



## Cálculo de recursos geológicos del sector Zona A Oeste \*

**Dioelis Guerra Santiesteban**

**Armando César Castigo Nhambirre**

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

**Resumen:** Se realiza la reinterpretación geológica y se calcularon los recursos del sector Zona A Oeste. Como resultado de los trabajos se determinó la génesis de la corteza de intemperismo generada, al parecer, únicamente sobre basamento ultramáfico. Se definieron las zonas más perspectivas para la localización de acumulaciones útiles de Ni + Co, y se calcularon los recursos del sector obteniéndose 609 790 t con Ni = 1,19 %, Co = 0,088 % y Fe = 39,52 %, respectivamente.

**Palabras clave:** explotación minera, interpretación geológica, recursos minerales

## Calculation of geological resources of the Zone A West sector

**Abstract:** A geological reinterpretation was carried out, and the resources of the Zone A West sector were estimated. The results of this work determined the genesis of the weathering crust, apparently generated solely on ultramafic basement. The most promising areas for locating useful Ni + Co accumulations were defined, and the sector's resources were estimated, yielding 609,790 t with Ni = 1.19%, Co = 0.088%, and Fe = 39.52%, respectively.

Keywords: mining, geological interpretation, mineral resources

### Introducción

Este trabajo fue elaborado por la necesidad de realizar una reinterpretación geológica del sector Zona A Oeste, así como del recálculo de los recursos para su explotación industrial. Fue realizado a solicitud del Departamento de Geología de la Sub-Dirección de Minas de la empresa "Comandante Pedro Sotto Alba".

Se desarrolló un estudio detallado de las cortezas de intemperismo existentes, tomándose como base la interpretación de la información contenida en la documentación de los pozos de perforación en una red de 33,33 x 33,33 m y 33,33 x 33,33 m desplazada. Se realizaron trabajos de exploración detallada del Yacimiento Zona A ejecutados por la Empresa Geominera Oriente, de forma interrumpida, entre los años 1987-1995; el reporte de exploración Recursos Medidos del sector Zona A Oeste, elaborado por la Sub-Dirección de Minas de la Empresa Moa Nickel S.A., y visitas de familiarización llevadas a cabo por la brigada del cuarto año de la carrera de Ingeniería Geológica del Instituto Superior Minero Metalúrgico para realizar la reinterpretación geológica del sector, así como el recálculo de sus recursos.

### Características geológicas de la región

La evolución geológica del actual territorio de Moa comenzó a finales del Campaniano Superior-Maestrichtiano cuando ocurrió la extinción del Arco Volcánico del Cretácico e inició la compresión de sur a norte que originó el emplazamiento del macizo ofiolítico, según un sistema de escamas de sobrecorrimiento, a partir de una obducción del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de las Bahamas (Lewis & Draper, 1990; Morris *et al.*, 1990; Pindell & Barret, 1990).

A partir del Eoceno Medio y hasta el Mioceno Medio las fuerzas de compresión se reducen, quedando solo expresadas en las fallas de deslizamiento por el rumbo, plegamientos y empujes locales; toman importancia los movimientos verticales que caracterizan la morfotectónica regional y se inicia en el Mioceno Medio el proceso de ascenso regional (Rodríguez, 1999).

En el macizo ofiolítico Moa-Baracoa las unidades continentales del cinturón no están representadas; mientras que las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánicas del Cretácico, las secuencias de las cuencas del *piggy back* del Campaniano Tardío-Daniense, el arco volcánico del Paleógeno y las cuencas de *piggy back* del Eoceno Medio al Oligoceno (Iturralde, 1997).

Las rocas de macizo ofiolítico son predominantemente ultramafitas piroxénicas serpentinizadas: dunitas, harzburgitas, lherzolitas y piroxenitas, sobre las que se han desarrollado intensos procesos de meteorización, formándose potentes cortezas ferroniquelíferas con las cuales se asocian los yacimientos de níquel y cobalto.

