite sur, donde se encuentran los niveles más elevados.

El yacimiento ocupa la divisoria de las aguas y la vertiente norte de una cadena de colinas situadas hacia su límite sur con una orientación NE – SW. En la vertiente norte de esta cadena de colinas las laderas presentan pendientes muy suaves y extensas atravesadas por los cauces fluviales de los

arroyos Los Lirios, La Vaca y pequeños afluentes del río Yagrumaje, mientras que en la ladera sur las pendientes son muy abruptas y cortas, coincidiendo con la margen norte del río Yagrumaje.

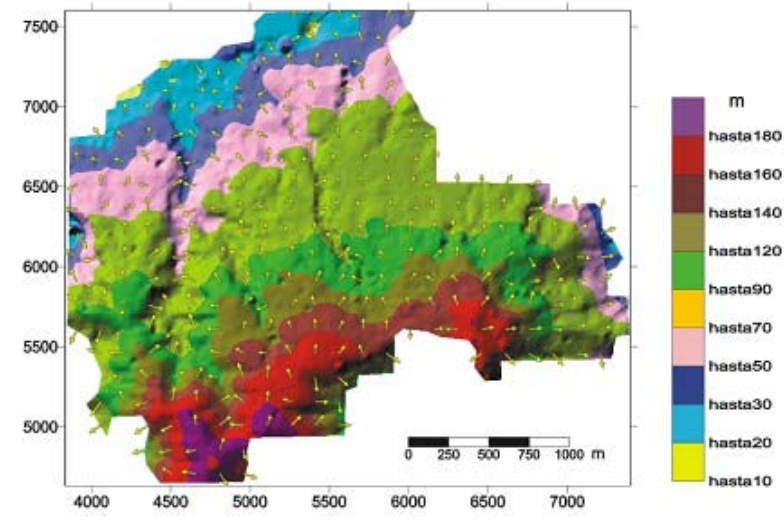


Figura 4. Mapa hipsométrico con dirección del drenaje superficial del yacimiento Punta Gorda.

Mapa de pendientes:

En el área ocupada por el yacimiento Punta Gorda la pendiente media del relieve es de 5.19° , con un mínimo de 0° y un máximo de 58.50° , así como una variabilidad moderada de 54.03 % (Vera-Sardiñas, L.O. et al., 2001). En la mayor parte del yacimiento los valores predominantes de la pendiente son inferiores a los 10° (Fig. 5), constituyendo estos valores el fondo general de la pendiente de todo el depósito, donde se destacan sectores con pendientes comprendidas entre 10 y 15° y mayores. Los cauces fluviales están bien delimitados por los sectores con pendientes mayores de 15° , asociados a pendientes comprendidas entre 10 y 15° , mientras que las divisorias de las aguas son bastante planas y con ángulos de pendientes predominantemente menores de 10° .

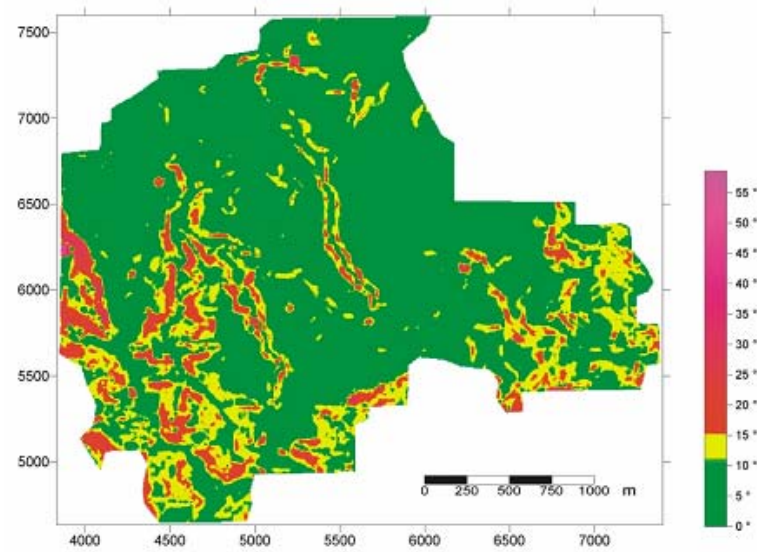


Figura 5. Mapa de pendientes del yacimiento Punta Gorda.

Rugosidad del relieve (coeficiente de variación del relieve):

Dentro de los límites del yacimiento Punta Gorda la rugosidad media del relieve es de 3,7 % con un mínimo de 0 %, un máximo de 67.67 % y un coeficiente de variación relativamente alto de 64.62 %.

En extensos sectores de este depósito la rugosidad superficial no supera el 2 % (Fig. 6), coincidiendo con valores de la pendiente inferiores a 10^0 (Vera-Sardiñas, L.O. et al., 2001). La rugosidad se incrementa significativamente en la medida en que la pendiente crece, aunque en ocasiones, preferentemente hacia la mitad norte del yacimiento se distinguen extensas áreas con pendientes menores de 10^0 que coinciden con valores de la rugosidad superficial relativamente elevados, de hasta 10 %.

Los tres primeros elementos permitieron definir los rasgos geomorfológicos de las áreas de desarrollo de los yacimientos, considerados como la base para la comprensión ulterior de los restantes modelos.

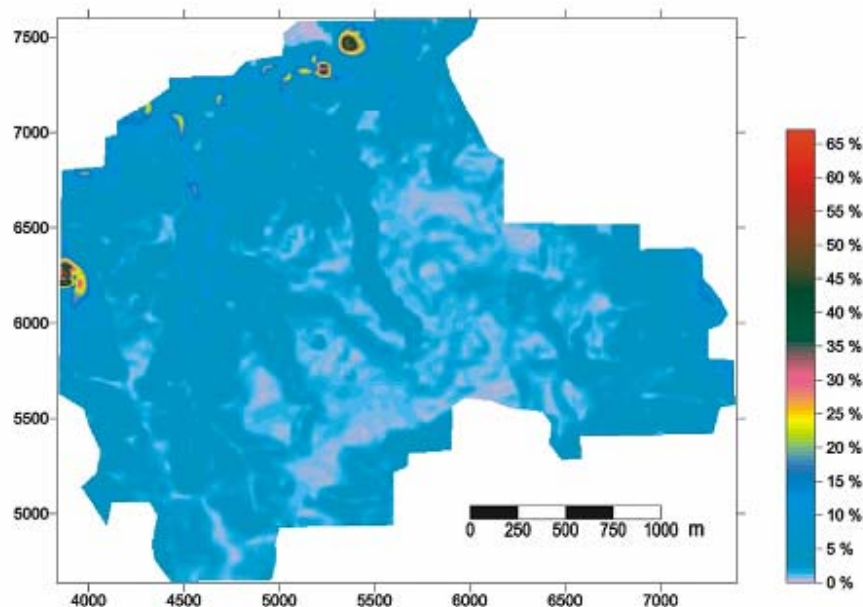


Figura 6. Mapa de rugosidad superficial del yacimiento Punta Gorda.

Estructura y morfología:

Estructura:

El análisis del parámetro estructural en que se enmarca un determinado yacimiento de Ni y Co en la región de Moa se realizó, en primer lugar, a partir del análisis geológico regional y, en segundo lugar, aplicando el método de analogía con estudios similares en yacimientos de cromititas ofiolíticas en la región de Moa, en que se proponen dos columnas sintéticas para los macizos ofiolíticos Mayarí-Cristal y Moa-Baracoa (Proenza et al. 1998).

Estos modelos estructurales definieron en la región de Moa una zona de transición Manto-Corteza (MTZ-siglas en inglés) próxima al río Punta Gorda. Tal situación estructural se ajusta al modelo

formacional de las lateritas ferroniquelíferas al considerar como substrato rocoso las harzburgitas y cuerpos de gabroides de la MTZ en la región Moa-Baracoa (Dios-Leyva, D. y Díaz-Martínez, R. (2003); este modelo permite explicar la presencia de intercalaciones estériles de cuerpos de gabroides, con un aumento de su frecuencia de aparición de oeste a este.

Morfología:

El error total con que se estiman de los recursos minerales es la suma de errores específicos, como los de medición, los de interpolación y de geometrización de los recursos. Este último es usualmente obviado, sin embargo, puede alcanzar magnitudes importantes en algunos yacimientos (Martínez-Vargas, A. 2007).

En la práctica geológica la forma espacial que adquieren los cuerpos minerales depende del pronóstico acertado del geólogo a partir de los datos de sondeos y de otras técnicas de contorneos como el GPR; no obstante, es difícil predecir cuán regular o irregular es el cuerpo al contar si se dispone solamente de observaciones directas en cada pozo, quedando cierta incertidumbre en la zona de interpolación, por lo que es conveniente modelar el error de geometrización.

El error de geometrización es aquel asociado a la delimitación del cuerpo mineral, y es de particular importancia en aquellos casos donde la minería selectiva se enfrenta al reto de extraer unas pocas unidades dispersas en una gran masa de material no menífero.

La parte del yacimiento que está por encima de un cutoff Z_c es la que interesa durante la minería, por lo que es usual dividir el yacimiento D en paneles o bloques d , a los que se le asigna los valores indicatrices $I(d)=1$ cuando $Z^*(d) \geq Z_c$ y $I(d)=0$ en caso contrario. La suma de los paneles o bloques con $I(d)=1$ nos da el volumen del yacimiento que se extrae, dicho volumen se puede estimar empleando métodos no lineales de estimación de recursos.

Una vez comenzada la explotación se extraen las unidades elementales que cumplen la condición $I(d)=1$, y el yacimiento D se convierte en uno $'D$ con límites complejos y desconocidos, $'D$ es su complemento. Entonces la incertidumbre acerca de la forma del yacimiento introduce una fuente de error extra conocida como error de geometrización.

Una vía para calcular el error de geometrización es la teoría de la geoestadística transitiva, creada por Matheron en 1965, para obtener un estimador basado puramente en términos espaciales (tomado de Chilés, 1999, p. 24). Bajo este enfoque la variable regionalizada $Z(x)$ es determinística y se asume idéntica a cero fuera de los límites del dominio D , éste es el llamado fenómeno de transición.

En este modelo la aleatoriedad se introduce a través del muestreo, empleando el método de Monte Carlos y seleccionando N muestras aleatoriamente, de forma independiente. Esto conduce a un estimador insesgado con una varianza igual a $N/2\sigma$, donde 2σ es la varianza espacial de $z(x)$.

El modelo permitió obtener un estimador insesgado con una varianza igual a σ^2 / N , donde σ^2 es la varianza espacial de $z(x)$ (Martínez-Vargas, 2007). Por tanto, la aplicación de este modelo en la geometrización de los recursos es considerado novedoso y gran valor práctico.

Parámetros estratigráficos y paleontológicos:

Estos parámetros fueron analizados en aquellos yacimientos con marcados rasgos sedimentarios, tradicionalmente denominados en Cuba como lateritas redepositadas. Para su aplicación se tomó como base las entidades taxoregistráticas en el área del yacimiento Camarioca Sur; se hizo la reconstrucción paleoambiental del sistema deposicional, se realizó el análisis de la diversidad de las asociaciones registradas, el estudio de las variaciones de los factores de estrés, las reconstrucciones paleobatimétrica y paleoecológica y la correlación taxonómica.

La combinación de técnicas cuantitativas y cualitativas de análisis de datos paleontológicos, arrojó resultados que evidencian el establecimiento en la región, durante el Mioceno – Plioceno, de un sistema deposicional de plataforma interna protegida con mayor energía de deposición hacia el sur, y profundidades que se incrementaron de 0-30 m al sur hasta los 100 m al norte. El modelo paleoambiental es de gran interés para la prospección y explotación minera, pues puede explicar el carácter de la continuidad espacial del depósito mineral (López-Martínez et al., 2008).

Los datos paleontológicos utilizados proceden del informe de Sitnikov (1976), el cual presenta los resultados del muestro paleontológico de testigos de pozos construidos para estudios mineralógicos, con intervalo de muestro continuo de un metro de longitud; con igual intervalo tomó muestras de surcos en cada una de las paredes de pozos criollos de sección cuadrada, de 1x1 m. Sitnikov (1976) reporta un total de 19 pozos con fósiles, identificando foraminíferos planctónicos, bentónicos, corales, espículas de esponjas y radiolas de equinodermos.

En el análisis paleontológico cuantitativo sólo se emplearon los foraminíferos: *Astigerina carinata*, *Globigerina aff. sicanus*, *Peneroplidae sp.*, *G. aff. trilobus*, *Archaias sp.*, *Pyrgo sp.*, *Globigerina sp.*, *Cybicides sp.*, *Rotalia rosea*, *Elphidium sp.*, *Globoquadrina altispira*, *Eoglobulites cf. elegans*, *Globorotalia sp.*, *Articulina sp.*, *Quinqueloculina sp.*, *Amphistegina sp.*

Para validar la información obtenida por Sitnikov, se realizó un muestro de comprobación, próximo a cinco de los pozos reportados en el informe. Aunque las entidades registradas coincidieron, no se utilizaron las nuevas muestras para evitar alterar la representatividad estadística del muestreo original; al respecto el análisis de rarefacción (Hammer & Harper, 2006), indica la existencia de sesgo en estos datos posiblemente causado por la mala preservación de las entidades.

La construcción del modelo paleoambiental contempló el análisis, en cada punto, de la diversidad de las poblaciones tafónicas, las variaciones de la energía deposicional, el estado de conservación de las entidades, la paleobatimetría y la paleoecología, así como la correlación entre las taxa.

El modelo que se obtuvo respondió a la existencia de un sistema deposicional ubicado en una plataforma interna protegida. Las profundidades en la zona norte oscilaban entre los treinta y cien metros, con una baja energía deposicional, la cual se incrementó hacia la zona sur, cuyas profundidades variaban entre cero y treinta metros. Esta reconstrucción paleoambiental es congruente con el comienzo de una transgresión general de pequeña magnitud en el Mioceno Inferior (López-Martínez et al., 2008).

14.1.1.1. Modelo geoquímico

La obtención del modelo geoquímico de los yacimientos de Ni + Co contempló el análisis de los rasgos petrológicos del sustrato rocoso, la mineralogía de las menas y la geoquímica del depósito. Cada uno de estos elementos composicionales fue visto de manera integral en vinculación estrecha con los restantes modelos.

Petrología:

La modelación integral de los yacimientos lateríticos de Ni y Co de la región de Moa contempló el análisis de la composición litológica del sustrato rocoso. La composición química y mineralógica de las cortezas lateríticas y sus yacimientos asociados Ni y Co dependen de las particularidades petrológicas del sustrato rocoso.

Por tanto, durante el estudio geológico integral de los yacimientos especial atención se le prestó a este aspecto. En primer lugar se realizó el estudio petrológico del fundamento rocoso a partir de secciones delgadas y en segundo lugar se determinaron las alteraciones hidrotermales de las rocas serpentinizadas y las fases minerales presentes y se interpretaron los datos obtenidos.

Se obtuvieron modelos petrológicos caracterizados por la presencia de rocas antigorititas, nunca antes descritas en la región de Moa, las cuales se caracterizan por bajos contenidos de níquel.

La importancia del modelo petrológico radica en la identificación de los diferentes tipos litológicos de sustrato rocoso, lo que da la posibilidad de discriminar áreas de interés para la exploración. El ejemplo más elocuente se obtuvo en un sector del yacimiento Camarioca Norte donde las serpentinitas son antigorititas, rocas que al meteorizarse aportan poco níquel a la corteza.

Mineralogía:

La composición mineralógica es otro parámetro que desempeña un rol relevante en el modelo geoquímico. Empleando técnicas de difracción de Rayos X, se determinaron las principales fases portadoras de Ni en las lateritas ferromanganesíferas. Se introduce como aspecto importante el análisis combinado mineralogía-composición granulométrica del material laterítico. El modelo mineralógico de un yacimiento define las fases portadoras de los metales a extraer durante el proceso metalúrgico. En este trabajo se exponen los resultados obtenidos en el yacimiento Moa (Rojas-Purón, A., 2001).

Según este modelo mineralógico la goethita es la fase mineral principal portadora de Ni atendiendo a que es la de mayor contenido promedio de Ni y se concentra en la clase granulométrica menor de 0,045 mm, que representa el 53 % en peso del material laterítico.

Las cromoespinelas, junto con la maghemita, portan alrededor de 1,3 % de níquel (tabla 11) y tienden a concentrarse en el horizonte de ocre superior, pero se encuentran en poca cantidad (su contenido no supera 10 %).

La gibbsita y la hematita son consideradas fases minerales no portadoras de níquel (el contenido de este elemento en ellas es inferior a 1 %), aunque están íntimamente ligadas a las fases portadoras. El

contenido de gibbsita en los horizontes superiores se encuentra entre 8 y 15 %. No obstante, la clase de concentración de esta fase llega a alcanzar en ellos 23 % en peso.

Geoquímica:

El modelo geoquímico contempló el análisis de la distribución de los principales elementos de las menas (Fe, Ni y Co) y la combinación de estos, tanto en planta como en el perfil. Este modelo desempeña un rol importante en la definición de los dominios geológicos (Vera-Sardiñas, L.O., et al., 2001).

Modelo geoquímico de distribución de los contenidos de hierro (Fe):

El modelo geoquímico de distribución de los contenidos de hierro en la corteza total y en la capa útil del yacimiento Punta Gorda, son los siguientes: Valor medio para toda la corteza (CT) 37.28 %, con un mínimo de 5 %, un máximo de 50.37 % y un coeficiente de variación de 14.63 %, mientras que para la capa útil (CU) el valor medio es de 36.15 %, con un mínimo de 5 %, un máximo de 51.62 % y un coeficiente de variación 20.92 %. La relación Contenido de Fe en CUI / contenido de Fe en CT es de 0.96, lo que constituye una expresión de la baja movilidad de este elemento en comparación con el níquel y el cobalto, cuyas relaciones son de 1.28 y 1.15 respectivamente.

Los máximos valores de hierro para la CT en el yacimiento (Fig. 7a) se relacionan con sectores con perfil *in situ*, tanto de elevadas potencias con perfiles completos, como de bajas potencias con perfiles completos parcialmente erosionados debido a un nivel de erosión relativamente poco profundo, que solo afecta el horizonte superior de la corteza *in situ*.

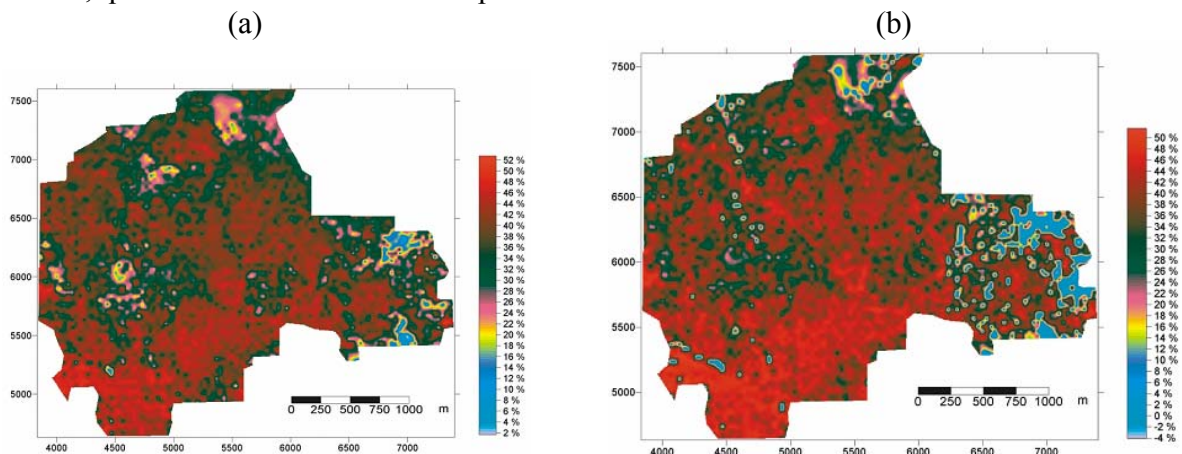


Figura 7. Mapa geoquímico de distribución del Fe en el yacimiento Punta Gorda: 7a- en la corteza total; 7b-en la capa útil.

En los sectores en que el nivel de erosión ha profundizado significativamente, tanto de bajas potencias como de potencias relativamente elevadas, los contenidos de hierro disminuyen significativamente, tanto para la CT como para su CU. En el yacimiento Punta Gorda solamente en un pequeño sector de corteza *in situ*, donde se manifiestan las mayores potencias de todo el depósito, los contenidos de Fe son relativamente bajos en la corteza, sin experimentar un enriquecimiento significativo en la capa útil (Fig. 7b), caracterizándose además por presentar

potencias muy elevadas de la capa útil y bajas potencias de escombros, muy bajos contenidos de cobalto y muy elevados contenidos de Ni, lo que indica la presencia de una corteza muy bien desarrollada con una elevada proporción en profundidad de los horizontes inferiores del perfil, al tiempo que el horizonte superior pudo haber sido profundamente erosionado.

En los sectores con desarrollo de corteza mixta el Fe presenta un comportamiento algo diferente en su distribución, con relación a la corteza de perfil completamente *in situ*. Cuando en estos sectores la potencia es relativamente elevada los contenidos de Fe para la CT disminuyen significativamente, lo que significa que la capa de laterita redepositada que ocupa el horizonte superior y recubre la corteza *in situ* se encuentra notablemente empobrecida en este elemento. Cuando en estos sectores el perfil de la corteza *in situ* se encuentra bien desarrollado, el contenido de Fe crece significativamente en profundidad, mientras que en sectores con poco desarrollo del perfil *in situ* disminuye notablemente.

La disminución significativa de los contenidos de Fe en el horizonte superior de lateritas redepositadas se debe a que el perfil de la corteza mixta se encuentra en un estado de desequilibrio, con condiciones que favorecen la disolución del Fe en los horizontes superiores y su migración hacia la profundidad, fenómeno que no se manifiesta con la misma intensidad en las cortezas con perfiles *in situ* en un estado de equilibrio más estable.

Modelo geoquímico de distribución de los contenidos de níquel (Ni):

El modelo geoquímico de distribución de los contenidos de Ni en la corteza total (CT) y en la capa útil (CU) del yacimiento Punta Gorda, son los siguientes: El valor medio para la CT es 0.994 %, con un mínimo de 0.2 %, un máximo de 2.14 % y un coeficiente de variación de 23.38 %, mientras que para la CU el valor medio es de 1.294 %, con un mínimo de 0.2 %, un máximo de 3.23 % y un coeficiente de variación 21.55 %. La relación Contenido de Ni en CU / contenido de Ni en CT es de 1.28, lo que constituye una expresión de su mayor movilidad relativa respecto al cobalto y al hierro durante el proceso de formación de la corteza.

En general la distribución del níquel guarda relación con la distribución del Fe y el Co en las cortezas de meteorización lateríticas desarrolladas a partir de rocas ultrabásicas; en ocasiones esta relación puede ser directa o inversa, como se verá más adelante.

La distribución del Ni en el yacimiento Punta Gorda depende del tipo de corteza y su potencia, su grado de desarrollo y profundidad del corte de erosión. Los contenidos más elevados de Ni, al igual que los de Co y de Fe, alcanzan su mayor distribución hacia el extremo S-SW del depósito con una elevada frecuencia de aparición de los valores superiores a la media para toda la corteza y su capa útil en el yacimiento (0.994 % y 1.294 Respectivamente), con un marcado predominio de los valores superiores a 1.3 % en toda la corteza y 1.6 % en la capa útil, con numerosos pequeños y medianos sectores de la corteza total con contenidos muy superiores a 1.6 % de Ni (Fig. 8a).

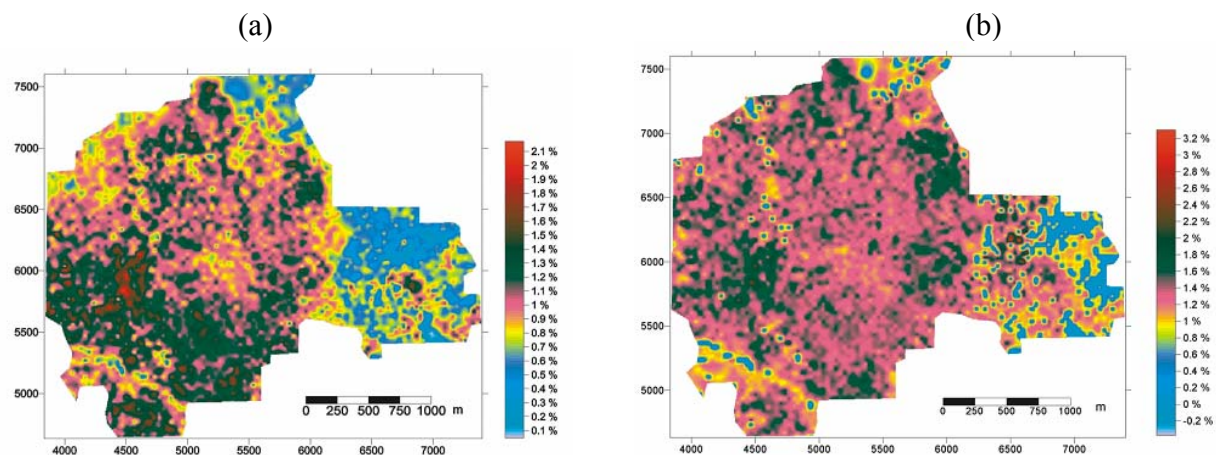


Figura 8. Mapa geoquímico de distribución del Ni en el yacimiento Punta Gorda: 8a- en la corteza total; 8b-en la capa útil.

Los valores inferiores a 1.1 % para toda la corteza e inferiores a 1.4 % para la capa útil ocupan pequeños y aislados sectores homogéneamente diseminados en toda esta zona sur – suroeste, que como ya se señaló para el caso del cobalto está caracterizada por la presencia de una corteza de perfil *in situ* bien desarrollada, donde se observan extensos sectores con los mayores valores de la potencia de la corteza y su capa útil, dentro de sectores en los que el corte de erosión es más profundo y la potencia de la corteza disminuye significativamente, con una potencia de escombros pequeña y con una elevada frecuencia de aparición de los valores mínimos de esta capa dentro de los límites del yacimiento.

Por lo general, en la capa útil los valores más elevados de níquel (Fig. 8b) guardan relación con los sectores de potencias más elevadas, así como con aquellos de potencias relativamente pequeñas y parcialmente erosionados, con una profundidad del corte de erosión pequeña, moderada, así como en aquellos profundamente erosionados. Cuando el corte de erosión es más profundo los contenidos de Ni aumentan significativamente, revelándose sectores relativamente amplios con los máximos contenidos de este metal tanto en la corteza total como en su capa útil. Esta relación entre la distribución del Ni y la profundidad del corte de erosión está en correspondencia con el carácter zonal de dicha distribución en la corteza, al igual que como sucede con los restantes elementos, en particular hierro y cobalto.

En la medida en que se avanza del sur hacia el norte los contenidos de Ni en la corteza total disminuyen significativamente, con una notable frecuencia de aparición de los valores inferiores a la media de la corteza en todo el depósito, patrón que no se repite en la capa útil en la que se observa una marcada tendencia al incremento de dichos contenidos, con un marcado predominio de los valores de Ni cercanos y superiores a la media de la capa útil en el depósito.

El empobrecimiento significativo de Ni en toda la corteza hacia la parte central y norte del depósito, en comparación con su capa útil guarda relación directa con el aumento de la potencia de los materiales lateríticos redepositados de la corteza mixta y en consecuencia con el aumento de la potencia de la capa de escombros, no obstante, hacia la parte central y norte del yacimiento se observan numerosos pequeños y medianos sectores con contenidos de Ni ligeramente superiores a

las medias de la corteza y de su capa útil, dentro de un fondo de valores inferiores a la media para ambas capas; estos sectores se hacen más frecuentes y extensos hacia la porción norte – noreste del depósito, y relacionados con cortezas con un mayor predominio de los horizontes inferiores.

Los más bajos contenidos de Ni en el yacimiento se distribuyen en áreas situadas en los extremos noroeste, noreste y este del depósito, coincidiendo en general con los más bajos contenidos de hierro y cobalto, áreas que se caracterizan además por las más elevadas potencias de las capas de escombros y muy bajas potencias de la capa útil (Figs. 8a y 8b) con una rugosidad relativamente elevada (Fig. 6). En el área este, además de esta característica se pone de manifiesto, en algunos sectores, una profundidad significativamente elevada del corte de erosión, en las que los contenidos de níquel alcanzan sus mínimos valores en todo el depósito, coincidiendo prácticamente con los valores propios de las rocas madres. En general en estas áreas se desarrolla una corteza mixta con un perfil *in situ* muy poco o nada desarrollado cubierto por una potencia notablemente elevada de materiales lateríticos redepositados.

Hacia el extremo suroeste del yacimiento se observa una alineación SE – NW muy marcada, de sectores con contenidos de níquel notablemente bajos, sin relación alguna con cauces fluviales, acompañados de valores bajos de hierro y cobalto, así como por valores muy bajos de la potencia total de la corteza y su capa útil, muy probablemente relacionada con la existencia de una falla muy reciente.

Modelo geoquímico de distribución de los contenidos de cobalto:

El modelo geoquímico de distribución de los contenidos de Co en la CT y en la CU del yacimiento Punta Gorda establece lo siguiente:

- Valor medio para toda la corteza 0.08 %, con un mínimo de 0.01 %, un máximo de 0.32 % y un coeficiente de variación de 31.63 %, mientras que para la capa útil el valor medio es de 0.092 %, con un mínimo de 0.01 %, un máximo de 0.49 % y un coeficiente de variación 34.49 %.
- La relación Contenido de Co en capa útil / contenido de Co en toda la corteza es de 1.15, lo que constituye una expresión de su movilidad relativamente elevada durante el proceso de formación de la corteza, superior a la del hierro e inferior a la del níquel.