En la región se han determinado dos zonas geomorfológicas bien definidas: de llanura y de montañas, esta es la más extendida y ha sido clasificada en cuatro subtipos, destacándose el de montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas, por estar asociados a los mayores yacimientos ferroniquelíferos. Los procesos de intemperismo son predominantes y están condicionados no solo por el grado de agrietamiento de las rocas sobre las que se desarrolla, sino también, por la dinámica de la superficie dada por la posición hipsométrica, la pendiente del terreno y la estructura escalonada regional. Para esta zona se han determinado los mayores valores del levantamiento actual, evidenciado por barrancos, escarpes y formas cársicas (Rodríguez, 1999).

### **Metodología aplicada en la investigación**

El presente estudio se desarrolló siguiendo las tres etapas básicas de las investigaciones geológicas: preliminar, de campo y gabinete.

La etapa preliminar consistió en la recopilación y procesamiento de la información preexistente. Los trabajos de campos encaminados a la obtención de la información geológica básica se desarrollaron durante campañas de corta duración en la que se efectuaron recorridos de reconocimiento geológico, se documentaron y se muestrearon los afloramientos de cortezas de intemperismo del sector Zona A Oeste. Los afloramientos de cortezas de intemperismo fueron documentados, fotografiados y muestreados.

La toma de muestras se realizó de forma puntual y fueron colectadas de forma directa en los distintos afloramientos, usando la piqueta de geólogo; estas muestras fueron enumeradas y descritas. Para su conservación y transporte se usaron bolsos plásticos y la mochila de campo, respectivamente.

### **Reinterpretación geológica del Sector Zona A Oeste**

Zona A Oeste se caracteriza por tener un relieve relativamente suave, ascendiendo de forma gradual sin cambios bruscos desde el norte hacia el sur. La red hidrográfica está orientada en dirección sur-norte, con arroyos intermitentes que vierten sus aguas hacia el río Cabaña. En el límite oeste se localiza el arroyo La Vieja procedente del aliviadero de la presa de rechazo. Este arroyo permite limitar los yacimientos Zona A y Zona Central.

Según los resultados alcanzados por investigaciones precedentes, el sector posee características geológicas bastante singulares, que lo diferencian notablemente de sectores aledaños. Estas características hicieron que dicho sector fuera separado del Yacimiento Zona A para estudiarlo de manera independiente. Algunas de sus peculiaridades son: la presencia de bloques de coraza de hasta 2 m de diámetro en todo el sector; la aparición de cortezas que proceden de rocas básicas mezcladas con cortezas de origen ultrabásico; los afloramientos de bloques de sílice (cuarzo, calcedonia, ópalo) en las partes central y norte del sector y la posible existencia de una falla con dirección N-S, a la cual se asocian los afloramientos de rocas básicas.

La reinterpretación geológica del sector fue desarrollada para confirmar o descartar la manifestación de estos fenómenos. Para lograr estos objetivos se realizó una visita de reconocimiento y algunos itinerarios por las zonas con mayores posibilidades de presentar los fenómenos anteriormente mencionados para efectuar la descripción de los afloramientos e interpretar algunos fenómenos geológicos presentes en el sector.

Después de realizados los itinerarios geológicos propuestos, se ha llegado a los resultados siguientes:

- Aparecen abundantes bloques de coraza de Fe en todo el sector; sus diámetros oscilan entre los 0,5 – 1 m pero sin llegar a los 2 m.
- No se encontraron cortezas desarrolladas sobre rocas básicas ni los afloramientos de gabros a los cuales se asocian estas cortezas.

- Los bloques de sílice aparecen fundamentalmente en las márgenes de los arroyos y en la zona central, sin embargo, en todo el sector se observa la ocurrencia de dichos bloques aunque en dimensiones más reducidas.

### **Interpretación de los datos de pozos**

A partir de la base de datos generada por la EGMO, sobre la base de las redes de perforación de 33,33 x 33,33 m y 33,33 x 33,33 m desplazada fueron confeccionados algunos mapas para las diferentes menas tecnológicas. De esta manera se facilitó la interpretación de los datos obtenidos a partir de las perforaciones.

La potencia media de la LB en el sector Zona A Oeste es de 3,93 m, predominan las áreas con potencias de entre 0 y 4 m. Hacia el sureste, el norte y el noreste se localizan las zonas con las mayores potencias de LB (siempre por encima de los 4 m), que pueden sobrepasar los 10 m. Se enmarcaron siete zonas como las más perspectivas para la explotación; se destacó, además, que las áreas aledañas a las señaladas no serán excluidas de la explotación minera. Las áreas señaladas tienen una potencia de LB superior a los 4 m. Sobresalen en el sector la parte central y hacia el noreste, donde se reúnen las más grandes potencias de LB. Se consideró la afectación que provocan los arroyos que corren dentro del sector a varias regiones con grandes potencias de LB, lo cual conlleva a que algunas zonas no puedan ser minadas.

El contenido medio de cobalto para la LB en el sector Zona A Oeste es de 0,088 %. Predominan las áreas con contenidos de Co entre 0,080 y 0,13 %. Hacia el sureste del sector se manifiestan los menores contenidos de Co (entre 0,03 y 0,08 %). En el noreste están las zonas con los mayores valores, que oscilan entre 0,13 y 0,23 % fundamentalmente y llegan hasta 0,28 %. De las zonas enmarcadas, las cuatro primeras presentan bajos contenidos de Co, en pequeños sectores llegan a los 0,15 %, estando generalmente el contenido de Co por debajo de 0,13 %; la primera zona tiene los valores más bajos (entre 0,03 y 0,08 %). Las tres últimas áreas señaladas tienen los contenidos de Co más altos (entre 0,13 y 0,28 %) y se destaca el área V donde el contenido medio oscila entre 0,18 y 0,23 %.

El contenido de hierro en la LB de Zona A Oeste tiene un valor medio de 38,81 %. Se definen claramente dos áreas muy distintas dentro del sector a partir de los contenidos de Fe: la parte sur, donde predominan los contenidos entre 38 y 41 %, que incluye, además, zonas con contenidos de Fe por debajo del 38 %; la parte norte reúne zonas cuyos contenidos de Fe oscilan entre el 41 y 47 % y llegan a estar en ocasiones por encima de los 47 %. Las dos primeras áreas señaladas están en la

parte sur y tienen los contenidos más bajos de Fe (oscilando entre 35 y 41 %); en cambio las demás áreas presentan contenidos de Fe entre 41 y 50 %.

El níquel promedio para la LB dentro de Zona A Oeste es de 1,13 %. De forma similar al comportamiento del Fe, para los contenidos de Ni también se divide el sector en dos zonas diferentes, pero en otras direcciones: todo el sur, además del oeste, presentan los valores más bajos de contenido de Ni para la LB, el contenido de Ni oscila entre 0,95 y 1,25 % fundamentalmente; las partes norte y noreste manifiestan los más elevados contenidos de Ni (entre 1,25 y 1,75 %), llegando a más de 1,95 %. Sobresalen dos áreas, una nornoroeste y la otra hacia el noreste, donde se hallan las mayores concentraciones de Ni dentro de la LB (siempre por encima de 1,45 %). Las primeras dos áreas señaladas además de la IV vuelven a presentar los valores más bajos pero esta vez de contenido de Ni (entre 1,05 y 1,35 %); el resto de las áreas seleccionadas presentan al Ni más concentrado (entre 1,25 y 1,75 %, principalmente).

El escombros en el sector Zona A Oeste tiene un gran desarrollo, su potencia media es de 7,56 m. Hacia el sureste, norte y este del sector se manifiestan las menores potencias del escombros que oscilan entre 1 y 7 m. La región central, además de la parte noreste y noroeste, tiene las mayores potencias, por encima de 10 m siempre, alcanzando los 22 m en ocasiones. Las áreas I, II y VII, entre las seleccionadas, poseen las menores potencias de escombros (entre 1 y 7 m, fundamentalmente).

Se confeccionó un mapa para analizar la relación existente entre la potencia de escombros y la potencia de LB. La relación escombros/mineral admisible para desarrollar la minería es variable a partir del precio del Ni y Co en el mercado internacional, pero generalmente oscila entre 3:1 y 5:1. En el sector predomina la relación 3:1, es decir, por cada metro de mineral útil existen 3 m de escombros. Hacia el sur y el noroeste la relación aumenta, llegan a aparecer hasta 12 m de escombros por cada metro de mineral útil. En la parte central también aumenta la relación, pero en áreas muy pequeñas. De las zonas enmarcadas todas presentan una relación de 3:1 fundamentalmente; mas deben destacarse algunas pequeñas áreas dentro de las zonas III, IV y V donde la relación escombros/mineral útil aumenta considerablemente, llega a ser hasta de 12:1.