En general, el modelo geoquímico de distribución del cobalto (Figs. 9a y 9b) guarda una relación directa bastante estrecha con la distribución del hierro, lo que a su vez depende del tipo de corteza y su potencia, su grado de desarrollo y profundidad del corte de erosión.

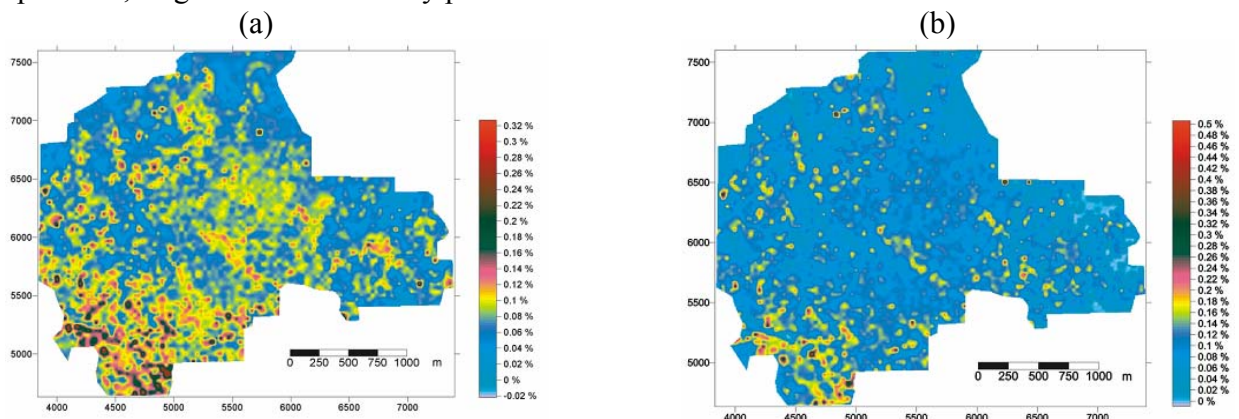


Figura 9. Mapa geoquímico de distribución del Co en el yacimiento Punta Gorda: 9a- en la corteza total (CT); 9b- en la capa útil (CU).

Los contenidos más elevados de Co alcanzan su mayor distribución hacia el extremo sur-suroeste del depósito, con una elevada frecuencia de aparición de los valores superiores a la media para la CT y su CU, (0.08 % y 0.092 % respectivamente), alcanzándose esporádicos valores próximos a 0.3 % en la corteza y superiores a este valor en la capa útil.

Los valores menores o iguales a 0.08 % en la CT e inferiores o iguales a 0.092 % en la CU ocupan pequeños y aislados sectores homogéneamente diseminados en toda el área ocupada por esta zona sur-suroeste, la que se caracteriza por la presencia de una corteza de perfil *in situ* bien desarrollada, donde se observan extensos sectores con los mayores valores de potencia de la CT y su CU, dentro de sectores en los que el corte de erosión es más profundo y la potencia de la corteza disminuye significativamente.

En general en esta zona la potencia de escombros es pequeña con una elevada frecuencia de aparición de los valores mínimos de esta capa dentro de los límites del yacimiento. Por lo general en esta zona los valores más elevados de Co no guardan relación con los sectores de potencias más elevadas, si no con aquellos de potencias relativamente pequeñas y parcialmente erosionados, con una profundidad del corte de erosión moderada o pequeña. En los sectores donde el corte de erosión es más profundo los contenidos de cobalto disminuyen significativamente. Esta relación entre la distribución del Co y la profundidad del corte de erosión está en correspondencia con el carácter zonal de dicha distribución en la corteza, al igual que como sucede con los restantes elementos, en particular Fe y Ni.

En la medida que se avanza de sur a norte los contenidos de Co, tanto en la corteza total como en su capa útil disminuyen significativamente con valores predominantemente inferiores a las medias para todo el yacimiento (0,08 % para la corteza total y 0.092 % para la capa útil). Hacia la parte central del yacimiento se observan numerosos pequeños y medianos sectores con contenidos de Co ligeramente superiores a las medias de la CT y de su CU, dentro de un fondo de valores inferiores a la media. La parte norte y la parte oriental se caracterizan por un marcado predominio de los sectores con contenidos de Co inferiores a las medias de la CT y su CU, rodeando aislados pequeños y medianos sectores con contenidos ligeramente superiores a dichas medias, los cuales no superan el 30 % de la superficie de estas zonas. Esta disminución significativa de los contenidos de Co hacia las partes central, norte y oriental está relacionada con las características del perfil y la profundidad del corte de erosión.

Los sectores con contenidos de cobalto superiores a la media se corresponden con una corteza mixta de perfil *in situ* bien desarrollado y suficientemente potente cubierto por espesores significativos de materiales lateríticos redepositados, mientras que los sectores con contenidos inferiores a la media (bajos y muy bajos) se corresponden con cortezas *in situ* poco desarrolladas o con un marcado predominio de los horizontes inferiores, así como con sectores profundamente erosionados.

4.3.2.3. Modelo Geofísico

Durante la exploración de lateritas Fe+Ni+Co de la región nororiental de Cuba se utilizaron dos métodos de modelación de datos geofísicos con carácter regional; ellos son el magnético y el gamma

espectrométrico). Aunque en este estudio no se emplearon los métodos geofísicos de GPR en la subfase de exploración, los autores recomiendan emplearlos dada su validación en otras regiones del mundo con yacimientos de este tipo.

Modelo del campo magnético:

Generalmente el campo magnético presenta valores negativos (Fig. 10), indicando poco espesor de los cuerpos serpentiniticos sobre los cuales se desarrollan, motivado tal vez por su ubicación en zonas periféricas del macizo ofiolítico y donde existe un horts tectónico en el cual ha ocurrido la erosión de las litologías más superficiales, o ambas condiciones a la vez (Batista, 2006).

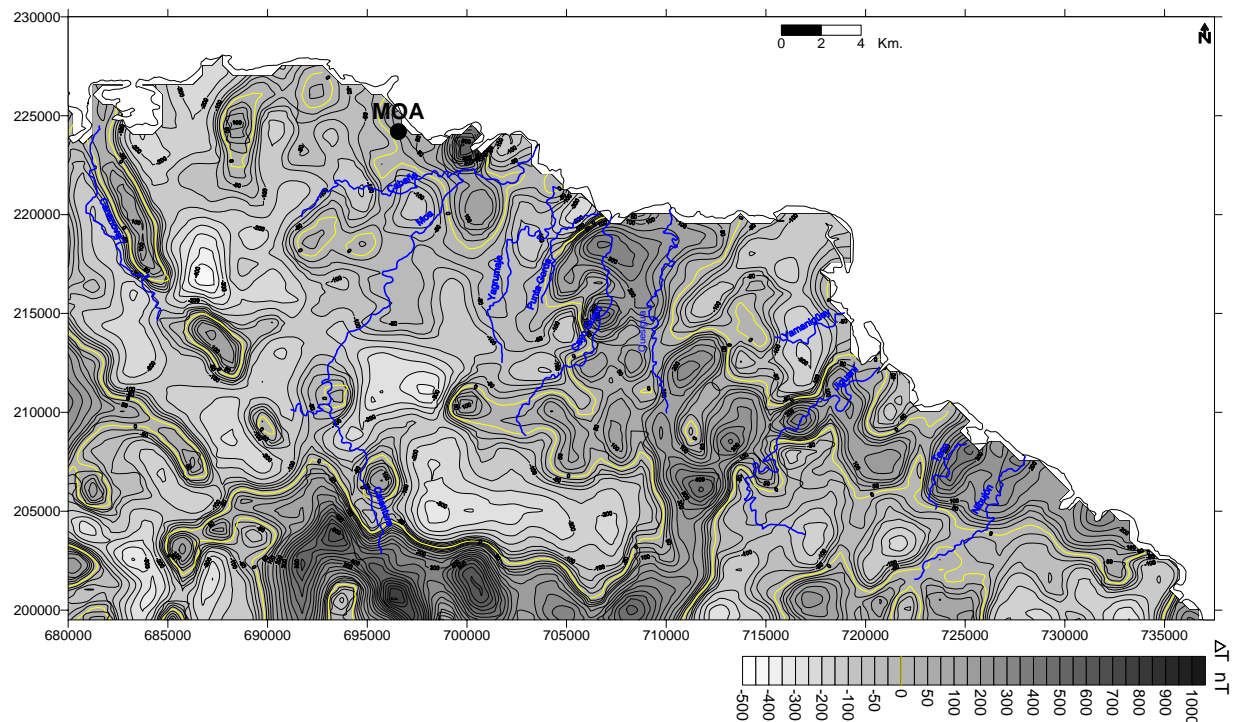


Figura 10. Mapa del campo magnético (ΔT) de la región de Moa.

Modelo Aerogamma espectrométrico:

A partir de los datos aerogamma espectrométricos se delimitaron áreas de desarrollo de lateritas Fe+Ni+Co con ayuda de las isolíneas de 2 ppm de eU (Fig. 11).

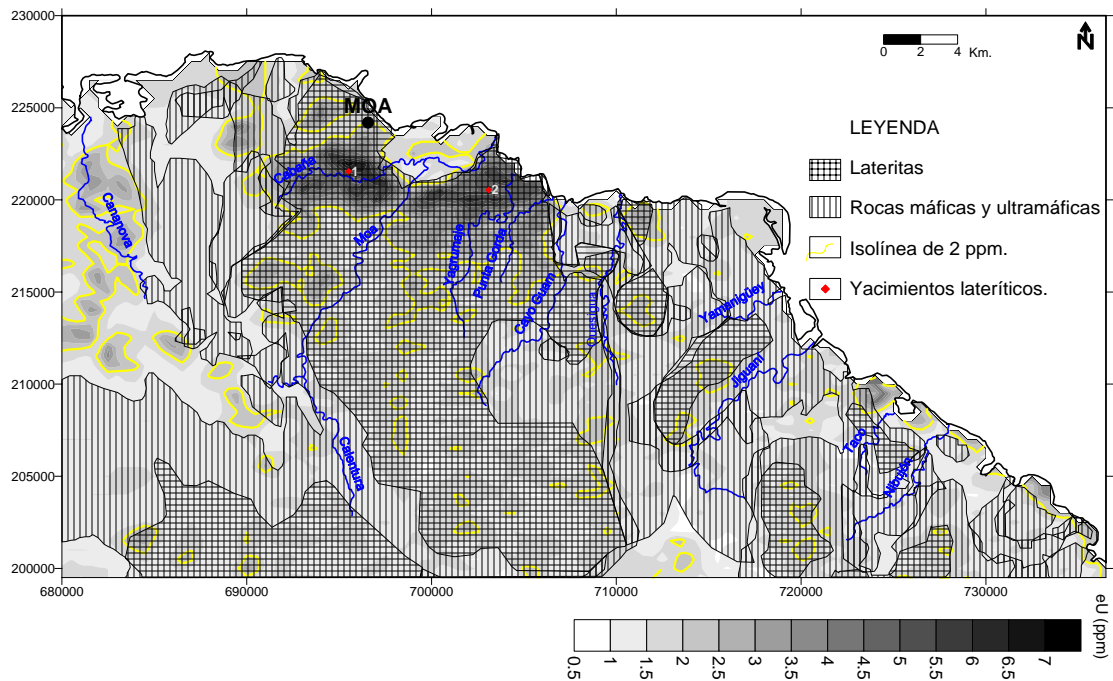


Figura 11. Mapa de contenido de uranio de la región de Moa. 1. Yacimiento Moa, 2. Yacimiento Punta Gorda.

El mapa de eTh (Fig. 12), con isolíneas de 1×10^{-3} de eTh/K y 5×10^{-4} de eU/K. Con ayuda de estos parámetros se delimitan zonas de lateritas no señaladas en los mapas geológicos tomados como base para este análisis.

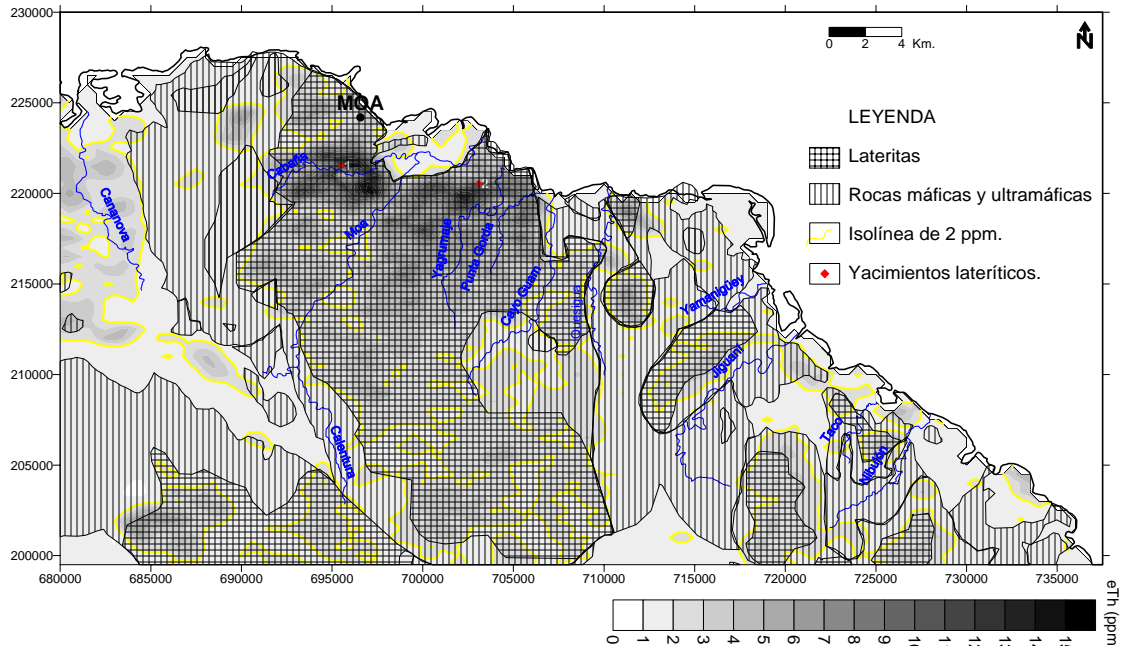


Figura 12. Mapa de contenido de torio de la región de Moa. 1. Yacimiento Moa, 2. Yacimiento Punta Gorda.

Los altos contenidos de K, del factor F ($K \cdot eU/eTh$), bajos valores de las relaciones eTh/K y eU/K y elevados valores de la relación eU/eTh, vinculados con la señal del campo magnético, en las rocas volcánicas e ígneas sugieren la existencia de alteraciones de carácter hidrotermal. Estas características en ocasiones se observan dentro de los yacimientos de lateritas Fe+Ni+Co,

delimitando bloques de rocas silíceas, material que dificulta el proceso metalúrgico (Batista et al., 2008).

Las mayores concentraciones de eU y eTh en la región se asocian a áreas de desarrollo de lateritas Fe+Ni+Co en las que se ubican los principales yacimientos minerales. Las mayores concentraciones de estos elementos en las lateritas de Moa, corroboran que estas poseen un mayor tiempo de formación, desarrollo, espesor y grado de madurez que las desarrolladas en Mayarí. En ellas los contenidos de eU y eTh varían en correspondencia con su génesis, tipo, tiempo de formación y espesores, según los resultados del análisis de las lateritas de Moa (Batista et al., 2008).

Los datos aportado por la geofísica (Batista, J., 2006; Batista y otros, 2008) y los estudios ingeniero-geológicos e hidrogeológicos, así como los recientes estudios de riesgos e impactos ambientales (Almaguer-Carmenates y Guardado-Lacaba, 2006) que provocan la actividad geológica y minera en el medio representan acciones científico-tecnológicas que avalan la innovación en el tratamiento de la información geológica de los yacimientos lateríticos de la región de Moa.

1.1.1.1. Modelo geoambiental

Para obtener el modelo geoambiental se realizaron varios recorridos en el área para monitorear el comportamiento de los taludes, conocer los tipos de movimientos así como las zonas inestables. Posteriormente, se realizó la evaluación hidrogeológica del yacimiento, la determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y los suelos para evaluar el macizo desde el punto de vista geomecánico y realizar el análisis de estabilidad, elementos necesarios para obtener el mapa de riesgos por deslizamientos. En el análisis de estabilidad se empleó el método de las componentes principales (Alfonso Roche, 1989) para cuantificar el peso de cada variable sobre la estabilidad.

El análisis de riesgo por movimientos de masas en los taludes y laderas en el territorio de Moa esta relacionado con el tipo de suelo, así como los mecanismos que gobiernan los tipos de movimientos (Guardado y Almaguer, 2001). Una incorrecta identificación del mecanismo de rotura puede hacer inútil y a veces contra producentes las soluciones estabilizadoras y los análisis de riesgos.

El modelo geoambiental ofrece, por un lado, el mapa de riesgo a los deslizamientos (Fig.13) y por otro, el parámetro hidrogeológico del yacimiento.

La existencia de taludes inestables dentro del sistema de explotación del yacimiento ferroniquelífero de Punta Gorda, presupone un riesgo que se manifiesta en la ocurrencia de deslizamientos. El presente trabajo se realiza con el objetivo fundamental de determinar en el yacimiento las zonas de riesgo, para esto se aplicó un complejo de métodos que abarcaron campañas de mediciones en el campo, estudios hidrogeológicos, geomecánicos y análisis de estabilidad de taludes. Como resultados brinda una caracterización de los taludes, las propiedades hidrogeológicas de los horizontes lateríticos, además de las características físico-mecánicas y geomecánicas de las rocas y, finalmente, se presenta el mapa de riesgos por deslizamiento para el yacimiento.

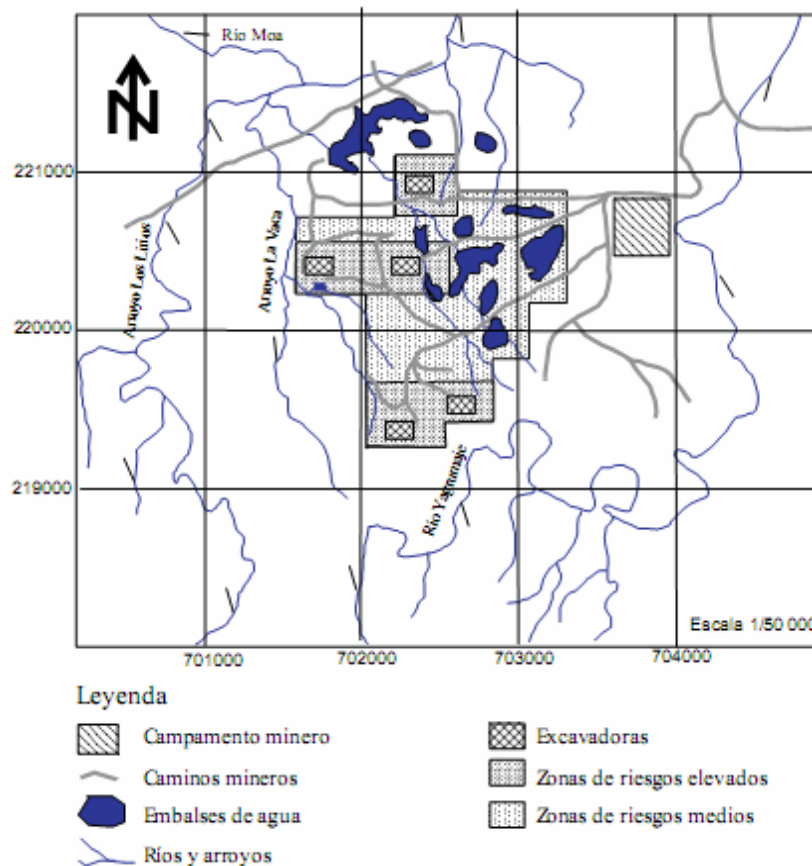


Figura 13. Mapa de riesgo por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda.

El modelo hidrogeológico del yacimiento Punta Gorda puso de manifiesto la amplia distribución de las aguas subterráneas, en la parte superficial agrietada del macizo ultrabásico, principalmente de las serpentinitas.

Este modelo permitió establecer conocer las propiedades hidrogeológicas de las lateritas, nunca antes estudiadas, por lo que representan aspectos novedosos en las ciencias geológicas, como lo son:

- Establecimiento de la presencia de aguas con presión en las peridotitas que subyacen a las lateritas y provocan la total saturación de la parte inferior del corte laterítico
- Ascenso capilar de las aguas en las lateritas que alcanzan magnitudes superiores a los 30 m. Estos resultados fueron obtenidos mediante la perforación de pozos en yacimientos lateríticos con ejecución de ensayos experimentales de filtración y toma de muestras de laterita a distintas profundidades, con ensayos de laboratorio como granulometría, determinación de porosidad y humedad, y cálculos de ascensos capilares.

Con estos resultados se modificó la teoría sobre la formación y enriquecimiento secundario de los yacimientos de Ni y Co residuales, debido a que las propiedades de ascenso capilar provocan un flujo de agua vertical durante millones de años desde las peridotitas que yacen bajo las lateritas y que contienen Ni, Co, Fe y otros elementos presentes en las lateritas con la participación de diversos procesos físico, mecánicos y geoquímicos han desarrollado la formación de minerales en las lateritas hasta el contenido actual.

Por los trabajos realizados anteriormente se conoce que el agrietamiento intenso y la acuosidad relacionada con estos se presentan a una profundidad de 20 – 30 m y que la zona más agrietada e inundada por lo general tiene una potencia de 2 – 5 m. A grandes profundidades las rocas son prácticamente monolíticas y no contienen agua subterránea. En la región existen manantiales de aguas subterráneas ligados a la zona de agrietamiento. El gasto de estos varía desde fracciones hasta varios litros por segundo y se encuentra en dependencia directa de la cantidad de precipitaciones atmosféricas.

1.1.1.2. Modelos descriptivos

Como aplicación de la metodología y los formatos para la modelación descriptiva y del análisis y generalización de la información sobre la corteza de intemperismo en la región de Moa se presentan, por primera vez en Cuba, tres modelos para los yacimientos lateríticos de Fe-Ni-Co (Ariosa-Iznaga et al.); ellos son:

1. Modelo descriptivo de depósitos lateríticos de Fe-Ni-Co
2. Modelo descriptivo de depósitos laterítico-saprolíticos de Fe-Ni-Co
3. Modelo descriptivo de depósitos sedimentarios litorales de Fe-Ni-Co

Modelo descriptivo de depósitos lateríticos de Fe-Ni-Co:

NOMBRE: Depósitos Fe-Ni-Co lateríticos.

SINÓNIMOS: Menas oxidadas de níquel; depósitos niquelíferos limoníticos; tipo serpentino-ocroso cobaltífero-niquelífero; perfil querolítico-ocroso; perfil reducido.

PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS: Fe, Ni, Co, (Cr).

EJEMPLOS: Camarioca norte, Moa Oriental y Yagrumaje Oeste.

CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS:

DESCRIPCIÓN RESUMEN: Depósitos supergénicos de Fe-Ni-Co medianamente difundidos en el mundo, constituidos por una corteza de meteorización eminentemente laterítica (ferruginosa), muy poco silicática, eluvial (“in situ”), en forma de manto friable (3-7 m de potencia), superpuesto sobre basamentos peniplanizados y pedimentosos inclinados (15-25°), compuestos por rocas ultramáficas (harzburgita, lherzolita, dunita, serpentinitas) que constituyen las reservas principales conocidas de Fe goethítico de intemperismo y en menor proporción, de Ni y Co.

ESCENARIO TECTÓNICO: Terrenos cerrosos y montañosos obducidos o platafórmicos fuertemente erosionados en condiciones de estabilidad tectónica prolongada, habitualmente con una estructura fallada en bloques neotectónicos o con multiterrazamiento.

AMBIENTE DEPOSICIONAL / ESCENARIO GEOLÓGICO: Acumulación en peniplanicies y pedimentos con pendientes inclinadas (15-25°), producidos por la erosión y meteorización superficial, generalmente de base regional alta, vinculada con los procesos de formación de suelos por encima del nivel freático.

EDAD DE LA MINERALIZACIÓN: Mesozoico Superior y Terciario (post-Campaniano-Pleistoceno) La datación se basa en evidencias estratigráficas, paleogeográficas y geomorfológicas.

TIPOS DE ROCAS ENCAJANTES / TIPOS DE ROCAS ASOCIADAS: Los depósitos minerales yacen directamente sobre la superficie de las rocas madres y se asocian casi totalmente con lateritas (ocres inestructurales y estructurales lateritizados), donde las saprolitas (semiocres arcillosos y serpentinitas lixiviadas nontronitizadas limonitizadas parcialmente) no existen o tienen un desarrollo extremadamente subordinado, dentro de las cuales es posible separar volúmenes productivos de Fe, Ni y Co.

Las rocas madres fundamentales de este tipo de perfil son ultramafitas poco serpentinizadas (45-60%) o serpentinitas, así también como dunitas, harzburgitas, wherlitas y sus serpentinitas, ubicadas en geomorfotipos de fuerte drenaje de aguas. Subordinadamente, también se encuentran rocas máficas (generalmente diques o masas de troctolita, gabro olivínico, gabro normal, norita, raramente plagiogranito) Estas rocas pertenecen a asociaciones ofiolíticas con predominio de ultramafitas (cúmulos ultramáficos y su zona de transición).

FORMA DEL YACIMIENTO: Cuerpos zonales lenticulares y tabulares irregulares sobre serpentinitas, compuestos por un horizonte laterítico con la ausencia total o casi total de saprolitas, que sólo se hallan en forma de relictos locales dispersos en esta capa litológica. Frecuentemente el horizonte laterítico es medianamente potente (menos de 10 m) y variable por su espesor (50-80 % de variabilidad respecto al valor medio). La potencia productiva niquelífero-cobaltífera tiene 3 m como promedio.

TEXTURA/ESTRUCTURA: Los depósitos presentan macrobandeamiento litológico (zonalidad), con predominio de las texturas oolítica, terrosa, cavernosa, amorfa, relíctica y fragmentaria. En su estructura predominan, las fracciones finas (menor de 0.05 mm). El horizonte laterítico se subdivide en tres tipos litológicos de menas que a su vez se corresponden con las zonas litológicas de la corteza de intemperismo que componen este tipo de perfil y que son:

Ocres Inestructurales con Concreciones Ferruginosas (OICC)

Ocres Inestructurales sin concreciones ferruginosas (OI)

Ocres Estructurales Finales (OEF)

En la saprolita, los Ocres Estructurales Iniciales (OEI) están ausentes y son frecuentes pequeñas potencias (20-50 cm) de Roca Madre Lixiviada (RML) limonitizada y 1-2 m de Roca Madre Agrietada (RMA) al final del corte.

MINERALOGÍA DE LAS MENAS (PRINCIPAL Y SUBORDINADA): Los minerales principales de las menas son: oxi-hidróxidos de hierro (goethita, alumogoethita, maghemita) y de manganeso (asbolanas y wades: psilomelano, todorokita, woodruffita, feitknechtita). Las serpentinas hipergénicas (lizardita, crisotilo, antigorita) y arcillas saponíticas (nontronita, ferrisaponita, beydelita, ferrihalloysita) se presentan en forma de trazas y pequeños sectores aislados en la base de los ocres o linealmente asociados a diques y sills de gabroides olivínicos meteorizados, por lo que la cantidad de oxi-hidróxidos de hierro alcanza hasta 80% de la masa mineral de las menas.

Los minerales subordinados de las menas componen principalmente las fracciones gruesas, tanto en la laterita como en la saprolita y están representados por cromoespinela, hematita y magnetita en la

laterita; en la saprolita por fragmentos dispersos relicticos de serpentinita limonitizada, nontronitizada, kerolitizada, serpofitizada, así como cloritas niquelíferas.

En las menas, de conjunto con las fases cristalinas de los minerales, existen importantes fases amorfas que son niquelíferas y cobaltíferas.

La mineralogía de la ganga está compuesta principalmente por concreciones goethítico-hematíticas, gibbsita, cromoespinelas y silicatos primarios o secundarios estériles.

INTEMPERISMO: Se manifiesta como intensa maduración de la corteza de intemperismo por vía de la oxidación de las saprolitas y lateritización de los ocreos hasta llegar a formar ocreos inestructurales en todo el perfil friable de la corteza de intemperismo en algunos sitios, en dependencia de la variación de los factores de intemperismo. También puede ocurrir la erosión parcial o total local de los productos del intemperismo.

CONTROLES DE LAS MENAS: es litológico y de acuerdo con su composición se generan dos tipos de menas lateríticas: ferruginosas legadas naturalmente en níquel, cobalto, cromo, manganeso que se asocian a litotipos o zonas litológicas inestructurales de la corteza de intemperismo y ferruginoso-niquelífero-cobaltíferas en los ocreos estructurales finales (OEF) y parcialmente en los ocreos inestructurales sin concreciones (OI). Las mayores concentraciones de hierro, aluminio y cromo se controlan por la laterita más superficial (OICC, OI); el cobalto se controla por las litologías inferiores de la laterita (OI, OEF principalmente); el níquel por éstas últimas (OI, OEF principalmente) y por las litologías relicticas saprolíticas (OEI y RML principalmente así como RMA), aunque estas últimas prácticamente no forman cuerpos minerales.

El níquel en la laterita se asocia a los oxi-hidróxidos de hierro (goethita, maghemita, magnetita) en la proporción de 60-95% del total y en la saprolita se asocia a los silicatos (serpentin, arcillas, cloritas) hasta 85%.

El cobalto se asocia casi totalmente (80-90%) a las psilomelanas, las que también concentran una proporción importante del níquel (10-20%).

El hierro, aluminio y cromo se asocian al hierro en las goethita, maghemita y magnetita; el aluminio a la gibbsita y el cromo a las cromoespinelas.