Al combinar las interpretaciones desarrolladas con los datos de la topografía del sector Zona A Oeste se obtuvieron los resultados siguientes:

-La parte sur del sector, que coincide con las zonas más elevadas del relieve, es poco perspectiva para la explotación minera; solo pueden destacarse para desarrollar la minería las áreas señaladas I y II.

-La parte norte del sector, que ocupa las zonas más bajas del relieve, presenta las áreas más perspectivas para la explotación; se destacan principalmente las zonas enmarcadas III, IV, V, VI y VII.

-Los arroyos que corren por el sector afectan notablemente las zonas con mayores perspectivas para la explotación, pues provocan una posible pérdida de recursos, ya que las zonas aledañas a los arroyos no podrán ser minadas.

- De los 428 pozos perforados en las redes de 33,33 m X 33,33 m y 33,33 m X 33,33 m desplazada, 115 fueron no minerales y 313 cortaron mineral laterítico.

-El hecho de que las áreas más perspectivas se encuentren en la parte más llana del sector, unido a que las zonas elevadas del relieve son poco perspectivas, además de que las potencias de LB son pequeñas, ocasionará gran complejidad a la hora de programar y diseñar la minería del sector, pues creará problemas para construir los bancos de explotación de 8 x 8 x 3.

### **Recálculo de recursos y reservas para el sector Zona A Oeste**

Para la estimación de recursos del sector de estudio se utilizó la base de datos creada a partir de la perforación de pozos en la red de 33,33 x 33,33 m y 33,33 x 33,33 m desplazada. Se consideró el *cutt*of de Ni  $\geq 1$  y Fe  $\geq 35$ .

La estimación de recursos se realizó por el método de áreas de influencia y se consideró mena Lb las litologías que cumplen con la condición:

Ni  $\geq 1$  y Fe  $\geq 35$ , Lf las de Ni  $< 1$  y Fe  $\geq 35$  y como Sb las de Ni  $\geq 1$  y Fe  $< 35$ .

Los recursos fueron calculados para áreas que presentan potencia de Lb  $> 4$  m, y las de potencias menores que este valor pasan a formar grupo de recursos del sector.

Fueron seleccionadas siete áreas como las más perspectivas para desarrollar la actividad minera. Se estimaron las reservas para las áreas seleccionadas y se obtuvieron los valores que se presentan a continuación:

Tabla 1. Áreas para las zonas señaladas y las reservas en cada una.

Áreas (m <sup>2</sup> )	Potencia (m)	Ni (%)	Co (%)	Fe (%)	Ton (t)
<b>I</b> 37916,884342645	5,33	1,13	0,080	38,68	17598,06
<b>II</b> 15701,049671988	5,77	1,04	0,067	37,88	28828,05
<b>III</b> 28053,696431374	5,56	1,26	0,087	38,95	127319,96
<b>IV</b> 13502,896062909	5,56	1,12	41,19	0,085	72830,70
<b>V</b> 42928,704652661	5,51	1,23	0,094	39,38	197806,50
<b>VI</b> 41561,990515577	5,49	1,21	0,096	40,84	110875,80
<b>VII</b> 3685,480703078	6,21	1,22	0,083	37,38	24209,96

El total de recursos para las siete áreas se presenta en la tabla 2:

Tabla 2. Recursos para las áreas seleccionadas

Potencia (m)	Ni (%)	Co (%)	Fe (%)	Ton (t)
5,52	1,19	0,088	39,52	609790,74

Las áreas que presentan potencias de  $L_b \geq 1m$ , que se encuentran dentro del sector, también pasaron a formar parte de los recursos y se determinaron los contenidos de Ni, Fe y Co. Los resultados se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 3. Recursos para el sector Zona A Oeste

Potencia (m)	Ni (%)	Co (%)	Fe (%)	Ton(t)
3,93	1,14	0,082	38,81	1174445,62

Se estimaron los contenidos de los diferentes elementos químicos que constituyen la mena laterítica LB, y se obtuvieron los resultados siguientes:

Tabla 4. Contenido medio de los elementos químicos presentes en la mena LB.