MODELO GENÉTICO: El proceso de generación meteórica de las zonas litológicas ocurre bajo la acción de tres fenómenos geoquímicos básicos: hidratación, lixiviación e hidrólisis en soluciones naturales químicamente agresivas. La hidratación inicial provoca una intensa serpentinitización de la ultramafita, facilitando la lixiviación de los elementos químicos alcalinos y alcalino térreos (Na, K, Ca, Mg) y del silicio (Si^{4+}) de los silicatos, con la acumulación simultánea del resto de los elementos químicos que componen la roca: Al, Ti, Fe, Cr, Ni, Co, V, Cu, Zn, Zr, Mn, Nb, Ga, Sc, Au, Pt, Pd y otros lo que es típico del estadio inicial del proceso de intemperismo de las ultramafitas. El estadio final consiste en la hidrólisis de los productos intermedios del intemperismo, con la generación de ocreos (goethitización y gibbsitización) y la redistribución geoquímica de parte de los elementos químicos residuales, que adquieren movilidad total o parcial en este medio geoquímico (Fe^{3+} , Cr^{3+} , Mn, Co, Ni, Au, Pt, Pd). Durante la hidrólisis final en medio ácido ($\text{pH} = 3-5$), en la parte superior e inestructural de la corteza de intemperismo, se produce simultáneamente la removilización parcial del Fe^{3+} y Cr^{3+} desde la zona de concreciones, concentrándose en la zona infrayacente de los ocreos inestructurales sin concreciones ferruginosas.

Estas regularidades genéticas del intemperismo de las ultramafitas presentan diferentes intensidades, lo que denota distintos niveles de lixiviación del silicio, en dependencia del microclima, condiciones geomorfológicas y quimismo de las rocas madres. A tenor de estas regularidades, los litotipos de la

corteza de intemperismo se diferencian de un yacimiento a otro y dentro del propio yacimiento provocando diferencias en sus características tecnológicas y potencialidad económica.

La formación de este tipo de depósito ocurre en las últimas fases de meteorización de las ultramafitas en condiciones de intenso drenaje de las aguas, posición elevada por encima de la base de erosión local y sobre superficies onduladas o de pendientes medias (15-25°) de cuya acción combinada dependerá la formación de depósitos lateríticos estructurales o inestructurales por lo que surgirán depósitos lateríticos ferro-niquelífero-cobálticos o lateríticos ferruginosos legados naturalmente con cromo, cobalto, titanio, aluminio, manganeso y níquel.

TIPOS DE YACIMIENTO ASOCIADOS: Depósitos de Fe-Ni-Co supergénicos eluviales con perfil de tipo laterítico-saprolítico y de lateritas redepositadas en los flancos, así como depósitos cromíticos, materiales refractarios y asbesto crisotílico generalmente ubicados en los complejos ultramáficos madres.

COMENTARIOS: Incluye dos subtipos de depósitos, condicionados por particularidades genéticas, que son:

- a) Depósitos lateríticos ferruginosos legados caracterizados por presentar litotipos inestructurales (OICC, OI)
- b) Depósitos lateríticos ferroniquelíferos-cobálticos compuestos por los tres litotipos lateríticos (OICP, OI, OEF)

GUIAS DE EXPLORACION

CARACTERISTICAS GEOQUÍMICAS: Contenidos anómalos de Fe, Ni, Co, Cr, Al, Sc y Mn en suelos pardo-rojizos ferralíticos sobre rocas ultramáficas, así como la presencia de concreciones ferruginosas y/o esqueletos silíceos (silcreta) en la superficie.

CARACTERISTICAS GEOFÍSICAS: Anomalías electromagnéticas, magnéticas, gravimétricas y sismoacústicas en cuencas sedimentarias de la periferia de los macizos ultramáficos y sobre zonas cubiertas por vegetación o sedimentos.

OTRAS GUÍAS DE EXPLORACIÓN: Presencia de suelos ferralíticos potentes sobre rocas ultramáficas con mayor cantidad de olivino que piroxenos, bosques naturales de coníferas (pinos) con lianas y arbustos densos en regiones tropicales o subtropicales. Campos de lateritas ubicados en superficies inclinadas (onduladas) con fuerte drenaje de las aguas meteóricas o sobre rocas ultramáficas muy piroxénicas.

FACTORES ECONOMICOS

LEY Y TONELAJE: Depósitos de 2-100 millones de toneladas de menas con Fe = 35-60 %, Ni = 0,4-1,25 %, Co = 0,02-0,3 %, Cr_2O_3 = 1,8-3,5 %, P = 0,06% y S = 0,1%

LIMITACIONES ECONÓMICAS: Heterogeneidad tecnológica interna de los depósitos con contenidos variables de hierro, cromo, níquel, sílice, manganeso, cobalto y aluminio, por lo que las menas requieren de prebeneficio metalúrgico (mezcla, tamizaje, molienda, etc) y explotación selectiva. Los costos medioambientales son significativos, incluyendo el relleno y recultivación de suelos.

USOS FINALES: Mineral de hierro, níquel, cobalto y cromo para la obtención de aceros legados naturalmente o especiales con beneficio metalúrgico previo.

IMPORTANCIA: Depósitos de primordial importancia para la obtención de hierro goethítico y cobalto, algo menor en relación con el níquel por su menor contenido de níquel debido a la ausencia de saprolitas. No obstante, por ser depósitos superficiales de significativa extensión concentran importantes reservas de níquel y cobalto.

Modelo descriptivo de depósitos laterítico-saprolíticos de Fe-Ni-Co:

NOMBRE: Depósitos laterítico-saprolíticos de Fe-Ni-Co

SINÓNIMOS: Menas óxido-silicáticas de níquel; depósitos niquelíferos limonítico-serpentinicos; perfil laterítico-nontronítico; perfil completo.

PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS: Fe, Ni, Co. (Cr)

EJEMPLOS:

- a) En la región de Moa: Punta Gorda, Camarioca Este, Moa occidental, Piloto, Yagrumaje norte, sur y este.
- b) En otros países: Buruktalsk (Rusia); Kempirsay (Kazajastán); Greenvale, Bulong (Australia); Soroako (Indonesia); Kastoria (Grecia); La Gloria (Guatemala); Barro Alto, Niquelandia (Brasil).

CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS:

DESCRIPCIÓN RESUMEN: Son los depósitos lateríticos de Fe-Ni-Co más difundidos mundialmente constituidos por una corteza de intemperismo ferruginoso-silicática eluvial (in situ), en forma de un potente manto friable (10 m promedio) superpuesto sobre el basamento ultramáfico serpentizado peniplanizado (principalmente harzburgita, lherzolita, dunita) y constituyen las principales reservas conocidas de menas lateríticas de Fe-Ni-Co.

ESCENARIO TECTÓNICO: Terrenos cerrosos y montañosos obducidos o platafórmicos fuertemente erosionados en condiciones de estabilidad tectónica prolongada, frecuentemente con una estructura fallada en bloques neotectónicos.

AMBIENTE DEPOSICIONAL / ESCENARIO GEOLÓGICO: Acumulación en peniplanicies y pedimentos con pendiente suave (5-25°) producidos por la erosión y meteorización superficial generalmente de base regional alta, vinculada con los procesos de formación de suelos.

EDAD DE LA MINERALIZACIÓN: Mesozoico Superior y Terciario (post-Campaniano-Pleistoceno) La datación se basa en evidencias estratigráficas, paleogeográficas y geomorfológicas.

TIPOS DE ROCAS ENCAJANTES/TIPOS DE ROCAS ASOCIADAS: Los depósitos minerales yacen directamente sobre la superficie de las rocas madres y se asocian con lateritas (ocres inestructurales y estructurales) y saprolitas (semiocres arcillosos y serpentinitas lixiviadas

nontronitizadas limonitizadas parcialmente), dentro de las cuales es posible separar volúmenes productivos de Fe, Ni y Co.

Las rocas madres fundamentales son ultramafitas con alto contenido de olivino (50-100 %): dunita, harzburgita, wherlita y sus serpentinitas, con subordinación de rocas máficas (generalmente diques o masas de troctolita, gabro olivínico, gabro normal, norita, raramente plagiogranito). Estas rocas pertenecen a asociaciones ofiolíticas con predominio de ultramafitas (tectonitas, cúmulos ultramáficos y su zona de transición o macizos máfico-ultramáficos estratiformes platafórmicos).

FORMA DEL YACIMIENTO: Cuerpos zonales lenticulares y tabulares irregulares sobre serpentinitas, compuestos por un horizonte laterítico superficial y otro saprolítico más profundo. Frecuentemente el horizonte laterítico es más potente y continuo mientras que el saprolítico es menos potente y más variable, aunque algunos depósitos presentan esta proporción a la inversa, e.g. Nueva Caledonia, San Felipe (Cuba).

La potencia de los cuerpos fluctúa entre 1 y 25 m (hasta 50-150 m en caso de cortezas lineales) cubriendo extensas áreas de cientos de kilómetros cuadrados o lineales. La potencia productiva de menas de Ni-Co generalmente es 5-10 m. La variabilidad puntual de la potencia y el tonelaje de los cuerpos minerales es irregular (50- 120 % de fluctuación respecto al valor medio).

TEXTURA/ESTRUCTURA: Los depósitos presentan macrobandeamiento litológico (zonalidad) con predominio de las texturas oolítica, terrosa, cavernosa, amorfa, relictica y fragmentaria con predominio en su estructura de las fracciones fina (menor de 0.05 mm) y arcillosa.

Los horizontes laterítico y saprolítico se subdividen internamente en tres tipos litológicos de menas y las seis zonas litológicas de la corteza de intemperismo que componen a este tipo de perfil. Estos tipos litológicos de menas son:

- a) En la laterita: Ogres Inestructurales con concreciones ferruginosas (OICC); Ogres Inestructurales sin concreciones ferruginosas (OI); y Ogres Estructurales Finales (OEF);
- b) En la saprolita: Ogres Estructurales Iniciales (OEI); Roca Madre Lixiviada (RML); y Roca Madre Agrietada (RMA)

MINERALOGÍA DE LAS MENAS (PRINCIPAL Y SUBORDINADA): Los minerales principales de las menas son: oxi-hidróxidos de hierro (göethita, alumogöethita, maghemita) y de manganeso (asbolanas y wades: psilomelano, todorokita, woodruffita, feitknechtita, serpentinas hipergénicas (lizardita, crisotilo, antigorita, kerolita, pimelita, garnierita, revdinskita, nepuita) y arcillas saponíticas (nontronita, ferrisaponita, beydellita).

Los minerales subordinados de las menas que componen principalmente las fracciones gruesas, tanto en la laterita como en la saprolita, están representados por cromoespinela, hematita y magnetita en la laterita; en la saprolita son fragmentos relicticos de serpentinita limonitizada, nontronitizada, kerolitizada, serpofitizada, así como shamosita y cloritas níquelíferas.

En las menas, conjuntamente con las fases cristalinas se desarrollan otras de tipo amorfas que son níquelíferas y cobaltíferas.

La mineralogía de la ganga está compuesta principalmente por concreciones goethítico-hematíticas, gibbsita, cromoespinelas y silicatos primarios o secundarios estériles.

INTEMPERISMO: Se manifiesta en forma relevante y conduce a la maduración o ulterior crecimiento de la corteza de intemperismo en dependencia de la variación de los factores de intemperismo, así como a la erosión parcial o total de los productos del intemperismo localmente. Si el depósito experimentó enterramiento, se forman minerales supergénicos infiltrativos como

shamosita, siderita, millerita, manganocalcita, rodocrosita, pirita y otros surgidos en condiciones subaeriales.

CONTROLES DE LAS MENAS: El control de las menas es litológico, por lo que este tipo de perfil produce dos tipos composicionales de menas: laterítica y saprolítica que se asocian a seis litotipos o zonas litológicas de la corteza de intemperismo.

Las mayores concentraciones de hierro, aluminio y cromo se controlan por la laterita más superficial (OICC, OI); el cobalto se controla por las litologías inferiores de la laterita (OI, OEF principalmente) y el níquel por éstas últimas (OI, OEF principalmente) así como por las litologías saprolíticas (OEI y RML principalmente, y RMA). La mayor concentración de níquel se asocia al litotipo OEI y la de cobalto al litotipo OEF.

El níquel en la laterita se asocia a los oxi-hidróxidos de hierro (göethita, maghemita, magnetita) en la proporción de 60-95% del total y en la saprolita se asocia a los silicatos (serpentinatas, arcillas, cloritas) hasta 85%.

El cobalto se asocia casi totalmente (80-90%) a las psilomelanas, las que también concentran una proporción importante del níquel (10-20%)

El hierro se asocia a las göethita, maghemita y magnetita; el aluminio a la gibbsita y el cromo en las cromoespinelas.

MODELO GENÉTICO: El proceso de generación meteórica de las zonas litológicas ocurre bajo la acción de tres fenómenos geoquímicos básicos: hidratación, lixiviación e hidrólisis en soluciones naturales químicamente agresivas. La hidratación inicial provoca una intensa serpentización de la ultramafita, facilitando la lixiviación de los elementos químicamente alcalinos y alcalino-térreos (Na, K, Ca, Mg) y del silicio (Si^{4+}) de los silicatos, con la acumulación simultánea del resto de los elementos químicamente que componen la roca: Al, Ti, Fe, Cr, Ni, Co, V, Cu, Zn, Zr, Mn, Nb, Ga, Sc, Au, Pt, Pd y otros lo que es típico del estadio inicial del proceso de intemperismo de las ultramafitas. El estadio final consiste en la hidrólisis de los productos intermedios del intemperismo, con la generación de ocre (göethitización y gibbsitización) y la redistribución geoquímica de parte de los elementos químicamente residuales, que adquieren movilidad total o parcial en este medio geoquímico (Fe^{3+} , Cr^{3+} , Mn, Co, Ni, Au, Pt, Pd). Durante la hidrólisis final en medio ácido ($\text{pH} = 3-5$), en la parte superior inestructural de la corteza de intemperismo, se produce la removilización parcial del Fe^{3+} y Cr^{3+} paralelamente desde la zona de concreciones, concentrándose en la zona infrayacente de los ocre inestructurales sin concreciones ferruginosas.

Estas regularidades genéticas del intemperismo de las ultramafitas presentan diferentes intensidades lo que denota distintos niveles de lixiviación del silicio, en dependencia del microclima, condiciones geomorfológicas y quimismo de las rocas madres. A tenor con ellas los litotipos de la corteza de intemperismo se diferencian de un yacimiento a otro y dentro del propio yacimiento provocando diferencias en sus características tecnológicas y potencialidad económica.

TIPOS DE YACIMIENTO ASOCIADOS: Depósitos lateríticos de Fe-Ni-Co con perfil de tipo laterítico y de lateritas redepositadas en los flancos, así como depósitos cromitíticos, materiales refractarios y asbesto crisotílico generalmente ubicados en los complejos ultramáficos de rocas madres.

COMENTARIOS: Incluye subtipos raros, condicionados por particularidades genéticas, tales como:

- a) Depósitos laterítico-saprolíticos por conglomerados carbonatado-terrígenos polimícticos con clastos mayoritariamente de rocas ultramáficas y subordinadamente máficas, como el yacimiento níquelífero Martí (Cuba);
- b) Depósitos lineales de grietas y grieta-contacto de ultramafitas con rocas carbonáticas y silicáticas (Elizabetínsk, sur de los Urales; Lípovsk, Buryktálsk, Novo-Buránovsk, Rusia y algunos depósitos en Ucrania);
- c) Depósitos laterítico-saprolíticos eluviales enterrados debajo de sedimentos estratigráficamente más jóvenes, como el depósito Devladóvsk (Urales, Rusia) con 15-25 m de ocre y nontronitas cubiertos por 70-100 m de sedimentos paleogénicos (caolines, arenas negras y arcillas con capas de lignito, arenas blancas), neogénicos (arcillas grises y arenas) y cuaternarios. Otros depósitos de este subtipo se encuentran en las regiones de Ufaliey, Jalílovo (Rusia) y Kimpersay (Kazajstán) con una corteza laterítico-saprolítica de edad pre-Jurásico cubierta por sedimentos del Jurásico Medio y Superior, Cretácico y Terciario; también se conocen en Grecia y Yugoslavia.

GUIAS DE EXPLORACION

CARACTERISTICAS GEOQUÍMICAS: Contenidos anómalos de Fe, Ni, Co, Cr, Sc y Mn en suelos pardo-rojizos ferralíticos sobre rocas ultramáficas, así como la presencia de concreciones ferruginosas y/o armazones -esqueletos- silíceos (silcreta) en la superficie.

CARACTERISTICAS GEOFÍSICAS: Anomalías electromagnéticas, magnéticas, gravimétricas y sismoacústicas en cuencas sedimentarias de la periferia de los macizos ultramáficos y sobre zonas cubiertas por vegetación o sedimentos.

OTRAS GUÍAS DE EXPLORACIÓN: Desarrollo de suelos ferralíticos potentes sobre rocas ultramáficas con mayor cantidad de olivino que piroxenos, así como la existencia de cuencas superpuestas en complejos ofiolíticos obducidos y grábenes colindantes con macizos ultramáficos platafórmicos. Presencia de bosques naturales de coníferas (pinos), con lianas y arbustos densos en regiones tropicales o subtropicales desarrollados sobre suelos ferralíticos.

FACTORES ECONOMICOS

LEY Y TONELAJE: Depósitos de 2-200 millones de toneladas de menas con Fe = 10 -50 %, Ni = 0,4-3 % (3-12 % en cortezas lineales), Co = 0,02-0,15 %, Cr₂O₃ = 1,8-3,5 %.

LIMITACIONES ECONÓMICAS: Heterogeneidad tecnológica interna de los depósitos con contenidos variables de magnesio, sílice y aluminio, por lo que usualmente las menas requieren de prebeneficio metalúrgico (mezcla, tamizaje, molienda) y explotación selectiva. Algunos depósitos tienen altas proporciones de escombros. Los costos medioambientales son significativos, incluyendo el relleno y recultivación de suelos.

USOS FINALES: Mineral de hierro, níquel, cobalto y cromo para la obtención de aceros legados naturalmente o especiales con beneficio metalúrgico previo.

IMPORTANCIA: Depósitos de primordial importancia por constituir una de las principales reservas de níquel y cobalto.

Modelo descriptivo de depósitos sedimentarios litorales de Fe-Ni-Co:

NOMBRE: Depósitos Fe-Ni-Co sedimentarios litorales.

SINÓNIMOS: Lateritas redepositadas; hierro oolítico-pisolítico sedimentario; hierro shamosítico.

PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS: Fe, Ni, Co, (Cr).

EJEMPLOS:

- a) En la región de Moa: periferia norte del yacimiento Punta Gorda.
- b) En otros países: Shaytantsk (Kazajastán); Aydirinsk (Urales, Rusia); Orsko-Halilovsk (Urales, Rusia).

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

DESCRIPCIÓN RESUMEN: Depósitos friables, lenticulares y tabulares irregulares, arcillosos, shamosítico-goethíticos dentro de secuencias arcillosas carbonatadas y terrígenas, formados en ambientes costeros marinos y lacustres.

ESCENARIO TECTÓNICO: Cuencas sedimentarias superpuestas en terrenos ofiolíticos obducidos o relacionados con grábenes.

AMBIENTE DEPOSICIONAL: Erosión y transportación por las aguas a corta distancia (hasta 4-5 Km) de los productos “in situ” del intemperismo superficial con su ulterior deposición y sedimentación en el shelf marino, mares cerrados, lagos y lagunas.

EDAD DE LA MINERALIZACIÓN: Mioceno-Cuaternario. La datación de la edad geológica se realizó por polinología y microfauna (Archaias angulatus Fitchell Moll, Elphidium puertorricense gall Hemingway, Amphistegina lessoni d’Orbigny, miliólidos, ostrácodos y otros) en los depósitos terciarios.

TIPOS DE ROCAS ENCAJANTES/TIPOS DE ROCAS ASOCIADAS: Los depósitos minerales yacen directamente sobre la superficie de serpentinitas o dentro de arcillas, calizas, margas, conglomerados, areniscas, aleuritas, esquistos y material laterítico.

FORMA DEL YACIMIENTO: Lentes y cuerpos tabulares irregulares sobre serpentinitas, esquistos, rodeadas por arcillas con fragmentos de serpentinitas, calizas silicificadas, margas, aleuritas, areniscas pudiendo existir aterrazamiento marino. La potencia de los depósitos fluctúa entre 5 y 30 m con una extensión lateral hasta 2-3 Km².

TEXTURA/ESTRUCTURA: Fragmentaria con estratificación rítmica oblicua o normal. La potencia de los estratos fluctúa entre 0,5 - 6 m predominando la estratificación fina. Las capas se caracterizan por diferente coloración, predominando el rojo y amarillo en el material más ocroso y el abigarrado en el más arcilloso pasando por las tonalidades verdosas. Frecuentan las concreciones goethítico-hematíticas con variados tamaños, alcanzando hasta 3 cm en las capas más superficiales.

MINERALOGÍA DE LAS MENAS (PRINCIPAL Y SUBORDINADA): Göethita, asbolana, wades, pirolusita, nontronita y silicatos niquelíferos (nontronita, shamosita) cromoespinelas como minerales principales.

Tienen menor difusión los sulfuros niquelíferos epigenéticos que se encuentran dentro de las arcillas en forma de concreciones, venillas, costras, granos y disseminaciones muy finas de cristales de sulfuros (marcasita, melnikovita, pirita, bravowita, violarita y millerita) así como göethita hidratada, magnetita, leptoclorita, gibbsita, siderita, manganocalcita y material coloidal, precipitados químicamente que se recrystalizan a clorita e hidrargilita.

La mineralogía de la ganga consiste principalmente en carbonatos, silicatos y arcillas ligníferas en el techo de los depósitos.

INTEMPERISMO: Caolinización parcial de las arcillas; limonitización de las margas y sulfuros, cementación superficial local de las concreciones göethítico-hematíticas, lo que conduce a una redistribución pequeña de los elementos químicos, sin llegar a desarrollar una zonalidad geoquímica expresa, como existe en las cortezas de intemperismo primarias in situ (eluviales)

CONTROLES DE LAS MENAS: Litológico-estratigráfico relacionado con la composición mineral de las capas litológicas que componen el depósito, siendo meníferas cuando predominan los oxihidróxidos de hierro, cromo o manganeso, así como silicatos niquelíferos

MODELO GENÉTICO: Erosión, traslado y redeposición en aguas someras de los materiales del intemperismo supergénico de complejos de rocas máfico-ultramáficas

TIPOS DE YACIMIENTO ASOCIADOS: Depósitos Fe-Ni-Co hipergénicos eluviales (in situ), incluyendo los parcialmente erosionados.

COMENTARIOS: Incluye los subtipos de depósitos con: a) menas ferruginosas b) menas ferruginosas niquelífero-cobálticas c) menas cobálticas y d) menas ferruginosas cromíticas.

GUIAS DE EXPLORACION

CARACTERISTICAS GEOQUÍMICAS: Contenidos anómalos de Fe, Ni, Co, Cr y Mn en paquetes sedimentarios de la periferia de los macizos ultramáficos.

CARACTERISTICAS GEOFÍSICAS: Anomalías electromagnéticas y magnéticas en cuencas sedimentarias de la periferia de los macizos ultramáficos

OTRAS GUÍAS DE EXPLORACIÓN: Presencia de cuencas superpuestas en complejos ofiolíticos obducidos y grábenes colindantes con macizos ultramáficos.

FACTORES ECONOMICOS

LEY Y TONELAJE: Depósitos de 20 -100 millones de toneladas de menas con Fe = 30-50 %, Ni = 0,4 - 1,3 %, Co = 0,02 - 0,1 %, Cr₂O₃ = 1,8 - 3,5 %

LIMITACIONES ECONÓMICAS: Heterogeneidad composicional y altos contenidos de azufre, sílice y cromo. Las menas requieren de beneficio metalúrgico.

USOS FINALES: Mineral de hierro, níquel, cobalto y cromo para la obtención de aceros legados naturalmente o especiales con beneficio metalúrgico previo.

IMPORTANCIA: Depósitos de segunda importancia por su mayor complejidad tecnológica y limitada difusión.

4.4. DISEÑO DE REDES DE EXPLORACIÓN

4.4.1. Introducción

El conocimiento de ciertos parámetros $P_1, P_2, P_3, \dots, P_k$, por ejemplo, contenidos de níquel, hierro y cobalto, potencia de mineral útil, etc., definidos en cierto dominio geométrico plano D (que representa el área que ocupa un yacimiento o una parte de él, como por ejemplo un bloque administrativo de 300 m x 300 m), es un proceso que se realiza en m etapas $E_1, E_2, E_3, \dots, E_m$ de la exploración y explotación de los recursos geológico-mineros que contienen el dominio D y es, este proceso, uno de los elementos principales que garantiza el desarrollo de una minería eficiente. Generalmente, se acepta que a cada parámetro P_i se le asocia en cada etapa E_j una cota de error permisible en la modelación e_{ij} , por lo cual debe definirse la matriz:

$$ER = \begin{bmatrix} e_{11} & \dots & e_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{m1} & \dots & e_{mk} \end{bmatrix}$$

De manera que cada fila representa una etapa o fase de exploración y cada columna un parámetro. El error e_{ij} generalmente se expresa de forma porcentual aunque esto puede variarse.

Es usual definir para cada yacimiento el número y nombres de las etapas; sin embargo, en nuestra opinión, no se ha hecho de manera completa y sistemática la elección de los parámetros P_1, \dots, P_k en los yacimientos lateríticos cubanos para cada etapa.

El conocimiento del yacimiento se obtiene al pasar de una etapa a la otra (de una fila a otra de la matriz), lo que garantiza que el conocimiento de cada parámetro P_i en cada etapa E_j tenga un error máximo de modelación permitido, definido por e_{ij} .

Hasta el presente se ha trabajado de manera que el paso de una a otra etapa se realiza, en general, atendiendo al parámetro más variable, y se han considerado iguales los valores de los errores permisibles de modelación de todos los parámetros de cada etapa, lo cual es una simplificación que provoca que los resultados no sean suficientemente exactos.

Ahora bien: ¿Qué es conocer el parámetro P_i en la etapa E_j ?

La respuesta a esta pregunta es compleja y se asume que se conoce un parámetro P_i en la etapa E_j Cuando es posible, con la información disponible en la etapa E_j , obtener un modelo de P_i tal que en

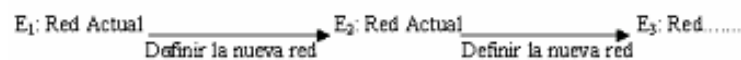
cualquier subdominio seleccionado sobre D para esa etapa, los valores modelados de P_i tienen un error máximo, menor o igual que e_{ij} .

De esto se infiere que el valor de la información disponible está relacionado con el modelo que se use, por lo que se justifica la necesidad de usar los mejores modelos disponibles para estimar, y utilizar el mejor método de estimación. En la determinación del modelo, influye de manera directa la selección de las propiedades que se deben medir y, de manera indirecta, la posible cantidad y las posibles posiciones de los puntos de muestreo.

Para lograr conocer los parámetros P_i en la etapa E_j el problema principal, como veremos más adelante es el definir cuántas y dónde deben tomarse las muestras lo cual, se reitera, depende fundamentalmente, además de la existencia de condiciones reales para realizar el muestreo, de la complejidad de los parámetros P_i , de los errores permisibles e_{ij} y del modelo que se use.

En la etapa E_1 , los valores de e_{i1} se toman lo suficientemente grandes como para asumir la densidad de la red de muestreo y la posición de los puntos de manera heurística por el método de analogía, usando criterios expertos sobre la base de la experiencia en yacimientos semejantes, lo cual se acepta en esta investigación como correcto.

El asunto consiste ahora en definir la nueva red de muestreo de la etapa E_{j+1} si se conocen los datos de la etapa anterior E_j ($j=1, \dots, m-1$). Gráficamente, el proceso del conocimiento de una propiedad P en el dominio que se analiza, en su relación con las redes de muestreo, se puede ilustrar como sigue:



Esto significa que el conocimiento de los parámetros P_i en las diferentes etapas E_j pasa por la obtención de nueva información a través de un nuevo muestreo que, para el problema que se analiza, es equivalente a una densificación de la red de muestreo, ya que no es posible reubicar los muestreos anteriores. Se debe aclarar que esta densificación no tiene necesariamente que ser regular en el dominio D . Es obvio que por factores temporales y económicos esta nueva red tiene que ser óptima en cuanto a su cantidad y calidad.

Una buena red o red racional, desde un punto de vista pragmático, se puede definir como aquella, donde la correcta posición geométrica de un número relativamente mínimo de puntos de muestreo permite la ejecución de las mediciones con bajos gastos y con un alto aporte de la información requerida para un modelo dado.

En nuestra opinión, resolver exactamente este problema (o sea, obtener una red óptima) es posible pero aún no se conoce el modo de hacerlo para las complejas condiciones de los yacimientos lateríticos cubanos, pero consideramos que se puede obtener una aproximación suficientemente buena de esta solución para dar respuesta a las necesidades de la práctica geológico-minera actual; esto se describe a continuación.

4.4.2. Diseño de redes de exploración

El procedimiento para llevar a cabo la racionalización de las redes de exploración trae consigo una serie de pasos que se enumeran a continuación:

Paso 1: Definición de los parámetros P_i y de las Etapas E_j

Lo primero que debe realizarse en la etapa E_1 es definir explícitamente los parámetros y etapas en que se desarrollará el reconocimiento del dominio que se estudia. Estos parámetros deberán revisarse siempre, al pasar de una etapa a otra. Esto significa obtener, en primera instancia los diferentes modelos que sustentan los dominios geológicos. He ahí la importancia del estudio geológico integral del depósito.

Paso 2: Precisar las necesidades de mejorar el conocimiento de cada parámetro P_i

Deben definirse las zonas del dominio donde se necesita conocer el valor de P_i con el error definido para cada nueva etapa. Esto implica la necesidad de definir en ésta un nuevo conjunto de paneles en los cuales es necesario mejorar el conocimiento, lo cual puede orientar posteriormente sobre una versión preliminar de la nueva red de muestreo. Nótese que para un dominio D los paneles siempre son disjuntos y deben cubrirlo completamente. El tamaño de los paneles depende de varios factores relacionados con el grado de conocimiento que se desee tener en cada etapa y del modelo que se utilice.

Mantener un solo tamaño de panel y estimar sobre él los valores de los parámetros y los errores correspondientes tiene el inconveniente de que los cálculos, con una cantidad de datos de muestreo cada vez mayor, se hacen más complejos y menos exactos, pero además una sola medida de panel no responde a las necesidades de encontrar las zonas anómalas y de ir respondiendo a las necesidades de la planificación de la explotación.

Por el contrario, si aumentamos el número de paneles que cubren el dominio de manera que el tamaño de estos paneles sea cada vez menor, aumenta la cantidad de veces que hay que calcular, pero cada cálculo es más simple y más exacto; además, se pueden detectar anomalías y estos paneles irán definiendo de manera natural las Unidades Básicas Mineras.

No debe descartarse la posibilidad de definir paneles con otras formas geométricas (triangulares, rectangulares o rómbicas) e incluso de diferentes formas regulares e irregulares, lo cual planteará formas más complejas de calcular posteriormente ciertos valores sobre cada panel.

Para el caso de las exploraciones geológicas que tienen el objetivo de definir si los recursos de un dominio pueden ser considerados dentro de las categorías establecidas, las necesidades del conocimiento de las propiedades tienen un carácter más bien general y el principio que se usa es el de obtener mayor conocimiento, para que los valores conocidos de los parámetros que se estudian sean más exactos y además sirvan como base para la obtención de nuevo conocimiento a través de modelaciones o para la propuesta de nuevos estudios.

No sucede exactamente de la misma manera en la explotación minera, donde el objetivo final es mantener un flujo continuo de mineral, que sea estable por su cantidad y por su calidad (parámetros

geoquímicos, humedad, etc.) hacia la planta que procesa, por lo que en este caso el conocimiento tiene un carácter extremadamente dinámico desde los puntos de vista espacial y temporal, y la falta de este conocimiento tiene consecuencias negativas inmediatas para toda la empresa. Esto nos demuestra la necesidad de incluir en nuestro análisis el caso del muestreo dinámico óptimo durante la fase de explotación.

De forma semejante, se puede argumentar la necesidad de definir de manera óptima los muestreos durante los procesos de restauración o de saneamiento ambiental cuando se reparan los daños que causan los trabajos de minería o de otro tipo que realizan estas empresas.

Paso 3: Creación de un escalafón de los parámetros P_i atendiendo a su variabilidad

En este paso deberá realizarse un estudio completo de las variabilidades para cada parámetro P_i , a partir de la información disponible sobre ellos, con el objetivo de definir el orden o escalafón de variabilidad de dichos parámetros.

Se propone que los elementos para analizar sean:

- Coeficientes de Variación. Calculados sobre la base de:
 - Media aritmética.
 - Media geométrica.
 - Mediana.
 - Media cuadrática.
- Coeficiente de variabilidad de Pearson en las direcciones verticales y horizontales.
- Determinación de la estructura de los datos, separando la componente aleatoria de la componente determinística (sí existe), mediante la realización de los análisis de tendencia.
- Análisis de la Informatividad de los parámetros, considerando la separación de los datos en dos grupos que en los casos analizados pueden definirse a partir de un cutoff o ley de corte industrial o de otro tipo, de manera que las mediciones que se analizan queden divididas en dos grupos disjuntos. En la literatura aparecen denominados como Meníferos y No Meníferos (Lepin y Ariosa, 1986).

Para este análisis se aplicarán dos métodos explicados en el trabajo antes citado:

- Método de Rodionov.
- Método de Garanin.

La importancia de estos métodos está en que proporcionan valiosa información sobre la calidad de los datos, la cual permite valorar su influencia en los resultados que se obtengan con la modelación utilizada.

- Análisis de covarianza y de componentes principales entre todas las variables y grupos de ellas. En este paso pueden crearse nuevas variables que reflejen la variabilidad de un grupo o de todas las variables originales y esto no sólo tiene la ventaja de sintetizar el trabajo, sino que además permite detectar relaciones importantes entre los parámetros.
- Variabilidad Geoestadística de cada variable original o creada.

Para el estudio geoestadístico se seguirán los pasos siguientes:

- Determinar variogramas, anisotropía, zona de influencia y tipo de krigeaje para utilizar. El variograma puede indicar, si tiene efecto parábola, la existencia de un fenómeno no estacionario y, por tanto, la presencia de un *trend*. Debe realizarse una prueba de validación cruzada usando krigeaje puntual. Cuando el variograma de un parámetro presenta alcance y meseta entonces se puede aprovechar esta información para definir la distancia máxima entre dos puntos de muestreo.
- Obtener, de ser posible, el error promedio en cada panel de la etapa actual y en el dominio D por el método de zona de influencia para la red actual.
- Obtener el error de calcular el kriging de bloque en el dominio. En este caso, la intención es conocer cómo se comporta este modelo con respecto al modelo clásico de Zona de Influencia. Teóricamente, en la medida en que la variabilidad disminuya ambos modelos serán igualmente eficientes.

Aunque cada uno de los elementos de los incisos anteriores es importante, se han ido enumerando en orden creciente de importancia.

La variabilidad de cada parámetro P_i debe definirse atendiendo a los resultados de todos los análisis, y es en este momento donde se precisa el llamado personal experto para realizar colectivamente la evaluación final, tal como se define en la Clasificación de Recursos y Reservas de Minerales Útiles Sólidos (ONRM, 1998). Algo imprescindible es hacer una nueva valoración de los errores permisibles de la matriz de error ER, aunque esto conduzca a tener que reajustar varios criterios y repetir algunos cálculos. Este proceso de aproximaciones sucesivas garantiza la corrección de insuficiencias y deficiencias en el trabajo de estas etapas.

Si la red actual es irregular es conveniente realizar, como parte del conocimiento general que se debe tener, un análisis de dicha irregularidad mediante el Método de Triangulización que básicamente consiste en triangulizar en el plano horizontal los puntos de muestreo, lo cual debe hacerse con el Método de Delaunay, que logra que los triángulos obtenidos sean tan parecidos como sea posible a triángulos isósceles y luego de calcular las áreas de estos triángulos, se valoran los parámetros estadísticos del conjunto de valores de las áreas, lo cual caracteriza la regularidad de la red (Legrá, 1999). Esto es necesario, ya que en las redes regulares los errores por krigeage disminuyen con respecto a las redes irregulares (García, 1988). Asumiremos, por tanto, la necesidad de obtener en cada nueva etapa, redes cada vez más regulares, lo que no implica que necesariamente la nueva red sea completa e igual para todas las zonas, pues no sólo se trata de lograr que se realicen más cómodamente los cálculos, sino que también aumente la exactitud de los resultados que se obtienen a partir de que la posición de los puntos de muestreo aporten la mayor cantidad de información posible.

Paso 4: Comprobar para cada parámetro P_i si la red actual satisface (o no satisface), con el modelo seleccionado, el nuevo grado del conocimiento que se necesita

Para esto se pueden aplicar, por ejemplo los algoritmos siguientes:

- a. Número Rojo de Osedsky (Lepin y Ariosa, 1986).
- b. Análisis de Errores por kriging de bloque.

Paso 5: Establecimiento de los posibles nuevos puntos de muestreo

Se establece una nueva malla regular de puntos que podrán ser parte del posible muestreo.

Primero se calcula el número máximo de puntos posible de una nueva red. Los nuevos puntos pueden estar distribuidos en un rectángulo cuyos vértices están determinados por los valores mínimos y máximos de las variables x e y . Esta distribución debe realizarse de acuerdo con las proporciones de los lados del rectángulo y tratando que compongan una red regular. Si se eliminan algunos o todos los puntos que están fuera de la frontera del dominio (cosa que no siempre es conveniente hacer) y los que coinciden con puntos de la red actual que analizamos, quedarán los posibles puntos de la nueva red de muestreo.

El conjunto de posibles nuevos puntos puede ser escogido de otras maneras:

1. Definir que la red regular que los mismos definen tenga forma triangular, rectangular, romboidea, hexagonal, etc., en dependencia de la forma del sistema de paneles que se ha definido.
2. Definir que la red de puntos sea irregular, pero que responda desde otro punto de vista a la solución del problema.

Paso 6: Determinación de la nueva red

Para la determinación de la nueva red se asume un modelo adecuado que presente las herramientas matemáticas necesarias y que sea capaz de reflejar las características esenciales de la variabilidad del parámetro que se estudia.

Dentro de los modelos geoestadísticos, el krigeaje es una opción que se debe considerar, pues es el mejor estimador lineal insesgado al minimizar la varianza de estimación (Chica Olmo, 1989; García, 1988), por lo que mediante el error de krigeaje de bloque se reflejará la confiabilidad del conocimiento nuevo que se obtendrá con la nueva red y este valor puede ser el que defina la credibilidad de la red que simularemos en los nuevos puntos propuestos en el Paso 5.

Ahora deberán agregarse a la red actual de muestreo los puntos de la nueva red que se propone y esto deberá hacerse de manera que primero se agreguen los puntos que faciliten que disminuyan, en la modelación, los errores mayores que se tienen en los paneles.

Paso 7: Determinación de la concentración óptima de puntos

Para la determinación de una red racional de puntos se parte del momento en que a la red actual se le han adicionado los puntos necesarios que permiten satisfacer, con el modelo seleccionado, el nuevo grado del conocimiento que se necesita en el nuevo conjunto de paneles.

Esto no significa que no pueda obtenerse otra red mejor, lo cual se puede comprobar usando una red más densa y repitiéndose los pasos 4, 5 y 6. Si se repite este proceso varias veces, entonces se podrá definir cuál de las redes es mejor, atendiendo a la cantidad de nuevos puntos que se tengan en cada una de ellas, a los errores que se esperan y a la relación de estos puntos de la nueva red con propiedades cualitativas y cuantitativas no consideradas en la formulación matemática del Modelo Geológico Integral para el dominio analizado y que, por supuesto, tengan algún interés para el geólogo y el minero.

Hemos dicho que cada nueva red será más densa que la anterior, puesto que perseguimos obtener una mejor ubicación geométrica de los puntos de muestreo sólo deben dejarse los puntos

imprescindibles; sin embargo, se pueden tomar nuevas redes menos densas que la que hemos analizado si sospechamos que esta última está sobredimensionada en su papel de red más racional.

Todo este procedimiento puede parecer sumamente complejo y que precisa de un largo y laborioso trabajo de cálculo matemático, pero estas dificultades no existen cuando se automatizan los pasos descritos y es entonces cuando prima el conocimiento geológico, minero y tecnológico de quienes ejecutan la tarea.

4.5. ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS

4.5.1. Introducción

El cálculo de los recursos y las reservas de los yacimientos de Ni y Co de la región de Moa constituye una práctica frecuente, en la que es esencial la estimación precisa de los contenidos de varios elementos químicos y otras variables, como la densidad de las litologías en puntos no muestreados. Los valores obtenidos de dichas estimaciones también se emplean en la planificación minera a corto, mediano y largo plazo. Generalmente se parte de la información primaria de los sondeos de exploración, pero queda siempre una duda: ¿Cual es el método más apropiado para estimar el valor de estas variables?.

4.5.2. Procedimiento para la estimación de los contenidos de Fe, Ni y Co.

Para determinar el método más adecuado de estimar los contenidos de hierro, níquel y cobalto en los yacimientos lateríticos del nordeste de Cuba, se compararon los errores puntuales asociados a varios algoritmos de estimación y simulación, tomando como caso de estudio el bloque O48 del Yacimiento Punta Gorda. La comparación se basó en los resultados de la técnica de JACKKNIFE.

Los métodos de estimación y simulación empleados (Martínez-Vargas y Pérez-Melo, 2006) fueron:

- Inverso de la distancia
- Krigage: simple (KS), ordinario (KO), multigaussiano (KMG), lognormal KLogn), krigage con modelo de spline (KS)
- Simulación gaussiana secuencial y simulación condicional por el método de bandas rotantes, esta última con 100 bandas aleatorias.

En todos los casos se alcanzaron resultados similares con respecto a la media de los errores, a excepción del krigage con modelo de spline. La diferencia entre los métodos sólo se hace evidente al comparar las distribuciones de frecuencias de dichos errores. Se demuestra que la exactitud de la estimación, en este caso de estudio, está más influenciada por las características de los datos experimentales y de la estrategia (o elipsoide) de búsqueda, que por los métodos de estimación que se empleen.

4.5.3. Comparación de los métodos de estimación

Para comparar los métodos de estimación no se empleó la validación cruzada, por no ser representativa a consecuencia de la gran influencia que tienen las muestras que se encuentran por encima y por debajo de la analizada en los pozos de exploración. Para resolver este problema se

empleó la técnica de Jackknife, para ello se tomó la red menos densa (33.33 m) y con estos datos se estimó en puntos conocidos de la red de densificación de 8.33 m.

La diferencia de los errores de este método con los de la estimación final en el modelo de bloques puede ser considerable, a consecuencia de la diferencia del volumen del soporte sobre el cual se estima (Chica-Olmo, 1989).

Teniendo en cuenta que en la mayoría de los software los métodos de simulación están implementados solo para redes regulares, se migraron las muestras de la red de pozos de referencia a los nodos más cercanos de un grid de 8.33 X 8.33 X 1m; dichos nodos coinciden en la dirección horizontal con los pozos de perforación, lo que permite minimizar el error por traslación; en la dirección vertical las traslaciones máximas no exceden los 0.5 m, esta distancia es despreciable, si se tiene en cuenta que la separación entre pozos es superior a los 8.33 m.

La estimación se realizó usando krigeage ordinario (KO) y krigeage simple (KS), para definir cual de los dos métodos brindaba mejores resultados. El mejor se tomó como base para las otras variantes de krigeage empleadas: krigeage lognormal (KLogn) y krigeage multigaussiano (KMG), así como, las simulaciones: simulación con el método de bandas rotantes mejorado con 100 bandas de posición aleatoria (SBR) y la simulación secuencial gaussiana (SGS) (Bleines et al., 2001).

Los métodos de estimación y simulación se escogieron teniendo en cuenta que el objetivo fundamental fue la estimación directa de los valores de las variables involucradas, esto descarta los métodos enfocados a la determinación de las distribuciones como el krigeage indicador (KI) y el disyuntivo (KD), así como, las variantes indicatrices de la simulación. En todo momento se trató de emplear, hasta donde fue posible, los mismos parámetros para todos los métodos, especialmente el elipsoide de búsqueda y el variograma. Como método determinístico se empleó el inverso de la distancia (ID).

De forma alternativa se empleó el krigeage con modelo de spline (KSpline), éste no es más que el krigeage, empleando la función aleatoria intrínseca de orden 1(drift lineal) y la covarianza generalizada spline (Bleines et al, 2001)

Métodos como el krigeage con drift externo y cokrigeage con colocación no se emplearon por falta de los datos extras o auxiliares que requieren. Tampoco se tuvo en cuenta el cokrigeage por la no estabilidad de la correlación de las variables en el perfil laterítico (Figura 4), dado por la mezcla de poblaciones. El krigeage IRF-k pierde sentido si se tiene en cuenta que la estrategia de búsqueda empleada en la vertical toma muestras a poca distancia y en el origen el variograma vertical es estacionario.

Como resultado final se obtuvo la estimación para cada uno de los métodos señalados, los que fueron comparados con el valor real y el error absoluto local de cada variable; dicho error se calculó como la diferencia entre valor estimado y el real ($Z^*(x) - Z(x)$).

La estimación del KLogn, KMG, KSpline, así como SGS y SBR se realizaron basándose en el KO. El KO y el KS dan resultados similares, siendo la pequeña superioridad del KS despreciable. Se decide emplear el KO como base de estos métodos por tener la propiedad de “filtrar” la media local, disminuyendo sensiblemente el efecto de regresión o sesgo condicional de la estimación. La correlación entre los errores y los valores reales es un efecto indeseado pues existe tendencia a

subvalorar las zonas con valores bajos de contenido y sobre-valorar las de valores altos, tal y como se muestra en la Figura 14.

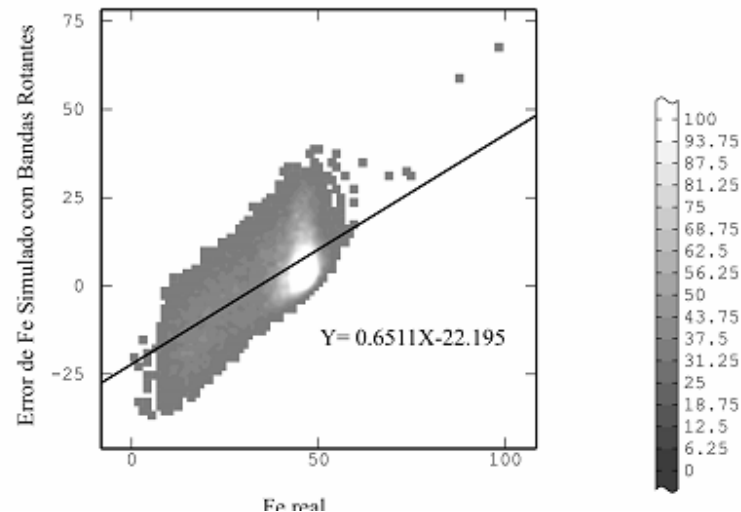


Figura 14. Diagrama de dispersión entre los errores de estimación ($Z-Z^*$) y el valor real.

4.6. LOS DOMINIOS GEOLÓGICOS EN LOS YACIMIENTOS DE NI Y CO DE CUBA

4.6.1. Introducción

El conocimiento de las regularidades geológicas por dominios constituye una necesidad para la ejecución de un acertado pronóstico y para la planificación y control eficientes de la minería (Legrá, 1999).

La elaboración de dominios geológicos facilita la implementación de redes de exploración más racionales y garantiza una explotación eficiente de las reservas y recursos disponibles (Vera-Sardiñas, L.O. et al., 2001).

4.6.2. Metodología para determinar los dominios geológicos

La metodología utilizada para la elaboración de dominios contempló los siguientes aspectos:

1. Construcción del Modelo Digital del Terreno (MDT) del yacimiento mineral en cuestión, a partir del cual se obtienen de manera automatizada diferentes mapas:
 - Mapas hipsométricos
 - Mapas de pendientes
 - Mapa de rugosidad del relieve
2. Obtención del modelo geoquímico del depósito, a partir del cual se obtienen los siguientes modelos:
 - Modelo de distribución del Fe en la CT y en la CU
 - Modelo de distribución del Ni en la CT y en la CU

- Modelo de distribución del Co en la CT y en la CU

3. Mapas de distribución de potencias para la CT y la CU.

A cada parámetro estudiado se le calculan los estadígrafos siguientes: mínimo, máximo, media, desviación Standard y coeficiente de variación. Este procedimiento fue aplicado con éxito en el yacimiento Punta Gorda (Vera-Sardiñas et al., 2001).

4.6.3. Obtención de dominios geológicos

Como resultado de la aplicación del procedimiento para la obtención de dominios geológicos y tomando como ejemplo el caso de estudio del yacimiento punta Gorda, se obtuvieron siete dominios (Fig. 13), los cuales son explicado sucintamente a continuación:

Dominio I:

Ocupa los niveles hipsométricos más altos y es el mayor dominio del yacimiento (Fig. 14). Presenta un perfil in situ y agrupa los sectores más extensos y de mayores potencias de corteza total y de capa útil, los cuales muestran pendientes y rugosidades bajas que dan lugar al menor grado de desmembramiento para todo el depósito. Estos sectores están rodeados por otros también extensos, pero menos potentes, en los que el corte de erosión es más profundo, asociados a las pendientes más elevadas (superiores a 10 grados) y a las mayores rugosidades. Otras de las características distintivas de este dominio es que presenta los más altos valores de Fe, Ni y Co del yacimiento, tanto para toda la corteza como para su capa útil.

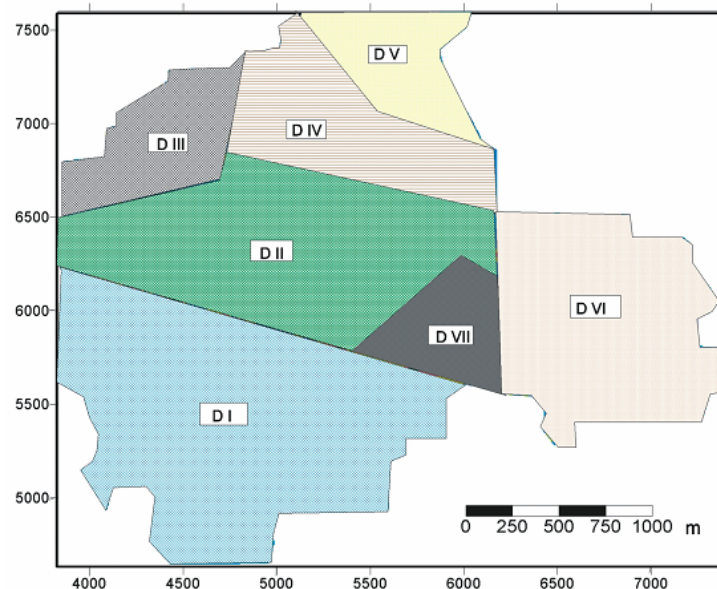


Figura 14. Mapa de dominio total (Vera-Sardiñas et al., 2001)

Los mayores contenidos de Co en este dominio se asocian a los sectores de baja potencia, al tiempo que tienden a disminuir hacia los sectores donde la corteza y su capa útil son más potentes.

El Ni presenta un comportamiento parecido al del Co, excepto cuando el nivel del corte de erosión es muy profundo, caso en el cual los contenidos de Ni se mantienen altos, mientras que los de Co disminuyen; lo mismo sucede con el Fe.

Los contenidos más elevados de Fe se localizan en los sectores donde la corteza es potente y el nivel de erosión más bajo, y disminuyen de forma significativa en aquellos donde el nivel de erosión es muy profundo.

Otra característica distintiva de este dominio es su potencia de escombros marcadamente baja en relación con el resto del yacimiento, lo que está determinado por el carácter muy erosivo del relieve en este dominio.

Dominio II:

Es el segundo dominio por su extensión (Fig. 14). Dentro de sus características distintivas se destacan la presencia de sectores con grandes y medianas potencias de la corteza y su capa útil, rodeados por pequeños sectores de bajas potencias de la corteza y su capa útil, resultado de un proceso erosivo más intenso, lo que contribuye a que en general posea un grado de desmembramiento de la corteza más elevado que el dominio I, determinando en gran medida el menor espesor de la corteza y su capa útil en este dominio en relación con el primero.

La distribución de las concentraciones de Fe, Ni y Co es mucho más heterogénea que en el dominio I. En este dominio predominan los sectores de baja pendiente, ubicados en niveles hipsométricos más bajos, lo que da lugar a un relieve con un carácter más acumulativo que erosivo, con una potencia de escombros significativamente alta. La rugosidad es algo más elevada que en el dominio antes descrito.

En este dominio la corteza es mixta, con un perfil *in situ* cubierto por una potencia no significativa de materia les lateríticos redepositados.

Dominio III:

Es un dominio pequeño (Fig. 14) que ocupa los niveles hipsométricos más bajos del depósito, caracterizado por la presencia de sectores con altas potencias de la corteza de manera relativa, algo superiores a la potencia media del depósito, dentro de sectores de bajas potencias, con potencias bajas de la capa útil. En algunos sectores de este dominio la potencia de escombros es elevada de forma marcada. Toda la superficie del dominio se caracteriza por una pendiente baja y una rugosidad relativamente alta. Predomina el carácter acumulativo del relieve, determinando el desarrollo de una corteza mixta con un perfil *in situ* poco desarrollado.

En general los contenidos de Fe para toda la corteza y la capa útil se mantienen próximos a la media para el yacimiento, mientras que los de Ni en ambas capas son muy inferiores a la media del yacimiento, aunque los valores en la capa útil superan a los de la corteza total.

Como regla, los contenidos de Co son muy inferiores a la media del depósito, tanto en la capa útil como en toda la corteza.

Dominio IV:

Este dominio (Fig. 14) en general se caracteriza por un marcado predominio de los sectores con valores de las potencias de la corteza y su capa útil muy inferiores a las respectivas potencias medias en el depósito, aunque en pequeños sectores las potencias de la corteza y su capa útil son algo superiores a sus análogas para todo el yacimiento. En este dominio los sectores con potencias relativamente altas de la capa útil también presentan potencias de escombros altas y moderadamente altas. Las pendientes en el dominio son bajas de forma predominante, coincidiendo con sectores de baja rugosidad. Los contenidos de Fe Ni y Co presentan una distribución bastante heterogénea. Una de las principales características del dominio es la presencia de sectores extensos con contenidos de Ni altos, que en ocasiones llegan a muy altos, tanto en toda la corteza como en su capa útil. Estos sectores coinciden con potencias de la corteza y su capa útil superiores respecto a los valores medios del depósito.

Dentro del dominio, los contenidos de Fe en la corteza y su capa útil están ligeramente por debajo de la media. No se observa una correlación definida entre los valores de este elemento y los de Ni, toda vez que en ocasiones altos contenidos de níquel se asocian de forma indistinta a bajos o a altos contenidos de Fe y en otras bajos contenidos de Ni coinciden con bajos de Fe.

Este dominio se caracteriza, además, por la presencia de sectores más o menos extensos en los que los contenidos de Co son ligeramente superiores a sus valores medios para la corteza y su capa útil en el yacimiento, rodeados por sectores con contenidos algo inferiores a las medias, existiendo una estrecha y clara relación directa entre los contenidos de Co y los de Fe en todos los sectores.

La corteza es mixta. Sobre los horizontes inferiores enriquecidos en Ni de un perfil *in situ* bien desarrollado, se encuentra una capa potente de material laterítico redepositado que conforma una capa potente de escombros. Esto último constituye una de las principales características distintivas de este dominio.

Dominio V:

Está constituido por grandes sectores con valores de potencia de corteza total próximos a la media del depósito o algo más elevados, donde la potencia de la capa útil suele ser pequeña mientras que la de escombros es grande. Estos sectores se encuentran rodeados por otros más pequeños de potencias bajas de corteza total y de capa útil. En este dominio concurren pendientes predominantemente bajas, alta rugosidad del relieve y bajos niveles hipsométricos. Los contenidos de Fe, Ni y Co son bajos tanto en la corteza como en su capa útil, sólo en pequeños sectores los contenidos de estos tres elementos suelen incrementarse hasta alcanzar valores próximos a las medias de la capa útil y de la corteza de todo el yacimiento.

Se trata de una corteza mixta con un perfil *in situ* muy poco desarrollado y de escasa potencia, cubierto por una capa relativamente potente de material laterítico redepositado, por consiguiente exhibe una capa útil muy poco potente y una potencia de escombros grande de forma significativa, así como más bajos contenidos de Fe y Co que de Ni (Fig. 14).

Dominio VI:

Ocupa la tercera posición en cuanto a extensión (Fig. 14). En él se localizan las mayores pendientes del yacimiento. Hacia la mitad oriental del dominio, el relieve tiene un carácter erosivo más intenso producto de la combinación de valores de pendientes y rugosidades altos.

Es característico de este dominio el marcado contraste de los niveles hipsométricos, éstos son muy elevados hacia el extremo suroccidental y alcanzan valores mínimos hacia el noreste y el este.

La mitad oriental del dominio está ocupada casi totalmente por sectores con potencias muy bajas de la corteza, mientras que hacia la mitad occidental, en particular hacia el extremo suroccidental, aparecen sectores extensos con potencias elevadas de forma moderada, por encima de la media del depósito. Otra de sus principales características distintivas de este dominio es el predominio casi absoluto de potencias bajas de la capa útil, pues sólo aparecen hacia su parte sur central algunos pequeños sectores donde la capa útil alcanza potencias algo más elevadas a la media del yacimiento.

En general este dominio presenta una corteza muy desmembrada, por lo que se observa una alternancia de sectores de bajas y altas potencias de escombros; sin embargo, es en él donde se localizan los mayores espesores de escombros de todo el yacimiento.

Dominio VII:

Es un dominio pequeño (Fig. 14) se caracteriza, al igual que el dominio I, por grandes potencias de corteza y presenta unas de las mayores de todo el yacimiento.

La potencia de la capa útil es también elevada hacia su parte centro-sur, rodeada por sectores de potencias más bajas. En general en este dominio predominan los sectores de corteza con contenidos de Fe inferiores o próximos a la media del depósito que encierran sectores muy pequeños con contenidos bajos. Este patrón se repite para la distribución del Fe en la capa útil. En correspondencia con el Fe, en el dominio predominan los sectores con contenidos de Co bajos, que rodean a pequeños sectores con contenidos de Co superiores a la media de la corteza para todo el yacimiento, lo mismo sucede en la capa útil.

Los sectores con contenidos elevados de Ni ocupan la mayor parte del dominio, rodean a sectores de contenidos medios, tanto de la corteza como de su capa útil. La potencia de escombros es en general baja, al igual que la pendiente y la rugosidad del relieve, asociado a niveles hipsométricos no muy elevados (90-140 m). Este dominio está constituido por una corteza potente de perfil *in situ*, con un desarrollo muy significativo de los horizontes inferiores más enriquecidos en Ni.

Cada dominio, además de las características aquí expuestas, posee condiciones industriales propias. El dominio con mejores condiciones desde el punto de vista industrial es el I, teniendo en cuenta su área, su alta relación potencia de la capa útil / potencia de escombros ($>>1$) y los altos contenidos de Ni y Co para toda la corteza y para su capa útil. Luego le siguen los dominios II, IV y VII, con una relación elevada (>1) entre capa útil y escombros, los más altos contenidos de Ni y contenidos algo altos de Co; mientras que los dominios III, V y VI son los de más baja calidad industrial, muestran las anteriores relaciones próximas a 1 y mucho menor que 1, con bajos contenidos de Co y contenidos de Ni significativamente por debajo de la media del depósito.