Ni (%)	Co (%)	Fe (%)	Mg (%)	Al (%)	Mn (%)	SiO <sub>2</sub> (%)
1,14	0,082	38,81	2,28	3,16	0,58	28,13

También se calculó el contenido de estos elementos para todo el sector. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 5. Contenido medio de elementos en el sector Zona A Oeste

Ni (%)	Co (%)	Fe (%)	Mg (%)	Al (%)	Mn	SiO <sub>2</sub> (%)
1,14	0,082	38,74	1,18	4,10	0,75	14,77

Los recursos estimados del sector Zona A Oeste, usando el método de áreas de influencia, para un *cutoff* de Ni  $\geq 1$  y Fe  $\geq 35$  para potencias de LB mayores de 4 m, están en la orden de:

Tabla 6. Resultados del Recálculo



Potencia (m)	Ni (%)	Co (%)	Fe (%)	Ton (t)
5,52	1,19	0,088	39,52	609790,74

Los estudios de exploración geológica realizados en el área revelaron zonas con altas potencias de escombros y bajas potencias de LB, de ahí, los valores relativamente bajos para los recursos limoníticos existentes en el área.

### Conclusiones

Se comprobó la existencia de abundantes bloques de corazas de hierro y bloques de sílice epitermal en todo el sector.

No se detectó el desarrollo de cortezas de intemperismo a partir de rocas básicas.

No se encontraron indicios de una posible estructura disyuntiva a la cual se asocian los afloramientos de rocas básicas.

Se obtuvieron para el sector como recursos 1 174 445,62 t de LB con un contenido de Ni = 1,14 %, Fe = 38,82 %, y Co = 0,082 %.

Como recursos para las siete áreas señaladas se obtuvieron 609 790,74 t, Ni = 1,19 %, Fe = 39,52 %, Co = 0,088 %.

Las zonas con mayores perspectivas, por las grandes potencias de LB, se ubican en la parte más septentrional del sector donde el relieve es más llano.

Las áreas con las cotas más elevadas son las menos perspectivas (presentan bajas potencias de LB), por lo tanto se hará más complejo el desarrollo de la minería con los sistemas de bancos de 8 x 8 x 3 m.

### Recomendaciones

Realizar un estudio paleontológico en el área para determinar si las cortezas son redepositadas o *in situ*.

La distribución del mineral útil es no uniforme, por eso, se recomienda efectuar la explotación simultánea con otro yacimiento para proceder a la mezcla y homogenización de los minerales extraídos, logrando así una mejor calidad del mineral útil dentro de las especificaciones, así como la relación Ni/Co y el volumen mineral necesario.

Considerar la afectación que provocarán los arroyos presentes en Zona A Oeste a la hora de realizar los cálculos finales de los recursos y reservas del sector.

Realizar un estudio de factibilidad sobre las áreas donde la relación escombro/mineral es mayor que 3:1.

### **Referencias bibliográficas**

RODRÍGUEZ, A. 1999: Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Tesis doctoral, Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa.

ITURRALDE, M. 1997: Sinopsis de la constitución y evolución geológica de Cuba. Inédito.

LEWIS, J. & DRAPER, G. 1990: Geology and tectonic evolution of the northern Caribbean margin. The Caribbean region. The geology of North America, Vol. H.

MORRIS, A. *et al.* 1990: Tectonic evolution of the Caribbean region; alternative hypothesis. The geology of North America, Vol. H.

PINDELL, J. & BARRET, S. 1990: Geological evolution of the Caribbean region. A plate tectonic perspective. The geology of North America, Vol. H,

\* Trabajo presentado en el *XIX Forum Científico Nacional de Estudiantes Universitarios de Ciencias Técnicas* Tutorado por: Dr.C. León Ortelio Vera Sardiñas, Ing. Rafael Cirión Monté.