4.7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Con la realización de este trabajo se pudo arribar a las siguientes conclusiones:

1. Se obtuvieron cinco modelos integrales de dato geológicos: paleoambientales, geoquímicos, geofísicos, descriptivos y geoambientales indispensables para la elaboración de dominios geológicos en yacimientos de Ni y Co de la región de Moa.
2. Se demostró que la optimización de redes a partir de dominios geológicos y el empleo del modelo de krigeage en bloque ofrece mejores resultados que los métodos de áreas de influencia utilizados tradicionalmente durante la exploración y estimación de recursos y reservas.
3. El procedimiento empleado permitió reducir los errores de estimación de recursos y reservas de un 15 a un 10 % lo que permitió ahorros en las empresas mineras ascendentes a 3 000 000.00 CUC.

Los métodos geoestadísticos ofrecen los mejores resultados en el cálculo de los errores de estimación de recursos y reservas de los yacimientos de Ni y Co.

Recomendaciones

Por la introducción de los resultados y su aplicación en los yacimientos de Pinares de Mayarí y los de la región de Moa se recomienda su aplicación en los nuevos prospectos a explorar en Camagüey y Pinar del Río y al resto de los yacimientos metálicos del país.

BIBLIOGRAFÍA

1. Almaguer-Carmenates, Y., Guardado-Lacaba, R. 2005. Caracterización ingeniero geológica del perfil de meteorización de rocas ultrabásicas serpentinizadas en el territorio de Moa, Cuba. *Minería y Geología*, ISSN 0258 5979. Vol. 21, No. 3.
2. Almaguer-Carmenates, Y., Guardado-Lacaba, R. 2006. Tipología de movimientos de masas desarrollados en el territorio de Moa, Cuba. *Minería y Geología*. ISSN 0258 5979. Vol. 22, No. 1.
3. Almaguer-Carmenates, Y. 2006. Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda. Resumen tesis doctoral. *Minería y Geología*. ISSN 0258 5979. Vol. 22, No. 2. pp. 1-45.
4. Alvarez D. B. Estudio de la Variabilidad de los Principales Parámetros del Sector Zona A del Yacimiento Moa [Trabajo de Diploma] 1990. ISMM, Moa, Holguín.
5. Ariosa-Iznaga, J.D., Díaz-Martínez, R. 2001. Modelos de yacimientos minerales: tipologías y aplicaciones. *Minería y Geología*, Vol. XVIII, No. 2, ISSN 0258 5979. p. 3-14.
6. Ariosa-Iznaga, J.D., Waldo Lavaut-Copa, W., Bergues-Garrido, P. S., Díaz- Martínez, R., 2003. Modelo geológico descriptivo para los yacimientos lateríticos de Fe-Ni-Co en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa de Cuba Oriental. *Minería y Geología*, Nos. 1-2, ISSN 1993 8012. p. 19-36.
7. Ariosa-Iznaga, J.D. 2005. La modelación descriptiva en el ejemplo de los yacimientos lateríticos de Cuba Oriental. 2005. Resumen tesis doctoral. *Minería y Geología*, Vol. 21, No. 1, ISSN 0258 5979.
8. Barton Jr., P.B., Problems and Opportunities for Mineral Deposits Models, en Kirkham R. V. et al "Mineral deposit modeling". GAC, Special Paper 40, pp 7-14, 1995.
9. Bates and Jackson. 1987. Glossary of Geology. Third Edition. American Geological Institute. Alexandria, Virginia.
10. Batista-Rodríguez, J. A. 2003. Caracterización geológica de cortezas lateríticas a partir de datos aerogeoquímico espectrométrico y aeromagnético. *Minería y Geología*. Nos. 3-4. ISSN 0258 5979.
11. Batista-Rodríguez, J. A. 2006. A magnetic survey mineral resource in northeastern Cuba. *Geofísica Internacional*, Vol. 45, No. 1, pp. 39-61.
12. Batista, J. 2007. Geometry of ophiolites in eastern Cuba from 3D inversion of aeromagnetic data, constrained by surface geology. *Geophysics*, Vol. 72, No. 3. 10.1190/1.2712425.
13. Batista, J.A., Blanco, J. and M. A. Pérez-Flores, M.A. 2008. Geological interpretation of Eastern Cuba laterites from an airborne magnetic and radioactive isotope survey. *Geofísica Internacional*. 47 (2), 99-113.
14. Bleines C., Deraisme J., Geffroy F., Perseval S., Rambert F., Renard D., Touffait Y., January, 2001: Isatist Software Manual. Geovariances, Avon Cedex, France, 531 p.
15. Candela L.L. 1987. Aplicación del krigeage lognormal a la definición de una red de control de calidad de aguas subterráneas, Hidrogeología Volumen 2, Pag. 29 - 48, España, 1987.
16. Chamberlain, T. C. 1897. The method of multiple working hypotheses: *Journ. Geology* V. 5.
17. Chica Olmo M. Análisis geoestadístico en el estudio de la explotación de los recursos minerales [Tesis doctoral] 1989. Universidad de Granada, Granada.
18. Cruz- Orosa, I., Díaz González, José Andrés, 2002: "Determinación de los dominios geológicos del yacimiento Moa Oriental". Dpto de Geología, ISMM, Moa, Cuba. Trabajo de Diploma. 90 p.
19. Cuador -Gil, J.Q., Quintero-Silverio, A., Estévez-Cruz, E. 2000. La simulación condicional en geoestadística. *Revista Minería y Geología*. Vol. XVII, No. 1.
20. De Miguel-Fernández, C., Sánchez-Sánchez, Y. 2007. Influencia de procesos hidrogeológico en la formación y posterior enriquecimiento mineral en yacimientos cobalto-niquelíferos en lateritas. *Minería y Geología*. No. 4. ISSN 1993 8012.
21. Dios-Leyva, D., Díaz-Martínez, R. 2003. Distribución y clasificación de las intercalaciones en el yacimiento laterítico ferroniquelífero Punta Gorda, Moa, Cuba. *Minería y Geología*, Nos 3-4. pp. 1-11. ISSN 0258 5979.

21. Duda J. 1971. Cálculo de Redes Optimas para los Yacimientos de Nicaro y Pinares de Mayarí. ECRRL.
22. García, P. A. 1988. "Geostadística Operacional". Ministerio de Minas y Energía, Departamento de Producción Mineral, Brasilia, 1988.
23. García, P. M. y Pérez, E. C. 1991. Análisis de la Densificación de la Red de desarrollo en un Bloque del Yacimiento Punta Gorda [Trabajo de Diploma] 1991. ISMM, Moa, Holguín.
24. Gutiérrez, M. A y Beyra M. L. 1993. Introducción al Análisis Variográfico de Yacimientos de Corteza de Intemperismo [Trabajo de Diploma] 1993. ISMM, Moa, Holguín.
25. Fonseca, E., Zelepugin, V.N., Heredia, M. 1985. Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*, 19, 321-329.
26. Guardado-Lacaba, R., Almaguer Carmenates, Y. 2001. Evaluación de riesgos por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín. *Revista Minería y Geología*. Vol. XVIII, No. 1, pp. 1-12 ISSN: 0258 5979.
27. Hammer, O & Harper, D. 2006. Paleontological data analysis. John Wiley & Sons, Chichester. 162 p.
28. Henley R.W., 1993. What is an exploration model anyway? An analysis of the cognitive development and use of models in mineral exploration en Kirkham R.V et al "Mineral deposit modeling": GAC, Special Paper 40, pp 41-50.
29. Hodgson C. J. Uses (and abuses) of ore deposit models in mineral exploration en "Ore deposit models, vol II P.A. Shearon y M.E. Cherri (eds) Geoscience Canada, Reprint Series 6, pp 1-11(En Bustillo y Pópez-Jimeno, 1996).
30. Ilidio, L. D. 1999. Análisis Variográfico del Yacimiento Camarioca Norte [Trabajo de Diploma] 1999. ISMM, Moa, Holguín.
31. Iturralde-Vinent, M. 1990. Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba. *Rev. Ciencias de la Tierra del Espacio*, 17, 8-26.
32. Iturralde-Vinent, M. 1996. Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba. Editor. Contribución especial N^o 1, IGCP Project W.364. Miami, USA, 265 p.
33. Lavaut, C. W. 2000. Sobre el Estudio Preliminar de las Redes de Perforación y Muestreo para el Cálculo del Mineral Laterítico. E.G.M. Santiago de Cuba.
34. Legrá-Lobaina, A.A. 1999. Metodología para el pronóstico, planificación y control de la minería en yacimientos lateríticos [Tesis en opción al grado de doctor en ciencias técnicas] 1999. ISMM, Moa Holguín.
35. Legrá-Lobaina, A., Atanes-Beatón, D. M., Velásquez-Pratts, A., 2001. Sobre la determinación de valores de una variable en la geología y en la minería. *Revista Minería y Geología*. XVIII, No. 1, pp. 69-76 .ISSN: 0258 5979.
36. Lepin O. V.; Ariosa I. J. 1986. Búsqueda Exploración y Evaluación Geólogo – Económica de los acimientos Minerales Sólidos. Primera parte. Editorial Pueblo y Educación. 1986. Ciudad de la Habana.
37. Leyva, R.R. y Soler E.F. 1984. Racionalización de las Redes de Perforación de Escombro en los Yacimientos Ferroniquelíferos de Nicaro [Trabajo de Diploma] 1984. ISMM, Moa, Holguín.
38. López A. J. 1981. Cálculo de las redes óptimas para el estudio de los yacimientos niquelíferos de la Empresa Comandante René Ramos Latourt. [Trabajo de Diploma] 1981. ISMM. Moa, Holguín.
39. López D. J. 1986. Cálculo de las Redes Optimas del Yacimiento Camarioca Este, Moa, Holguín [Trabajo de Diploma] 1986. ISMM, Moa, Holguín.
40. López-Martínez, R.A, Rojas-Consuegra, R., Urra-Abraira, J., Martínez-Vargas, A. 2008. Análisis paleoambiental de sedimentos lateríticos del depósito Camarioca, Moa. Cuba. *Minería y Geología*. Vol. 24, No. 1. ISSN 1993 8012.
41. Martínez-Vargas, A., Legrá-Lobaina, A.A., Ferrera-Alba, N., Mena-Matos, L.F. 2003. Modelo Digital del Relieve original del yacimiento Punta Gorda. *Minería y Geología*. Nos. 3-4. pp.103-119. ISSN: 0258 5979
42. Martínez-Vargas, A. 2005. Estimación del error de geometrización empleando geoestadística transitiva. *Minería y Geología*. Vol. XXI, No. 1-2, 2005. ISSN: 0258 5979.

43. Martínez-Vargas, A. 2007. Modelación de los contenidos de hierro en yacimientos lateríticos heterogéneos de níquel y cobalto. Caso de estudio, yacimiento Moa Oriental. *Minería y Geología*. Vol. 23, No. 2. ISSN 1993 8012.
44. Milenbuch D. C.1978. An early appraisal approach to exploration projects: Minning Cong. Journal. V. 64, No. 3.
45. Nekrasov, G. YE., Oro, J., Sokolov, S.D., Flores, R., Shavyrina, M.V. 1989. Ophiolites of eastern Cuba. *Geotectonics*, 23, 60-71.
46. Ohle E. L, Bates, R. L. 1981. *Geology, Geologist and Mineral Exploration* en Skinner B.J. Ed. "Economic Geology: Seventy.Fifth Anniversary Volume 1905-1980" The Economic Geology Publishing Co., pp 766-774.
47. Pérez R. 1972. Estudio preliminar sobre redes de exploración. Empresa Comandante René Ramos Latourt.
48. Quintas C.F y otros. Informe del Proyecto de Cartografiado Geológico de Pinares de Mayarí Oeste. 1999.
49. Cuador-Gil, J.Q., Quintero-Silverio, A., Estévez- Cruz, E. 2000. La simulación condicional en geoestadística. *Revista Minería y Geología*. Vol. XVII, No.1.
50. Quintero-Silverio, A., Cuador -Gil, J.Q., Estévez-Cruz, E. 2000. Simulación no condicional, método de las bandas rotantes en 3D. *Revista Minería y Geología*. Vol. XVII, No.1.
51. Reyes H. F. y Arévalos, R. J. 1982. Estudio de la Variabilidad de la Potencia y el Contenido del Yacimiento Martí [Trabajo de Diploma] 1982. ISMM, Moa, Holguín.
52. Roberts R.G., Sheahan P.A. 1988. Ore deposit models. Geoscience Canada. Reprint Series 3.
53. Rodríguez-Cardona, A. 1977. Informe sobre optimización de la perforación de red intensiva en los yacimientos Martí y Pinares de Mayarí. 1977. Archivo. ECRRL.
54. Rojas-Purón, A.L. 2001. Evidencias a favor de que la goethita es la principal portadora de níquel en los horizontes lateríticos de las cortezas ferroniquelíferas. *Minería y Geología*. Vol. XVIII. Nos. 3-4. pp.21-31. ISSN: 0258 5979.
55. Secik R. 1971. Métodos de optimización de las redes de perforación para las investigaciones y exploraciones geológicas. Centro de Proyectos Minero – Metalúrgico.
56. Sitnikov, V. 1976. Informe sobre la exploración orientativa del yacimiento Camarioca con el cálculo de reservas. ONRM. La Habana, Cuba.
57. Trujillo- Codorníu, R., Lorez-Vidal, M., Rasúa-López, M. 2001. Algoritmo eficiente para procesos de estimación geoestadística. *Minería y Geología*. Vol . XVIII, Nos. 3-4, 2001, pp. 73-75. ISSN: 0258 5979
58. Vera-Sardiñas, O., Legrá-Lobaina, A. A., Media-Arce, M. 2001a. Principios básicos para la obtención de redes racionales en la exploración de yacimientos lateríticos cubanos. *Revista Minería y Geología*. Vol. XVIII, No. 1, ISSN 0258 5979 p. 1-7.
59. Vera-Sardiñas, L.O; Legrá-Lobaina, A.A.; Belete-Fuentes, O. 2001a. Principios básicos para la obtención de redes racionales en la exploración de los yacimientos lateríticos cubanos. *Revista Minería y Geología* Vol . XVIII, No. 1, 2001 ISSN 0258 5979.
60. Vera-sardiñas, L. O., Rodríguez- Vega, A., Cordobés pedrianes, J. M., Legrá-Lovaina, A. A. 2001b. Dominios geológicos del yacimiento laterítico de Punta Gorda, Moa: delimitación y caracterización. *Minería y Geología*, ISSN: 0258 5979. Vol XVIII, Nos. 3-4. pp. 55-66.
61. Vera-Sardiñas, L.O. 2002. Procedimiento para la determinación de las redes racionales de exploración de los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto en la región de Moa.Tesis en Opción al grado de Doctor en Ciencias Geológicas. ISMM.

5. ACREDITACIÓN DE LA INTRODUCCIÓN DEL RESULTADO Y SU IMPACTO

5.1. Introducción

La modelación integral de datos geológicos para la exploración óptima de los yacimientos de níquel y cobalto en Cuba representa una nueva tecnología de procesamiento de información geológica, nunca antes aplicada en la práctica geológica cubana y mundial.

Al modelar integralmente los datos geológicos con la aplicación de nuevas técnicas de procesamiento de información e introducir nuevos conceptos acerca de los procesos de formación y conservación de las lateritas ferroniquelíferas se obtuvieron, por primera vez, los modelos paleoambientales, geoquímicos, geofísicos, geoambientales y descriptivos, los cuales representan los antecedentes científicamente argumentados para la correcta elaboración de los dominios geológicos de estos yacimientos.

Esta investigación trasciende el marco teórico al convertirse en una novedosa herramienta metodológica para la exploración óptima de yacimientos de Ni y Co en Cuba, pues indica la vía a través de la cual se debe explorar un depósito dado en la actualidad, cuando se dispone de medios e instrumentos de cómputo necesarios para el procesamiento de datos. La elaboración del software TIERRA, en el pronóstico, planificación y control de la minería avala lo expuesto anteriormente.

El efecto económico de la presente investigación se traduce en una disminución de los costos por concepto de ahorro de tiempo en la elaboración y entrega de los informes, la transferencia de tecnología, a través de cursos de posgrado y entrenamientos al personal técnico de las subdirecciones de minas de las empresas niquelíferas de la región de Moa y un impacto económico ascendente a más de 4 000 0000.00 CUC, avalado por los directivos empresariales.


5.2. Aavales de introducción de los resultados

5.2.1. Listado de aavales

A continuación se relacionan y presentan los aavales que acreditan la introducción de los resultados de la presente investigación.

1. Aval Oficina Nacional de Recursos Minerales, Dirección Técnica, Noviembre de 2011.
2. Aval Subdirección de Minas Empresa Mixta Moa Nickel S.A.- Pedro Soto Alba. Julio, 2008
3. Aval dirección UB/Minera Empresa Ernesto Che Guevara/Director. Septiembre, 2009
4. Aval del Centro Internacional de La Habana (CIH). Auditores y Consultores, septiembre, 2011
5. Aval sobre el valor económico de los beneficios obtenidos por la Subdirección de Minas de la ECECG por el uso del software TIERRA durante el año 2000.
6. Aval Froidevaux Srivastava Schofield, Toronto, Notario, Canada. August, 2007.
7. Aval Oficina Interfaz, Abril, 2009.
8. Aval del colegio de Minería, Abril 2008.
9. Aval Empresa CEPRONIQUEL, Septiembre 2009

5.2.2. Copias de los avales que acreditan la introducción de los resultados.


	OFICINA NACIONAL DE RECURSOS MINERALES DIRECCION TECNICA	1
<small>Calle 852 Esq 4 Vedado Plaza de la Revolución Telef. 537 8333512 www.onrm.mtas.cu</small>		

AVAL

TRABAJO EN OPCION AL PREMIO ACC TITULADO "MODELACIÓN INTEGRAL DE DATOS GEOLÓGICOS PARA LA EXPLORACIÓN ÓPTIMA DE YACIMIENTOS DE NIQUEL Y COBALTO EN CUBA" DE Dr. ROBERTO DIAZ MARTINEZ et al.


El trabajo presentado es la modelación integral de datos geológicos para la exploración óptima de los yacimientos de Ni y Co en Cuba conformado con la recopilación y generalización de seis tesis doctorales, dos tesis de maestría y 20 publicaciones en revistas referenciadas, resumiendo la labor de más de 15 años de las investigaciones realizadas por el ISMM y se encuentra integrada por los modelos que definen las regularidades geológicas de los yacimientos de Ni y Co de la región de Moa, la optimización de las redes de exploración, los errores de estimación de recursos y reservas y los dominios geológicos que subdividen un yacimiento en sectores con características homogéneas, la exploración óptima de los yacimientos de Ni y Co en Cuba, lo cual es de gran actualidad pues se refiere a una de las ramas fundamentales de la economía Cubana.


Este trabajo constituye un documento científico y técnico valioso, porque resume los aportes tanto conceptuales como metodológicos realizados por el colectivo de autores profesores del ISMM de Moa los cuales sirven de guía para la exploración y explotación racional de los yacimientos de cortezas de interperismo; la aplicación de tales conceptos y metodologías incide de manera directa en el abaratamiento de los trabajos de geológicos y mineros, provocando de esta manera un impacto económico y medio ambiental positivo, ya que se basan en la modelación geológica integral como concepto primordial para la comprensión y explicación de los procesos de la formación de los yacimientos lateríticos de Ni-Co por parte del personal que realiza la exploración y evaluación geólogo-económica de tales depósitos minerales, en fin, su aplicación conlleva a la optimización y a la racionalidad, esto es, a la realización de una evaluación de los recursos y reservas mejor modeladas, al conocimiento cabal de las características mineralógicas, geoquímicas y tecnológicas de las lateritas particularizada a cada yacimiento o dominio geológico dentro del mismo.


	OFICINA NACIONAL DE RECURSOS MINERALES DIRECCION TECNICA	2
<small>Calle 852 Esq 4 Vedado Plaza de la Revolución Telef. 537-8333512 www.onrm.mtas.cu</small>		

Los autores han utilizado bibliografía científica tanto nacional como internacional actualizada, el grado de pertinencia de los temas abordados es adecuado, por lo que el trabajo constituye un material de consulta para las investigaciones relacionadas con las lateritas y en específico con los temas relacionados con la modelación geológica y la estimación de recursos minerales de Ni y Co.


El trabajo amerita la adjudicación del Premio ACC como reconocimiento y estímulo a los autores del mismo, pues el documento resume el esfuerzo y la dedicación de este colectivo y sirve de base a la continuidad de las investigaciones en este campo de suma importancia para la economía del país por ser este un recurso mineral que debe ser explotado de forma racional y sostenible.


Ing. Rosa María Cobas Botey
Especialista DT ONRM.


Ing. José Alberto Arias del Toro, Msc.
Especialista DT ONRM.


Ing. Wilder Ge Roche.
Director Técnico ONRM.

01 de noviembre de 2011



SALIDA No. 1559
1/11 DE



AVAL

Fecha: 18 de Julio de 2008

Dr. Alfredo Lázaro Coello Velásquez
Rector ISMM de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez"
Las Coloradas s/n
Moa, Holguín

Estimado Dr. Coello


La Sub-Dirección de Minas de la Empresa Moa Nickel S.A. Comandante Pedro Sotillo All expresa sus consideraciones sobre el trabajo ejecutado por especialistas del Departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez" relacionado titulado "Procedimiento para la evaluación geológico-minera integral de los yacimientos lateríticos de la región de Moa"

El procedimiento para la evaluación geológico-minera integral de los yacimientos lateríticos contempló en su primera etapa el grado de estudio geológico, prestándole por primera vez especial atención al análisis geomorfológico, estratigráfico y paleontológico debido a presencia de redepósitos en Camarioca Norte y Camarioca Sur.

En el marco de estos procedimientos se desarrolló la Modelación y Estimación Geoestadística de recursos Minerales, aspecto de trascendental importancia por las estimaciones de los errores elevando las reservas de nuestros yacimientos alargando la vida útil de la mina. La transferencia de tecnología y la capacitación de los recursos humanos fue otro aspecto de trascendental importancia para la superación del personal técnico de la mina. La introducción de estos resultados en la práctica geológica permitió realizar importantes cambios en la tecnología y los métodos de exploración y evaluación económica de nuestros yacimientos ferroniquelíferos.

El reporte presentado ha sido evaluado por expertos canadienses con alto rigor científico, que le permitió a la empresa importantes ahorros por concepto de contratación de expertos extranjeros. La empresa desea reconocer la rapidez con que fue ejecutado el trabajo y la calidad del reporte presentado.

El impacto económico como resultado de la ejecución de este estudio y su introducción generalización en los yacimientos concesionados por nuestra empresa asciende a 1,680,000 CUC.


Ing. Antonio Romero Cuervo
J. Dpto de Geología
Moa Nickel S.A. P.S.A.




Ing. Luis Guillermo Rabalero
Subdirector de Minas
Moa Nickel S.A. P.S.A.



EMPRESA ERNESTO CHE GUEVARA
GRUPO EMPRESARIAL DEL NIQUEL MINBAS.
Carretera Moa-Baracoa km 5. CP83330. Moa. Holguín. CUBA. Pizarra: 6-8012. Fax: 6-2240

Dirección UB Minera / Director

De: Juan Carlos Labrada Gómez 609 jlabrada@ecg.moa.minbas.cu **Distribución - No:**
Director UB Minera
Para: Dr. Alfredo L. Coello
Velázquez.
Rector ISMM-Moa
Fecha: 17 de Septiembre de 2009
Asunto: AVAL

Estimado Dr. Coello

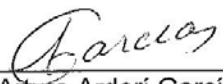
La Sub-Dirección de Minas de la Empresa Ernesto Che Guevara emite sus consideraciones acerca del trabajo titulado **"Modelación integral de datos geológicos para la exploración óptima de yacimientos de Ni y Co de Cuba"** desarrollado por docentes del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez en colaboración con especialistas de nuestra empresa y otras instituciones geológicas del territorio y del país.


Los resultados de este estudio se vienen aplicando de manera satisfactoria en el yacimiento Punta Gorda desde el año 1998, representando para nuestra empresa un avance significativo en las operaciones mineras. La introducción de nuevas tecnologías de exploración geológica mediante la aplicación de los modelos y dominios geológicos a partir del procesamiento de datos geológicos con un enfoque integral de todos los parámetros geológicos, mineralógicos, geoquímicos, geofísicos, ingeniero-geológicos e hidrogeológicos y geoambientales y su incidencia en las redes de exploración han contribuido a elevar el conocimiento geológico del yacimiento.

La introducción de estos resultados en la práctica geológica y minera permitió realizar importantes cambios en la tecnología y los métodos de exploración y evaluación económica de nuestros yacimientos ferroniquelíferos.

La aplicación del Software TIERRA en el pronóstico, planificación y control de la minería formó parte de la automatización de la información geológica y minera de nuestro yacimiento representando cuantiosos ahorros de recursos en moneda libremente convertible por concepto de adquisición de tecnología de procesamiento de datos sumamente caros en el mercado mundial.

La subdirección de minas de la empresa Ernesto Che Guevara valida la introducción y aplicación de este procedimiento de modelación integral de datos geológicos en nuestra concesión minera y consideró un impacto económico ascendente a 1 347 570.00 CUC.


Ing. Arturo Arderí García
J. Dpto de Geología
Empresa Ernesto Che Guevara


Ing. Juan Carlos Labrada Gómez
Director UB Minera
Empresa Ernesto Che Guevara



**Empresa Comandante Ernesto Che Guevara
Moa, Holguín.**

A: Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrado
Instituto Superior Minero Metalúrgico Antonio Núñez Jiménez
Moa, Holguín.

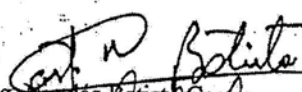
Asunto: Aval sobre el valor económico de los beneficios obtenidos por la Subdirección de Minas de la ECECG por el uso del software TIERRA durante el año 2000.

Durante el año 2000 se han incorporado las herramientas del software TIERRA al trabajo práctico diario de nuestra mina en las áreas del pronóstico, planificación y control de la minería.

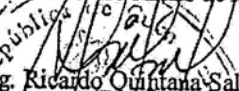
Esta aplicación computacional ha permitido una informatización sistemática del trabajo de la mina en los aspectos mencionados, trabajo íntimamente relacionado con el proceso de modernización y perfeccionamiento empresarial de nuestra entidad; por la contribución que tiene a la organización del trabajo de la mina, a la incorporación de todas las bases de datos al pronóstico mediante modelos adecuados y por su participación en las tareas de control y planificación, consideramos que este software ha contribuido de manera significativa al cumplimiento en volumen y calidad de los planes del año 2000 y al logro de la disminución de la dilución en ese período.

Desde el punto de vista cuantitativo hay actividades que no es posible medir con precisión por la gran cantidad de factores que actúan simultáneamente sin embargo es posible señalar que por los aspectos del manejo sistemático de todas las bases de datos en modelos geométricos y geoquímicos para 22 bloques del yacimiento Punta Gorda así como la alta precisión de los cálculos durante los controles realizados que disminuyen prácticamente hasta cero los errores por este concepto, el manejo automatizado de la información estadística y gráfica que permite tomar decisiones rápidas y correctas sobre todo en la planificación operativa entonces hemos calculado que para la etapa Enero - Diciembre del año 2000 el valor del efecto económico correspondiente es de \$694340.00 (MN+USD).

A los 3 días de Enero del año 2001, firmada y presentada.


Ing. Nicolás Batista Castro.

Subdirector de Minas de la ECECG.


Ing. Ricardo Quintana Salvador.

Director ECECG.



Consultores y Auditores



Centro Internacional de La Habana

AVAL

Conste en el presente documento que:

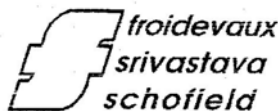
A partir de enero del año 2010 y en base a una solicitud de la Empresa Mixta Moa Nickel S.A. Pedro Soto Alba se acomete, junto a otras entidades del territorio y del país, la ejecución del proyecto de exploración del yacimiento Camarioca Sur perteneciente a la base minera de dicha entidad, donde participan varios docentes de los departamentos de Geología, Minería e Informática del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.

Dando continuidad a la implementación de los procedimientos de Modelación Integral de Datos Geológicos para la Exploración Óptima de Yacimientos Lateríticos de Níquel y Cobalto en Cuba, los autores de la obra científica que optan por el premio de la Academia de Ciencias de Cuba han empleado estos procedimientos para la determinación de los dominios geológicos, logrando dividir el depósito en 13 dominios, lo que evidencia la complejidad geológica del yacimiento; por otro lado, se logró reducir 451 pozos para la caracterización del basamento rocoso a partir de la interpretación de la estructura geológica y las características geológicas del basamento y de la corteza laterítica, durante el trabajo de levantamiento geológico detallado a escala 1:3500.

La ejecución del proyecto por parte de los investigadores y docentes del Departamento de Geología, a partir de la integración de los datos geológicos en modelos y dominios geológicos ha contribuido a la captación de recursos financieros para el sistema MES con un monto ascendente a \$ 334 625.19 CUC.

Y para que así conste, avala lo antes expuesto

Dr. C. Alain Carballo Peña
Director Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación
INTERFAZ - ISMMM



FSS Canada
120 Eglinton Avenue East, #1121
Toronto, Ontario
Canada M4P 1E2

Telephone: (416) 322-2857
Fax: (416) 322-5675
e-mail: 70571.1572@compuserve.com

August 28, 2007

Dr. Ing. Alain Carballo Peña
Director, INTERFAZ-ISMM
Las Coloradas s/n
Moa, Holguín
Cuba

Dear Dr. Carballo,

I am writing to express my sincere appreciation for the work of the Geology Department of the Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM) on their report on the Camarioca nickel laterite deposits: *Caracterización de los dominios geológicos en las concesiones mineras Camarioca Norte y Camarioca Sur*.

The studies done by the ISMM are an important part of the work that we are currently doing to assist Moa Niquel and Sherritt International in the calculation of mineral resources and mineable reserves for these deposits. At the same time that the Camarioca deposits pose significant challenges because of their changing chemistry and geology, they also offer real opportunities for learning how to improve the development of one of Cuba's most important natural resources.

The ISMM studies and the report provide an excellent summary of past research and offer important new scientific insights into the origin and evolution of the nickel-cobalt mineralization at Camarioca Norte and Sur. The ISMM report offers ideas that we plan to incorporate into the mineral resource models we are calculating in the next few months.

In addition to the first-rate scientific work, I was also impressed by the speed with which the Geology Department team completed the studies and wrote a high quality report. The ISMM has every reason to be proud of this work.

Yours sincerely,

R. Mohan Srivastava

R. Mohan Srivastava,
President, FSS Canada

cc: Dr. C. José Nicolás Muñoz Gómez
Dra. C. Alina Rodríguez Infante
Dr. C. Adrián Martínez Vargas
Dr. C. León Ortelio Vera Sardiñas
Ing. Rafael López Martínez
Dr. C. José Alberto Batista Rodríguez

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

Oficina INTERFAZ

AVAL

Moa, 27 de Abril de 2009.

Por este medio certificamos que la investigación **titulada “Modelación integral de datos geológicos para la exploración óptima de yacimientos de Ni y Co en Cuba”**, desarrollada por un colectivo de autores del Departamento de geología del ISMM Dr. Antonio Núñez Jiménez” generó, por concepto de transferencia tecnológica, una captación bruta ascendente a **\$82 877.90 CUC y \$106 166.00 CUP**, como se muestra en la tabla anexa a este documento.

Sin otro asunto,

Dr C. Alain Carballo Peña

Director de Oficina INTERFAZ - ISMMM

No	Denominación del servicio	Importe		Participantes
		CUC	CUP	
1	Ctto 190/00: “Entrenamiento sobre Geología, Exploración y Evaluación de Yacimientos Niquelíferos a Moa Nickel S.A”	2847.22	0.00	<ul style="list-style-type: none"> Dr C. Antonio Rodríguez Vega Dr C. Roberto Díaz Martínez Dr C. Félix Quinta Caballero Dr C. Arturo Rojas Purón Dr C. Adrián Martínez Vargas Dr C. León O. Vera Sardiñas Dr C. Alain Carballo Peña
2	Ctto 15/03 – Suplementos 1, 2, 3, 4, 5, y 6: “Modelación geólogo - tecnológica del yacimiento Punta Gorda de la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara”	36789.01	106166.00	<ul style="list-style-type: none"> Dr C. Félix Quinta Caballero Dr C. Constantino de Miguel Fernández Dr C. Arturo Rojas Purón Dr C. Rafael Guardado Lacaba Dr C. Yuri Almaguer Dr C. Alina Rodríguez Infante Dr C. Leomaris Domínguez González Dr C. Adrián Martínez Vargas Dr C. León O. Vera Sardiñas Dr C. Alain Carballo Peña
2	Ctto 606/05 y 258/06: “Control de la calidad de las operaciones mineras en Moa Nickel S.A”	6518.52	0.00	<ul style="list-style-type: none"> Ms C Andrés Salazar Moreno
5	Ctto 477/06- Sup. 2: “Determinación de dominios geológicos en los yacimientos Camarioca Norte y Camarioca Sur de Moa Nickel S.A.”	13575.00	0.00	<ul style="list-style-type: none"> Dr C. José N. Muñoz Gómez Dr C. Adrián Martínez Vargas Dr C. Alina Rodríguez Infante Dr C. León O. Vera Sardiñas Dr C. José A. Batista Rodríguez. Ms C. Rafael López Martínez
6	Ctto 257/06: “Modelación y estimación geoestadística de recursos y reservas de la base minera actual y perspectiva de Moa Nickel S.A.”	23148.15	0.00	<ul style="list-style-type: none"> Dr C. Adrián Martínez Vargas
Total		\$82877.90	\$106 166	

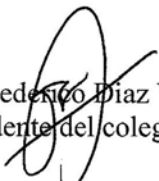
Moa, 28 de Abril de 2008
“Año 50 del triunfo de la Revolución”

AVAL

El colegio de Minería del níquel celebrado el 22 de abril de 2009 en la empresa Cmdte Ernesto Che Guevara luego de valorar el informe escrito y la exposición del trabajo titulado **“Modelación integral de datos geológicos para la exploración integral de yacimientos de Ni y Co de Cuba”**, realizado por un colectivo de autores del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez”, evaluó satisfactoriamente los resultados obtenidos como consecuencia de su aplicación, por más de una década, en los trabajos de exploración geológica de los yacimientos niquelíferos del nordeste holguinero, los de mayor importancia en Cuba y el mundo.

El trabajo constituye un novedoso procedimiento para la exploración óptima de los yacimientos de níquel y cobalto de Cuba. El procesamiento de los datos geológicos integrados en los modelos paleoambiental, geoquímico, geofísico, geoambiental y descriptivos, la introducción por primera vez de los dominios geológicos con fines exploratorios, los procedimientos matemáticos para diseñar y racionalizar las redes, así como para estimar los recursos y reservas con el menor error posible hacen de este trabajo una obra de incuestionable valor científico y práctico en el campo de la minería del Ni y Co en Cuba.

Los resultados obtenidos han aportado significativos ahorros a la industria cubana del níquel y su amplia divulgación en eventos y publicaciones científicas, tesis de doctorado y de maestría defendidas exitosamente, así como la transferencia de tecnología a través de cursos de posgrados y entrenamientos hacen de esta obra un excelente documento para optar por el premio a la Academia de Ciencias de Cuba.



Ing. Federico Díaz Vega
Presidente del colegio de Minería de Ni.



Fecha: 19/09/2008

A: Dr. Alfredo Lázaro Coello Velázquez
Rector ISMM de Moa

De: Federico Díaz Vega
Dtor. División Minas Ceproniquel

Comunicación: PRP-001

Ref: Aval

Estimado Dr. Coello:


De la División de Minas-Geología de la Empresa de Ingeniería y Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL) emite sus consideraciones acerca del trabajo titulado **“Modelación integral de datos geológicos para la exploración óptima de yacimientos de Ni y Co de Cuba”** desarrollado por docentes del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez en colaboración con especialistas de nuestra empresa y otras instituciones geológicas del territorio y del país.

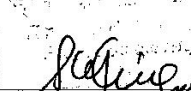
La investigación presentada posee novedad científica y actualidad al estar integrada la información geológica en modelos. La argumentación de los dominios geológicos a partir de la modelación integral de datos geológicos es acertada y su introducción en la práctica geológica de otros yacimientos como por ejemplo las cromititas, es una necesidad. La optimización de redes de exploración a partir de dominios geológicos, así como el cálculo de los errores de estimación de recursos y reservas permite avalar la efectividad práctica de este novedoso procedimiento.

Damos fe de la aplicación, por parte de los autores del trabajo, de su correcta aplicación en nuestros yacimientos lateríticos durante más de una década, y su impacto económico puede considerarse significativo. Por otro lado, deseamos reconocer el papel desempeñado por los docentes en el proceso de transferencia tecnológica de los resultados a través de cursos de entrenamiento donde especialistas de nuestra empresa han participado.

Consideramos que este procedimiento debe continuar aplicándose a los restantes yacimientos de Ni y Co de Cuba, y además en la exploración geológica y reevaluación de las cromititas del Norte de Camagüey.

Y para que así conste firman la presente en Moa a los 19 días del mes de septiembre de 2009.


Ing. Federico Díaz Vega
Director División de Minas
CEPRONIQUEL


Ing. Gustavo García Arias
Director General
CEPRONIQUEL

Cc. Archivo

6. REGISTROS, TESIS DOCTORALES, PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y EVENTOS

6.1. Listado de Registros CENDA

- 6.1.1. Registro: 1836-2009. Modelación integral de datos geológicos para la exploración óptima de yacimientos de Ni y Co en Cuba. Autor: Roberto Díaz Martínez y colaboradores
- 6.1.2. Registro: 982-2005: Métodos geofísicos em el estudio de las ofiolitas y rocas asociadas de Cuba Oriental. Autor: José Alberto Batita Rodríguez
- 6.1.3. Registro: 010930-10930. Nuevas regularidades geológicas de la región Mayarí-Sagua-Moa a partir de l reinterpretación del levantamiento aeromagnético 1:50 000.

6.2. Copias de los registros CENDA

A continuación se muestran copias de los registros CENDA de algunos de los autores y colaboradores de la investigación



CENDA

Centro Nacional de Derecho de Autor

Registro: 1836-2009

CERTIFICACION DE DEPÓSITO LEGAL FACULTATIVO DE OBRAS PROTEGIDAS

La que suscribe, Lic. Karina Benítez García, Especialista en Derecho de Autor y Derechos Conexos del Centro Nacional de Derecho de Autor, **CENDA** deja constancia de que, previa comprobación, ha sido admitida en el área de depósito legal de esta Institución la obra, protegida por la legislación vigente de Derecho de Autor en la República de Cuba cuyos pormenores se describen a continuación:

Título: Modelación integral de datos geológicos para la exploración óptima de yacimientos de NI y CO en Cuba.

Autor:/(a)/(es): Roberto Díaz Martínez; León Ortelio Vera Sardiñas; Adrián Martínez Vargas; Arturo Rojas Purón; Aristides Alejandro Legrá Lobaina; Yuri Almaguer Carmenates; Rafael Guardado Lacaba; Alain Carballo Peña; José Antonio Batista Rodríguez; José Nicolás Muñoz Gómez; Constantino Juan de Miguel Fernández; Alina Rodríguez Infante.

Titular/(es): Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

Tipo de Obra: Literaria.

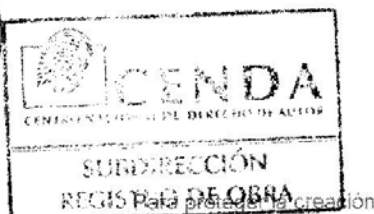
Características: En la obra se presentan varias investigaciones geológicas desarrolladas en la región niquelífera del nordeste de Holguín que facilitaron la introducción de un nuevo procedimiento de exploración, basado en la integración en modelos de datos paleoambientales, geoquímicas, geofísicos, geoambientales. Cada modelo constituye una herramienta metodológica de incuestionable valor práctico para la correcta comprensión de los mecanismos de formación de estos depósitos minerales. La introducción del concepto de dominio geológico permitió delimitar los sectores del yacimiento con propiedades geológicas homogéneas y constituye el fundamento para el diseño de la red de exploración y la estimación de los recursos minerales.

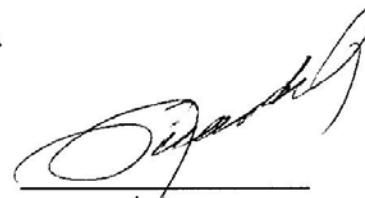
Nota: Este Registro protege exclusivamente la expresión literaria en que ha sido descrita y explicada por el autor la obra en cuestión, no así a la aplicación de los métodos y la metodología que la contiene, debido a que ello no es susceptible de protección por el Derecho de Autor.

El presente documento otorga la fe pública del acto de creación. La existencia y la titularidad originaria en esta fecha de la obra descrita, sólo constituiría prueba de primera vista ante cualquier litigio respecto a la autoría y explotación de la misma.

Dado en ciudad de La Habana, a los 3 días del mes de julio de 2009.


Funcionario Público




Autor

Calle 15 N° 604 e/ B y C, Vedado, Apartado Postal 4133, Zona 4, Ciudad de La Habana, Cuba.
Teléfono: (53-7) 832 3571 – 73 Fax: (53-7) 66 2030 E-mail: cenda@cubarte.cult.cu
<http://www.cenda.cu>

Registro: 982 - 2005

CERTIFICACION DE DEPOSITO LEGAL FACULTATIVO DE OBRAS PROTEGIDAS.

La que suscribe, Lic. Regla Isabel Mejías Rogers, Asesora Jurídica del Registro de Obras del Centro Nacional de Derecho de Autor, CENDA deja constancia de que, previa comprobación, ha sido admitida en el área de depósito legal de esta Institución la obra, protegida por la legislación vigente de Derecho de Autor en la República de Cuba cuyos contenidos se describen a continuación:

Título: *Métodos geofísicos en el estudio de las ofiolitas y rocas asociadas de Cuba Noroccidental*

Autor: *José Alberto Batista Rodríguez*

Titular: *Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez"*

Tipo de Obra: Literaria

Características. Obra que tiene como objetivo profundizar en el conocimiento geológico y estructural de la región noroccidental de Cuba, a partir de la interpretación de datos geofísicos.

Nota: Se registra la obra literaria, no así los métodos por no ser susceptibles de protección por el Derecho de autor.

El presente documento que otorga la fe pública del acto de creación. La existencia y la titularidad originaria en esta fecha de la obra descrita, sólo constituirán prueba de primera vista ante cualquier litigio respecto a la autoría y explotación de la misma.

Dado en Ciudad de la Habana, a los 13 días del mes de abril de 2005.


Funcionario Público


Autor

Firma digital de CENDA

Calle 15 N° 894 es/ B y C, Vedado, Apartado Postal 4133, Zona A, Ciudad de La Habana, Cuba.
Teléfono: (53-7) 832 3571 - 73 Fax: (53-7) 66 2839 E-mail: info@cendacuba.cu
<http://www.cenda.cu>



CENDA

Centro Nacional de Derecho de Autor

Gracia y Teo

Registro: 010930 - 10930

CERTIFICACION DE DEPOSITO LEGAL FACULTATIVO DE OBRAS PROTEGIDAS.

La que suscribe, Lic. Belkis Delgado Núñez, Especialista del Departamento Jurídico del Centro Nacional de Derecho de Autor, **CENDA** deja constancia de que, previa comprobación, ha sido admitida en el área de depósito legal de esta Institución la obra, protegida por la legislación vigente de Derecho de Autor en la República de Cuba cuyos pormenores se describen a continuación:

Título : " *Nuevas regularidades geológicas de la región Mayarí - Sagua - Moa a partir de la reinterpretación del levantamiento aerogeofísico 1:50 000*"

Autor /(es): José Alberto Batista Rodríguez

Titular: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

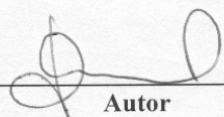
Tipo de Obra: Literaria.

Características: Obra en la que se revelan nuevas regularidades geológicas a partir de la reinterpretación de los datos aerogeofísicos.

El presente documento que otorga la fe pública del acto de creación. La existencia y la titularidad originaria en esta fecha de la obra descrita, sólo constituiría prueba de primera vista ante cualquier litigio respecto a la autoría y explotación de la misma.

Dado en Ciudad de la Habana, a los 29 días del mes de noviembre de 2002.



p/c 
Autor

Para proteger la creación

Calle 15 N° 604 e/ B y C, Vedado, Apartado Postal 4133, Zona 4, Ciudad de La Habana, Cuba.
Teléfono: (53-7) 832 3571 – 73 Fax: (53-7) 66 2030 E-mail: cenda@cubarte.cult.cu
<http://www.cenda.cu>

6.3. Resúmenes de Tesis Doctorales publicadas en Revista Científica

1. PRINCIPALES FASES MINERALES PORTADORAS DE NIQUEL EN LOS HORIZONTES LATERÍTICOS DEL YACIMIENTO MOA.

(Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Geológicas) .

Autor: Ing. Arturo Luis Rojas Purón.

Tutor: Dr. Gerardo Orozco Melgar.

Moa .
1994 .

SINTESIS

Se establecen las principales fases minerales portadoras de níquel en los horizontes lateríticos de la corteza de intemperismo del yacimiento Moa, mediante el estudio de la distribución del Ni dentro de los diferentes minerales que componen el material laterítico y en las fracciones granulométricas.

En la caracterización mineralógica de las lateritas se emplearon técnicas analíticas instrumentales como la Difracción de rayos-x, Espectroscopía de Absorción y Emisión Atómica, Espectroscopía de Luz Visible y Microscopía Electrónica de Transmisión, lo que permitió definir las fases minerales portadoras de níquel.

Durante el estudio se tuvo en cuenta la presencia de las fases minerales no portadoras, hematita y gibbsita que coexisten junto con la goethita y espinelas en la composición mineralógica del material laterítico y tienen una incidencia negativa en la metalurgia de estos yacimientos ferroniquelíferos.

2. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA REDES ÓPTIMAS DE EXPLORACIÓN DE LOS YACIMIENTOS LATERÍTICOS DE HIERRO, NÍQUEL Y COBALTO EN LA REGIÓN DE MOA

(RESUMEN TEIS DOCTORAL/2001

ISSN 0258 5979 Minería y Geología v. 18 n. 4 2001

León Ortelio Vera Sardiñas

3. LA MODELACION DESCRIPTIVA EN EL EJEMPLO DE LOS YACIMIENTOS LATERÍTICOS DE CUBA ORIENTAL

(RESUMEN DE TESIS DOCTORAL / 2002)

ISSN 0258 5979 Minería y Geología v. 21 n. 1, 2005

José Daniel ARIOS-IZNAGA†

Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico.

INTRODUCCION

Novedad y actualidad del tema

Los suelos agrícolas pueden ser restaurados para devolverles la fertilidad que les permita a las plantas y a los animales, el hombre incluido, utilizar sus productos; es mas: algunos residuales estériles se pueden reforestar, pero un yacimiento mineral de cualquier tipo, metálico, no metálico o combustible sea sólido, líquido o gaseoso, una vez que ha sido agotado, no se puede reponer ni se puede regenerar. Son simplemente recursos naturales no renovables. La velocidad a la cual estos recursos se están utilizando y consumiendo, crece de manera constante y alarmante, en muchos casos indiscriminadamente, en las sociedades industrializadas de consumo.

Considerando lo errático y a veces la forma aparentemente caprichosa en que se han formado los yacimientos minerales en la corteza terrestre: ¿cuál es el estado actual de las reservas mundiales de los minerales sólidos metálicos y no metálicos?

El consumo de minerales está creciendo en una proporción sensiblemente mayor que la tasa de incremento de la población mundial; no sólo hay mas poblaciones que consumen recursos minerales, sino que el promedio de consumo por persona tiene diferentes patrones debido a la distribución desigual de la riqueza en el mundo actual, donde existen sensibles diferencias entre unos pocos países industrializados y desarrollados y otros muchos países subdesarrollados.

Esta contradicción es más impactante cuando vemos que generalmente los primeros, no poseen la mayoría de los recursos minerales que consumen, es decir son importadores netos de minerales y si poseen algunos de esos recursos, los conservan como reserva nacional para su planeamiento estratégico o para mover la balanza de los precios en la economía mundial a su favor.

Un ejemplo claro: del grupo de las grandes potencias mundiales sólo Rusia y Canadá poseen recursos y reservas mundiales de níquel. El resto de los países desarrollados industrializados exportan muchos equipos y manufacturas con níquel contenido que importan desde los países productores del Tercer Mundo como Nueva Caledonia, Indonesia y Cuba, entre otros (Minerals Yearbook, 1988).

Los países desarrollados e industrializados concentran el 16 % de la población mundial pero consumen el 70 % del Al, Cu y Ni, el 58 % del petróleo, el 48 % del gas natural y el 37 % del carbón mundiales. (Kesler, 1994)

La crisis actual reside en que nuestra civilización está basada en los recursos minerales. La mayor parte de las máquinas, mecanismos y medios que forman parte de la calidad de vida están confeccionados con metales y movidos por la energía procedente de los combustibles fósiles. La producción de alimentos a gran escala para las poblaciones urbanas depende de la utilización de fertilizantes. Los edificios donde vivimos y trabajamos están fabricados casi totalmente de minerales y sus productos que son extraídos desde la corteza terrestre.

Si la población mundial crece tan rápidamente como lo indican los estudios y las tendencias actuales, la presión para descubrir y producir minerales será enorme. Los factores que controlan la disponibilidad de minerales, según Kesler (1994), son cuatro:

- Geológicos: nuestro suministro de minerales proviene de los yacimientos minerales que tienen dos características geológicas que los convierten en un reto real para la civilización moderna: en primer término, casi todos son no renovables pues se formaron en procesos geológicos que son incomparablemente más lentos que la velocidad a la que son consumidos; en segundo lugar, el valor del lugar donde se encuentran localizados, pues nosotros no podemos decidir donde deben estar para una mejor extracción, sino que esa decisión la toma la naturaleza. Además la distribución de los yacimientos es aleatoria en el espacio por mas que sus regularidades están condicionadas por la geología del lugar donde están encajados u hospedados.
- Ingenieriles: ellos afectan a la disponibilidad de minerales tanto en los aspectos técnicos como económicos. Las limitaciones técnicas se presentan cuando no podemos hacer algo con los minerales independientemente de nuestros deseos y necesidades. Por ejemplo la extracción de una Mena a una profundidad tal que no existen métodos de minería adecuados para ello. Los factores económicos limitan la disponibilidad de minerales cuando juzgamos el costo de un proyecto como demasiado alto y simplemente tenemos que abandonarlo.

- Ambientales: afecta la disponibilidad en dos sentidos fundamentales. El primero es la contaminación que está asociada con la extracción y procesamiento o beneficio de los minerales y el segundo con el compromiso de las naciones para proteger el ambiente global lo cual conduce a consideraciones de tipo ético al no generar procesos que puedan ser dañinos para el medio.
- Económicos: están determinados por el binomio suministro/demanda y el análisis costo/beneficio. Lo cierto es que el impacto sobre la economía global de los minerales combustibles es de 700 millones de millones y de los metales 500 millones de millones (MMusd) anuales. Compárese con la producción de ganado 570 MMusd, arroz 150 MMusd, Trigo 80 MMusd y azúcar 25 MMusd anuales (U.S. Bureau of Mines, Mineral Commodity Summaries, 1992)

De acuerdo con la mayoría de los estudios de pronóstico sobre los recursos minerales, los que están reconocidos como vitales no se agotarán en este siglo XXI, pero algunos tienen ya una existencia física limitada a varias décadas si es que no se localizan nuevas reservas.

Sin embargo raramente los recursos naturales se agotan en su totalidad; lo que ocurre con más frecuencia es que su extracción se abandona como resultado de las variaciones en los costos y los precios de los productos finales. Con mucha regularidad sucede que la elevación de los precios determina la demanda y uso de estos productos minerales finales, hasta un punto en que la explotación minera cesa virtualmente y se comienza a pensar en su sustitución por nuevos minerales (Berry et al. 1993).

A medida que se produce el agotamiento de estos recursos minerales, los Geólogos tienen la tarea de descubrir nuevos yacimientos en condiciones más difíciles y complejas, a mayor profundidad y los mineros la de explotar reservas de peor calidad y en localidades cada vez más difíciles, remotas e inaccesibles.

La mayoría de los recursos naturales están distribuidos de una manera muy desigual en la corteza terrestre; este esquema o patrón espacial aparentemente errático, es el resultado de los procesos físicos, químicos y geológicos que provocan la formación de los yacimientos minerales en un punto determinado de la corteza terrestre y no en otro. Sin embargo como han señalado los más prestigiosos científicos de la geología de los yacimientos minerales, la ubicación de uno u otro cuerpo mineral en la corteza terrestre no es aleatoria sino que obedece a leyes que se reflejan en las características y regularidades geológicas de uno u otro territorio, así como a los procesos de formación de menas que son consecuencia de lo primero.

El Programa de Modelación de Yacimientos se inició en 1983 con la finalidad de promover técnicas de avanzada en la exploración y evaluación de los recursos minerales con la vistas a apoyar el desarrollo sostenible de los países en desarrollo. Es un programa conjunto de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

La modelación de yacimientos es el proceso de ordenar sistemáticamente la información sobre los yacimientos de un tipo determinado y sus ambientes, con la finalidad de definir y describir sus atributos esenciales. Ella es una integración poderosa del conocimiento y la técnica en la Geología Económica y es una de las herramientas disponibles más poderosas para comprender y conocer la localización espacial de los yacimientos minerales y dónde se podrían encontrar otros.

El incremento de la eficiencia y la eficacia de los métodos de prospección y exploración de los yacimientos se encuentra en el centro de los desarrollos científicos actuales que participan en el proceso de descubrir nuevos recursos minerales, su evaluación y la creación de nuevas reservas minerales apoyados en:

- La utilización intensiva de diferentes tipos de modelos de yacimientos minerales: descriptivos, genéticos, de ley y tonelaje, de probabilidad de ocurrencia, de expresión geofísica, geoambientales, como base para el pronóstico metalogénico y delimitar las áreas perspectivas para realizar trabajos de exploración detallados con vistas al descubrimiento de nuevos yacimientos minerales o incrementar las reservas con nuevos cuerpos en los yacimientos ya descubiertos.
- El desarrollo, perfeccionamiento y aplicación extensiva del complejo racional de métodos geofísicos de exploración en dependencia de las características geológicas de los territorios y de los minerales a investigar.

- Las técnicas analíticas de alta resolución y fiabilidad con elevada precisión en los resultados para determinar la calidad de los materiales.
- Las investigaciones con técnicas de teledetección interconectados con Sistemas de Información Geográficos (SIG) de diferentes tipos para la evaluación de los territorios y el descubrimiento de grandes estructuras favorables para la mineralización entre otros aspectos.
- Las técnicas de computación avanzada aplicadas a la simulación, procesamiento y evaluación de la información geológica a veces en tiempo real.
- Los nuevos y más eficientes métodos de explotación de los yacimientos, de beneficio y concentración de minerales así como del procesamiento metalúrgico de la materia prima mineral donde ya participan compuestos químicos y biológicos activos y tecnologías como la extracción por solventes.
- La propuesta de desarrollar la Modelación de Yacimientos a partir de la información existente en Cuba sobre nuestros yacimientos y transformarlos, en una primera etapa, en modelos de descriptivos de yacimientos es un tema de absoluta novedad y actualidad en el escenario geológico mundial, sin antecedentes en Cuba.

Es novedosa la propuesta de tres modelos descriptivos para los yacimientos de Fe-Ni-Co en el macizo Mayarí-Baracoa que permitirá el incremento de la eficiencia de los trabajos de exploración y evaluación de nuestras reservas mundiales de minerales de Ni y Co lo cual contribuye, además, al desarrollo cognoscitivo y económico de nuestros recursos minerales.

4. EVALUACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO A LA ROTURA POR DESARROLLO DE DESLIZAMIENTOS EN EL YACIMIENTO PUNTA GORDA

(RESUMEN DE TESIS DOCTORAL / 2005)

ISSN 0258 979 Minería y Geología v.22, n.2, 2006

Yuri ALMAGUER-CARMENATES

Departamento de Geología Instituto Superior Minero Metalúrgico

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han producido cambios profundos en las interrelaciones Hombre–Medio Geológico. El hombre ha provocado una aceleración de los agentes naturales y al mismo tiempo, en el proceso de desarrollo económico, ha generado un cierto grado de vulnerabilidad, aumentando los riesgos de las actividades socioeconómicas de ellas derivadas. Bajo estas condiciones geoambientales, los deslizamientos constituyen un peligro geológico. Por lo general estos tienen lugar en zonas de difícil acceso y poco pobladas lo que provoca impactos a pequeña escala y de poca consideración, a excepción de algunos eventos catastróficos como el de Aberfan en el Reino Unido (Bishop et al., 1969), el del Nevado Huascarán en Perú (Plafker y Ericksen, 1979), el del Mount Sant Helens en Estados Unidos (Voight et al., 1983) y el de Vaiont en Italia (Shuster, 1996) entre otros. En algunos terremotos recientes los deslizamientos han sido una de las principales causas de daños y pérdidas de vidas humanas (Kobayashi, 1981; Keefer, 1984; Plafker y Galloway, 1989; Schuster, 1996) y otros. La mejor estrategia para reducir los impactos de los deslizamientos es la prevención, la evaluación de la susceptibilidad y riesgos y la adopción de medidas para mitigar los efectos (Corominas, 1992).

Actualmente los avances en las técnicas computacionales y la generación de nuevos software, permiten realizar análisis de riesgos, determinar la susceptibilidad y la vulnerabilidad del terreno a los movimientos de masas de manera mas precisa y confiable. En la actualidad los Sistemas de Información Geográfica (SIG), realizan el análisis de la susceptibilidad a la rotura por deslizamiento, así como la elaboración de

5. MODELACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE HIERRO EN YACIMIENTOS LATERÍTICOS HETEROGÉNEOS DE NÍQUEL Y COBALTO. CASO DE ESTUDIO, YACIMIENTO MOA ORIENTAL

(RESUMEN DE TESIS DOCTORAL / 2006)

Minería y Geología /v.23 n.2 / 2007 ISSN 1993 8012

Adrian Martínez Vargas¹ / amvargas@ismm.edu.cu

INTRODUCCIÓN

La industria del níquel y el cobalto es una de las fuentes de ingreso más importantes de Cuba; se nutre de las menas procedentes de varios yacimientos de cortezas lateríticas, minadas a cielo abierto. Desafortunadamente los mejores depósitos han sido prácticamente agotados, aún así, las empresas involucradas en esta industria pretenden aumentar los volúmenes de producción, por lo que se enfrentan al reto de “explotar con eficiencia yacimientos más complejos, menos potentes y más variables”.

La minería se planifica con el objetivo de extraer racionalmente menas con las cualidades que requieren las plantas metalúrgicas que las procesan; para el control de dichas cualidades los contenidos de hierro constituyen uno de los parámetros más empleados. La planificación se realiza a partir de modelos, pues el yacimiento real no se conoce hasta que no es explotado. Modelar en este caso se refiere al proceso de obtener ecuaciones matemáticas que expliquen el comportamiento espacial de una variable y con ella estimar o simular los valores de la misma en un soporte v determinado, donde v puede ser un punto o unidades de selectividad minera. Por tal motivo, de la precisión y la calidad de la información resultante del

6. ESTUDIO MORFOTECTÓNICO DE MOA Y ÁREAS ADYACENTES PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS DE GÉNESIS TECTÓNICA

(RESUMEN DE TESIS DOCTORAL / 1998)

ISSN 0258 5979 Minería y Geología v.21, n.3, 2005

Alina RODRIGUEZ-INFANTE / rinfante@ismm.edu.cu

Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico

INTRODUCCION

A raíz del cese de los convenios de colaboración de Cuba con los países del Consejo de Ayuda Mutua Económica y la desintegración de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, se hizo necesaria la mixtificación de la economía, de la cual es pilar importante la industria niquelífera que necesitó no sólo de la búsqueda de mercado para la venta de sus productos, sino también de inversiones que garantizarán su desarrollo tecnológico bajo las regulaciones y exigencias de la tecnología contemporánea.

El mayor por ciento de las instalaciones de la industria del níquel -actuales y futuras- se ubican en el territorio de Moa, el que se encuentra enclavado en una región de máxima complejidad geólogo-tectónica y en el cual han ocurrido recientes movimientos telúricos indicadores de una tectónica activa que puede causar daños a las obras industriales y sociales en funcionamiento o en construcción.

Lo anterior conllevó a la necesidad de determinar las principales estructuras tectónicas activas de la región para caracterizar la geodinámica del territorio a través del estudio de los movimientos de bloques morfotectónicos y con ello, poder determinar los sectores de máxima vulnerabilidad tanto para el ecosistema como para las construcciones socioeconómicas ante la ocurrencia de procesos tectónicos.

A partir de este problema y a solicitud del gobierno municipal, el Centro Nacional de Investigaciones Sísmicas, GEOCUBA y el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa en coordinación con la Unión de Empresas del Níquel se iniciaron los trabajos de investigación sismotectónica del territorio del que forma parte el presente trabajo, el cual se desarrolla en un área de aproximadamente 865 km² comprendida de este a oeste desde la zona de Santa María en la provincia Guantánamo hasta el río Cananova del municipio Sagua de Tánamo en la provincia Holguín, garantizándose que quedaran incluidas todas las estructuras que de forma directa o indirecta tienen influencia sobre la zona de Moa.

El objetivo de las investigaciones es profundizar en el conocimiento geólotectónico del territorio de Moa que permita establecer los sistemas de estructuras activas y bloques morfotectónicos, caracterizar los movimientos tectónicos contemporáneos y su incidencia en los sectores de máximo riesgo de origen tectónico.

Es necesario dejar aclarado en esta introducción que no es objetivo de estas investigaciones el cálculo económico del impacto ambiental ante la ocurrencia de los procesos tectónicos y sólo se persigue la identificación de los factores o elementos del medio ambiente susceptibles de ser alterados o modificados por la acción de éstos, lo que constituye la etapa inicial en los estudios de impacto ambiental [22].

En la realización de las investigaciones se tomó como base la información geológica que sobre el territorio existe, la que se puede catalogar de variada y abundante.

7. NUEVAS REGULARIDADES GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN MAYARÍ-SAGUA-MOA A PARTIR DE LA REINTERPRETACIÓN DEL LEVANTAMIENTO AEROGEOFÍSICO 1:50 000

(RESUMEN DE TESIS DOCTORAL / 2002)

ISSN 0258 5979 Minería y Geología v.22, n.1, 2006

José Alberto BATISTA-RODRÍGUEZ / jabatista@ismm.edu.cu

Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico

INTRODUCCIÓN

La demanda de recursos naturales en el territorio nacional ha conllevado desde inicio del siglo XX a una intensificación de las investigaciones geológicas y geofísicas, que cubren el 100 % del territorio, con las que se ha profundizado en el conocimiento geológico regional y se han orientado los trabajos de prospección de minerales, llegando al descubrimiento de nuevos yacimientos.

En la región Mayarí-Sagua-Moa se ubican importantes yacimientos de lateritas ferroniquelíferas y de cromitas, lo que ha traído consigo la creación de una gran infraestructura minero-metalúrgica orientada a la explotación de estos recursos minerales. Desde principio del siglo pasado se han realizado numerosos trabajos dirigidos al aumento del conocimiento geológico del área y a la búsqueda y exploración de estas y otras materias primas, orientados tanto al aumento de las reservas como al hallazgo de nuevas acumulaciones minerales. La mayoría de estos trabajos carecen de investigaciones geofísicas y en los casos en que se han realizado, el uso de la información ha sido insuficiente.

A pesar de que en esta región se han desarrollado levantamientos geológicos a escalas que varían desde 1:250 000 hasta 1:50 000 y mayores en algunas localidades, existen discrepancias e imprecisiones en cuanto a la ubicación, extensión y límites de cuerpos, y estructuras geológicas importantes, lo cual limita la utilización de estos materiales para fines de prospección y exploración de los principales tipos de materias primas minerales que se pueden ubicar en la misma.

6.4. Publicaciones de artículos científicos

La obra presentada cuenta con una veintena de publicaciones en revistas referenciadas en bases de datos internacionales. A continuación se muestran copias de las portadas de las publicaciones científicas que acreditan la divulgación de los resultados.

1. MODELOS DE YACIMIENTOS MINERALES: TIPOLOGÍAS Y APLICACIONES

ISSN 0258 5979 Revista Minería y Geología Vol . XVII I, No. 2, 2001

ORE DEPOSIT MODELS: TYPOLOGIES AND APPLICATIONS

JOSÉ D. ARIOS A IZNAGA

ROBERTO DÍAZ MARTÍNEZ

E-mail: jariosa@ri.uo.edu.cu

Universidad de Oriente

Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez

RESUMEN: En los últimos treinta años se han publicado numerosos trabajos relacionados con los modelos de yacimientos minerales, la mayoría de los cuales han sido elaborados por especialistas norteamericanos y canadienses. La elaboración de un tipo de modelo (geológico, estadístico, económico, ley-tonelaje) para un yacimiento mineral dado es de gran importancia para los geólogos prospectores, ya que sirve de guía para descubrir, estudiar y evaluar el mismo. El presente artículo de revisión recoge y generaliza los aspectos esenciales que hay que tener en consideración para definir los modelos de yacimientos minerales. Se brindan los aspectos esenciales de la conceptualización de los modelos, partiendo de un análisis profundo de las diferentes clasificaciones de los yacimientos minerales. Por último, en el trabajo se expone una clasificación tipológica de los modelos válida para ser utilizada en los trabajos de prospección y exploración de yacimientos, tanto en Cuba como en el resto del mundo.

Palabras clave: Modelos, yacimientos minerales, clasificación tipológica, prospección.

ABSTRACT: In the last 30 years several works related with the models of mineral locations have been published, most of which have been elaborated by North American and Canadian specialists. The elaboration of model's type for a given mineral location is of great importance for the geologists prospectors, they serve as guide to discover, to study and to evaluate the same ones. The present article generalizes essential aspects that should be considered to define the models of ore deposits. The essential aspects of the conceptualisation of the pattern are offered leaving of an analysis of different classifications of the ore deposits. Lastly, in the work a typological classification is exposed from the valid models to be used in the prospecting works and exploration of ore deposits, as much in Cuba as in the rest of the world.

Key words: Model, ore deposit, typological classification, prospecting.

2. DOMINIOS GEOLÓGICOS DEL YACIMIENTO LATERÍTICO DE PUNTA GORDA, MOA: DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

GEOLOGICAL DOMAINS AT PUNTA GORDA ORE DEPOSIT, MOA: DELIMITATION AND CHARACTERIZATION

LEÓN O. VERA SARDIÑAS

ANTONIO RODRÍGUEZ VEGA

JOSÉ MANUEL CORDOBÉS PEDRIANES

ARÍSTIDES ALEJANDRO LEGRÁ LOVAINA

Email: overa@ismm.edu.cu

Instituto Superior Minero Metalúrgico

Instituto Superior Minero Metalúrgico

Centro de Ingeniería y Tecnología de la Construcción

Instituto Superior Minero Metalúrgico

RESUMEN:

El yacimiento Punta Gorda es un depósito residual de Ni, Co y Fe, asociado a una corteza de meteorización laterítica desarrollada sobre rocas ultrabásicas. No obstante a su aparente homogeneidad, se ha podido comprobar que las características de esta corteza varían espacialmente de modo significativo; se hace necesario entonces delimitar sectores o dominios con rasgos distintivos dentro del depósito. Mediante el empleo de una metodología basada en la modelación digital del terreno (Martínez y Pérez, 2000), se logró subdividir el depósito en siete dominios, atendiendo a determinadas características geomorfológicas, geológicas y geoquímicas propias. Se ofrece el mapa de dominios del yacimiento y se describen las características de cada uno de ellos.

Palabras clave: dominios geológicos, depósito residual, Ni, Co, corteza de meteorización.

ABSTRACT: Punta Gorda is a residual Ni, Co, Fe ore deposit, associated with a weathering crust developed on ultra basic rocks. Despite of its apparent homogeneity has been proved the characteristic of the crust differs spatially; thus it is necessary to delimited sectors or domains with distinctive features inside the deposit. Through a methodology based on terrain digital modelling the deposit was subdivided into 7 geological domains taking in account their own geomorphological, geological and geochemical characteristics. The domains map and the particular characteristics of each domain are given. **Key words:** geological domains, residual ore deposit, weathering crust.

3. PRINCIPIOS BÁSICOS PARA LA OBTENCIÓN DE REDES RACIONALES EN LA EXPLORACIÓN DE LOS YACIMIENTOS LATERÍTICOS CUBANOS

BASIC PRINCIPLES FOR OBTAINING RATIONAL MESH IN THE EXPLORATION OF THE LATERITE DEPOSITS FROM CUBA

ISSN 0258 5979 *Revista Minería y Geología* Vol . XVII I, No. 1, 2001

ORTELIO ERA SARDINAS

ALEJANDRO LEGRÁ LOBAINA

MARCOS MEDINA ARCE

E-mail: overa@ismm.uni.com.cu

Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez

RESUMEN:

En este trabajo se enuncian los principios básicos que se deben tener en cuenta al definir cualquier procedimiento a fin de determinar una red racional de muestreo para realizar la exploración de los

yacimientos lateríticos cubanos. Estos principios parten de la unidad entre el nivel del conocimiento al cual se aspira, las características de los parámetros que se estudian (en particular la variabilidad) y el modelo que se emplee para representar y estudiar el comportamiento de estos parámetros. Se acentúa la necesidad de modelar sobre soportes de bloques o paneles, en lugar de hacerlo sobre soportes puntuales, así como la conveniencia de usar redes regulares.

Palabras claves: Redes, muestreo, exploración, modelos.

ABSTRACT: In this paper are explained the basics principles to keep in mind upon defining any procedure in order to determine a rational mesh to obtain samples, in order to carry out the exploration of the laterite deposits from Cuba. These principles part from the characteristics of the parameters that are studied (in particular the variability), the unit between the level of the knowledge to we are aspired, and the model that is employed in order to represent and study the behavior of these parameters. The necessity of modeling panels on supports of ó blocks is accentuated instead of making it on punctual supports as well as the convenience of using regular mesh.

Key words: Mesh, Sample, Exploration, Models.

4. SOBRE LA DETERMINACIÓN DE VALORES DE UNA VARIABLE EN LA GEOLOGÍA Y EN LA MINERÍA

ON THE DETERMINATION OF VALUES OF A VARIABLE IN GEOLOGY AND IN MINING

ISSN 0258 5979 Revista Minería y Geología Vol . XVII I, No. 1, 2001

ARÍSTIDES LEGRÁ LOBAINA
DULCE MARÍA ATANES BEATÓN
ABEL VELÁZQUEZ PRATTS

RESUMEN: En la práctica geológica y minera es usual realizar mediciones sobre una red del plano y, a partir de éstas, obtener modelos analíticos y gráficos de cierta característica de una zona y determinar algunos valores de la variable modelada. En este trabajo se analizan algunos principios generales sobre la determinación de estas variables en las ciencias geológicas y mineras, y se explican, a manera de ejemplo, algoritmos para obtener resultados gráficos y analíticos partiendo de splines bicúbicos.

Palabras claves: Modelos, estimación, interpolación, splines, curva de nivel.

ABSTRACT: In the geological and mining practical is an usual task carry out measurements on a grid of the plane and starting from its outputs get analytic models and graphics of certain characteristic of a zone and determining some values of the modeling variable. In this work some general principles on the determination of this variables in the geological and mining sciences are analyzed. As example are explained algorithms in order to get some graphic and analytic outputs starting from bicubics splines.

Key words: Models, Estimation, Interpolation, Splines, Bend of level.

5. EVIDENCIAS A FAVOR DE QUE LA GOETHITA ES LA PRINCIPAL PORTADORA DE NÍQUEL EN LOS HORIZONTES LATERÍTICOS DE LAS CORTEZAS FERRONIQUELÍFERAS

EVIDENCES IN FAVOUR TO CONSIDER THE GOETHITE PHASE AS THE MAIN NICKEL-BEARING MINERAL IN FERRUGINOUS LATERITIC NICKEL ORES

ARTURO ROJAS PURÓN

E mail: artrojaspuron@ismm.edu.cu

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

RESUMEN:

Las cortezas de intemperismo lateríticas del noreste de Cuba constituyen fuentes de obtención de Ni. El vínculo de este metal con las fases minerales de hierro (goethita específicamente) en las menas oxidadas de las cortezas ferroniquelíferas, ha sido revelado por diversas investigaciones que se apoyan en análisis químicos y mineralógicos. En este artículo se conjugan, para perfiles de distinto grado de madurez, aspectos químicos, mineralógicos y físicos al nivel de perfil, de horizontes y de clase granulométrica. Los resultados mostraron una tendencia natural de concentración de las distintas fases minerales hacia determinada clase granulométrica. En el yacimiento Moa, tanto en perfiles maduros como inmaduros, la goethita se concentra en la clase granulométrica menor de 0,045 mm, la cual representa alrededor del 50 % en peso de los horizontes ocreos para ambos tipos de perfil, y contiene como promedio 1,4 % de Ni.

Palabras clave: goethita, Ni, lateritas, grado de madurez, clase granulométrica.

ABSTRACT:

The lateritic weathering crusts of the northeast of Cuba constitute sources of obtaining Ni. The relationship of this metal with the mineral phases of iron (goethite specifically) in the oxidized ores of the nickeliferous crusts has been revealed by diverse investigations ground in chemical and mineralogical analyses. In this paper they are conjugated, for profiles of different maturity degree, chemical, mineralogical and physical aspects at the level of profile, horizons and grain-sized class. The results showed a natural tendency of concentration of the different mineral phases towards certain grain-sized class. In the Moa deposit, as much in mature profiles as immature, goethite is concentrated in the grainsized class smaller than 0,045 mm, which represents around 50 % in weight of the ochreous horizons for both types of profile, and contains 1,4 % of Ni.

Key words: goethite, Ni, laterites, maturity degree, grain-sized class.

6. EVALUACIÓN DE RIESGOS POR DESLIZAMIENTO EN EL YACIMIENTO PUNTA GORDA, MOA, HOLGUÍN

EVALUATION OF LANDSLIDES RISKS IN THE PUNTA GORDA NICKEL ORE DEPOSIT, MOA, HOLGUÍN

ISSN 0258 5979 Revista Minería y Geología Vol . XVII I, No. 1, 2001

RAFAEL GUARDADO LACABA

YURI ALMAGUER CARMENATES

E-mail: rguardado@moa.minbas.cu

RESUMEN: La existencia de taludes inestables dentro del sistema de explotación del yacimiento ferroniquelífero de Punta Gorda, presupone un riesgo que se manifiesta en la ocurrencia de deslizamientos. El presente trabajo se realiza con el objetivo fundamental de determinar en el yacimiento las zonas de riesgo, para esto se aplicó un complejo de métodos que abarcaron campañas de mediciones en el campo, estudios hidrogeológicos, geomecánicos y análisis de estabilidad de taludes. Como resultados brinda una caracterización de los taludes, las propiedades hidrogeológicas de los horizontes lateríticos, además de las características físico-mecánicas y geomecánicas de las rocas y, finalmente, se presenta el mapa de riesgos por deslizamiento para el yacimiento.

Palabras claves: Riesgo geológico, estabilidad de taludes, geomecánica, yacimiento Punta Gorda.

ABSTRACT: The existence of unstable slopes inside the system of exploitation of the ore deposits of Punta Gorda presupposes a risk that is manifested in the occurrence of slips. The present work is carried out with the fundamental objective of determining in the location the areas of risks, for this a complex of methods was applied that embraced campaigns of measurements in the field, hidrogeologic and geomechanic studies, and analysis of stability of slopes. As results it offers a characterization of the slopes, the hidrogeological properties of the lateritic horizons, besides the mechanical physical characteristics and geomechanical of the rocks and finally the map of risks is presented by slip for the ore deposits.

Key words: Geological risk, Slope stability, Geomechanics, Punta Gorda Nickel Ore deposit.

7. MODELO GEOLÓGICO DESCRIPTIVO PARA LOS YACIMIENTOS LATERÍTICOS DE Fe-Ni-Co EN LA FAJA OFIOLÍTICA MAYARÍ-BARACOA DE CUBA ORIENTAL

Descriptive geological modeling of Fe-Ni-Co lateritic deposits in Mayarí-Baracoa ophiolitic belt, eastern Cuba

Minería y Geología Nos. 1-2, 2003

José D. Ariosa Iznaga¹

Waldo Lavaut Copaz²

Pedro Siboney Bergues Garrido²

Roberto Díaz Martínez³

RESUMEN

Los modelos descriptivos de yacimientos minerales constituyen sistematizaciones de información geológica de gran valor para la exploración y la evaluación de territorios que presenten aquellos atributos definidos en el modelo y que los hagan perspectivas para el descubrimiento de nuevos recursos minerales. En este trabajo se presenta una visión generalizada de los procesos de intemperismo y se hace una propuesta de modelos para los yacimientos de lateritas de Fe-Ni-Co en Cuba, a partir de los que se localizan en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa en Cuba Oriental.

PALABRAS CLAVE: Modelos de yacimientos minerales, intemperismo, lateritas.

ABSTRACT

Mineral deposit descriptive models are valuable geological information network usefull to explore and assessment the territories with these atributes in their geologic pattern and makes them perspectives for the discovery of new mineral resources. In this paper a generalized approach is given about weathering as main process in the formation of laterites as

well as three proposal of Fe-Ni-Co laterite descriptive models developed on Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt located in Eastern Cuba.

KEY WORDS: Mineral deposit models, weathering, laterites.

8. DISTRIBUCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS INTERCALACIONES EN EL YACIMIENTO LATERÍTICO FERRONIQUELÍFERO PUNTA GORDA, MOA, CUBA

Distribution and clasification of the intercalations in the ferroniqueliferous lateritic ore deposit, Punta Gorda, Moa, Holguín

Minería y Geología, ISSN 0258 5979, Nos. 3-4, 2003

Dictinio de Dios Leyva¹
Roberto Díaz Martínez²

E-mail: ddios@ecg.moa.minbas.cu
1 Empresa Niquelera Ernesto Che Guevara
2 Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa

RESUMEN

Las intercalaciones son cuerpos geológicos que aparecen dentro de la masa mineralizada y que al ser extraídas conjuntamente con ésta, alteran las características industriales de la mena y dificultan su procesamiento metalúrgico. Recientemente, una investigación que tuvo el objetivo de conocer la distribución y características de estos cuerpos y que abarcó 88 bloques de explotación con reservas probadas del Sector Central del yacimiento Punta Gorda, arrojó un total de 2 721 intercalaciones en 2 225 pozos (red 33,33 x 33,33 m). Se lograron clasificar las intercalaciones en cinco tipos (I, II, III, IV y V) con cinco subtipos (A, B, C, D y E), atendiendo a criterios geológicos e industriales. Se encontró que las intercalaciones del tipo IC son las más abundantes y están constituidas por material ocreo de bajo contenido de Ni, lo cual provoca el empobrecimiento de la mena. Las intercalaciones del tipo IID, representadas por serpentinas descompuestas (saprolita), aparecen en segundo lugar en abundancia y, no obstante poseer un alto contenido de Ni, sus elevados contenidos de sílice las hacen muy nocivas para el procesamiento por la vía carbonato amoniacal. Se obtuvo también el coeficiente de intercalación, el cual es de mucha utilidad en la planificación y control de la minería.

PALABRAS CLAVE: Intercalación, laterita redepositada, yacimiento ferroniquelífero Punta Gorda, Moa.

ABSTRACT

Intercalations are geologic bodies that appear inside the mineralized mass, that when being extracted together with these alter the industrial characteristics of the ore hindering its metallurgical process. Recently, an investigation focused to knowing the distribution and characteristic of these bodies, embraced 88 blocks of exploitation with proven reservations of the Central Sector of the Punta Gorda location, reported a total of 2 721 intercalations in 2 225 wells (net 33,33 x 33,33 m). It was possible to classify the intercalations in 5 types (I, II, III, IV and V) with 5 subtypes (A, B, C, D and E) following geologic and industrial approaches. It was found that the intercalations of the type IC are the most abundant and they are constituted by ochreous material of low contents of Ni, what causes the impoverishment of the ore. The intercalations of the type IID, represented by decomposed serpentines (saprolite), appear in second place in abundance and nevertheless to possess a high content of Ni their high silica contents make them very noxious for its processing by carbonate amoniacal way. As a result it was also obtained a coefficient of intercalation of a lot of utility in the planning and control of the mining.

KEY WORDS: Intercalation, redeposit laterite,

9. MODELO DIGITAL DEL RELIEVE ORIGINAL DEL YACIMIENTO PUNTA GORDA

Digital model of original relief of Punta Gorda deposit

Minería y Geología, ISSN 0258 5979, Nos. 3-4, 2003

Adrián Martínez Vargas¹

Aristides Alejandro Legrá Lobaina¹

Norberto Ferrera Alba²

Luis F. Mena Matos²

E-mail: amvargas@ismm.edu.cuj

1 Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

2 Centro de Proyectos del Níquel, Moa

RESUMEN

Se obtiene un MDT del relieve original del yacimiento de níquel Punta Gorda, transformado por veinte años de explotación minera. Se parte de tres fuentes de información: la red de exploración espaciada a 33,33 m, precisa pero poco densa; la red de explotación espaciada a 16,67 m, densa pero imprecisa, y la tercera es la carta topográfica a escala 1: 5 000, digitalizada con vectorización semiautomática sobre las imágenes rectificadas con polinomios de 2do y 3do órdenes; ésta es poco precisa, pero representativa de la variabilidad espacial del terreno. Se compararon las fuentes de información tomando como referencia la carta topográfica y en función de estas diferencias se planificó un levantamiento de campo para el control de errores. Se compararon los puntos de control con las fuentes de información y algunas de sus combinaciones, convertidas en *grids* espaciados a 2 m de distancia, estos *grids* fueron estimados mediante interpolación lineal con triangulación de Delaunay, Kriging Ordinario (KO) y Kriging con Drift Externo (KDE). Se empleó también la técnica de Jackknife, y se tomaron como destino los puntos de comprobación. Los mejores resultados se obtuvieron con KDE tomando como variable la cota de la red de explotación y como *drift* la carta topográfica 1: 5 000, a ésta se agregó la red de explotación para densificar la información del *drift*. Se eliminaron los datos no robustos y se obtuvo un MDT usando la precisión de la red de exploración y la información del comportamiento espacial del relieve brindados por la red de explotación y la carta topográfica 1: 5 000.

PALABRAS CLAVE: Digitalización, Triangulación de Delaunay, Kriging Ordinario, Kriging con Drift Externo, Modelo Digital del Terreno (MDT).

ABSTRACT

We make de DEM of the original relief from the nickeliferus ore body Punta Gorda, transformed by 20 years of mining. We use three main sources of elevation information, the elevation of the collar hole for exploration 33, 33 m spaced, it is precise but not dense; the collar of the exploitation drill hole 16, 66 m spaced, it is dense but less accurate; and finally the topographic map at 1:5 000 digitized with semiautomatic vectorization on rectified images with polynomials of 2do y 3do degree, these one is less accurate but representative of the spatial variability of the landscape.

We compare the different information sources taking as reference the topographic map, depending of such differences was schedule a topographic control in field. They were compared the controls points with the sources of information and few combinations, previously transformed in 2m spaced grids, we use for estimation the Lineal Interpolation with Delaunay triangulation, Ordinary Kriging (KO) and Kriging with External Drift (KDE). We use to the Jackknife technique, taking as destiny the controls points. The bests results was reached with KDE, taking as variable collar elevation of drill hole from exploration phase and as drift the 1: 5 000 topographic map, we added the collar of exploitation drill holes for increase la information density. Before estimation we eliminated the not robust data, and then were obtained an MDT with the precision of the collar of exploration drill hole and the spatial behavior of collar of exploitation drill hole and 1: 5 000 topographic map.

KEY WORDS: Digitizing, Delaunay triangulation, Ordinary Kriging, Kriging with External Drift, Digital Elevation Model (MDT).

10. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE CORTEZAS LATERÍTICAS A PARTIR DE DATOS AEROGAMMA ESPECTROMÉTRICOS Y AEROMAGNÉTICOS

Geological characterization of lateritic crust from airborne spectrometric and magnetic data

Minería y Geología, ISSN 0258 5979, Nos. 3-4, 2003

**José Alberto Batista Rodríguez E-mail: jabatista@ismm.edu.cu
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa**

RESUMEN

Las regiones de Mayarí y Moa (Cuba oriental), donde se localizan grandes yacimientos de lateritas ferroniquelíferas-cobaltíferas, están cubiertas por datos aerogamma espectrométricos y aeromagnéticos. A partir del análisis de los contenidos de eU y eTh, y de las relaciones entre éstos y el K, se delimitaron las áreas

de lateritas ferroniquelíferas ya conocidas y otras no reportadas hasta el momento. Se encontró que las lateritas redepositadas poseen mayor contenido de eU y eTh que las *in situ*, asimismo son mayores estos contenidos en las lateritas más potentes y en las desarrolladas o redepositadas sobre rocas serpentinizadas. El tiempo de formación, desarrollo, potencia de las lateritas y rocas subyacentes, así como las características geomorfológicas y la presencia de alteraciones hidrotermales, se infieren de las relaciones encontradas entre los contenidos de eU, eTh y K, y ΔT . Las variaciones laterales en las concentraciones de eU y eTh indican variaciones en los espesores de las lateritas.

Los contenidos de eTh están relacionados con el tiempo de formación, desarrollo y espesor de las cortezas lateríticas, mientras que las altas concentraciones de K denuncian la existencia de alteraciones hidrotermales. Las variaciones laterales conjuntas del campo magnético y los contenidos de cualesquiera de los elementos analizados, responden a variaciones en los espesores de las lateritas y las rocas subyacentes. En Moa las lateritas poseen mayor contenido de eU y eTh que en Mayarí, lo cual sugiere mayor tiempo de formación, desarrollo y espesor de las mismas en la primera región mencionada.

PALABRAS CLAVE: Lateritas, Moa, Mayarí, aerogamma espectrométrico, aeromagnético.

ABSTRACT

The Mayarí and Moa regions (western Cuba), where are located wide deposits of Fe-Ni-Co laterites, are covered for airborne geophysical data (airborne radiometric and magnetic). Starting of the analysis eU and eTh contents, and the relationships between these ones and K, were delimited laterites areas, including some ones not reported yet. The redeposited laterites possess higher content of U and Th that those in situ, which are also higher in the most potent laterites and in those developed or redeposited on serpentinized rocks. The time of formation, development, thickness of the laterites and underlying rocks, as well as the geomorphologic characteristic and the presence of hydrothermal alterations, they are manifested in the opposing relationships among the contents of eU, eTh and K, and ΔT . The lateral variation in the concentrations of U and Th in the laterites indicates variations in the thickness of the same ones. The eTh contents are related with their time of formation, development and thickness. The concentrations of K evidence the existence of hydrothermal alterations. The combined lateral variations of the magnetic field and the contents of anyone of the analyzed elements respond to variations of thickness of the laterites and the underlying rocks. In Moa the laterites possesses bigger eU and eTh contents that in Mayarí, suggesting longer time of formation, development and thickness in the first mentioned region.

KEY WORDS: Laterites, Moa, Mayarí, airborne radiometric, airborne magnetic.

11. CARACTERIZACION INGENIERO GEOLÓGICA DEL PERFIL DE METEORIZACION DE ROCAS ULTRABASICAS SERPENTINIZADAS EN EL TERRITORIO DE MOA, CUBA

Engineering geological characterization of the weathering profile of the residual lateritic soils as element of risk for landslide in the territory of Moa, Cuba

ISSN 0258 5979 *Minería y Geología* v. 21 n. 3, 2005

Yuri ALMAGUER CARMENATES¹, Rafael GUARDADO LACABA

(1) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Email: yalmaguer@ismm.edu.cu

RESUMEN- Las cortezas de meteorización desarrollada sobre rocas ultrabásicas serpentinizadas en la región de Moa han sido ampliamente caracterizadas desde el punto de vista mineralógico y geoquímico, no siendo así respecto a su comportamiento ingeniero geológico, el cual constituye un elemento fundamental para emprender cualquier evaluación de riesgos asociados a movimientos de masas. La presente investigación abarcó las cortezas de tipo residual sobre las cuales se aplicaron los métodos geomecánicos tradicionalmente utilizados para caracterizar el comportamiento ingeniero geológico de un macizo. Se realizó la descripción visual de los diferentes horizontes lateríticos, y se aplicaron índices relacionados con las propiedades físico-mecánicas, estructurales y texturales tales como el índice de microfractura y micropetrográfico, índice de calidad del macizo rocoso (RQD) e índice de alteración unificado. Como resultado se presenta una propuesta de clasificación ingeniero geológica del perfil en función del grado de meteorización, el cuál se definió en una escala de I a V a partir de los valores típicos de las propiedades físico mecánicas, RQD, relación porcentual roca/suelo y otros dos elementos relacionados con el modo de rotura de taludes y laderas y la tipología de deslizamiento.

Palabras clave: corteza de meteorización, movimientos de masas, riesgo por deslizamiento.

ABSTRACT-The weathering crust developed on serpentine ultrabasic rocks in the region of Moa have been broadly characterized from the geochemical and mineralogical point of view, not being this way regarding their behavior geologic engineer, which constitutes a fundamental element to undertake any evaluation of risks associated to landslide. The present investigation embraced the residual crust on which the geomechanic methods were applied traditionally used to characterize the behavior geologic engineer of a rocks. It was carried out the visual description of the different lateritic horizons, and indexes related with the physical, mechanical, structural and textural properties such as the microfracture and micropetrographic, rock quality designation of rock (RQD) and unified alteration index

12. ¿CUÁL ES EL MEJOR MÉTODO PARA ESTIMAR VARIABLES EN YACIMIENTOS LATERÍTICOS DE NÍQUEL Y COBALTO?

WHICH IS THE BEST METHOD TO ESTIMATE VARIABLE VALUES IN LATERITIC DEPOSITS OF NICKEL AND COBALT?

ISSN 0258 5979 *Minería y Geología* v. 22 n. 3, 2006

Adrian MARTÍNEZ-VARGAS¹, Niurka PÉREZ-MELO²

(1)Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba. Correo electrónico:

adriangeologo@yahoo.es (2)Centro de Investigaciones de la Laterita, Moa, Holguín. Correo electrónico: nperez@cil.moa.minbas.cu

RESUMEN- Para determinar el método más adecuado de estimar los contenidos de hierro, níquel y cobalto en los yacimientos lateríticos del nordeste de Cuba, se compararon los errores puntuales asociados a varios algoritmos de estimación y simulación, tomando como caso de estudio el bloque O48 del Yacimiento Punta Gorda. La comparación se basó en los resultados de la técnica de *jackknife*. Los métodos de estimación y simulación empleados fueron, inverso de la distancia, krigeage simple, krigeage ordinario, krigeage multigaussiano, krigeage lognormal, krigeage con modelo de spline, simulación gaussiana secuencial y simulación condicional por el método de bandas rotantes, esta última con 100 bandas aleatorias. En todos los casos se alcanzaron resultados similares con respecto a la media de los errores, a excepción del krigeage con modelo de spline. La diferencia entre los métodos sólo se hace evidente al comparar las distribuciones de frecuencias de dichos errores. Se demuestra que la exactitud de la estimación, en este caso de estudio, está más influenciada por las características de los datos experimentales y de la estrategia (o elipsoide) de búsqueda, que por los métodos de estimación que se empleen.

Palabras clave: Métodos de estimación, yacimientos lateríticos, níquel, Cuba, yacimiento Punta Gorda, técnica de *jackknife*.

ABSTRACT- To determinate the most accurate way to estimate or simulate iron, nickel and cobalt grades in lateritic deposits from northeast Cuba, punctual errors retrieved by some estimation and simulation techniques were compared. As study case was selected a zone from Punta Gorda Deposit, called O48 Block. The comparison was based on *jackknife* technique. The estimation methods compared were: inverse of the distance, simple kriging, ordinary kriging, multigaussian kriging, lognormal kriging, kriging with spline model, sequential Gaussian simulation and conditional simulation with turning bands method, this last one with 100 random bands. In most of cases the means

1. TIPOLOGIA DE MOVIMIENTOS DE MASAS DESARROLLADOS EN EL TERRITORIO DE MOA, CUBA

Type of the landslide developed in the territory of Moa, Cuba

ISSN 0258 5979 *Minería y Geología* v. 22 n. 1 2006

Yuri ALMAGUER-CARMENATES1, Rafael GUARDADO-LACABA1 (1) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. E-mail: yalmaguer@ismm.edu.cu

RESUMEN- El artículo tiene como objetivo principal establecer una clasificación de los distintos tipos de movimientos de masas en taludes y laderas desarrollados en el territorio de Moa. La clasificación tipológica se realizó sobre la base de la documentación de los movimientos reportados en el área de estudio, así como caracterización de todos los elementos geométricos, estructurales y composicionales del tipo de material en cual se han desarrollado, teniendo en cuenta las clasificaciones más aceptadas a nivel internacional. Como resultados se da una clasificación y descripción de los movimientos de masas agrupando los mecanismos de los deslizamientos en tres grupos principales: mecanismos relacionados con caída libre de la roca (desprendimientos y vuelcos), mecanismos de deslizamientos a través de una superficie de fallo definida (deslizamientos traslacionales, rotacionales, en forma de cuña y combinados) y mecanismo de movimientos de masas de manera desorganizada (soliflujión, coladas de tierra y corrientes de derrubios).

PALABRAS CLAVE: movimientos de masas, taludes, laderas, mecanismo de rotura.

ABSTRACT- This paper has as main objective to establish a classification of the different types of movements of masses in slopes developed in the territory of Moa. The typology classification is based on the

documentation of the movements found in the area, as well as characterization of all the geometric, structural elements and compositional of the material in which it has been developed; besides keeping in mind the classifications more accepted at international level. As a results a proposal is made of classification and description of the movements of masses containing the mechanisms of the slips in three main groups: mechanisms related with fall free of the rock, mechanisms of slips through a defined failure surface and mechanism of movements of masses in a disorganized way. **KEYWORDS:** movements of masses , slope, mechanisms of the landslide.

1 STIMACIÓN DEL ERROR DE GEOMETRIZACIÓN EMPLEANDO LA GEOESTADÍSTICA TRANSITIVA

Adrian Martínez Vargas¹ / amvargas@ismm.edu.cu

Minería y Geología / v.23 n.2 / 2007 ISSN 1993 8012

Recibido: mayo 2006 / Aceptado: enero 2007

¹Instituto Superior Minero Metalúrgico

RESUMEN

La geoestadística transitiva, teoría olvidada casi por completo, permite deducir una fórmula para evaluar el error geométrico en el que se incurre al geometrizar un depósito con límites no conocidos. Dicho error no depende directamente de la variabilidad espacial de las funciones aleatorias, sino de la relación entre el perímetro y el área del cuerpo mineralizado. Para su cálculo se supone el depósito definido en un dominio D , discretizado como una rejilla cuadrada con unidades de selectividad d . Es función del parámetro N , que representan el número de unidades elementales mineralizadas, así como de N_1 y N_2 , los que se asocian al número de vértices en contacto con unidades elementales no mineralizadas en las direcciones principales de la rejilla. En algunos yacimientos con cuerpos continuos y de gran tamaño converge rápidamente a cero.

PALABRAS CLAVE

Geoestadística Transitiva, Error Geométrico

15. ANÁLISIS PALEOAMBIENTAL DE SEDIMENTOS LATERÍTICOS DEL DEPÓSITO CAMARIOCA, MOA, CUBA.

Análisis paleoambiental de sedimentos lateríticos del depósito Camarioca, Moa, Cuba

Rafael A. LÓPEZ-MARTÍNEZ¹ rlopezm@ismm.edu.cu
Reinaldo ROJAS-CONSUEGRA² rojas@mhnc.inf.cu
Jorge L. URRÁ-ABRAIRA³ jurra@moanickel.com.cu
Adrián MARTÍNEZ-VARGAS¹ amvargas@ismm.edu.cu

Resumen

En el yacimiento niquelífero Camarioca, Cuba Oriental, hay sedimentos lateríticos bien documentados, que contienen un registro paleontológico espacialmente distribuido. Tomando como base las entidades taxoregistráticas en el área, se hizo la reconstrucción paleoambiental del sistema deposicional. Se realizó el análisis de la diversidad de las asociaciones registradas, el estudio de las variaciones de los factores de estrés, las reconstrucciones paleobatimétrica y paleoecológica y la correlación taxonómica. La combinación de técnicas cuantitativas y cualitativas de análisis de datos paleontológicos, arrojó resultados que evidencian el establecimiento en la región, durante el Mioceno – Plioceno, de un sistema deposicional de plataforma interna protegida con mayor energía de deposición hacia el sur, y profundidades que se incrementaron de 0-30 m al sur hasta los 100 m al norte.

Palabras clave

Lateritas sedimentarias, paleontología cuantitativa, reconstrucción paleoambiental, análisis cladístico.

Recibido: septiembre 2007 / Aceptado: diciembre 2007

¹ Instituto Superior Minero Metalúrgico, Las Coloradas s/n, Moa, Cuba.

² Museo Nacional de Historia Natural.

³ Moa-Nickel S.A.

16. INFERENCIA DEL ERROR EN EL VOLUMEN GLOBAL DE RECURSOS MINERALES ASOCIADO AL ERROR LOCAL DE ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO

Minería y Geología / v.25 n.4 / 2009 ISSN 1993 8012

Adrian Martínez Vargas¹ adriangeologo@yahoo.es

Resumen

El volumen global de recursos minerales (V) puede calcularse como la suma de las unidades de selectividad minera (v) cuyo contenido medio del elemento útil estimado ($Z^*(v)$) sobrepasa un cutoff (Z_{cutoff}). El valor real $Z(v)$ es $Z^*(v)+e$, donde e es el error de estimación, que generalmente se desconoce. Las unidades de selectividad minera con cutoff entre el valor real y el estimado introducen un error ($ErrV(v)$) en el cálculo de V . Para inferir $ErrV(v)$ se asume que $Z(x)$ es una función aleatoria regionalizada, definida en cada punto x del yacimiento; el porcentaje de V erróneamente estimado es la probabilidad de $Z(v)$ en el intervalo $[Z_{cutoff}-e; Z_{cutoff}+e]$, la cual es calculada a partir de la curva de ley-tonelaje de $Z(v)$. El valor aproximado de e se infiere a partir de la desviación estándar de krigeage $\sigma K(v)$. Este procedimiento se empleó para clasificar recursos limoníticos de níquel de un sector del yacimiento Moa, usando una red de pozos existente y tres variantes de redes cuadradas artificiales espaciadas a 8,33 m, 16,67 m y 33,33 m. En todos los casos se utilizó modelo de bloques de 8,33x8, 33x3,00 m, así como un modelo de variograma y una curva de ley tonelaje

inferidos a partir de los datos reales. Los valores de $ErrV(v)$ obtenidos fueron de 15%, 8,5%, 15,5% y de 87,0 a 78,0% para la red real, la de 8,33m, la de 16,66m y la de 33,33m respectivamente. Se observó además que $ErrV(v)$ es asimétrico respecto al *cutoff*, lo que induce un riesgo de sobrestimación de V de hasta 5% en la red real y hace impracticable el uso de la red de 33,33m.

Palabras clave

Clasificación de recursos minerales, curva de ley-tonelaje, diseño de redes de exploración, estimación de volumen, error de krigeage, error en cálculo de volumen.

17. ESTUDIO MORFOTECTÓNICO DEL ÁREA ENMARCADA POR LAS CONCESIONES MINERAS LA DELTA, CANTARRANA Y SANTA TERESITA

Minería y Geología / v.26 n.1 / enero-marzo / 2010 / p. 1-12 ISSN 1993 8012

Recibido: 21 abril 2009 / Aceptado: 28 noviembre 2009

Ivan Barea Pérez

Mailín Barrera Veitía

Alina Rodríguez Infante

Resumen

Los yacimientos ferroniquelíferos del noreste de Holguín están afectados por estructuras tectónicas disyuntivas que deben considerarse en la planificación minera; es por ello que se caracterizan las fallas existentes en las concesiones mineras La Delta, Cantarrana y Santa Teresita, de la empresa Moa Nickel S.A.- Pedro Sotto Alba. En el estudio se utilizaron métodos de fotointerpretación geológica y geomorfológica y el análisis morfométrico del relieve, tomando como base las cartas topográficas y el modelo digital del terreno (MDT). Como resultado se obtuvo el cartografiado de las estructuras disyuntivas del área asociadas a distintos eventos tectónicos que han afectado la región, incluyendo algunas no reportadas con anterioridad, como las fallas Arco Norte y Arco Sur, estructuras de bajo ángulo; Teresa, Potosí y La Caoba, vinculadas al proceso de colisión del arco volcánico del Cretácico sobre el paleomargen de Bahamas, y la estructura Yamanigüey, originada por el proceso de relajación de los bloques tectónicos.

Palabras clave

Cartografía geológica, fotointerpretación, geomorfología, Moa, morfotectónica, yacimientos ferroniquelíferos,

18. MODELO MAGNÉTICOS 2.5 D DE LA REGIÓN NORORIENTAL DE CUBA.

MODELOS MAGNÉTICOS 2.5 D DE LA REGIÓN NORORIENTAL DE CUBA

2.5 d magnetic models of the northeastern region of Cuba

José Alberto BATISTA-RODRÍGUEZ

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. E-mail: jabatista@ismm.edu.cu

RESUMEN- La modelación 2.5 D de los datos aeromagnéticos de la región nororiental de Cuba, permitió caracterizar las profundidades, formas, espesores y yacencias de la rocas ofiolíticas, principales causantes de las anomalías magnéticas positivas, sobre todo las rocas ultrabásicas serpentinizadas. Las anomalías magnéticas negativas se relacionan con el poco espesor de estas rocas cuando están aflorando o con grandes espesores de otros tipos de rocas que se encuentran en superficie. Las rocas ultrabásicas serpentinizadas alcanzan profundidades de hasta 3 km, mientras que los gabros no sobrepasan los 100 m, en los perfiles de interpretación estudiados.

Palabras clave: Cuba nororiental, modelación magnética, ofiolitas.

ABSTRACT- The 2.5 D modelling of aeromagnetic data of the north-eastern region of Cuba let to characterize, the depths, forms, thickness and position of the ophiolitic rocks, main sources of the positive magnetic anomalies, mainly the serpentinized ultrabasic rocks. The negative magnetic anomalies are related with the little thickness of these rocks when they are outcropping or with big thickness of other types of rocks that are in surface. The serpentinized ultrabasic rocks reach depths of up to 3 km, while the gabbros don't surpass the 100 m, in the studied interpretation profiles.

Key words: Eastern Cuba, magnetic modelling, ophiolites.

19. PERTENENCIA DE UN PUNTO DEL PLANO AL INTERIOR O A LA FRONTERA DE UNA REGIÓN LIMITADA POR UN POLÍGONO

ISSN 0258 5979

Revista Minería y Geología Vol. XVII, No. 1, 2000

Pertenencia de un punto del plano al interior o a la frontera de una región limitada por un polígono

Ownership of a Point of the Plane to the Interior or to the Border of a Region Limited by a Polygon

Aristides Alejandro Legrá Lobaina¹
Andrés Silva Pineda²

¹ Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Asistente. Investigador de Geopostadística aplicada a yacimientos lateríticos y desarrollo de algoritmos para cartografía digital. Departamento de Matemáticas, Facultad de Geología y Minería, Instituto Superior Minero Metalúrgico.

² Profesor Instructor, Departamento de Matemáticas. Investigador de la creación y estudio de algoritmos computacionales. Unidad Docente Baracoa, Instituto Superior Pedagógico de Guantánamo.

20. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE CORTEZAS LATERÍTICAS A PARTIR DE DATO AEROGAMMA ESPECTROMÉTRICOS Y AEROMAGNÉTICOS

Minería y Geología, ISSN 0258 5979, Nos. 3-4, 2003

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE CORTEZAS LATERÍTICAS A PARTIR DE DATOS AEROGAMMA ESPECTROMÉTRICOS Y AEROMAGNÉTICOS

Geological characterization of lateritic crust from airborne spectrometric and magnetic data

José Alberto Bañista Rodríguez E-mail: jabanista@iumm.edu.cu
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

RESUMEN

Las regiones de Mayarí y Moa (Cuba oriental), donde se localizan grandes yacimientos de lateritas ferromanganeso-cobaltíferas, están cubiertas por datos aerogamma espectralométricos y aeromagnéticos. A partir del análisis de los contenidos de eU y eTh, y de las relaciones entre éstos y el K, se delimitaron las áreas de lateritas ferromanganeso ya conocidas y otras no reportadas hasta el momento. Se encontró que las lateritas redepositadas poseen mayor contenido de eU y eTh que las in situ, así como son mayores estos contenidos en las lateritas más potentes y en las desarrolladas o redepositadas sobre rocas serpentinizadas. El tiempo de formación, desarrollo, potencia de las lateritas y rocas subyacentes, así como las características geomorfológicas y la presencia de alteraciones hidrotermales, se infieren de las relaciones encontradas entre los contenidos de eU, eTh y K, y ΔT . Las variaciones laterales en las concentraciones de eU y eTh indican variaciones en los espesores de las lateritas. Los contenidos de eTh están relacionados con el tiempo de formación, desarrollo y espesor de las cortezas lateríticas, mientras que las altas concentraciones de K denuncian la existencia de alteraciones hidrotermales. Las variaciones laterales conjuntas del campo magnético y los contenidos de cualesquiera de los elementos analizados, responden a variaciones en los espesores de las lateritas y las rocas subyacentes. En Moa las lateritas poseen mayor contenido de eU y eTh que en Mayarí, lo cual sugiere mayor tiempo de formación, desarrollo y espesor de las mismas en la primera región mencionada.

PALABRAS CLAVE: Lateritas, Moa, Mayarí, aerogamma espectralométrico, aeromagnético.

ABSTRACT

The Mayarí and Moa regions (western Cuba), where are located wide deposits of Fe-Ni-Co laterites, are covered for airborne geophysical data (airborne radiometric and magnetic). Starting of the analysis of eU and eTh contents, and the relationships between these ones and K, were delimited laterites areas, including some ones not reported yet. The redeposited laterites possess higher content of U and Th than those in situ, which are also higher in the most potent laterites and in those developed or redeposited on serpentinized rocks. The time of formation, development, thickness of the laterites and underlying rocks, as well as the geomorphologic characteristic and the presence of hydrothermal alterations, they are manifested in the opposing relationships among the contents of eU, eTh and K, and ΔT . The lateral variation in the concentrations of U and Th in the laterites indicates variations in the thickness of the same ones. The eTh contents are related with their time of formation, development and thickness. The concentrations of K evidence the existence of hydrothermal alterations. The combined lateral variations of the magnetic field and the contents of any one of the analyzed elements respond to variations of thickness of the laterites and the underlying rocks. In Moa the laterites possesses bigger eU and eTh contents than in Mayarí, suggesting longer time of formation, development and thickness in the first mentioned region.

KEY WORDS: Laterites, Moa, Mayarí, airborne radiometric, airborne magnetic.

6.5. Presentación en eventos científicos y reconocimientos

6.5.1. Eventos científicos





"...creo en el milagro de lo que puede hacer el trabajo, de lo que puede hacer la ciencia y de lo que pueden hacer los hombres."

Fidel

DESTACADO

A la Ponencia

Software tierra: pronóstico, planificación y control

de la minería. Versión 2

de: León Hortelio Vera S.

Ciudad de La Habana 10 de Enero del 2003

Comisión Nacional
Forum de Ciencia y Técnica



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. Antonio Núñez Jiménez

Moa-Holguín

CINAREM'09

A Roberto Díaz Martínez

*Por su participación como Ponente en la
V Conferencia Internacional de Aprovechamiento
de Recursos Minerales*

*Con el trabajo titulado Modelación Integral de Datos Geológicos para
la Exploración Óptima de Yacimientos de Ni y Co en Cuba*

Dado en Moa a los 13 días del mes de noviembre del 2009


Dr. C. Alberto Turro Breff
Presidente Comité Organizador




Dr. C. Secundino Marrero Ramírez
Vicerector de Investigaciones

FORUM RAMAL DE CIENCIA Y TÉCNICA
Ministerio de Educación Superior

Se otorga el presente

DIPLOMA

Trabajo titulado:

*Proyecto Tierra: Pronóstico, planificación y control de la minería en la
subdirección de minas de la empresa*

Comandante Ernesto Phe Guevara de Moa, Holguín

Autor:

Dr. Aristides Alejandro Legrá Lobaina

Por haber obtenido la categoría de:

Relevante



Dr. José Luis García Cueva
Ministro de Educación Superior
MES

Marzo del 2000

6.5.2. Premios y Reconocimientos otorgados

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente
Delegación Territorial
Holguín


Se le otorga el presente


DIPLOMA

A: Lic. Arístides Alejandro Legrá Lobaina

Por haber obtenido el *Premio Anual Provincial de CITMA para 1999* con el trabajo: *Proyecto Tierra: Pronóstico, Planificación y Control de la Minería en yacimientos ferroniquelíferos del Nordeste de Holguín*

Dado en Holguín a los 26 días del mes de mayo del 2000


Dr. C. Julio Norberto Pérez Guerrero
Delegado CITMA Holguín



COMISION DE GRADOS CIENTIFICOS DEL ISMM

RECONOCIMIENTO


Se le otorga a: Dr. C. ROBERTO DIAZ MARTINEZ

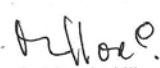
Por la calidad y rigor científico durante el desarrollo del trabajo como Tutor en la predefensa de la Tesis de Doctorado titulada:

LA MODELACION DESCRIPTIVA DE YACIMIENTOS MINERALES EN CUBA.

del aspirante: JOSE DANIEL ARIOSA IZNAGA. en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.

Y para constancia se expide el presente, a los 9 días del mes Septiembre de 2002.


Dr. C. Félix Quintas Caballero
Secretario de la Comisión


Dra. C. Mayda Ulloa Carcassés
Presidente de la Comisión

MINISTERIO DE CIENCIA TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE
MOA-HOLGUIN

Se le otorga el presente

CERTIFICADO

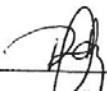
A: Dr. Leon Ortelio Vera

*por el impacto de los resultados alcanzados en el
quehacer científico del territorio, durante el 2002.*



*.... Tenemos tres elementos integradores por
excelencia: los polos, el foro y el sindicato.
Fidel*

Dado en Moa a los 15 días del mes de enero del año 2003


M Sc. Vivian Rodriguez G.
VicePresidente CAM


M Sc. Darlen Spencer R.
Especialista CITMA Moa

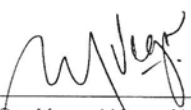
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
"DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ"

**PREMIO ANUAL AL MERITO
CIENTIFICO- TECNICO**

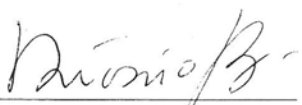


**Al resultado mayor avance científico,
trascendencia y originalidad**

*A: Drs. León Ortelio Vera S., Arístides A. Legra
Lobaina*


M. Sc. Manuel Vega Almaguer
Rector del ISMMM




Dr. Alfredo L. Coello Velázquez
Vice-rector de Investigaciones y posgrado
ISMM

Dado en Moa a los 15 días del mes de Enero del 2003



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"

PREMIO DE CIENCIA Y TÉCNICA 2007

RESULTADO DE MAYOR TRASCENDENCIA Y ORIGINALIDAD CIENTÍFICA

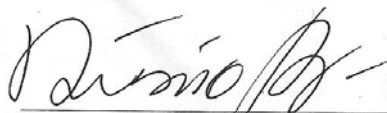
"Caracterización de los dominios geológicos en las concesiones mineras Camarioca
Norte y Camarioca Sur de la Empresa Cmdte. Pedro Sotto Alba"


ESTE PREMIO SE CONCEDE AL COLECTIVO DE AUTORES:

Dr. Adrián Martínez Vargas
Dr. José Nicolás Muñoz Gómez
Dra. Alina Rodríguez Infante
Dr. José Batista Rodríguez
Dr. León Ortelio Vera Sardiñas
Ing. Rafael López Martínez

POR SU DESTACADA TRAYECTORIA EN LA CIENCIA E INNOVACIÓN
TECNOLÓGICA

DADO A LOS 15 DÍAS DEL MES DE ENERO DEL 2008


Dr. Alfredo Coello Velázquez
Rector


Dr. Secundino Marrero Ramírez
Vicerrector de Investigaciones y Posgrado

**MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE
DELEGACIÓN TERRITORIAL**


OTORGA

PREMIO PROVINCIAL

**A: "Nuevo procedimiento matemático para la
modelación de yacimientos de níquel y
cobalto"**

**Entidad: Instituto Superior Minero Metalúrgico de
Moa**

**Autores: Adrián Martínez Vargas
Jorge Luis Urra Abraría**


Dr. C. Israel Mayo Parra
Delegado

**Dado en la ciudad de Holguín a los 15 días de enero de 2008
"Año 50 de la Revolución"**





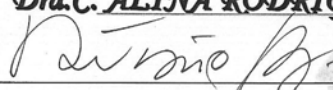
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
"DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ"

PREMIO

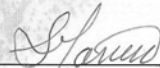
**Al resultado ya aplicado de mayor aporte
económico**

**PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN GEOLÓGICO-
MINERA INTEGRAL DE LOS YACIMIENTOS
FERRONIQUELÍFEROS DE LA REGIÓN DE MOA**

**A: Dr.C. ROBERTO DÍAZ MARTÍNEZ Dr.C. YURI ALMAGUER.C.
Dr.C. LEÓN ORTELIO VERA SARDIÑAS Dr.C. ADRIÁN MARTÍNEZ
Dr.C. JOSÉ NICOLÁS MUÑOZ GÓMEZ Dr.C. JOSÉ ALBERTO BATISTA
Dra.C. ALINA RODRÍGUEZ INFANTE**


Dr. C. Alfredo L. Coello Velázquez
Rector del ISMMM




Dr. C. Secundino Marrero Ramírez
Vicerrector de Investigaciones y Postgrado del
ISMMM



Dado en Moa a los 15 días del mes de enero del 2008



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"

PREMIO AL MÉRITO CIENTÍFICO TÉCNICO EN EL ISMM EN EL 2009

Al resultado que refleja el avance científico de mayor trascendencia y originalidad:

MODELACIÓN INTEGRAL DE DATOS GEOLÓGICOS PARA LA EXPLORACIÓN DE YACIMIENTOS DE NI Y CO DE CUBA

SE CONCEDE A:

Autor principal: Dr. Roberto Díaz Martínez. **Coautores:** Dr. León Ortelio Vera Sardiñas. Dr. Adrián Martínez Vargas. Dr. Arturo Rojas Purón. Dr. Aristides A. Legrá Lobaina. Dr. Yuri Almaguer Carmenates. Dr. Rafael Guardado Lacaba, Dr. Alain Carballo Peña. Dr. José A. Batista Rodríguez. Dr. José Nicolás Muñoz Gómez. Dr. Constantino Juan de Miguel Fernández. Dra. Alina Rodríguez Infante. MSc. Rafael López Martínez.

Dado en la Ciudad de Moa, Cuba, a los 15 días del mes de enero de 2010.

Dr. C. Alfredo Coello Velázquez.
Rector del ISMM de Moa, Holguín, Cuba.



7. DICTAMEN DEL CONSEJO CIENTÍFICO DEL ISMM



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”

DICTAMEN DEL CONSEJO CIENTÍFICO DEL ISMM

El Consejo Científico del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” evaluó la obra científica titulada **“Modelación Integral de Datos Geológicos para la Exploración Óptima de Yacimientos de Ni y Co en Cuba”** con vista a optar por el Premio Academia de Ciencias de Cuba Nacional 2011, pudiendo constatar que:

1. El trabajo presentado cumple con los procedimientos establecidos por el CITMA en Cuba para la presentación de obras científicas que optan por premios a la Academia de Ciencias de Cuba.
2. Los resultados científicos obtenidos representan novedosas tecnologías de tratamiento de datos geológicos para la exploración de los yacimientos minerales de Ni y Co en Cuba, los más importante del país, y han sido introducidos en la práctica geológica conforme los avales presentados por la empresas niquelíferas del país, la Oficina Nacional de Recursos Minerales perteneciente al MINBAS, encargada de regir la política minera del país y otras entidades nacionales y territoriales.
3. Los procedimientos aplicados en la práctica geológica se vienen aplicando desde el año 1996 a solicitud de la Compañía australiana Webterm Mines, en los yacimientos de Pinares de Mayarí donde se aplicó por vez primera el procedimiento de determinación de los Dominios Geológicos y posteriormente se generalizó al yacimiento Punta Gorda, Moa Oriental, Yamanigüey, Camarioca Norte y recientemente en el yacimiento Camarioca Sur, a solicitud de la empresa mixta Moa Nickel S.A.- Cmdte Pedro Soto Alba.
4. Los procedimientos empleados han tenido un impacto social relevante toda vez que han permitido el desarrollo de entrenamientos y diplomados a especialistas de la unidades básicas mineras como vía para la transferencia de tecnologías en el cálculo de los errores de estimación de los recursos y reservas minerales y en los métodos novedosos de exploración de los yacimientos de Ni y Co. Al mismo tiempo los resultados se aplican en la docencia de pregrado y postgrado y los materiales obtenidos constituyen referencias bibliográficas de obligada consulta para estudiantes de pregrado, de maestría y de doctorado que vinculan sus temas de investigación a estos tipos genéticos de yacimientos minerales. La aplicación de estos procedimientos ha permitido graduar 25 ingenieros

geólogos que actualmente laboran en las empresas mineras del nordeste de la provincia de Holguín, garantizando la fuerza laboral actual y futura de esta importante industria cubana.

5. La obra científica ha sido elaborada con elevado rigor científico y su impacto en este sentido es avalada por la presentación de 20 publicaciones en revistas de alto impacto, la defensa exitosa de seis tesis doctorales en los últimos 15 años, dos tesis de maestría y varios premios en eventos científicos municipales, provinciales y nacionales, así como premios y reconocimientos provinciales y nacionales a los autores del trabajo.
6. El impacto económico de la investigación como resultado de la introducción en la práctica geológica y transferencia de tecnologías es acreditada por las Unidades Básicas Mineras de las empresas niquelíferas del territorio y otras entidades nacionales, con un monto ascendente a más de 4 000 000.00 CUC.

En Consejo científico del ISMM tomando en consideración lo antes expuesto,

DICTAMINA:

Que la obra presentada por su autor principal Dr. Roberto Díaz Martínez y un colectivo de coautores reúne los requisitos necesarios para ser presentada como propuesta a Premio Nacional 2011 de la Academia de Ciencias de Cuba.

En correspondencia con lo anterior, el Consejo científico del ISMM ACUERDA:

Aprobar la presente propuesta declarada anteriormente, efectuada en la sesión del mes de septiembre de 2011.

Dr. C. Alberto Turro Breff

Presidente del consejo científico del ISMM de Moa